

인공치용 바이오 세라믹스의 제조 및 특성(II) 기계적 특성과 색도 및 색차변화

고영호* · 한복섭** · 이준희

*연합철강 기술연구소

**부광산업

동아대학교 금속공학과

(1994년 7월 14일 접수)

Fabrication and Characteristics of Bioceramics for Artificial Dental Crowns (II) Mechanical Characteristics, Color and Color difference

Young-Ho Koh*, Bok-Seob Han** and Jun-Hee Lee

*Research and Development Center, Union Steel MFG. CO., LTD

**Bukwang Industry

Dept. of Metallurgical Eng., Eng. College, Dong-A Univ.

(Received July 14, 1994)

요 약

인공치용 바이오 세라믹스의 기계적인 특성을 고찰하기 위하여 3점 굽힘시험과 비커스 경도시험을 실시하였다. 3점 굽힘시험 결과 최대 약 68 MPa 값을 가지며 열팽창 계수는 유리기지에 첨가된 leucite 함량(0~30 wt.%)에 따라 $8.3 \sim 13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 값이 되었다. 광학특성은 유리와 leucite 분말로 치과용 도체를 제조하여 소성한 후 색도시험을 하였다. 접합시험 결과 도체(25% leucite-75% Glass)와 Ni-Cr 합금 사이의 결합은 우수하였다.

ABSTRACT

The tests of three point bending and vickers hardness have been carried out to investigate mechanical characteristics of bioceramics for artificial dental crowns. And color and color difference test has been performed to study chromaticity changes after sintering specimens composited with glass and leucite powders. In addition, thermal dilation test has been carried out to examine bonding relations between dental porcelain and metal frame (Ni-Cr alloy). The result of three point bending test showed a maximum strength of about 68 MPa. Thermal expansion coefficient changed from $8.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ to $13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ with increasing leucite content (0~30 wt.%) in glass matrix. Bonding between porcelain (25% leucite-75% glass) and Ni-Cr alloy was excellent.

Key words: Artificial dental crowns, Mechanical properties, Thermal expansion coefficient, Chromaticity changes

1. 서 론

치과분야에서 인공치용으로 사용되는 소결성 치과용 세라믹스는 도체(dental porcelain)로 잘 알려져 있다. 도체는 심미성(aesthetics)이 우수하고 생체조직과의 적합성(biocompatibility)이 양호하며 특히 내마모성이 우수하여 심미성 회복과 저작능력 회복(masticatory restoration)이라는 점에서 다른 종류의 재료보다 우수하다.

실제 치관은 금속체(metal frame)위에 여러층의 세라

믹스(opaque porcelain, dentine, enamel층)가 복합층을 형성하고 있으며, 금속과 결합되는 부분에 도포되는 세라믹스는 두 계면사이의 결합(bonding)을 향상시키기 위하여 금속체의 열팽창계수와 유사한 큰 열팽창계수($13 \sim 16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)가 요구된다.

현재 사용되고 있는 치과용 도체는 크게 2가지의 분말을 제조하여 사용하고 있다. 즉 열팽창계수가 큰 고폭창성 세라믹스(leucite)결정과 저온에서 소결 가능하고 화학적 내구성이 양호한 저용융 glass로 이루어져 있다.

이러한 도재는 고순도의 장석을 용융하여 장석질 유리를 제조하고 그 일부를 열처리등의 공정을 통하여 열팽창성과 기계적 강도등을 부여하는 leucite를 석출시켜 유리기지내 분포시키고, leucite의 함량비와 입도 및 색도를 조절한 후 인공치 제작용으로 사용되고 있다.

본 연구에서는 열팽창성과 기계적 강도등을 부여하는 leucite는 sol-gel법으로 제조하고 저용융 glass는 용융하여 각각 제조하였다. 이들 재료를 각각의 비율로 복합화하여 제조 및 소결특성을 전보(Ⅰ)에 보고한 바 있다. 본보(Ⅱ)에서는 sol-gel 법으로 제조한 leucite와 각각의 산화물 조성을 혼합 용해하여 제조한 glass분말을 혼합하여 소결한 후 구강내에 장착하였을 경우 실제치판으로 사용될 수 있는 충분한 강도 뿐만 아니라 여러 가지 색도를 갖는 치과용 재료를 개발하고자 이들의 열팽창성, 기계적 특성 및 색조특성을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료

본 연구에서 사용된 시료의 조성은 Table 1에 나타낸 바와 같이 sol-gel법에 의해서 제조된 leucite 결정과 Table 2의 glass 분말을 사용하였다. 입도분석은 알루미나 불밀에서 분쇄한 후 입도분석장치(MALVERN instruments S 3.01)을 이용하여 실시하였다. 그 결과 leucite를 불밀에서 8시간 분쇄했을 때 90% 정도가 약 32 μm 이하의 입자크기를 가지며 1% 정도가 약 1 μm 의 아주 미세한 입자 크기를 갖는다. Leucite 입자의 평균 입자 크기는 7 μm 이다. Glass는 불밀에서 4시간 분쇄한 결과 90% 정도가 약 90 μm 이하의 입자크기를 갖고, 30~50 μm 사이에 입자가 가장 많이 분포하고 있으며 평균입자 크기는 약 20~30 μm 이었다.

