

## $Y_2O_3$ - $Ta(Nb)_2O_5$ - $ZrO_2$ 삼성분계 상태도

이득용, 김대준\*, 장주웅\*\*, 이명현\*\*

대림전문대학 금속재료과, 안양, 431-050

\*KIST 세라믹스연구부, 서울, 136-791

\*\*연세대학교 세라믹공학과, 서울, 120-749

## A simplified phase diagram in the ternary system $Y_2O_3$ - $Ta(Nb)_2O_5$ - $ZrO_2$

Deuk Yong Lee, Dae-Joon Kim\*, Ju-Woong Jang\*\* and Myoung-Hyun Lee\*\*

*Department of Metallurgical and Materials Engineering, Daelim College of Technology, Anyang 431-050, Korea*

*\*Division of Ceramics, KIST, Seoul 136-791, Korea*

*\*\*Department of Ceramic Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

요 약 이트리아 안정화 지르코니아(Y-TZP)에 5가 산화물( $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$ )을 첨가하여 1500°C 온도에서 상압소결한 삼성분계중 quasi-binary system인  $ZrO_2$ - $YTa(Nb)O_4$ 의 조성영역 안에서 상 안정성을 관찰하기 위해 상태도를 작성하였으며, 결정립 크기나 annealing 온도에 상관없이 상 안정성을 유지하는 non-transformable t- $ZrO_2$  solid solution( $NT_{ss}$ )영역을 확인하고 안정화 mechanism을 조사하였다.  $NT_{ss}$ 의 상 안정성은 정방정 fergusonite 구조를 갖는  $YTa(Nb)O_4$ 의 안정화로 상 변태를 억제하여 우수한 상 안정성을 유지하는 것으로 추정되었다. 기계적 특성을 향상시키기 위해 상 변태율이 가장 좋은 transformable-TZP ( $T_{ss}$ )를  $NT_{ss}$ 에 첨가하여 조사한 결과 mixture의 조성이  $NT_{ss}$ 영역밖의  $T_{ss}$ 영역에 위치하여도 상 안정성과 우수한 기계적 특성을 갖는다는 것이 발견되었다.

Abstract Yttria-stabilized TZP alloyed with pentavalent oxides ( $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$ ) were fabricated by the conventional sintering method at 1500°C in air to construct the simplified ternary phase diagram. The phase stability of tetragonal- $ZrO_2$  from the quasi-binary system  $ZrO_2$ - $YTa(Nb)O_4$ , which do not transform to monoclinic- $ZrO_2$  even for a wide range of

grain size and annealing temperature, was investigated to determine composition region of the non-transformable  $t$ -ZrO<sub>2</sub> solid solution (NT<sub>ss</sub>). Phase stability of NT<sub>ss</sub> was probably due to the enhanced stability of YTa(Nb)O<sub>4</sub> having the tetragonal fergusonite structure. It was experimentally found that mixtures having NT<sub>ss</sub> alloyed with T<sub>ss</sub> by weight % showed both excellent phase stability of  $t$ -ZrO<sub>2</sub> and fracture toughness even though the calculated composition of the mixture was located outside NT<sub>ss</sub> composition region.

## 1. 서론

우수한 기계적 성질을 갖는 지르코니아 (TZP)는 구조 세라믹으로써 관심의 대상이었으나, 저온에서(100~400°C) 정방정( $t$ -ZrO<sub>2</sub>) 상이 단사정( $m$ -ZrO<sub>2</sub>) 상으로 상변태로 인하여 급격한 기계적 물성의 저하를 초래하여 사용에 제약이 되어왔다. 상온에서 준안정상인  $t$ -ZrO<sub>2</sub>을 안정화시키기 위하여 연구가 꾸준히 진행되었으며, 일반적으로 결정립 크기를 줄이거나 안정화제를 첨가하면  $t$ -ZrO<sub>2</sub> 상이 안정화되지만 상대적으로  $t$ -ZrO<sub>2</sub> 상의 안정화로 응력 유리 상변태가 어려워져 파괴인성값의 저하를 초래하였다.

Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 안정화 TZP(Y-TZP)에 4가의 산화물들(CeO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, etc.) 첨가하여 상 안정성을 유지하였지만 상대적으로 응력 유리 상변태의 저하로 강도값의 저하를 초래하였다 [1,2]. 결정립 크기나 annealing 온도에 상관없이 뛰어난 상 안정성을 유지하면서 기계적 성질이 우수한 5가의 산화물인 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가한 TZP의 연구결과가 보고되었다 [3]. 1550°C에서 10시간 상압소결한 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 첨가된 시편의 경우 3점 곡강도값과 dummy indentation 방법으로 측정한 파괴인성값이 각각 500MPa, 9MPam<sup>1/2</sup>이었고, 1400°C에서 1시간 hot-pressing한 같은 시편의 경우에는 4점 곡강도값과 dummy indentation 방법으로 측정한 파괴인성값이 각각 1GPa, 7.5MPam<sup>1/2</sup>

이었다. hot-pressing한 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가한 TZP의 기계적 특성은 상용 3Y-TZP보다 우수하였다.

1500°C 온도의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZrO<sub>2</sub> 삼성분계에서 안정화된 TZP는 YTaO<sub>4</sub>의 특정 조성 영역안에서 관찰되었다고 발표되었다 [4]. 관찰된 안정화된  $t$ -ZrO<sub>2</sub> 영역은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 1:1 몰비인 YTaO<sub>4</sub>의 15~22 mol% 조성 영역이었고, 상 안정성은 ZrO<sub>2</sub>와 유사한 구조를 가진 YTaO<sub>4</sub>가 안정화제 역할을 한다고 설명하였다. YTaO<sub>4</sub>의 양이 증가할수록  $t \rightarrow m$ ,  $m \rightarrow t$  상변태의 온도가 감소하여 저온열화의 구동력을 감소시키는 작용을 하여 정방정 상이 안정화되며 tetragonality가 증가 할지라도 응력 유리 상변태의 저하로 파괴인성값은 감소하였다. 즉, 이 조성의  $t$ -ZrO<sub>2</sub> 상 안정성은 YTaO<sub>4</sub>의 양이 증가할수록 안정화된 입방정이 형성되기보다는 정방정의 fergusonite 구조를 가진 YTaO<sub>4</sub>가 형성되어 tetragonality( $c/a$  ratio)값의 증가와 관계없이 우수한 상 안정성을 유지하였다. 따라서, 본 연구에서는 상압소결된 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb(Ta)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZrO<sub>2</sub> 삼성분계에서 상 안정성이 우수한  $t$ -ZrO<sub>2</sub> 조성영역을 찾아내어 상태도를 작성하고 안정화 mechanism을 조사하는데 있다.

## 2. 실험방법

ZrO<sub>2</sub> (Tosoh Inc., Tokyo, Japan), 3Y-TZP (Tosoh Inc., Tokyo, Japan), Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Aldrich사제, 순도 99.99%), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Aldrich사제, 99.9%), Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Aldrich사제, 순도 99.99%)를 출발물질로 사용하고 조성별로 혼합된 분체를 폴리에틸렌 병에 지르코니아 불과 함께 에탄올을 매체로 하여 24시간 동안 습식 혼합하였다. 건조된 혼합 원료분말을 1100°C에서 4시간 하소한 다음 attrition mill을 이용하여 지르코니아 불과 에탄올을 매체로 하여 1시간동안 분쇄하였다. wet sieving(#325) 후 건조된 분말은 100 메쉬 체에서 체조립하여 과립을 얻었으며 1차 성형 후 138 MPa의 압력으로 정수압 성형하여 직경 12 mm, 두께 10 mm와 직경 28 mm, 두께 40 mm가 되는 원판형 성형체와 34×34×5 mm가 되는 판형태의 성형체를 제조하였다.

