

Zirconia-Glass frit 조성에서 MgO 및 착색료가 소결체의 색상 변화에 미치는 영향

권은자¹, 최에스더¹, 이규선², 이채현^{3*}
¹해전대학 치기공과, ²동남보건대학 치기공과, ³배재대학교 재료공학과

Effect of MgO and coloring agents on the coloring in zirconia-glass frit system

Eun-Ja Kwon¹, Esther Choi¹, Gyu-Sun Lee² and Chae-Hyun Lee^{3*}

¹Dept. of Dental Technology, Hyejeon College

²Dept. of Dental Technology, Dongnam Health College

³Dept. of Materials Engineering, Paichai University

요 약 지르코니아(3Y-ZrO₂)에 frit을 첨가하고 MgO를 조제로 첨가하거나 혹은 하소된 성형체에 액상의 착색료에 침지하는 방법을 통하여 착색하고 얻어진 소결체의 물성과 색상 변화를 고찰하였다. Frit가 20 wt% 첨가된 지르코니아-frit조성에 MgO가 첨가됨에 따른 색상의 변화는 소결온도가 높아짐에 따라 구별가능한 정도로 효과가 있음을 확인하였다. 이 때 색상의 변화 정도는 MgO의 첨가량 변화에 의한 효과 보다는 소결 온도의 변화에 의한 효과가 더 크게 나타났음을 확인할 수 있었다. 액상의 착색료에 침지한 후 소결한 경우에는 frit의 첨가량이 증가함에 따라 반사도가 증가하는 것으로 나타났으며 착색료에 침지하지 않은 경우에 비하여 색상의 변화가 감소함을 알 수 있었고 frit은 색상의 변화를 억제하는 것으로 나타났다.

Abstract The effects of MgO and coloring agents on the physical properties and color of zirconia based ceramics with glass frit were studied. The addition of MgO was effective on the coloring of zirconia-20wt% glass frit system. Major factor on the coloring was turned out to be sintering temperature. Coloring agents was turned out to be more effective than the addition of MgO on the coloring of zirconia base ceramics. Specimen without glass frit showed drastic change in color, while specimen with 20wt% glass frit revealed a limited change in color. This means that the addition of glass frit suppresses the coloring of zirconia based ceramics. The effect of sintering temperature on coloring revealed little change in color.

Key Words : 3Y-ZrO₂, MgO, Coloring agents

1. 서론

현실적으로 고령화 사회에 접어들고 있는 현 시점에서 생활수준과 삶의 질 향상을 위한 노력과 관심이 크게 대두되고 있다. 과거 치과재료는 물리적인 성질이 우수한 금속재료를 주로 사용하였으나 지속적으로 심미성이 높은 재료를 요구하고 있다. 치의학의 발전은 심미성이 우수한 재료들의 개발과 발전을 가져왔으며, 치과용 금속과

유사한 강도를 가지면서도 금속의 비심미적인 요소를 극복할 수 있는 지르코니아를 이용한 보철물의 제작이 많아지고 있는 추세이다. 지르코니아는 zirconium 산화물(ZrO₂)로써 기계적 특성이 우수하며, coloring oxide를 이용하여 다양한 색조표현이 가능하다는 장점이 있다[1]. 심미치과용 수복물 재료의 요구조건은 빛의 투광성과 색의 안정성, 충분한 강도, 우수한 변연적합도 및 생체적합성을 가져야한다[2]. 지르코니아는 기본적으로 유백색을

본 논문은 2008년 해전대학 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 이채현 (chlee@mail.pcu.ac.kr)

접수일 09년 05월 25일

수정일 09년 07월 14일

게재확정일 09년 08월 19일

피며 산란광을 통과시키는 투광성(translucency)이 있으므로 자연치아와 유사한 색을 내는데 유리하며[3], 높은 마모저항성과 생체적합성을 가진 재료로 파괴인성 또한 높아 파절에 강하다[4,5]. 그러나 순수한 지르코니아는 소결한 후 상온으로 냉각 시에 정방정상에서 단사정으로의 전이가 일어나는데 이 때 약 3~5%의 부피팽창을 유발하여 재료의 균열을 야기하게 된다[6]. 그러므로 이러한 전이가 일어나지 않도록 MgO, Y₂O₃, CaO 등의 안정화제를 첨가하여 안정화된 지르코니아(PSZ)를 형성하는 경우 우수한 강도의 강화효과를 가져올 수 있다[7,8].