2.2. 소결

평균입자 크기가 약 20~30 μm 인 유리기지에 평균입자 크기가 약 7 μm 인 leucite를 5~30 wt.%까지 5 wt.%의 간격으로 첨가하여 twin shell에서 2시간 혼합하였다.

Leucite와 glass의 혼합분말은 "Dough Method"을 이용하여 cream 상으로 제조한 후 금형에 넣고 tap density를 증가시키기 위해 vibrator에서 충분히 진동시켜 표면 수분을 제거하였다. 금형으로부터 시편을 분리하여 각각의 소결온도(Firing Temp. = 5[leucite content, wt.%] + 1025 $^{\circ}\text{C}$, 2 Min., Pressure = 65 cm Hg)에서 소성하였다.

Leucite와 glass 분말을 복합화하여 경도시험 및 3점 굽힘시험(three point bending test)을 위해 15 \times 2 mm²인

Table 1. Composition of Leucite Crystals Fabricated by Sol-Gel Process.

Constituents	Content (mole)	Source of each Constituent
SiO ₂	4	Ludox-As 40
Al ₂ O ₃	1	Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O
K ₂ O	1	K ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·H ₂ O

Table 2. Composition of Glass in wt.%.

Constituents	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O
Content(%)	68	11	2	2	7	10

원형금형과 30 \times 5 \times 2 mm³의 금형을 각각 제작하였다.

2.3. 경도

유리분말에 5~30 wt.% leucite가 첨가된 세라믹스의 경도시험은 연마 및 정마후 비커스 경도기(Matsuzawa Seiki Co., LTD, No 7169M, Japan)를 사용하여 5 Kg·f의 하중으로 무질서하게 10번 측정된 평균치를 평균 경도값으로 하였다.

2.4. 강도 시험(transverse bending test)

유리기지에 leucite 함량을 30 wt.%까지 첨가하여 소성한 후 굽힘강도값을 알아 보기 위해 30 \times 5 \times 2 mm³ 크기의 시편을 연마 및 정마를 거쳐 평활하게 한 다음 인스트론(Instron 4301, England)으로 cross head speed 0.5 mm/min의 속도로 시편당 5번 3점 굽힘시험을 한 후 평균하였다.

2.5. 미세조직 관찰

소결체의 미세조직과 금속체위에 도포된 세라믹스와 금속체 사이의 결합성을 관찰하기 위해 현미경 시험을 시험준비법에 의하여 연마 및 정마를 거쳐 HF로 부식하였다. 미세조직은 광학 현미경(optical microscope, Nikon NEC-5)과 주사전자 현미경(SEM; JEOL, JSM-35(F))을 이용하여 관찰하였다.

2.6. 열팽창 실험

유리기지에 고펡창성 leucite를 30 wt.%까지 첨가하고, 길이 12 mm, 직경 3 mm인 시편을 각 온도에서 소결하여 제조한 후 실제 인공치 제조시에 적용되는 승온속도를 감안하여 dilatometer(Adamel BT-1000, France)에서 25 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 상온에서 1000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 시험을 행하

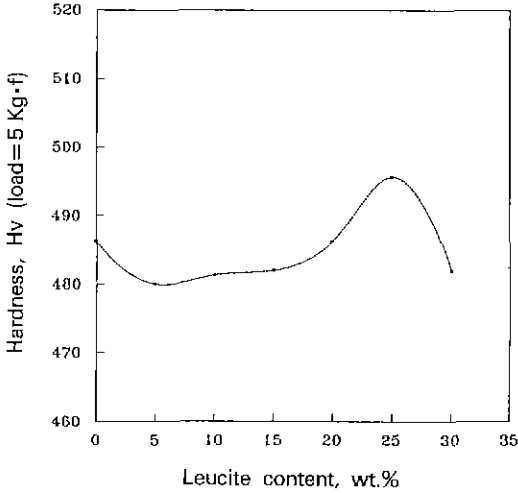


Fig. 1. Vickers hardness of glass matrix with amounts of leucite.

였다.

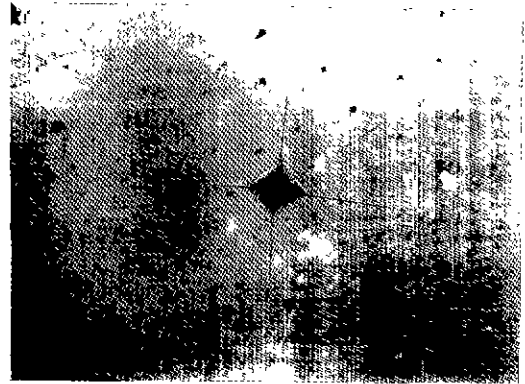
2.7. 색도 시험

실제 치관은 여러 층의 세라믹스(opaque porcelain, dentine, enamel층)가 복합층을 형성하고 있다. 따라서 실제치관과 유사한 복합층을 제조하여 복합층 형성에 따른 색차변화를 조사하기 위해 시편을 1, 2, 3층으로 제조하였다. 예를 들어 2층으로 된 시편의 경우, 우선 5% Leucite-95% Glass를 cream 상으로 만들어 소결한 후 그 위에 다시 10% Leucite-90% Glass를 약 1mm 두께로 축성한 다음 곧 바로 소결하여 2층의 복합층을 만드는 방법으로 시편을 각각 제조하여 색차시험을 행하였다. 색도시험은 Color and Color Difference Meter (TC-360DP Tokyo Denshoku Co. LTD, Japan)를 사용하여 색도(chromaticity)를 5번 측정한 후 평균하여 색차를 정하였다.

