

# 표면 변화에 따른 주조용 티타늄 합금과 도재와의 결합강도 변화에 관한 연구

정 인 성, 최 성 민

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

## A Study of Porcelain Bond Strength to Cast Ti Alloy with respect to Change of Surface Characteristic

In-Sung Chung, Sung-Min Choi

Dept. of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea.

### [Abstract]

The use of titanium in the field of dentistry has increased, due to their excellent biocompatibility, appropriate mechanical properties, corrosion-resistance and low price. However, many difficulties with the use of titanium for metal-ceramic crowns remain to be solved.

The objective of this study was to evaluate the influence of surface modifications on the bonding characteristics of specific titanium porcelain bonded to cast titanium.

The surfaces of Titanium were prepared with 4 test groups, i) sandblasted with particles of different size, ii) sandblasted after treated oxidization and oxidized after sandblast. We observed the bond strength and node aspect of titanium and ceramic, and respect to the methods of modifying surface of titanium by the test of mean roughness of surface, Scanning Electron Microscope, and 3-point flexural bend test.

The results show that,

1. The specimens, which treated oxidization after process of sandblast with particles of 50um size, were the better for the bond strength in comparison with other specimen.

2. The specimen with process of sandblasting after oxidization treatment were the better for stability of the bond strength.

3. The wettability of titanium surface affect the bond strength.

◉Key word : Cast Ti alloy, 3-point flexural bend test, Bond strength, Sandblasting.

\* 본 연구는 2007년도 부산가톨릭대학교 교내학술연구비 지원을 받아 수행되었음.

교신저자	성명	정 인 성	전화	051-510-0599	E-mail	ischung@cup.ac.kr
	주소	부산광역시 금정구 부곡동 9번지, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과				

## I. 서 론

티타늄 (Titanium, Ti)은 비중이 낮으며 기계적 강도가 우수하여 생체친화성이 우수한 재료로 널리 사용되고 있다. 치과영역 또한 매식의치와 가철성, 고정성 국소의치 제작등에 사용되고 있다(King et al, 1994; Wataha, 2000; Kononen et al, 2001; Hassaini & Wazzan, 2005).

티타늄의 특성인 표면 산화성으로 인한 두꺼운 산화물 (TiO<sub>2</sub>)층이 생성된다. 이 산화물로 인하여 티타늄과 도재 간의 결합력에 영향을 미치게 된다. 산화물 등의 이유로 약한 결합력 때문에 임상보철물의 적용이 적다(Boening et al., 1992; Kononen & Kivilati, 2001).

티타늄의 단점을 보완하여 장점을 활용하는 많은 연구가 진행되고 있다. 티타늄의-도재간의 결합강도에는 영향을 미치는 요소에는 열팽창계수의 차이가 있는데 결합력을 높이기 위해서는 저용융도재(<850℃)를 사용하는 것이 양호하다고 보고되었다(Pang et al, 1995; Atsu & Berksun, 2000).

그리고 티타늄의 표면처리에 관한 연구가 활발하게 진행 되고 있다. 티타늄-도재간의 결합력을 향상시키기 위해서는 도재 소성전의 티타늄 표면의 상태가 관여한다고 보고 하였다(Craig & Powers, 2002).

티타늄-도재 결합강도를 향상시키기 위하여 티타늄의 표면처리 방법에는 샌드블라스팅법과 산 처리법 그리고 전용결합제(bonding agent) 등이 있다(Atsu & Berksun, 2000; Gilbert et al, 1994; Reyes et al, 2001).