제조된 성형체는 6°C/min의 속도로 900°C까지 승온시킨 후 3°C/min의 속도로 각 소결온도까지 승온한 다음 2시간에서 최대 15시간까지 유지시킨 후 로냉하였다. 소결온도는 1450°C에서 1650°C까지 변화시켰다. 소결체 시편의 절보기 밀도는 아르키메데스 방법에 의하여 측정하였으며 미세구조는 소결 시편의 표면을 자동연마기로 0.04 μm까지 표면 연마하고 소결온도보다 50°C 낮은 온도에서 12분 열 에칭 후 주사현미경(SEM)으로 관찰하였다.

저온 및 고온 열화 시험은 220°C에서 100시간동안 유지시킨 후 X-ray를 이용하여 상 분석을 하였으며, 단사정과 입방정의 상분율은 참고문헌[5]에 의거 계산하였다. 또한 이론밀도는 X-ray를 이용하여 격자상수를 측정하고 물비를 고려하여 계산되어졌다. 판형태의 소결체는 Maruto cutter기를 이용하여 3×4×24 mm의 크기로 절단한 후, 가공중

에 발생할 지 모를 상변태를 제거하기 위해 1200°C에서 1시간동안 annealing 하였다. 시편의 기계적 특성인 곡강도는 만능시험기기(Instron 사제, Model 4202)를 이용하여 0.5 mm/min의 인장속도로 곡강도 실험을 하였으며, 파괴인성은 Vickers 미세경도기를 이용하여 원형소결체 표면에 하중 294 N의 조건으로 압흔한 후 균열의 길이를 측정하여 Evans 와 Charles[6]의 Indentation method로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZrO<sub>2</sub>의 삼성분계에서는 결정립 크기나 저온열화 온도에 상관없이 상 안정성이 우수한 non-transformable(NT) TZP가 Fig. 1에 도시된 바와 같이 A(90mol%ZrO<sub>2</sub>-5.5mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-4.5mol%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), B(89mol%ZrO<sub>2</sub>-6mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5mol%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), C(85mol%ZrO<sub>2</sub>-7.5mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7.5mol%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)에 둘러싸인 영역안에서만 존재하였다. Fig. 1에서 보는바와 같이 NT-TZP는 t-ZrO<sub>2</sub> single phase(T<sub>ss</sub>) 영역안에서 YNbO<sub>4</sub>와 입방정, 정방정(C<sub>ss</sub>+T<sub>ss</sub>) solid solution과의 경계안에 존재하였다. t-ZrO<sub>2</sub> single phase는 저온열화 시 쉽게 m-ZrO<sub>2</sub> 상으로 상변태가 발생하므로 transformable-TZP로 알려져 있고, 상 안정성만 제외하고는 일반적으로 높은 강도와 인성을 갖고있다. 하지만, 저온열화로 상변태가 발생되면 기계적 특성이 급격히 저하되는 단점이 있다. NT-TZP가 YNbO<sub>4</sub> 단일상 경계부근에 존재하는데 이는 YNbO<sub>4</sub>가 ZrO<sub>2</sub>와 유사한 성질을 갖고 있다는 점이다. 즉, 900°C 이하의 온도에서는 단사정인 fergusonite구조를 가지며 900°C 이상의 온도에서는 정방정인 scheelite(CaWO<sub>4</sub>) 구조