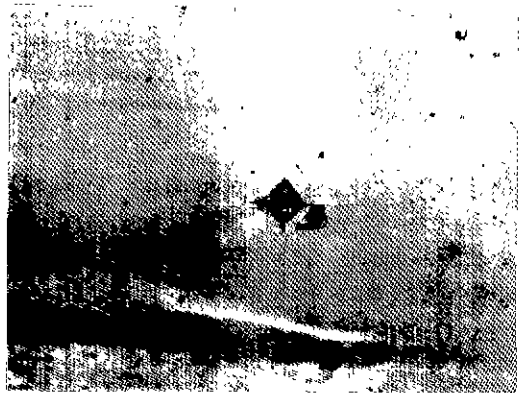
3. 실험결과 및 고찰

3.1. 경도 및 강도 시험

Fig. 1은 유리기지에 5~30 wt.%까지 고폽창 계수($\alpha = 20 \sim 25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)를 갖는 leucite 입자를 첨가하여 소성한 후 경도값을 측정한 것이다. Fig. 1에서처럼 leucite 입자가 5 wt.% 첨가되면 경도값은 약간 감소하지만 그 이후부터는 경도값이 점차 증가하여 유리기지에 25 wt.%의 leucite 입자가 첨가되었을 때 최고치를 나타낸다. 이처럼 유리기지에 leucite가 첨가됨에 따라 경도값이



(a)



(b)

Fig. 2. Illustration of the crack deflection of glass matrix (a) and leucite containing specimen (b) after indentation with 5 Kg·f load, respectively.

증가하는 것은 조대한 유리기지에 평균입자 크기가 약 7 μm 인 미세한 leucite가 첨가됨에 따라 glass 분말만의 소결에서 나타나는 78%의 소결밀도에 비해서 5% 정도 높은 소결밀도¹⁾에 기인한 결과로써, 이는 입자크기비 (D_L/D_s)가 약 15 : 1일 때까지 충전밀도비(fractional packing density)의 증가로 경도가 상승한다는 MacGeary등²⁾에 의한 연구결과와 일치하고 있다.

Fig. 2는 leucite 함량을 달리하여 소성한 후 압입(indentation)했을 경우 diamond 압자주위에 발생한 균열양상을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 glass 분말만으로 소성된 시편의 경우 diamond 압자주위의 균열양상이 직선적으로 나타나고 있지만, 유리기지에 leucite 입자가 첨가되면 leucite에 의해서 균열성장이 저지되거나 억제되어 균열양상이 직선이 아님을 알 수 있다. Fig. 3은 leucite 함량에 따른 균열길이를 나타낸다.

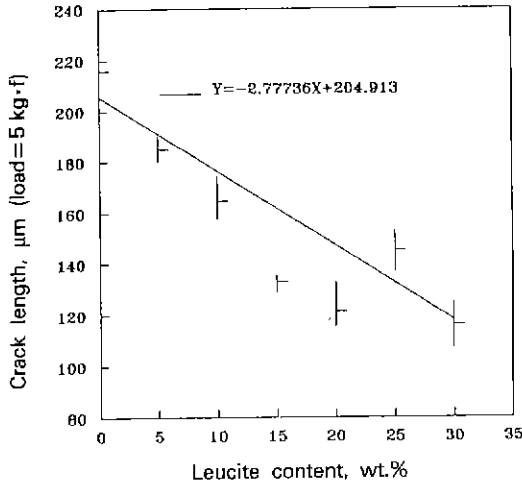


Fig. 3. Crack length of glass matrix with amounts of leucite after sintering at various temperatures.

Fig. 3에서와 같이 glass에 leucite 입자가 첨가되면 leucite 입자가 균열전파를 저지하거나 억제시키기 때문에 균열길이가 leucite 함량에 따라 감소되는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 3점 굽힘시험한 강도값을 나타낸다. leucite가 5 wt.% 첨가되었을 때 강도값이 감소되며, 그 이후부터는 강도값의 경향과 같이 조금씩 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 leucite 함량에 따라 강도가 증가하는 것은 강도값에서와 같이 복합화 효과와 함께 평균 입자크기가 약 7 μm인 leucite 입자가 유리소지에 첨가됨에 따라 소결밀도가 이론밀도의 83%까지 증가하기 때문인 것으로 생각된다⁶⁾. Fig. 4에서 보는 바와 같이 3점 굽힘 시험 결과 glass의 경우 68 MPa의 강도값을 나타내었고, 25 wt.%의 leucite가 첨가된 경우는 약 50 MPa의 강도값을 나타내지만 실제 치아용 crown으로 사용할 때 충분한 강도라 판단된다. 한편, 유리기지에 5 wt.%의 leucite 입자가 첨가되었을 때 강도와 강도의 경향성은 일치하고 있지만 강도값의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다. 이처럼 변화의 폭이 크게 나타나는 것은 강도값의 경우 단지 시편의 표면 상태에만 좌우되는 반면에 강도의 경우는 시편 전체의 체적에 의존하기 때문에 slurry 상태로 제조된 치과용 도재의 경우 표면에 발생한 미소 균열이나 기공(porosity)은 응력 집중점으로 작용하므로 강도값의 감소폭이 강도값에서 보다 오히려 더 큰 것으로 생각된다^{3,5,6)}. 앞서 언급된 미소균열현상은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 leucite 함량이 증가됨에 따라 기지에 발생한 미소균열의 양이 증가하고 있음을 알 수 있는데,