샌드블라스팅법은 티타늄 표면에 기계적인 요철을 증가시켜 도재와의 결합력을 증가시키며(Reyes et al., 2001), Roh 등(2007)은 분사 모래의 입자크기가 50μm를 사용했을 때 가장 높은 결합강도를 나타냈다고 보고하였다. 산 처리법은 표면에 화학적 처리를 하여 결합강도에 영향을 주는 방법이다. 황산과 과산화수소를 이용하여 표면처리를 실시하였을 때 과산화수소는 황산보다 티타늄 표면을 매우 거칠게 형성하였으나, 결합강도는 낮게 나타났다고 보고하였으며(Reyes et al, 2001), 전용결합제(bonding agent)를 티타늄 표면에 처리하여 도재를 결합하면 결합력이 증가한다고 보고되었다(Atsu & Berksun,

2000; Gilbert et al, 1994; Reyes et al, 2001).

티타늄-도재간의 결합력을 향상시키기 위한 표면처리를 위하여 여러 가지의 방법이 연구되어지고 있다. 이러한 방법을 응용한다면 보다 우수한 결합력을 가질 것으로 생각된다.

본 연구에서는 산화알루미늄의 입자크기를 220μm과 50 μm로 변화를 주어 샌드블라스팅 처리한 군과 샌드블라스팅과 산 처리 순서를 달리한 군 등 4군으로 티타늄 표면을 처리한 다음 평균 표면 거칠기 실험과 접촉각을 이용한 젖음성 그리고 3점 굴곡 시험을 통해 티타늄과 도재의 결합력을 분석하여 티타늄 표면처리방법과 티타늄과 도재의 결합강도와의 상관관계를 규명하고자 하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 연구 재료 및 시편 제작

#### 1) 연구 재료

티타늄 금속은 주조용 Ti 합금(Dentaurum, Tritan, Germany)을 사용하였고, 도재는 티타늄 전용 저온 소성도재인 TriCeram(Dentaurum, Germany)을 사용하였다(Table. 1).

Table 1. Composition of Specimen

Specimen	Ti	etc.
Cast Ti alloy	99.8	Fe. O. H. N. C

#### 2) 시편 제작

시편은 물성을 관찰하기 위한 물성관찰용 시편과 도재를 소성하여 결합력을 관찰하기 위한 결합력관찰용 시편을 제작하였다. 시편은 일반적인 보철제작을 위한 주조법을 이용하여 제작하였다. 물성관찰용 시편의 형태는 정사각판형(10mm×10mm×5mm)로 제작하며, 결합력관찰용 시편은 직사각판형(10mm×50mm×5mm)으로 제작하였다.

#### 3) 표면 처리

제작된 물성관찰용 시편과 결합력관찰용 시편을 Table 2와 같이 표면처리 하였다. 시편 220SN은 220μm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

를 사용하여 샌드블라스팅 (Pemblast, 우성, Korea)을 실시하고 초음파세척기를 이용하여 30분간 세척을 실시하고 30% HNO<sub>3</sub>에 30분간 침습한 후 초음파 세척을 실시 후 진공에서 건조하였다. 시편 50SN은 50 $\mu$ m의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 샌드블라스팅을 실시하고 초음파세척기를 이용하여 30분간 세척을 실시하고 30% HNO<sub>3</sub>에 30분간 침습한 후 초음파 세척을 실시 후 진공에서 건조하였다.

시편 NaCuNF220S는 전용부식액 I (50% NaOH, 10% CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O)를 제조하여 105 $^{\circ}$ C를 항온하며 10분간 침습 후 초음파 세척을 30분간 실시한 다음 전용부식액 II (35% HNO<sub>3</sub>, 5% HF)에 60초간 침습 후 5분간 초음파세척을 실시하고, 실온 건조 후 220 $\mu$ m의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 샌드블라스팅을 실시하였다.

시편 NaCuNF50S는 전용부식액 I (50% NaOH, 10% CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O)를 제조하여 105 $^{\circ}$ C를 항온하며 10분간 침습 후 초음파 세척을 30분간 실시한 다음 전용부식액 II (35% HNO<sub>3</sub>, 5% HF)에 60초간 침습 후 5분간 초음파세척을 실시하고 실온 건조 후 50 $\mu$ m의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 샌드블라스팅을 실시하였다.