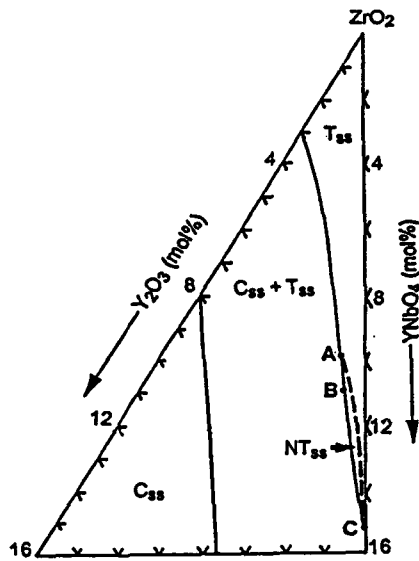


Fig. 1. Part of the ternary phase diagram for the system  $Y_2O_3$ - $Nb_2O_5$ - $ZrO_2$  at  $1500^\circ C$ .  $T_{ss}$ ,  $C_{ss}$ , and  $NT_{ss}$  are tetragonal, cubic, non-transformable  $ZrO_2$  solid solution, respectively. A, B, and C indicate 5.5mol%  $Y_2O_3$ -4.5mol%  $Nb_2O_5$ -90mol%  $ZrO_2$ , 6mol%  $Y_2O_3$ -5mol%  $Nb_2O_5$ -89mol%  $ZrO_2$ , 7.5mol%  $Y_2O_3$ -7.5mol%  $Nb_2O_5$ -85mol%  $ZrO_2$ , respectively.

를 갖는다. 하지만,  $YNbO_4$ 의 상변태는  $ZrO_2$ 의 상변태와는 전혀 다른 형태로 발생한다.  $YNbO_4$ 의 상변태시 급격한 부피변화에 따른 crack이 발생되지 않았다. TEM 관찰결과  $t \rightarrow m$  상 변태시 250 Å간격의 twinning이 관찰되었다고 발표되었다[7]. 이는 200 Å간격마다 twinning이 관찰되는 부분안정화 Mg-PSZ의 경우와 잘 일치하였다[8].

본 실험의 NT-TZP 조성(5.46mol%  $Y_2O_3$ -4.63mol%  $Nb_2O_5$ -89.91mol%  $ZrO_2$ )을 가진 시편을  $1550^\circ C$  온도에서 5시간 상압소결 후  $1500^\circ C$ 에서 12분 열에칭하여 SEM으로 관찰 결과 Fig. 2에서 보는바와 같이 결정립(2.1  $\mu m$ )들이 균일하게 성장하였으며, TEM 관찰

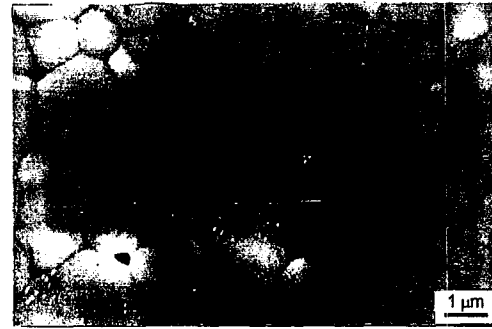


Fig. 2. Scanning electron micrograph of the as-sintered non-transformable TZP having a composition of 5.46mol%  $Y_2O_3$ -4.63mol%  $Nb_2O_5$ -89.91mol%  $ZrO_2$  in the system  $Y_2O_3$ - $Nb_2O_5$ - $ZrO_2$  at  $1550^\circ C$  for 5h in air.

시 결정립내에 상 변태로 인한 twinning현상들이 발견되지 않았으며 XRD에서는 정방정 상만 관찰되었다. 시편의 정방정 상은  $200^\circ C \sim 1000^\circ C$ 까지 각온도에서 100시간동안 열처리를 하여도 정방정 상만을 유지하였다.  $YNbO_4$ 의 상변태는 가역적으로 일어나므로 위 조성의 시편을 파단후  $m$ - $ZrO_2$ 의 양을 측정 한 결과 33%가 발생되었지만  $1200^\circ C$ 에서 1시간 열처리 후에는 정방정 상으로 전부 변화하였다. 즉, 응력유기 상변태에 참여하는  $t$ - $ZrO_2$ 의 양이 33%이었으며 상 변화에 참여하지 않는 67%의 정방정 상이 안정화되어 있었으므로 파괴인성을 측정한 결과  $5MPam^{1/2}$ 의 낮은 값이 관찰되었다. 따라서, NT-TZP의 상 안정성은 상태에서 보는 바와 같이 입방정 상과  $YNbO_4$  single phase경계에 위치하므로 fergusonite구조를 가진  $YNbO_4$ 의 정방정 상이 안정화되면서 transformable- $ZrO_2$ 의 상 변화를 억제하는 것으로 추정되었으며  $YNbO_4$ 가 NT-TZP의 안정화제 역할을 하는 것으로 추정되었다.

