

티타늄의 표면처리방법에 따른 티타늄-세라믹 보철시편의 결합강도와 계면특성

Effect of Surface Treatments of Titanium on Bond Strength and Interfacial Characterization in Titanium-Ceramic Prosthesis

정인성, 김치영

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

In-Sung Chung(ischung@cup.ac.kr), Chi-Young Kim(cykim@cup.ac.kr)

요약

티타늄 표면처리방법 중 gold 코팅, TiN 코팅, 그리고 전용결합재를 복합적으로 사용하여 티타늄과 세라믹의 결합강도에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 티타늄과 세라믹의 3점 굽힘 결합강도를 측정된 결과, TiN 코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 72.20(±5.25)MPa로 가장 높게 나타났으며, 전용결합재로 처리한 SPB군(67.66(±12.10)MPa), gold 코팅과 전용결합재로 처리한 SPGB군(46.95(±12.48)MPa), 코팅과 전용결합재로 처리하지 않은 SP군(43.80(±5.12)MPa) 순으로 나타났다. 시편들의 결합강도를 통계 분석한 결과, 전용 결합재로 처리한 SPB군과 TiN코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 결합력이 유사하게 나타났으며, 전용결합재로 처리한 군(SP)이 처리하지 않은 군(SP)에 비하여 결합력이 높게 나타났으며, TiN 코팅한 군(SPTB)이 gold 코팅한 군(SPGB)에 비하여 결합력이 높게 나타난 것으로 관찰되었다.

■ 중심어 : | 티타늄 세라믹 보철 | 결합강도 | 계면특성 |

Abstract

The bonding strength between titanium and ceramic were analyzed according to the bonding agent and the coating methods of Au and TiN respectively. The bonding strength was measured through the 3 point bending test. Consequently, the bonding strength of the special bonding agent after the TiN coated (SPTB) group was 72.20(±5.25)MPa which was the strongest one among groups. The bonding strength of the special bonding agent treated only (SPB) group was 67.66(±12.10)MPa, the special bonding agent after the Au coating SPGB group was 46.95(±12.48)MPa and the SP group was 43.80(±5.12)MPa. Taking these results into account, the bonding strength of the SPB group shows the same as it of the SPTB group, however, it is stronger than SP group. And the TiN coated SPTB group shows the stronger bonding strength than the Au coated SPGB group.

■ keyword : | Titanium-Ceramic Prosthesis | Bond Strength | Interfacial Characterization |

I. 서론

티타늄은 생체친화성과 내식성이 우수하고, 비중이

가볍고, 기계적 특성이 우수하기 때문에 매혹적인 치과 보철재료로 그 사용범위가 확대되고 있으며, 치과용 금합금의 대체 금속으로도 주목받고 있다[1-3]. 그러나

* 본 연구는 2010년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

접수번호 : #100928-011

접수일자 : 2010년 09월 28일

심사완료일 : 200년 월 일

교신저자 : 김치영, e-mail : cykim@cup.ac.kr

티타늄은 고온에서 산소와 강하게 반응하여 두꺼운 TiO_2 산화물 층을 형성하는 특성은 갖고 있으며, 이 산화물 층은 티타늄의 연성과 피로저항성을 감소시켜 티타늄-세라믹의 결합강도를 약하게 한다[4]. 이 때문에 티타늄-세라믹 보철물의 임상적용은 아직 활발하지 않다[2].

티타늄-세라믹 보철물의 내구성은 티타늄과 세라믹의 강한 결합과 연관성이 있으며, Craig와 Powers는 티타늄과 세라믹의 강한 결합은 세라믹 소성 전 티타늄의 표면처리와 관계가 있음을 강조하였다[5].