4) 도재 소성

Table 2. Experimental groups of specimens used in study

Specimen	Treatment
220SN	① Sand Blasting (220 $\mu$ m Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	② Ultrasonic cleaning (30min)
	③ 30% HNO <sub>3</sub> (30min)
	④ Ultrasonic cleaning (30min)
	⑤ vacuum dry
50SN	① Sand Blasting (50 $\mu$ m Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	② Ultrasonic cleaning (30min)
	③ 30% HNO <sub>3</sub> (30min)
	④ Ultrasonic cleaning (30min)
	⑤ vacuum dry
NaCuNF220S	① 50% NaOH, 10% CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O(105 $^{\circ}$ C/10min)
	② Ultrasonic cleaning (30min)
	③ 35% HNO <sub>3</sub> , 5% HF (1min)
	④ Ultrasonic cleaning (5min)
	⑤ Sand Blasting(220 $\mu$ m Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
NaCuNF50S	① 50% NaOH, 10%CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O(105 $^{\circ}$ C/10min)
	② Ultrasonic cleaning (30min)
	③ 35% HNO <sub>3</sub> , 5% HF (1min)
	④ Ultrasonic cleaning (5min)
	⑤ Sand Blasting(50 $\mu$ m Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

합금과 도재의 결합강도를 측정하기 위하여 도재를 소성결합하고 박리되는 힘을 측정하기 위하여 결합력 관찰용 시편에 도재를 소성하였다. 도재는 시편의 중앙부에 10mm $\times$ 20mm의 면적과 5mm의 두께로 축성하였다.

2. 시험 방법

1) 경도 측정

물성관찰용 시편을 이용하여 합금의 경도를 측정하였으며, 측정기는 Micro Vicker's Hardness tester(FM-7, FUTORE-TECH Co., Japan)를 사용하였다.

2) 표면 거칠기 측정

표면 처리된 티타늄 시편의 표면 거칠기를 측정하기 위해 조도측정기(AlphaStep IQ, KLA- Tencor Korea, Korea)를 사용하여 측정하였다.

3) 접촉각 측정

표면 처리된 시편의 젖음성을 관찰하기 위하여 표면의 접촉각을 접촉각 측정기(Phoenix 150, Surface Electro Optics, 한국)를 사용하여 측정하였다.

4) 3점 굴곡 시험

시편에 소성하여 결합된 도재의 박리되는 힘을 측정하여 시편과 도재간의 결합력을 산출하기 위하여 3점 굴곡 시험을 실시하였다. 3점 굴곡 시험은 만능시험기(MTS 858 Bionix Test System, U.S.A)를 이용하였다. 시험은 3점 굴곡용 지그 (jig)를 이용하여 도재소성 면을 아래로 두고 40mm 간격으로 하부 지그에 위치하고 상부 지그의 하중점은 시편의 중앙 상위에 위치하였다. 시험은 하부 지그는 고정으로 상부 지그에서 하중을 가하였고 변위는 상부에서 하부로 2mm 압축 하였다. 압축 이동 속도는 0.5 mm/min으로 하였다. 시험 결과는 치과용 금속-도재 수복재(한국통합치과기재규격 제44호, ISO 6872)에 의하여 결과를 평가하였다.

5) 통계처리

3점 굴곡 시험을 통한 결합강도 값을 확인하기 위해 다양하게 처리된 티타늄 표면에 따라 비교하였고, 결합강도

값의 다양성에 대해 SPSS Ver.14.0 for Win(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 일원배치분석(ANOVA)을 시행하였다. 각 군 간의 유의성 검증을 위해 Scheffe's test를 이용하여 95%의 유의수준을 검증하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 경도 측정

시편의 물성을 알아보기 위하여 경도를 측정한 결과는 Table 3과 같다. 주조용 티타늄 합금으로 주조한 시편의 평균 경도 값은 869Hv로 나타났다. 티타늄의 물성은 티타늄-도재 결합력에 영향을 끼치므로 매우 중요한데 실험결과 티타늄-도재 제작용으로 사용 가능한 물성을 갖고 있는 것으로 생각된다.