순수한 지르코니아에 구조안정화제인 Y₂O₃를 첨가한 이트리아 안정화 지르코니아(Y-TZP)는 높은 기계적 강도와 체적 안정성 및 내구성 등이 우수하며, 치밀한 형태로 열가압, 소결 등의 일반적인 성형이 쉽지 않다[9]. 따라서 지르코니아는 심미치과 영역에서 첨단 신소재로써 개발되기 시작하여, CAD/CAM 시스템의 개발과 발전으로 인해 치과적으로 이용이 가능하게 되었다[10]. 또한 최근 세계경제 상황의 혼란으로 인한 금(Au)값의 폭등으로 인해 가격경쟁력이 약화되어 가격안정성에서 보다 우위를 차지하고 있는 지르코니아가 현재 치과계에서 요구하는 심미치과 수복재료의 조건을 만족시키는 우수한 첨단 신소재로써 치과계 전반의 많은 분야에 널리 사용되어지고 있다[11].

본 연구에서는 치과용 재료로서 널리 사용되고 있는 지르코니아계 세라믹스의 색상의 변화에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 지르코니아에 첨가제로 첨가하는 MgO 혹은 액상 착색료가 지르코니아계 치재의 색상변화와 미세구조에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 첨가제인 MgO의 함량을 변화시킨 방법과 액상의 착색료에 침지시키는 방법을 사용하여 colorimeter를 사용하여 반사도, 색상 등을 측정하여 지르코니아 세라믹스의 물성에 미치는 효과와 색상의 변화에 미치는 영향을 고찰해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구재료

본 연구에 사용된 원료는 지르코니아, 치재용 frit, 그리고 MgO이다. 지르코니아는 상용의 분말(TZ-3Y, Tosoh 사, Japan)을 별도의 가공 없이 사용하였다. 첨가제로 사용한 frit의 조성은 표 1과 같고 열팽창계수가 약 $13.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, 입도는 70 mesh 이하인 것을 사용하였다.

또 다른 첨가제인 MgO 역시 상용분말(Duksan Pharmaceutical, Korea)을 별도의 가공 없이 사용하였다.

[표 1] 치재용 프리트의 조성

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	BaO	CaO	Li ₂ O	Others
Frit	65.0	14.0	9.5	9.0	1.0	0.7	0.7	0.1

2.1 연구방법

2.1.1 시편제조

지르코니아에 20%까지의 frit를 혼합하고 색상 변화를 유도하기 위하여 지르코니아 소결 시의 소결첨가제의 형태로 MgO를 첨가하는 경우와 액상의 도재용 착색료(Vita사, Germany)에 하소된 시편을 일정시간 동안 침지한 후 소결하는 방법을 택하였다.

먼저 MgO를 첨가제의 형태로 첨가한 경우에는 지르코니아 분말에 frit와 MgO의 함량을 3, 5, 7wt%로 변화시켜 혼합하였으며, polypropylene 용기를 사용하여 알코올에 지르코니아 분말을 혼합한 원료를 첨가한 후 ball mill을 24시간 실시하였다. 혼합이 끝난 분말은 80°C에서 12시간 건조하고 80 mesh 체를 이용하여 체거름을 시행하였다. 소결을 위한 시편은 혼합된 분말을 금속 몰드에 넣고 1.1ton/cm²의 압력을 가하여 직경 10mm의 disc 시편을 제조하였다. 도재용 액상 착색료를 사용하는 경우는 성형된 시편을 600°C내지 800°C에서 1시간 동안 하소하여 시편이 강도를 얻도록 만든 후 착색료에 1분 동안 침지시킨 후 건조하여 준비하였다. 성형된 시편은 각각 1,300°C, 1,400°C, 1시간 동안 10°C/min의 승온 속도를 유지하며 공기 중에서 SiC를 발열체로 하는 박스형 전기로로 소결하였다.