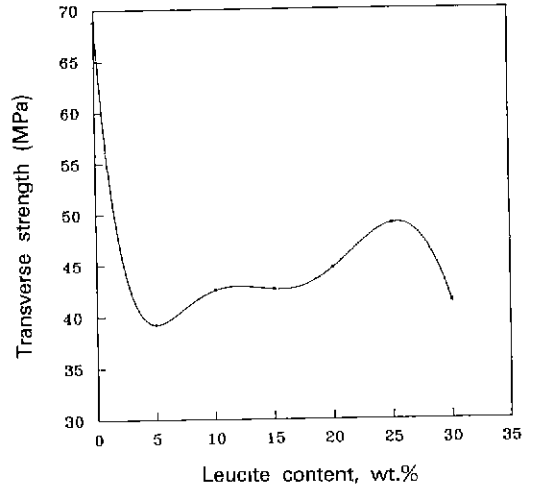


Fig. 4. Transverse strength (MPa) of glass matrix with amounts of leucite.

이와같은 것은 유리기지과 leucite 입자와의 열팽창계수가 큰 차를 갖기 때문에 나타나는 현상이다. 또한 열팽창계수가 큰 leucite 입자가 첨가되면 이들 주위에 큰 압축응력이 발생하기 때문에 기계적성질을 시험할 경우 유리에 첨가된 leucite 함량이 증가할수록 그 주위의 압축응력으로 인하여 경도나 강도가 증가된 것으로 사료된다.

Fig. 6은 3점 굽힘시험 후 파단면을 나타낸다. Fig. 6(a)에서와 같이 glass만으로 소성된 시편의 경우는 거의 평활한 파단양상을 나타내고 있다. Leucite가 첨가됨에 따라 평활한 파단에서 기복의 정도가 더욱 크게 나타남을 알 수 있다. Leucite는 균열의 성장과 전파를 저지하거나 억제시키는 역할을 하지만, 기지와 leucite의 열팽창 계수의 차이로 인하여 상대적으로 이들 접합 계면이 다른 기지보다 오히려 더 취약하기 때문에 파괴는 기지와 leucite 입자의 계면을 따라서 일어나고 있음을 알 수 있다⁷⁾.

3.2. 열팽창계수 제어에 따른 접합특성

Fig. 7(a)는 유리의 열팽창 측정 결과를 나타낸다. 유리의 열팽창은 온도에 따라 증가하며 Fig. 7(a)에서처럼 2개의 뚜렷한 변곡점이 나타난다. 첫번째 변곡점은 T_g, 유리의 전이온도이며, 약 740°C를 나타낸다. T_g 이상에서는 파냉각된 액체상태로써 점성변형현상이 일어난다. 두번째 변곡점은 T_s, 연화온도이며 약 890°C이다. Fig. 7(b)는 유리기지에 leucite 함량을 달리했을 때 열팽창 측정된 결과를 나타낸다. 높은 열팽창 계수를 갖는 leucite 함량이 증가됨에 따라 열팽창계수가 증가하고, T_s

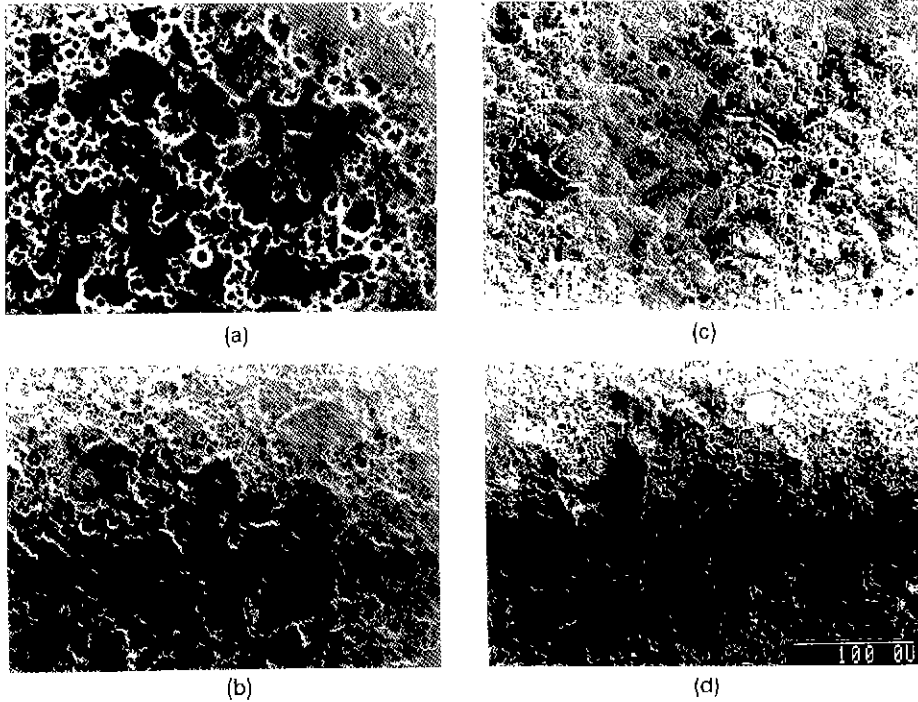


Fig. 5. Microcracks resulted from the difference of TEC between glass matrix and leucite particles. (a) glass matrix, (b) 10% leucite-90% glass, (c) 20% leucite-80% glass, (d) 30% leucite-70% glass

점이 감소함을 알 수 있다. 또한 glass 분말만으로 소성된 시편의 경우 열팽창 계수는 약 $8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이었으나, 유리기지에 leucite가 첨가됨에 따라 열팽창 계수는 약 $13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 와 같은 높은 값을 나타냄으로써 금속과 세라믹스간의 계면접합성 향상을 기대할 수 있다.