티타늄 표면처리방법에 따른 티타늄-세라믹 결합강도에 관한 연구로 샌드블라스팅 처리법에 관해서는 샌드블라스팅하면 기계적 결합이 증가하여 세라믹과의 접착력이 증가했으며[6], 입자크기에 있어서는 Derand와 Hero는 $250\mu m$ 의 입자크기를 사용했을 때[7], Roh 등은 $50\mu m$ 의 입자크기를 사용했을 때 티타늄과 세라믹의 결합력이 강하게 나타났다고 보고 하였다[8]. 티타늄 표면의 화학적 처리방법에 관해서는 염산으로 처리한 시편이 샌드블라스팅 처리한 시편과 비교하여 결합강도가 강하게 나타났으며, 과산화수소로 처리하면 황산보다 티타늄 표면이 거칠게 형성되었으나, 결합강도는 낮게 나타났다고 보고하였다[6]. 예열처리에 관해서는, 세라믹 축성 전에 샌드블라스팅하고 예열처리 과정을 거치면 최고의 결합강도를 얻을 수 있으나, 샌드블라스팅과 예열처리 후 염산을 이용하여 산 처리하면 표면 산화막을 감소시켜 결합강도가 약해지며[6], TiO_2 표면 산화물 층이 두꺼우면 티타늄-세라믹의 결합강도는 약해지며[9], $750^\circ C$ 에서 1시간 예열처리하면 결합강도가 증가하며[10], 환원성 알곤 분위기에서 도재를 소성하면 티타늄의 산화가 억제되어, 티타늄-세라믹 결합강도가 증가한다고 보고하였다[11][12]. 티타늄의 코팅처리법에 관해서는 silicon 코팅은 티타늄의 산화를 억제하고 세라믹과의 결합력을 증가시키며[13], 샌드블라스팅 처리군과 gold 코팅 처리군과 TiN 코팅 처리군 간의 파절강도를 비교한 연구에서는 gold 코팅 처리 군에서 가장 높게 나타났고, TiN 코팅 처리 군, 샌드블라스팅 처리 군 순으로 나타났으나, 통계학적 유의차는 없었으며[14], gold sputter 코팅은 티타늄과 세라믹의 결합강도

를 증가시킨다고 보고하였다[11]. 전용결합제 처리법에 관해서는 전용결합제의 사용은 티타늄과 세라믹의 결합강도를 증가시킨다고 보고하였다[3]. 그리고 티타늄 표면의 샌드블라스팅과 화학적 처리 그리고 예열처리를 복합적으로 사용한 처리방법에 관해 연구한 결과, 전용부식액 I (50% NaOH, 10% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)과 전용부식액 II (35% HNO_3 , 5% HF)로 산 처리 한 다음 $220\mu m$ 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리하고 $750^\circ C$ 에서 1시간 예열처리 하는 방법이 티타늄과 세라믹의 결합강도를 향상시킨다는 결과를 얻었다[15]. 그러나 티타늄-세라믹 보철의 결합강도를 증가시키기 위한 표면처리방법에 관한 연구들이 산 처리, 샌드블라스팅 처리, 예열처리, 티타늄 표면 코팅, 전용결합제 사용 유무 등 단독으로 실험된 것이 대부분이며, 샌드블라스팅 처리, 산 처리, 예열처리, 티타늄 표면 코팅, 전용결합제 처리방법을 모두 적용시켜 티타늄-세라믹간의 결합강도와 계면특성을 분석한 보고는 거의 없는 실정이므로, 선행 연구에서 좋은 결과를 얻은 산 처리방법과 샌드블라스팅 처리법 그리고 예열처리방법에 티타늄-세라믹간의 결합강도를 증가시키는 데 효과가 있다는 gold 코팅과 TiN 코팅 그리고 전용결합제 사용 시 티타늄-세라믹간의 결합강도의 변화에 관한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 정[15] 등의 선행 연구에서 좋은 결합강도를 나타낸 전용부식액 I (50% NaOH, 10% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)과 전용부식액 II (35% HNO_3 , 5% HF)로 산 처리 한 다음 $220\mu m$ 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리하고 $750^\circ C$ 에서 1시간 예열처리 하는 표면처리방법에 gold 코팅, TiN 코팅, 그리고 전용결합제 사용 유무에 따른 티타늄-세라믹의 결합강도와 파절양상 그리고 계면의 특성변화를 분석하고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 시편 준비

1.1 실험재료

실험재료로는 현재 시판되고 있는 주조용 Ti (Dentaurum, Tritan, Germany)를 사용했으며, 세라믹

은 티타늄 전용 저온용용 세라믹인 Triceram (Esprident-Dentaurum, Germany)을 사용하였다[표 1].