2.1.2 분석방법

연어진 시편은 미세구조 관찰 및 분석, 측정을 하기 위하여 표면을 연마하였다. 표면 연마는 먼저 SiC Paper를 이용하여 #2,000까지 순차적으로 연마 한 후, 최종적으로 1µm의 다이아몬드 페이스트로 경면 연마 하였다. 미세구조는 광학 현미경(Optipot-100, Nikon, Japan)과 주사전자 현미경(ABT-32, Topcon, Japan)을 사용하여 표면 및 파 단면을 분석하였다. 시편에 존재하는 상을 분석하기 위하여 X-선 회절분석(XD-D1W, Shimazu, Japan)을 행하였다. 회절 분석 조건은 Cu-Kα선을 사용하여 분당 2°의 속도로 20°에서 80°의 2θ 범위에서 행하였다.

소결체의 밀도와 기공률은 끓는 증류수에서 시편의 기공 속에 증류수가 침입하도록 한 후, 증류수가 채워진 시편의 무게 및 매단 무게를 측정하여 아르키메데스법으로 측정하였다. 소결체의 색상분석은 disc 시편을 사용하여 colorimeter를 사용하여 행하였다.

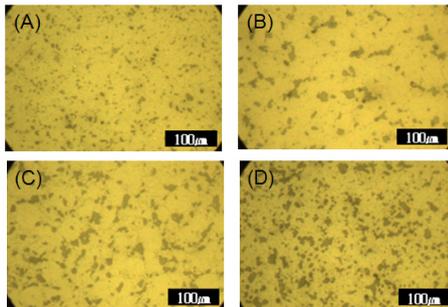
3. 결과 및 고찰

3.1 MgO 첨가에 의한 물성 변화 및 색상 변화

3.1.1 소결체의 물성

Frit을 20wt% 첨가한 시편에 MgO를 3~7wt% 첨가하여 소결하고 소결체의 물성과 색상 변화를 고찰하고자 하였다. 소결 후 얻어진 시편의 밀도는 소결 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여, 1300°C에서 소결한 시편에서 가장 높은 밀도를 나타내었다. MgO의 첨가량에 따라서는 MgO의 첨가량이 증가하면 밀도가 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 소결온도와 MgO의 첨가량의 영향을 모두 고려하면 최대의 소결 밀도는 3wt%의 MgO를 첨가하여 1,300°C에서 소결한 시편에서 96.4%의 상대밀도를 얻을 수 있었다. 그림 1은 소결 후 시편의 표면의 연마하여 광학현미경으로 관찰한 것이다. MgO의 첨가량이 증가함에 따라 기공의 크기가 커지고 기공의 양이 많아지는 것을 알 수 있다.

소결체의 강도 및 파괴인성 등의 기계적 물성은 대체적으로 MgO 첨가량에 따른 밀도의 변화 양상과 유사한 경향을 나타내었다. 최대 물성치는 MgO를 3wt% 첨가하여 1,300°C에서 소결한 시편에서 얻을 수 있었으며, 그 값은 3점 곡강도는 약 200 MPa, 파괴인성은 2.8 MPa · m^{1/2}, 그리고 Vickers 미세경도는 4.3 GPa로 나타났다.



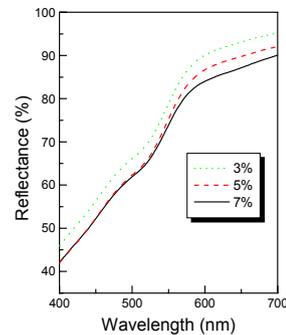
[그림 1] ZrO₂-20 wt% frit 계에서 연마된 표면의 광학현미경 사진. MgO의 첨가량 : (A) 0%, (B) 3%, (C) 5%, and (D) 7%

3.1.2 소결체의 색상 변화

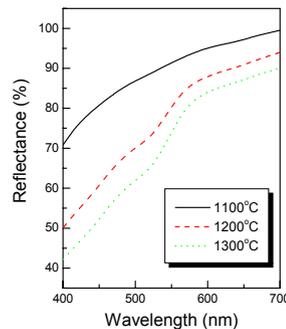
MgO 첨가에 의한 소결체의 색상 변화를 colorimeter를 사용하여 시편 표면으로부터의 반사도를 측정된 결과를 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 그림 2는 1,300°C에서 소결한 시편의 MgO 첨가량에 따른 반사도의 변화를 나타낸 것이다. 동일한 시편에서 파장에 따른 반사도는 파장이 짧을수록 낮은 값을 나타내고, 파장이 길어지면서