$Nb^{5+}$ 와  $Ta^{5+}$ 는 비슷한 이온크기를 갖는

같은 5가 산화물이기때문에 기 발표된 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZrO<sub>2</sub> 삼성분계에서 언급되었던 fergusonite 구조를 갖는 YTaO<sub>4</sub> 영역에서만 보고되었던 상 안정성이 우수한 NT t-ZrO<sub>2</sub> phase가 어느정도 transformable t-ZrO<sub>2</sub> single phase 영역안까지 걸쳐져 존재 할 것이라고 추정되었다. XRD 관찰결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 A(8mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-85mol% ZrO<sub>2</sub>), B(9mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80mol% ZrO<sub>2</sub>), C(11mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-11mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-78mol% ZrO<sub>2</sub>)에 둘러싸인 삼각형 조성영역안에서만 존재한다는 것이 관찰되었다. NT-TZP의 조성영역은 기발표된 YTaO<sub>4</sub>

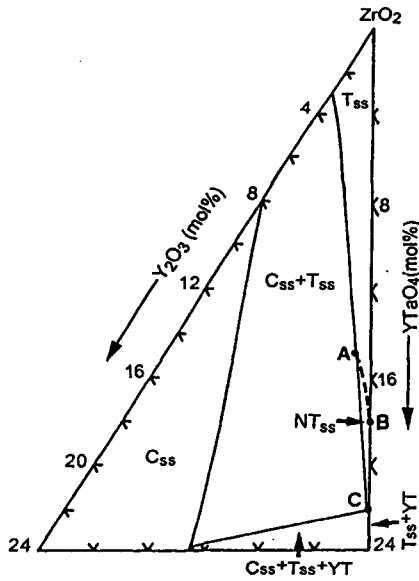


Fig. 3. Part of the ternary phase diagram for the system Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZrO<sub>2</sub> at 1500 °C. T<sub>ss</sub>, C<sub>ss</sub>, NT<sub>ss</sub>, and YT are tetragonal, cubic, non-transformable ZrO<sub>2</sub> solid solution, and YTaO<sub>4</sub>, respectively. A, B, and C indicate 8mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-85mol% ZrO<sub>2</sub>, 9mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80mol% ZrO<sub>2</sub>, 11mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-11mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-78mol% ZrO<sub>2</sub>, respectively.