표 1. 실험재료의 구성

Brand names	Titanium	Triceram
Material type	Ingot	Powder
Manufacturers	Dentaurum Tritan Germany	Esprident Ispringen Germany
Firing Temp. (°C)	1668	795
CTE (×10 ⁻⁶ K ⁻¹)	9.6	9.4-9.5

1.2 시편 제작

티타늄-세라믹 간 전단결합강도 측정을 위한 시편은 주조용 Ti를 사용하여 로스트 왁스 주조법을 적용하여 직사각판형 (10mm×50mm×0.5mm)으로 주조하여 각 군당 10개씩 하여 40개를 제작하였고, 티타늄-세라믹 계면 관찰을 위한 시편은 주조용 Ti를 사용하여 로스트 왁스 주조법을 적용하여 정사각판형 (10mm×10mm×0.5mm)으로 주조하여 각 군당 1개씩 하여 4개를 제작하였다.

표면처리에 의한 티타늄과 세라믹 간의 결합력을 관찰하기 위하여 4종의 표면처리를 실시하였다. 준비된 티타늄 합금시편에 전용부식액 I (50%NaOH, 10%CuSO₄·5H₂O)를 제조하여 105°C를 항온하며 10분간 침습 후 초음파 세척을 30분간 실시한다. 그리고 전용부식액 II (35%HNO₃, 5%HF)에 60초간 침습 후 5분간 초음파 세척을 실시 후 실온 건조 후 Al₂O₃(220µm)를 이용하여 샌드블라스팅을 공통으로 실시한다. 공통으로 처리된 티타늄 시편을 이용하여 4종의 처리법으로 표면처리 후 시험군을 분류하였다. SP군은 공통처리 후 750°C에서 60분간 열처리를 실시하였으며, SPB군은 750°C에서 60분간 열처리를 실시 후 티타늄 전용결합재를 도포하여 소성하였다. 그리고 SPGB군은 750°C에서 60분간 열처리 후 gold 코팅을 실시하고 티타늄 전용결합재를 도포하였으며, SPTB군은 750°C에서 60분간 열처리 후 TiN 코팅을 실시하고 티타늄 전용 결합재를 도포하였다[표 2].

티타늄-세라믹 간 결합강도 측정을 위한 시편은 시

편의 중앙에 티타늄 전용 저온용용 세라믹인 Triceram 을 폭 8.0mm 두께 1.0mm로 축성하고 제조사의 지시에 따라 소성하여 최종시편으로 사용하였다. 티타늄-세라믹 계면 관찰을 위한 시편은 시편의 전체 면에 티타늄 전용 저온용용 세라믹인 Triceram을 1.0mm 두께로 축성하고 제조사의 지시에 따라 소성하여 최종시편으로 사용하였다.

표 2. 표면처리 방법에 따른 시편분류

군	표면처리방법	N
SP	① 50%NaOH, 10%CuSO ₄ ·5H ₂ O(105°C/10min) ② Ultrasonic cleaning (30min) ③ 35%HNO ₃ , 5%HF (1min) ④ Ultrasonic cleaning (5min) ⑤ Sand blasting(220µm Al ₂ O ₃) ⑥ Preheating (750°C 1hr / (10°C/min))	10
SPB	① 50%NaOH, 10%CuSO ₄ ·5H ₂ O(105°C/10min) ② Ultrasonic cleaning (30min) ③ 35%HNO ₃ , 5%HF (1min) ④ Ultrasonic cleaning (5min) ⑤ Sand blasting(220µm Al ₂ O ₃) ⑥ Preheating (750°C 1hr / (10°C/min)) ⑦ Bonding agent	10
SPGB	① 50%NaOH, 10%CuSO ₄ ·5H ₂ O(105°C/10min) ② Ultrasonic cleaning (30min) ③ 35%HNO ₃ , 5%HF (1min) ④ Ultrasonic cleaning (5min) ⑤ Sand blasting(220µm Al ₂ O ₃) ⑥ Preheating (750°C 1hr / (10°C/min)) ⑦ Gold plating ⑧ Bonding agent	10
SPTB	① 50%NaOH, 10%CuSO ₄ ·5H ₂ O(105°C/10min) ② Ultrasonic cleaning (30min) ③ 35%HNO ₃ , 5%HF (1min) ④ Ultrasonic cleaning (5min) ⑤ Sand blasting(220µm Al ₂ O ₃) ⑥ Preheating (750°C 1hr / (10°C/min)) ⑦ TiN coating ⑧ Bonding agent	10