반사도가 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. MgO의 첨가량에 따른 반사도는 3wt%의 MgO를 첨가한 경우가 다른 경우에 비하여 약간 높은 것으로 나타났으나 5wt%와 7wt%의 MgO를 첨가한 시편에서는 파장이 550nm까지는 동일한 반사도를 보이다가 550nm이상의 장파장에서 5wt%의 MgO가 첨가된 시편에서 약간 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 전체적으로는 MgO의 첨가 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

그림 3은 MgO가 7wt% 첨가된 시편에서 소결온도에 따른 반사도의 변화를 측정된 결과를 보여주는 것이다. 전체적으로 볼 때 전 파장영역에서 소결 온도가 낮을수록 반사도가 큰 경향을 나타내었다. 1,100°C에서 소결한 시편의 반사도는 파장이 400nm일 때 약 70%를 나타내었으며, 파장이 700nm가 되면 거의 100%에 가까운 반사도를 나타내었다. 반면에 1,300°C에서 소결한 시편은 400nm의 파장에서는 약 42%로 낮아졌고 700nm에서도 90% 정도의 반사도를 나타내어 소결온도에 따른 변화가 그림 2의 MgO 첨가량에 비해 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 MgO의 첨가로부터 지르코니아의 색상의 변화를 얻을 수 있음을 확인하였다.



[그림 2] 1,300°C에서 소결된 지르코니아-프리트계 시편의 색상에 미치는 MgO의 영향.



[그림 3] 7 wt% MgO가 첨가된 지르코니아-프리트계 시편의 색상에 미치는 소결온도의 영향.

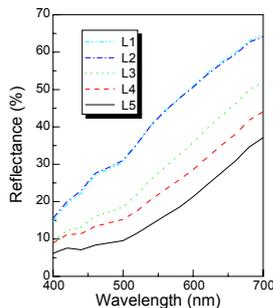
3.2 액상 착색료에 의한 색상 변화

3.2.1 착색료의 종류 및 열처리 온도의 영향

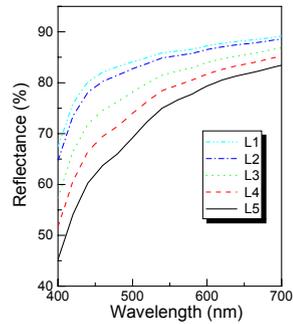
지르코니아-frit 소결체에 착색 물질로 도재용 액상 착색료를 택하여 하소하여 열린 기공이 존재하는 시편을 침지하여 액상 착색료가 침투하게 하고 소결을 행한 후에 지르코니아-frit 조성의 소결체의 색상 변화를 고찰하였다. 착색을 위하여 성형된 시편은 800°C에서 1시간 하소 후 액상 착색료에 1분간 침지한 후 소결하여 나타난 색상을 분석하고자 하였다. 이 때 사용한 착색료는 L1에서 L5까지의 색상이며 L1에서 L5로 변환에 따라 색상이 짙어지는 것이었다.

그림 4는 frit이 첨가되지 않은 시편을 800°C에서 1시간 하소하고 착색료에 1분간 침지시킨 후 1,300°C에서 열처리한 시편의 착색료 종류에 따른 색상변화를 고찰한 결과이다. 착색료 L1과 L2는 전 파장 영역에서 거의 같은 정도의 반사도를 나타내었으며, 색상의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 L3, L4, L5를 침지한 경우, 착색료의 색이 짙어짐에 따라 반사도가 낮아짐을 확인하였다. 그림 5에서는 frit이 10wt% 첨가된 지르코니아-frit에서의 착색료에 따른 반사도의 변화를 보여주고 있다. 모든 착색료에서 frit이 첨가되지 않은 경우에 비하여 반사도가 높아졌음을 알 수 있다. 이러한 경향은 frit의 첨가량이 더 증가하여도 유사한 경향을 나타내었으며, 이로부터 frit은 지르코니아 세라믹스의 반사도를 증가시키는 것으로 판단되었다.