의 15~22mol% 조성영역보다는 좁은 17~22mol%의 영역과 t-ZrO<sub>2</sub> single phase와 C<sub>ss</sub>+T<sub>ss</sub>의 경계영역안에 존재한다는 것이 실험적으로 관찰되었다. YTaO<sub>4</sub>는 YNbO<sub>4</sub>나 ZrO<sub>2</sub>와 같이 유사한 상변태를 하는데 1400°C이하의 온도에서는 단사정의 scheelite구조를 갖으며 1400°C이상의 온도에서는 정방정의 scheelite구조를 갖는다. 하지만 NT-TZP의 경우 XRD에서는 밝혀지지 않지만 Raman 실험시 466 cm<sup>-1</sup>에서 전형적인 MO<sub>2</sub> (M=Zr<sup>4+</sup>, Ce<sup>4+</sup>, Th<sup>4+</sup>, U<sup>4+</sup>) 산화물인 fluorite구조의 line이 관찰되지 않은 사실[4]과 tetragonality의 c/a ratio가 NT-TZP조성의 경우 1.0203보다 큰 것은 안정화 되려고 입방정 구조로 변하기 보다는 정방정의 fergusonite구조를 갖는 YTaO<sub>4</sub>의 생성으로 안정화가 이루어진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 5가 산화물이 첨가된 삼성분계에서의 상 안정성은 조성(composition)의 함수이며, 5가와 3가의 첨가된 양이 비슷한 YTaO<sub>4</sub> 혹은 YNbO<sub>4</sub>의 단일상 경계와 입방정 상이 존재하는 경계영역 부근에서 형성되는 NT-TZP는 t-ZrO<sub>2</sub>를 안정화 시키기 위해 결정립 크기를 작게하거나 첨가제를 통한 기존의 안정화 mechanism과는 다른 효과에 의해 안정화 된다는 것을 알 수 있었다. 상 변태율이 좋은 t-ZrO<sub>2</sub> TZP(T<sub>ss</sub>)는 5가 산화물의 양이 증가함에 따라 tetragonality(c/a ratio)가 증가하였으며, tetragonality의 증가는 internal stress의 증가를 초래하여 저온열화를 촉진시켰다. 1.5 mol%의 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 3Y-TZP에 첨가하여 1500°C에서 1시간 상압소결한 경우의 tetragonality는 1.0189이었고 파괴인성값은 11MPam<sup>1/2</sup>이며 파단시 95%의 m-ZrO<sub>2</sub>가 형성되었다. 상대적으로 NT-TZP(9mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8.75mol% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-82.25% ZrO<sub>2</sub>)를 1550°C 온도에서 5시간 상압소결한 경우, tetragonality

의 높은 값(1.0218)에도 불구하고  $4.5\text{MPam}^{1/2}$ 의 낮은 인성값은 조성영역에 따라 저온열화 mechanism이 변하며 이 경우에는 tetragonality 영향과는 무관하였다. 즉, Fig. 3에서 A→B→C로 조성을 변화시키면서  $1550^\circ\text{C}$  온도에서 10시간 상압소결 후 기계적 특성을 조사한 결과,  $\text{YTaO}_4$ 의 양이 증가하여  $\text{YTaO}_4$  영역( $T_{ss} + \text{YT}$ , C)까지 도달함에 따라 파괴인성값은  $5.2 \rightarrow 3.8 \rightarrow 2.7\text{MPam}^{1/2}$ 로, 4점 곡강도 값은  $420 \rightarrow 130\text{MPa}$ 로 감소하였다. 이는 서론에서 언급하였던 것 처럼 조성이 단일상인 YT영역으로 갈수록  $\text{YTaO}_4$  정방정 상의 안정화로 응력 유기 상변태가 억제되어 우수한 상 안정성에도 불구하고 기계적 특성의 저하를 초래하였다.

위 문제점은 상 안정성이 우수한 NT-TZP ( $\text{NT}_{ss}$ )에 상 변태율이 우수한  $T_{ss}$ 을 중량비로 첨가하여 서로의 특성을 보완하여 해결하였다.  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$  삼성분계에서 상 변태율이 가장 좋은  $3\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}1.5\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}95.5\text{mol}\% \text{ZrO}_2$  (3Y-1.5Nb-TZP)를 선택하여 중량비로 NT-TZP에 첨가하여 mixture를 만들어 기계적 특성과 상 안정성을 조사한 결과, NT-TZP인  $5.75\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}5.0\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}89.25\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ 에 3Y-1.5Nb-TZP를 중량비로 15% 첨가하여  $1550^\circ\text{C}$  온도에서 10시간 상압소결 하였을 때 결정립 크기나 annealing 온도에 상관없이 우수한 상 안정성을 얻었으며  $9\text{MPam}^{1/2}$  높은 인성값이 발견되었다[3]. 인성값은 상용 3Y-TZP보다 2배 정도 높은 값이었다. 이 mixture를 단일조성으로 환산하면  $5.31\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}4.45\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}90.24\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ 이었다. 이 조성은 Fig. 1의 상태도에서  $\text{NT}_{ss}$  조성영역의 밖인 저온열화가 일어나는  $T_{ss}$ 영역에 위치하였다. 단일조성을 직접 제작하여 annealing을 하면 단사정으로 상 변태가 발생하나, mixture의 경