인공치아의 제작시⁹⁾ 금속체와 도재사이의 결합이 중요하다. 이는 금속체와 도재사이의 열팽창 계수가 다르면 두 재료는 완전히 결합되지 못하고 두 재료의 계면에서 분리되어진다 따라서, 본 실험에서는 Ni-Cr 합금을 금속체로 사용하여 그 위에 25 wt.%의 leucite 함량을 갖는 도재를 축성한 후 소성하여 그 접합면을 관찰하였다. Fig. 8은 제조한 도재를 Ni-Cr 합금위에 도포하여 소성한 후 두 계면 사이의 접합을 관찰하였다. 그림과 같이 Ni-Cr 합금위에 25 wt.%의 leucite 함량을 갖는 도재를 소성했을 때 이들 두 재료 사이의 계면 접합이 우수함을 알 수 있다. Fig. 9는 도재와 도재사이의 계면 접합을 관찰한 것이다. 도재와 도재사이의 계면 접합도 우수함을 볼 수 있다. 이처럼 두 계면 사이의 접합성이 우수한 것은 이들 두 재료 사이의 열팽창 계수등 물성이 유사하기 때문인 것으로 판단된다.¹⁰⁾

3.3. 도재복합층에 따른 색도 및 색차변화

본 실험에서 제조한 도재의 색도(chromaticity)와 색차(color difference)를 조사하기 위하여 1층, 2층, 3층으로 각각 시편을 제작하여 소성한 후, 국제조명협회(CIE) 표준 표색계 X, Y, Z를 측정하고, 색도좌표 x, y를 다음 식으로 구하였다.

$$x = \frac{X}{(X+Y+Z)}, \quad y = \frac{Y}{(X+Y+Z)} \quad (1)$$

$X+Y+Z=1$, x, y: 색도

Fig. 10은 C.I.E가 정한 3색 표색법인 XYZ표색계를 이용하여 측정된 것을 색도 좌표로 변환하여 나타낸 그림이다. Fig. 10에서 굵은 실선은 스펙트럼색을 나타내는 스펙트럼 궤적이며 숫자는 파장(nm)을 표시한다. 그 양끝의 380 nm($x=0.1741, y=0.0050$)과 780 nm($x=0.7347, y=0.2653$)을 연결하는 선은 순자주빛 궤적이라 하며 단색 표시등에 사용된다. Table 3에서 보는 바와 같이(x, y)는 glass의 경우(0.2979, 0.3357)이었고, 여기에 leucite 함량이 다른 도재를 도포하여 소성한 결과(x, y)는 (0.2979, 0.3357)에서 (0.3015, 0.3257)까지 변하였다. 한편,