2. 실험 방법

2.1 3점 굽힘강도 측정 시험

시편에 소성하여 결합된 세라믹의 박리되는 힘을 측정하여 시편과 세라믹간의 결합력을 산출하기 위하여 3점굽힘 시험을 실시하였다. 3점 굽힘강도 시험은 만능 시험기(MTS 858 Bionix Test System, U.S.A)를 이용하였다. 시험은 3점 굽힘용 jig를 이용하여 세라믹 소성면을 아래로 두고 40mm 간격으로 하부 jig에 위치하고

상부 jig의 load point는 시편의 중앙 상위에 위치하였다. 시험은 하부 jig는 고정하고 상부 jig에서 하중을 가하였고 변위는 상부에서 하부로 2mm 압축 하였다. 압축 이동 속도는 0.5mm/min 으로 하였다. 시험결과는 치과용 금속-세라믹 수복재(한국통합치과기재규격 제 44호, ISO 6872)를 기준으로 산출하였다.

2.2 티타늄-세라믹 계면 관찰

티타늄에 4종의 표면처리 후 세라믹을 소성한 계면특성을 관찰하기 위하여 계면관찰 시험을 실시하였다. 계면관찰 시험은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM-S3000N, Hitachi, Japan/Energy X-ray Spectroscopy, EDS-EMAX, Horiba, Japan)을 이용하였다. 주사전자현미경의 SEM image를 활용하여 티타늄의 표면처리에 의한 계면의 형상을 관찰하였다.

3. 통계 분석

실험결과 자료는 P=0.05 유의수준으로 통계프로그램(SPSS Inc., ver 17.0k)을 이용하여 집단 간의 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시 후 사후검정분석(Scheffe)을 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 3점 굽힘강도 측정 결과

표면처리에 의한 티타늄과 세라믹간의 결합력을 관찰하기 위하여 3점 굽힘 강도를 측정하여 결합력을 산출하였다. 그 결과, TiN 코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 72.20(±5.25)MPa로 가장 높게 나타났으며, 전용결합재로 처리한 SPB군(67.66(±12.10)MPa), gold 코팅과 전용결합재로 처리한 SPGB군(46.95(±12.48)MPa), 코팅과 전용결합재로 처리하지 않은 SP군(43.80(±5.12)MPa) 순으로 나타났다. 시편들의 결합력을 통계 분석 결과, SPB군과 SPTB군이 SP군과 SPGB군 간에 유의차(p<0.05)가 분석되었으나, 다른 군 간은 유의차(p>0.05)가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과, 전용결합

재로 처리한 SPB군과 TiN코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 결합력이 유사하게 나타났으며, 다른 군에 비하여 결합력이 우수한 것으로 관찰되었다. 그리고 전용결합재의 사용유무에 따른 분석결과에서는 전용결합재로 처리한 군(SPGB)이 처리하지 않은 군(SP)에 비하여 결합력이 높게 나타났으며, 코팅의 종류에 따른 분석결과에서는 TiN 코팅한 군(SPTB)이 gold 코팅한 군(SPGB)에 비하여 결합력이 높게 나타난 것으로 관찰되었다[그림 1].

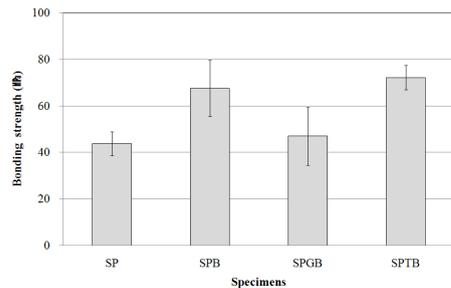


그림 1. 3점 굽힘강도 측정결과(p<0.05)

2. 티타늄-세라믹 계면관찰 결과

표면처리에 의한 티타늄과 세라믹 간의 계면특성을 관찰하기 위해 티타늄 합금의 산화층과 표면처리에 의한 피막의 형상을 관찰하였다. 티타늄과 세라믹 간의 계면특성을 관찰한 결과는 티타늄 시편들의 계면에 형성된 산화층은 SP시편은 2.4(±0.1)µm, SPB시편은 2.0(±0.3)µm의 두께가 측정되었으며, SPGB시편과 SPTB시편에서는 산화층과 표면처리에 의한 피막이 통합되어 SPGB시편은 4.0(±0.2)µm, SPTB시편은 3.7(±0.4)µm의 표면층 두께가 측정되었다[그림 2].