한편 frit의 첨가량이 증가함에 따라 착색료의 종류별로 나타나는 반사도의 차이는 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 4에서 L1과 L2는 비록 같은 수준으로 나타났지만, 전체적으로 L1과 L5간의 반사도의 차이는 frit이 첨가된 그림 5에 비하여 크게 나타났음을 알 수 있다. 한편 frit의 첨가량이 20 wt%로 증가하면 L1과 L2 그리고 L4와 L5간의 반사도가 거의 같게 나타났으며 역시 거의 구별이 되지 않는 것으로 보인다.

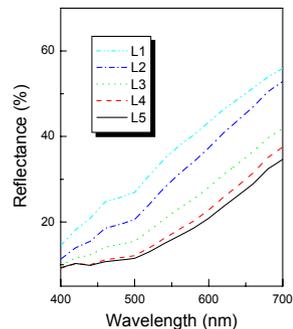


[그림 4] 프리트가 첨가되지 않은 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,300°C에서 열처리된 시편의 색상에 미치는 발색제의 영향.



[그림 5] 10 wt%의 프리트가 첨가된 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,300°C에서 열처리한 시편의 색상에 미치는 발색제의 영향.

그림 6은 frit이 첨가되지 않은 시편을 800°C에서 1시간 하소하고 착색료에 1분간 침지시킨 후 1,400°C에서 열처리한 시편의 착색료 종류에 따른 색상 변화를 고찰한 결과이다. 1,300°C에 비하여 전체적으로 반사도가 약간 낮아진 것을 확인할 수 있으며 착색료 간의 반사도 차이는 다소 감소한 것을 알 수 있다. 이 경우에는 L4와 L5간에 반사도 차이가 작게 나타난 것을 알 수 있다. 이와 같은 열처리 온도의 영향은 frit이 첨가된 경우에서도 같은 경향을 나타내었으며 열처리 온도가 높아지면 반사도가 감소하며, 착색료 간의 차이도 비슷한 경향을 보임을 알 수 있었다.



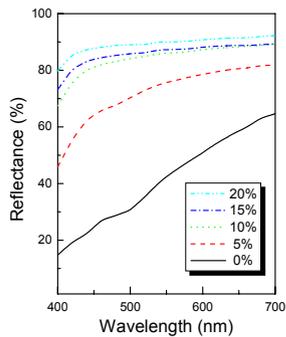
[그림 6] 프리트가 첨가되지 않은 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,400°C에서 열처리된 시편의 색상에 미치는 발색제의 영향

3.2.1 Frit 첨가량의 영향

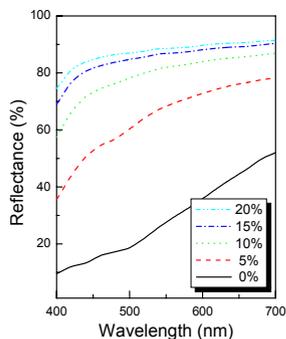
동일한 착색료를 사용한 경우에 frit의 첨가량에 따른 변화를 고찰하였다. 이 때 침지 조건은 800°C에서 하소하고 1분간 침지하는 것으로 고정하였다. 그림 7은 1,300°C에서 열처리한 시편에 대하여 L1의 착색료를 사용하였을 때의 frit 첨가량에 따른 반사도의 변화를 나타낸 것이다.

Frit이 첨가되지 않은 시편에서는 낮은 반사도를 나타내지만 frit이 첨가됨에 따라 반사도는 높아지는데, 5wt% 첨가되면 frit이 첨가되지 않은 경우에 비하여 크게 반사도가 높아지지만 frit의 첨가량이 점점 증가함에 따라 반사도가 높아지는 정도는 줄어들며, frit의 첨가량이 10wt% 이상인 경우에는 반사도의 차이는 크지 않다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 L3의 착색료를 사용하였을 경우에 대하여 고찰한 결과이다. Frit이 첨가되지 않은 시편에서는 L1 착색료에 비하여 반사도가 감소하였지만 frit이 첨가된 경우에 있어서는 L1과 비교할 때 파장이 짧은 영역에서만 다소 반사도가 감소한 것을 알 수 있다. Frit의 첨가량에 따른 반사도의 변화 양상은 그림 7과 같은 경향을 나타내어 frit이 첨가되지 않은 경우에 대하여 5wt%가 첨가된 경우에는 반사도의 차이가 큰 반면에, 10wt% 이상 첨가된 경우에는 상대적으로 반사도의 차이가 미미하였음을 알 수 있다. 그리고 전체적으로는 L1에서 L3, L5로 바뀔 때 따라 조성간의 반사도 차이가 커짐을 알 수 있었다.