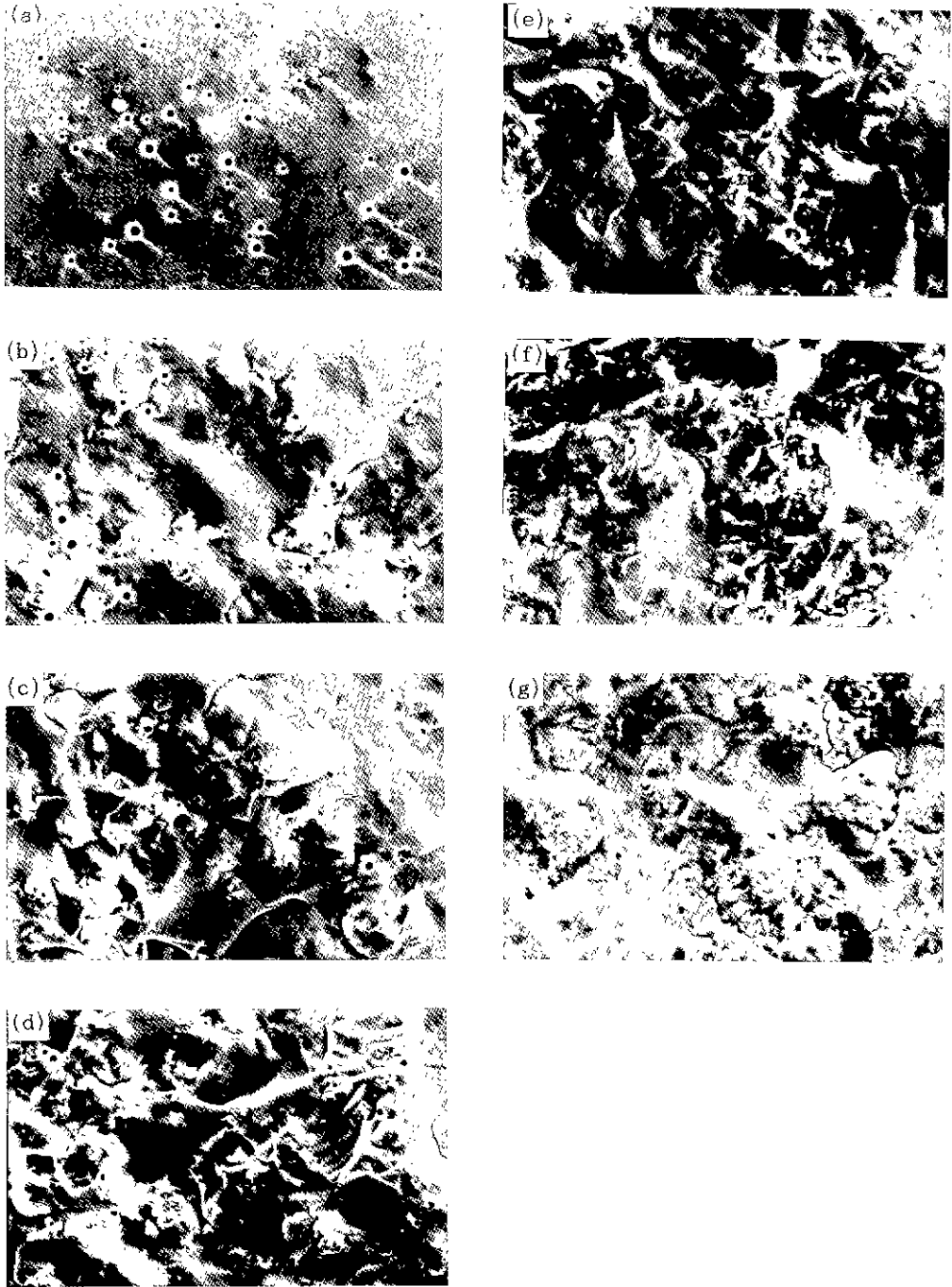


Fig. 6. Fracture deflection of each specimens after three point bending test.
(a) glass, (b) 95% glass-5% leucite, (c) 90% glass-10% leucite, (d) 85% glass-15% leucite, (e) 80% glass-20% leucite, (f) 75% glass-25% leucite, (g) 70% glass-30% leucite

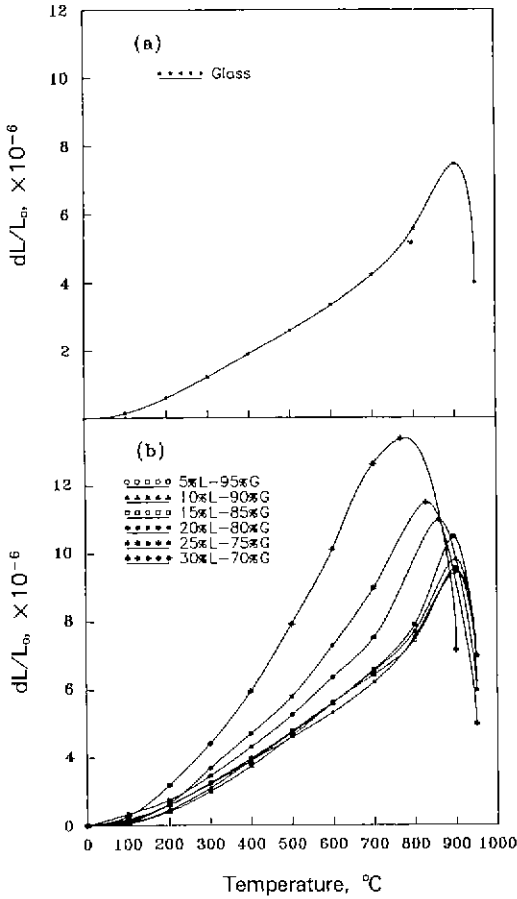


Fig. 7. Thermal dilatation curves of glass matrix with amounts of leucite.

백색의 표준시편의 경우 (x, y)는 (x=y=0.3333)으로 등에너지선을 나타낸다.

심미적으로 색차감각에 가까이 접근하도록 색차변환을 하면 Fig. 11과 같다. 이 그림은 Richard S. Hunter에 의해 고안된 것으로서 색분석과 색차를 측정하는데 사용된다. 여기서, X,Y,Z와 L, a, b를 비교하던 다음의 관계가 성립한다⁽¹¹⁾.

$$L = 100 \sqrt{Y}, \quad a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}} \quad (2)$$

$$b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{\sqrt{Y}}$$

L: 명도, a, b: 색도

L(lightness)의 수치가 높으면 높을 수록 색이 밝음을 나타내며, a는 red chromaticity, b는 yellow chromati-

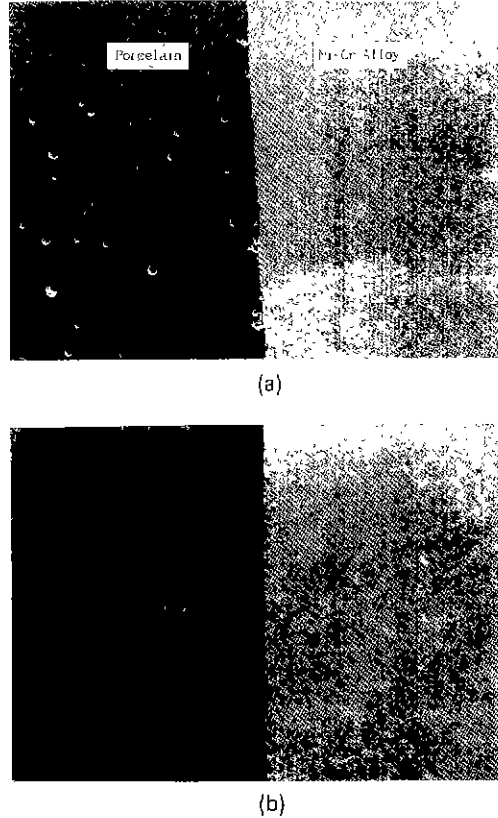


Fig. 8. Bonding relations between 25% leucite-75% glass and Ni-Cr alloy.