우에서는 상 변태가 발생하지 않았다.  $1550^\circ\text{C}$  온도에서 5시간 상압소결한 mixture의 경우 파단후 파단면에서 48%의 m-ZrO<sub>2</sub> 상이 관찰되었다. 이는 matrix인 NT-TZP가 transformable TZP인 3Y-1.5Nb-TZP에 의해 발생하는 상 변태에 의한 격자 distortion을 제어하여 상 안정성을 유지하면서 파단시 같은 외부 응력 조건의 경우에는 transformable TZP의 효과에 의해 상 변태가 촉진되어 상호 단점을 서로 보완해 주는 것으로 추정되었다.

#### 4. 결 론

$\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$  삼성분계에서 상 안정성이 우수한 NT-TZP가 일정 조성영역안에 존재한다는 것이 확인되었다.  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$  삼성분계에서의 NT-TZP 조성영역은  $8\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}7\text{mol}\% \text{Ta}_2\text{O}_5\text{-}85\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ ,  $9\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}9\text{mol}\% \text{Ta}_2\text{O}_5\text{-}80\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ ,  $11\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}11\text{mol}\% \text{Ta}_2\text{O}_5\text{-}78\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ 에 둘러싸인 삼각형 조성영역안에 존재하였다.  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$  삼성분계의 NT-TZP 조성영역은  $5.5\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}4.5\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}90\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ ,  $6\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}5\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}89\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ ,  $7.5\text{mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3\text{-}7.5\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5\text{-}85\text{mol}\% \text{ZrO}_2$ 에 둘러싸인 영역안에서만 존재하였다. 상 안정성은 3가와 5가 산화물의 비슷한 몰비의 혼합인 fergusonite 구조를 가진  $\text{YTa(Nb)O}_4$ 의 정방정 상의 안정화 때문이라 추정되었으며, 안정화 때문에 응력 유기 상변태의 저하를 유발시켜 인성의 감소를 초래하였다. 인성의 감소는 상 변태율이 좋은 transformable TZP를 중량비로 15% 첨가시 최적의 기계적 성질과 상 안정성을 동시에 나타내는 것

이 실험적으로 관찰되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술처 특정연구사업(#U-01830) 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [ 1 ] M.M.R. Boutz, A.J.A. Winnubst, B. Van Langerak, R.J.M. Olde Scholten, Huis and K. Kreuwel, A.J. Burggraaf, *J. Mater. Sci.* 30 (1995) 1854.
- [ 2 ] H. Hofmann, B. Michel, L.J. Gauckler and J. Allemann, Effects of oxide additions on the stability of the tetragonal phase in TZP ceramics, in *Ceramic Transactions Vol. 12, Ceramic Powder Science III* edited by G.L. Messing, S. Hirano, and H. Hausner, (American Ceramic Society, OH, 1990) pp.961-970.
- [ 3 ] D.Y. Lee, D.-J. Kim, D.-H. Cho, M.-H. Lee, *Ceram. Intl.*, in press.
- [ 4 ] D.-J. Kim and T.-Y. Tien, *J. Am. Ceram. Soc.* 74(12) (1991) 3061.
- [ 5 ] R.C. Garvie and P.S. Nicholson, *J. Am. Ceram. Soc.* 55(6) (1983) 303.
- [ 6 ] A.G. Evans and E.A. Charles, *J. Am. Ceram. Soc.* 59 (1976) 371.
- [ 7 ] C. Quinn and R. Wusirika, *J. Am. Ceram. Soc.* 74(2) (1991) 431.
- [ 8 ] C.A. Bateman and M.R. Notis, *J. Mater. Sci. Lett.* 9(7) (1990) 803.