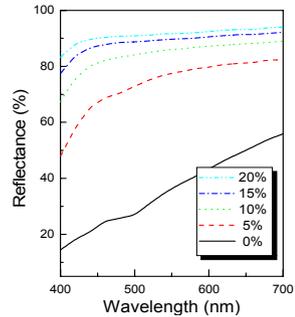


[그림 7] L1 발색제가 첨가된 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,300°C에서 열처리된 시편의 색상에 미치는 프리트의 영향.



[그림 8] L3 발색제가 첨가된 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,300°C에서 열처리된 시편의 색상에 미치는 프리트의 영향.

그림 9는 1,400°C에서 열처리한 경우에 대하여 L1 착색료에 첨가시킨 경우에 frit 첨가량에 따른 색상 변화에 대한 결과이다. Frit 첨가량에 따라 나타나는 반사도의 변화 양상은 1,300°C에서 열처리한 경우와 거의 유사한 경향을 나타낼 수 있다. 동일한 시편을 L3에 첨가시킨 경우에서의 색분석 결과도 1,300°C와 마찬가지로 L1에 비하여 L3의 경우에서 frit 첨가량에 따른 반사도의 변화 폭이 증가하고 있음을 알 수 있었다.



[그림 9] L1 발색제가 첨가된 지르코니아-프리트 계에서 800°C에서 하소하고 1,400°C에서 열처리된 시편의 색상에 미치는 프리트의 영향.

표 2는 이상의 시편들의 색분석 결과를 나타낸 것이다. 표의 자료들을 O'Brien 등[12]이 보고한 Vita shade guide 색상과 비교해 보면 frit이 첨가되지 않은 시편에 L1, L2 착색료를 사용한 경우는 Shade code B4에 근접한 값을 나타내고, frit이 5wt% 첨가된 L5의 경우는 A1에 근접한 값을 나타내었다. Frit의 양이 많아지면 L* 혹은 Y 값이 전반적으로 큰 값이 되어 shade의 기준에서 멀어지는 것으로 나타나고 있다.

[표 2] 1,300°C에서 소결된 시편에 대한 색상 분석표

content of frit (wt%)	coloring agent	CIE L* A* B*			Chromaticity coordinates		
		L*	a*	b*	Y	x	y
0	L1	71.61	4.79	24.84	43.09	0.38	0.37
	L2	71.62	4.67	23.88	43.10	0.37	0.37
	L3	60.62	7.98	25.65	28.82	0.39	0.37
	L4	55.11	8.27	21.83	23.04	0.39	0.37
	L5	47.38	10.70	22.80	16.31	0.41	0.37
5	L1	89.64	-0.85	9.70	75.53	0.33	0.34
	L2	89.22	-0.87	10.40	74.64	0.33	0.34
	L3	86.11	-0.35	14.31	68.21	0.34	0.35
	L4	82.36	0.88	18.74	60.96	0.35	0.36
	L5	79.38	1.59	19.77	55.59	0.36	0.36
10	L1	94.31	-0.49	3.75	86.01	0.32	0.32
	L2	93.90	-0.59	4.51	85.03	0.32	0.33
	L3	92.47	-0.74	6.74	81.77	0.32	0.33
	L4	91.15	-0.78	8.80	78.81	0.33	0.33
	L5	89.66	-0.76	11.43	75.57	0.33	0.34
20	L1	96.00	0.02	1.65	90.01	0.31	0.32
	L2	96.27	-0.06	1.87	90.65	0.31	0.32
	L3	95.40	-0.20	2.81	88.57	0.32	0.32
	L4	94.73	-0.42	4.00	86.99	0.32	0.32
	L5	94.83	-0.42	4.27	87.21	0.32	0.32