city이다. $\sqrt{a^2+b^2}$ 의 값이 증가할 수록 더 좋은 색도를 가지며, $\sqrt{a^2+b^2}=0$ 이면 완전히 색조가 없는 상태이다.

Fig. 11과 같이, 본 실험에서 제조한 시편 모두가 거의 yellow-green 구간에 위치하고, L값은 약 26~37 사이에 있으므로 각 시편의 명도는 대부분 낮은 편이다.

두 시편(sample 1, sample 2)이 있을 때, Hunter의 색차공식을 이용하여 색차를 조사하면 다음과 같다.

$$\Delta E(Lab) = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

$$\Delta L = L_1 - L_2, \quad \Delta a = a_1 - a_2, \quad \Delta b = b_1 - b_2$$

여기서, 계산된 E값에 따라 다음과 같이 분류된다. ΔE (N.B.S. Unit)가 0~0.5인 경우 trace difference, 0.5~1.5인 경우 slight difference, 1.5~3.0인 경우 noticeable difference, 3.0~6.0인 경우 appreciate difference, 6.0~인 경우 much difference이다.

Table 4에 제조된 시편 간의 색차를 나타낸다. Table 4 (a)에서 glass와 2층 혹은 3층으로 소성한 시편 사이의 색차는 비교적 크지만, 1-2-3의 3층으로 소성한 시편과의

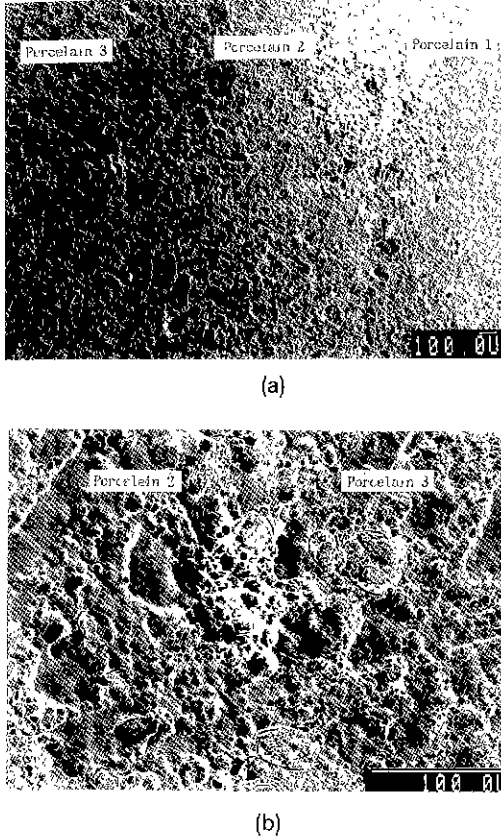


Fig. 9. Bonding relations between porcelains with different leucite content (wt.%), respectively.

색차는 아주 경미하였다. (b)에서 1-2의 2층으로 조성된 시편의 경우 3-4, 5-6으로 조성된 시편과의 색차는 경미하였으나, 나머지 시편과는 색차가 뚜렷해졌다. 이로써 원하는 색도조절이 가능하게 되었다.

4. 결 론

치과용 세라믹스(dental porcelain)를 복합화 하여 소결한 후 이들의 열팽창성, 기계적 특성 및 색조특성을

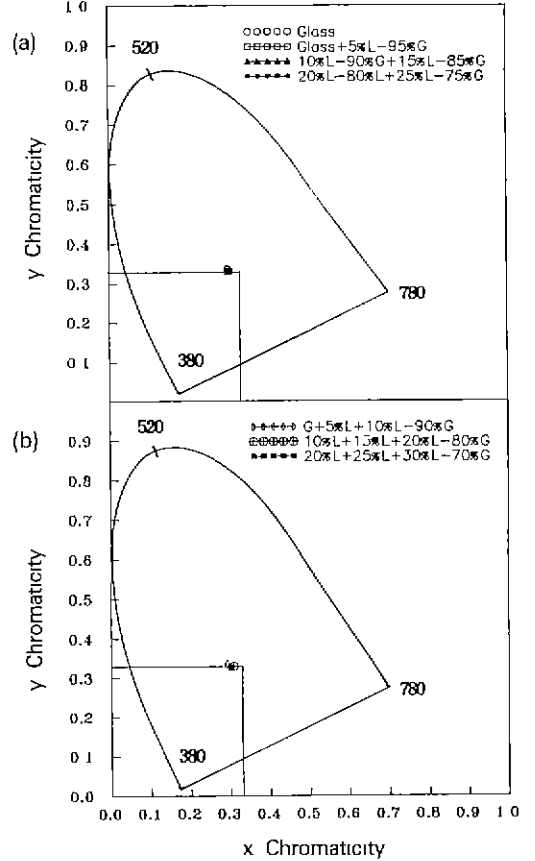


Fig. 10. The CIE chromaticity diagram according to CIE color system XYZ.