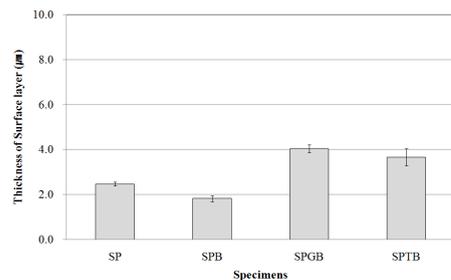


그림 2. 티타늄과 세라믹 계면의 산화막 두께 측정결과

티타늄과 세라믹 계면의 SEM image 관찰결과, SP시편의 계면에서는 티타늄과 세라믹 계면이 긴밀하게 결합되어 있으나, 2 μ m의 간격이 관찰되었다. SPB시편의 계면에서는 티타늄과 세라믹 계면이 긴밀하게 결합되어 있으며, 전용결합재로 관찰되는 층이 12.8 μ m 두께로 형성된 것이 관찰되었다. SPGB시편의 계면에서는 티타늄과 세라믹 계면이 긴밀하게 결합되어 있으며, 전용결합재로 관찰되는 층이 13.7 μ m 두께로 형성된 것이 관찰되었다. 그리고 SPTB시편의 계면에서는 티타늄과 세라믹 계면이 긴밀하게 결합되어 있으며, 전용결합재로 관찰되는 층이 9.7 μ m 두께로 형성된 것을 관찰할 수 있었다[그림 3].

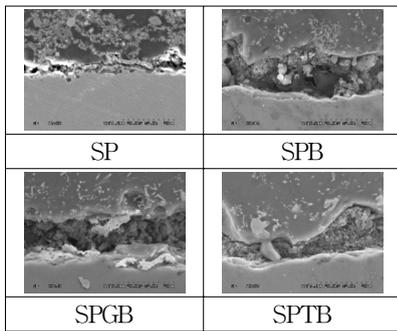


그림 3. 티타늄과 세라믹 계면의 SEM image 관찰결과

IV. 논의 및 결론

티타늄-세라믹 보철물의 내구성은 티타늄과 세라믹의 강한 결합과 연관성이 있으며, Craig와 Powers는 티타늄과 세라믹의 강한 결합은 세라믹 소성 전 티타늄의 표면처리와 관계가 있음을 강조하였다[5]. 본 연구에서는 전용부식액 I 과 전용부식액 II로 처리 후 샌드블라스트 처리하고 예열처리 하는 표면처리방법에 티타늄과 gold 코팅, TiN 코팅, 그리고 전용결합재를 복합적으로 사용하여 티타늄과 세라믹의 결합강도에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

티타늄과 세라믹의 3점 굽힘 결합강도를 측정된 결과, TiN 코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 72.20(±5.25)MPa로 가장 높게 나타났으며, 전용결합재로

처리한 SPB군(67.66(±12.10)MPa), gold 코팅과 전용결합재로 처리한 SPGB군(46.95(±12.48)MPa), 코팅과 전용결합재로 처리하지 않은 SP군(43.80(±5.12)MPa) 순으로 나타났다. 시편들의 결합강도를 통계 분석한 결과, SPB군과 SPTB군이 SP군과 SPGB군 간에 유의차(p<0.05)가 분석되었으나, 다른 군 간은 유의차(p>0.05)가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과, 전용 결합재로 처리한 SPB군과 TiN코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 결합력이 유사하게 나타났으며, 다른 군에 비하여 결합력이 우수한 것으로 관찰되었다. 그리고 전용결합재의 사용유무에 따른 분석결과에서는 전용결합재로 처리한 군(SP)이 처리하지 않은 군(SP)에 비하여 결합력이 높게 나타났으며, 코팅의 종류에 따른 분석결과에서는 TiN 코팅한 군(SPTB)이 gold 코팅한 군(SPGB)에 비하여 결합력이 높게 나타난 것으로 관찰되었다.