4. 결론

본 연구에서는 Zirconia-Glass frit 조성에서 MgO를 첨가하거나 혹은 하소된 성형체에 액상의 착색료에 침지하는 방법을 통하여 착색하고 얻어진 소결체의 색상 변화와 미세구조에 미치는 영향을 고찰하였다. Frit가 20 wt% 첨가된 Zirconia-Glass frit 조성에서 MgO가 첨가됨에 따른 색상의 변화는 소결온도가 높아짐에 따라 구별가능한 정도로 효과가 있음을 확인하였다. 이 때 색상의 변화 정도는 MgO의 첨가량 변화에 의한 효과 보다는 소결 온도의 변화에 의한 효과가 더 크게 나타났음을 확인할 수 있었다. 액상의 착색료에 침지한 후 소결한 경우에는 frit의 첨가량이 증가함에 따라 반사도가 증가하는 것으로 나타났으며 착색료에 침지하지 않은 경우에 비하여 색상의 변화가 감소함을 알 수 있었고 frit은 색상의 변화를 억제하는 것으로 나타났다. 한 편 열처리 온도에 따른 반사도의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 그리고 착색료의 효과는 L1에서 L5로 갈수록 반사도가 떨어지는 것으로 확인되었으며 L1에서 L5로 변화됨에 따라서 frit 첨가량에 따른 반사도의 차이가 커지는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] Joo YJ. "A Study on Marginal Fidelity of CAD/CAM All-ceramic Crown", Master Thesis of Graduate School of Dankook Univ. 1-31, 2003.
- [2] Seghi RR, Sorensen JA. "Relative flexural strength of six new ceramic materials". Int. J. Periodont:8: 239-246, 1995.
- [3] Luthardt RG, Sandkuhl O, Reitz B. " Zirconia-TZP and alumina- advance technologies for the manufacturing of single crowns", Eur. J. Prosthodont Restor Dent.:7(4): 113-119, 1999.
- [4] Kern M, Wegner SM, "Bonding to zirconia ceramic : Adhesion methods and their durability". Dent. Mater 14: 64-71, 1998.
- [5] Kosman T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L, "The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic", Dent. Mater 15(5): 426-433, 1999.
- [6] Bever MB, "Martensite transformation: crystallography, nucleation, phenomenology", encyclopedia of materials science and engineering:4: 2736-2747, 1986.
- [7] Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. "Ceramic steel

" , Nature, 703- 704, 1975.

- [8] Porter DL, Heuer AH. "Microstructural development in MgO-partially stabilized zirconia(Mg-PSZ)", J. Am. Ceram. Soc.:63: 298- 308, 1979.
- [9] Filser F. "All ceramic dental bridges by Direct Ceramic Machining", Materials in Medicine, Materials Day, Department of Materials, M.O. Speidel, P.J. Uggowitzer, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich, Zürich:May: 165-189. 1998.
- [10] Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spickermann H, Anusavice KJ, "Marginal fit of alumina and based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system", Oper. Dent.:26: 367-374, 2001.
- [11] Lee GS, Kwon EJ, Lee CH, "Effect of glass frit on the sintering behavior and mechanical properties of 3Y-ZrO₂", J. Dent. Hyg. Sci.:9: 75-81, 2009.
- [12] O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM, "A one-dimensional color order system for dental shade guides", Dent. Mater.:5: 371-374, 1989.

권 은 자(Eun-Ja Kwon)

[정회원]



- 2000년 2월 : 단국대학교 보건행정학과(보건행정학석사)
- 2007년 8월 : 배재대학교 재료공학(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 해전대학 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, 치과재료

최 에스더(Esther Choi)

[정회원]



- 2004년 8월 : 중앙대학교 보건학과(보건학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 해전대학 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, 치과재료

이 규 선(Gyu-Sun Lee)

[정회원]



- 1993년 8월 : 중앙대학교 보건행정학과(보건행정학석사)
- 2007년 8월 : 배재대학교 재료공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 동남보건대학 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 치과재료

이 채 현(Chae-Hyun Lee)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 무기재료공학과(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 재료공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : KAIST 재료공학과(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 배재대학교 정보전자소재공학과 교수

<관심분야>

세라믹스소결, 기능세라믹재료, 기계적 성질, 치과재료