고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도제의 3점 굽힘시험한 결과 glass의 경우 68 MPa로써 가장 높은 강도를 나타내었고, 25% leucite의 경우는 50 MPa 정도의 강도를 나타내지만 실제로 치아용 crown으로 사용할 때 이 강도는 충분한 강도라 판단된다.
2. Leucite 함량이 증가할수록 열팽창계수가 증가하고, glass의 Ts 온도는 감소하였으며 leucite 함량에 따라 $8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 에서 $13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 까지 열팽창 계수를 조절함으로써 도제간의 접합성 또한 우수하게 나타났다.

Table 3. x, y Chromaticity Calculated from CIE Chromaticity X, Y, Z for Each Specimens.

Specimen	Glass	1-2	3-4	5-6	1-2-3	3-4-5	5-6-7
x	0.2979	0.3015	0.3009	0.2958	0.2918	0.3081	0.3015
y	0.3357	0.3311	0.3285	0.3254	0.3341	0.3289	0.3257

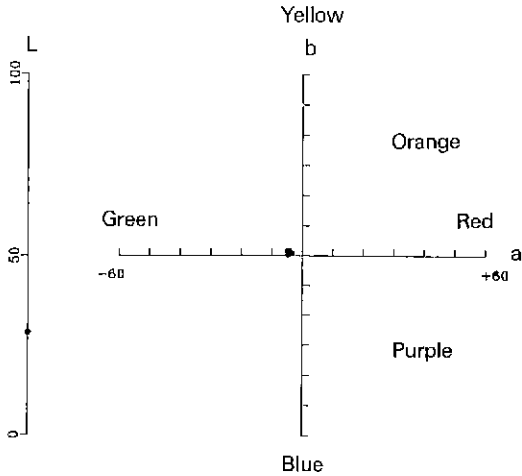


Fig. 11. UCS (Uniform chromaticity scale) color system-Lab diagram of multi-layered specimens.

Table 4. The Color Difference Compared Glass with Multi-layered Specimens (a) and Between Each Multi-layered Specimens (b).

(a)

Group	Glass					
	1-2	3-4	5-6	1-2-3	3-4-5	5-6-7
ΔE	5.71	6.51	7.18	1.31	9.23	10.86

(b)

Group	1-2			1-2-3			
	3-4	5-6	1-2-3	3-4-5	5-6-7	3-4-5	5-6-7
ΔE	1.14	1.84	5.23	3.59	5.23	8.63	10.28

Where, 1: Glass, 2: 5% Leucite-95% Glass, 3: 10% Leucite-90% Glass, 4: 15% Leucite-85% Glass, 5: 20% Leucite-80% Glass 6: 25% Leucite-75% Glass, 7: 30% Leucite-70% Glass

3. 제조된 도재의 색도는 낮은 명도를 나타내면서 거의 모두 yellow-green 구간에 위치하고 있으며, 채색에 따른

색차는 glass와 비교하여 크게 나타날 뿐만 아니라 leucite간에도 크게 나타나 채색에 의한 색도조절이 가능하였다.

REFERENCES

1. Young-Ho Koh, "Fabrication and Characteristics of Dental Ceramics," Department of Metallurgical Engineering, Dong-A Univ., **24**(13), (1993).
2. Randall M. German, Powder Injection Moulding, Library of Congress Catalog Card No. 90-5428, 33-43.
3. Stewart, G.P. and Maroso, D.J. et al., "A Torsional Method for the Evaluation of Tensile Properties of Ceramic Materials: Dental Porcelain," *J. Dent Mater.*, **3**, 74-78 (1987).
4. Bertram A. Josephson, Allan Schulman etc, "A Compressive Strength Study of Complete Ceramic Crowns," *J. Prosthet Dent*, **65**: 388-91 (1991).
5. K.J. Anusavice, A. Gray and C. Shew, "Influence of Initial Flaw Size on Crack Growth in Air-tempered Porcelain," *J. Vent Res*, Feb, **70**(2), 131-136 (1991).
6. J.H. Lee, et. al. "Introduction to Materials Science for Engineers," Mun Woon Dang, 251-275 (1988).
7. Young-Ho Koh, Bok-Soeb Han and Jun-Hee Lee, "Fabrication and Characteristics of Dental Ceramics (I)," Institute of Korea Resources Development College of Engineering Dong-A Univ., **17**(20), 165-173, (1993)
8. P.M. Marquis, "Optimising the Strength of All-Ceramic Jacket Crowns," *Materials Science Monographs*, **39**, 15-27 (1992).
9. Mackert JR Jr, Butts MB, Fairhurst CW., "The Effect of the Leucite Transformation on Dental Porcelain Expansion," *Dent Mater*, Feb., 32-36 (1986).
10. M.M. Barreiro, O. Riesgo, and E.E Vicente, "Phase Identification in Dental Porcelains for Ceramic-Metallic Restorations," *Dent Mater.*, **Jan.**, 51-57, (1989).
11. 이명호, 전영찬, "내부금속관 형태에 따른 도재 전장금관의 파절강도와 도재색조에 관한 연구," *대한치과보철학회지*, **30**(1), (1992).