gold 코팅은 세라믹 소성 시 티타늄의 산화층과 새로운 화합물인 Au₂Ti를 형성하는 화학반응을 일으켜 세라믹과의 결합강도를 증가시킨다는 보고와 티타늄 표면에 gold sputter 코팅을 한 다음 낮은 압력의 알곤 분위기에서 세라믹을 소성하면 gold 코팅이 티타늄 표면에서 비 접촉성 산소의 형성을 조절하는 분산 방어막 역할을 하여 티타늄과 세라믹간의 결합력을 높인다고 보고하였다[16]. 티타늄 표면의 질화 코팅은 세라믹을 소성하는 동안 티타늄 산화를 조절하기 위해 티타늄 표면에 질화 코팅을 시행하면 질화 티타늄이 비질화 티타늄보다 약 5배 더 낮은 산화속도를 보였다고 보고하였으며, 질화 코팅 중 TiN 코팅은 티타늄 표면을 질화(nitridation)시켜 고온에서 티타늄 산화를 억제함으로써 마모저항이 강한 표면, 낮은 마찰계수, 그리고 화학적 안정을 제공하여 세라믹과의 결합력을 증가시킨다고 보고하였다[17]. 본 연구에서 TiN 코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군과 gold 코팅과 전용결합재로 처리한 SPGB군이 코팅과 전용결합재로 처리하지 않은 SP군보다 결합강도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 코팅과 전용결합재를 사용한 군이 결합강도가 높았다는 보고[3][18][19]와 일치하며, 이는 티타늄 표면의 코팅처리가 티타늄의 산화를 억제하여 세라믹과의 결합

력을 증가시킨다는 사실을 입증하는 것으로 판단된다.

TiN 코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군과 gold 코팅과 전용결합재로 처리한 SPGB군 간의 결합강도 차이는 TiN 코팅 처리한 SPTB군이 gold 코팅 처리한 SPGB군보다 높게 나타났는데 이 결과는 김연미[18]의 연구결과와 일치하며, 티타늄-세라믹 계면관찰로 분석해보면 SPGB시편 전용결합재로 관찰된 층의 두께가 13.7 μ m로 SPTB시편(9.7 μ m)의 것보다 두껍게 형성되어 오히려 결합력이 약화된 결과로 판단되며, TiN이 gold보다 세라믹과 유사한 성분이기 때문에 결합력에 영향을 준 것으로 판단된다.

코팅과 전용결합재로 처리하지 않은 SP군에서 결합강도가 가장 낮게 나타났다. 이 결과는 티타늄-세라믹 계면관찰에서 티타늄과 세라믹 계면이 긴밀하게 결합되어 있으나, 2 μ m 정도의 간격이 관찰되었는데 이는 티타늄에 대한 산화막의 부착이 불안정하기 때문에 발생한 것으로 판단된다[20].

전용결합재로 처리한 SPB군과 TiN코팅과 전용결합재로 처리한 SPTB군이 결합력이 유사하게 나타났는데, 이는 코팅처리하지 않고 전용결합재만 사용하여도 티타늄과 세라믹의 결합강도를 향상시킬 수 있다는 결과로 코팅과 전용결합재와의 연관성에 관한 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구에 의한 분석결과 전용 결합재로 처리한 SPB군과 SPTB군이 결합력이 유사하게 나타났으며, 전용결합재로 처리한 시험군이 처리하지 않은 시험군에 비하여 결합력이 높게 나타났으며, TiN 코팅한 군이 gold 코팅한 군에 비하여 결합력이 높게 나타난 것으로 관찰되었다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Wataha, "Biocompatibility of dental casting alloys :a review," J Prosthet Dent., Vol.83, pp.224-34, 2000.
[2] M. Kononen and J. Kivilahti, "Fusing of dental ceramics to titanium," J Dent Res., Vol.80,

pp.848-54, 2001.

- [3] I. A. Hussaini, and K. A. A. Wazzan, "Effect of surface treatment on bond strength of low-fusing porcelain to commercially pure titanium," J Prosthet Dent., Vol.94, pp.350-356, 2005.
[4] I. C. Pang, J. L. Gilbert, J. Chai, and E. P. Lautenschlager, "Bonding characteristics of low-fusing porcelain bonded to pure titanium and palladium-copper alloy," J. Prosthet Dent., Vol.73, pp.17-25, 1995.
[5] R. G. Craig, and J. M. Powers, Restorative dental materials, 11th ed., Mosby Inc. St. Louis, 2002.
[6] M. J. Reyes, Y. Oshida, C. J. Andres, T. Barco, S. Hovijitra, and D. Brown, "Titanium-porcelain system PartIII; effects of surface modification on bond strengths," Biomed Mater. Eng., 2001. Vol.11, pp.117-136, 2001.
[7] T. Derand, and H. Hero, "Bond strength of porcelain on cast vs. wrought titanium," Scand J Dent Res., Vol.100, pp.184-188, 1992.
[8] S. W. Roh, M. S. Vang, H. S. Yang, S. W. Park, H. O. Park, and H. P. Lim, "Effect of surface modification on bond strength in titanium-porcelain system," J Kor Ac Prosth., Vol.5, pp.589-600, 2007.
[9] H. Kimura, C. J. Horng, M. Okazaki, and J. Takahashi, "Oxidation effect on porcelain-titanium interface reactions and bond strength," Dent Mater., Vol.9, pp.91-99, 1990.
[10] M. Yan, C. T. Kao, J. S. Ye, T. H. Huang, and S. J. Ding, "Effect of preoxidation of titanium on the titanium-ceramic bonding," Surface & coatings technology, 2007 (in press).
[11] S. Atsu and S. Berksun, "Bond strength of three porcelains two forms of titanium using two firing atmospheres," J Prosthet Dent.,

Vol.84, pp.567-74, 2000.

[12] A. Sadeq, Z. Cai, R. D. Woody, and A. W. Miller, "Effects of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium," J Prosthet Dent., Vol.90, pp.10-17, 2003.

[13] I. Ozcan and H. Uysal, "Effect of silicon coating on bond strength of two different titanium ceramic to titanium," Dent Mater., Vol.21, pp.773-779, 2005.

[14] 김지혜, 박상원, 방몽숙, 양홍서, 박하옥, 임현필, 오계정, 김현승, 이광민, 이경구, "타이타늄 표면 코팅처리에 따른 타이타늄도재관의 파절강도 비교", 대한치과보철학회지, 제 45권, 제2호, pp.203-215, 2007.

[15] 정인성, 김치영, 최성민, "티타늄의 표면처리방법에 따른 도재와의 결합강도 및 세포독성에 관한 연구", 대한생명과학회지, 제14권, 제2호, pp.105-113, 2008.

[16] K. M. Lee, Z. Cai, J. A. Griggs, L. Guiatas, D. J. Lee, and T. Okabe, "SEM/EDS evaluation of porcelain adherence to gold-coated cast titanium," J Biomed Mater Res Part B, Appl Biomater 68B, pp.165-173, 2004.

[17] Y. Oshida, L. Fung, and S. Isikbay, "Titanium-porcelain system Part II: Bond strength of fired porcelain on nitrided pure titanium," Biomed Mater Eng, Vol.7, pp.13-34, 1997.

[18] 김연미, 김현승, 이광민, 이도재, 오계정, 임현필, 서윤정, 박상원, "타이타늄 표면 코팅이 도재결합에 미치는 영향", 대한치과보철학회지, 제45권, 제 5호, pp.601-610, 2007.

[19] 최택휴, 박상원, 방몽숙, 양홍서, 박하옥, 임현필, 오계정, 김현승, 이광민, 이경구, "타이타늄의 표면개질에 따른 도재결합특성", 대한치과보철학회지, 제45권, 제2호, pp.169-180, 2007.

[20] M. Adachi, J. R. Mackert, E. E. Parry, and C.

W. "Fairhurst, Oxide adherence and porcelain bonding to titanium and Ti-6Al-4V alloy," J Dent Res., Vol.69, pp.1230-1235, 1990.

저 자 소 개

정 인 성(In-Sung Chung)

정회원



- 1999년 2월 : 부산대학교 대학원 무기재료공학과(공학박사)
- 1981년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 교수

<관심분야> : 치과재료, 의용재료, 생체재료, 무기재료

김 치 영(Chi-Young Kim)

정회원



- 2005년 2월 인제대학교 대학원 의용공학과(공학박사)
- 1985년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 교수

<관심분야> : 의용생체재료, 치과금속재료