Table. 3 Vicker's hardness of specimen

Specimen	1	2	3	Average
Cast Ti alloy	930.6	876.0	801.2	869.2

#### 2. 표면 거칠기 측정

4종의 표면처리방법에 따라 표면거칠기 측정 결과 200SN은 0.9975 $\mu\text{m}$ 의 평균거칠기 값을 가지며, 50SN은 0.7483 $\mu\text{m}$ , NaCuNF220S은 0.8650 $\mu\text{m}$ , 그리고 NaCuNF50S은 0.6292 $\mu\text{m}$ 의 평균 거칠기를 나타내었다.

표면 거칠기 결과 샌드블라스팅 시 입자의 크기가 큰 220 $\mu\text{m}$ 로 하였을 때 거칠기가 높은 것으로 나타났으며, 샌

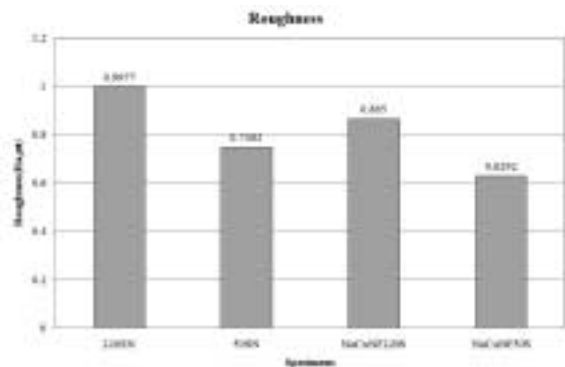


Fig. 1. Means and standard deviations of average surface roughness of Cast Ti Specimens

드블라스팅 후 산 처리를 하는 것이 산 처리한 다음 샌드블라스팅을 실시하는 것보다 높은 거칠기를 관찰할 수 있었다(Fig. 1).

#### 3. 접촉각 측정

젖음성 관찰을 위하여 표면의 접촉각 측정 결과 200SN은 72.83°의 접촉각을 가지며 50SN은 64.43°, NaCuNF220S은 68.69° 그리고 NaCuNF50S은 70.79°의 접촉각을 측정할 수 있었다. 접촉각 측정 결과 샌드블라스팅 후 산 처리를 실시한 군에서는 50 $\mu\text{m}$ 로 분사한 표면이 220 $\mu\text{m}$ 로 분사한 표면에 비하여 젖음성이 양호한 것으로 관찰되며, 산 처리 후 샌드블라스팅을 실시한 군에서는 220 $\mu\text{m}$ 로 처리한 군이 50 $\mu\text{m}$ 으로 처리한 군에 비하여 젖음성이 양호한 것으로 관찰되었다(Fig. 2).

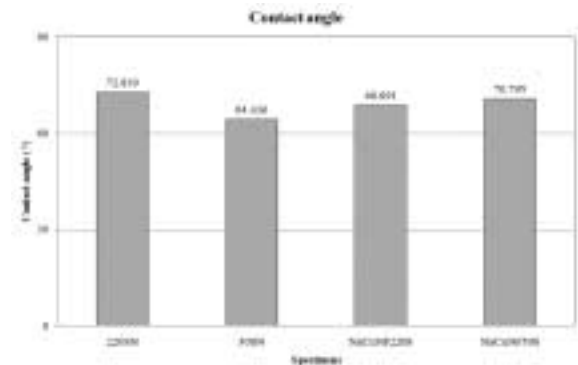


Fig. 2 Means and standard deviations of average contact angle of Cast Ti Specimens

#### 4. 결합력 관찰

티타늄 표면에 도재를 소성하여 도재의 파절력을 이용하여 티타늄-도재간의 결합력을 평가하게 된다. 3점 굽힘에 의한 도재의 파절력을 이용하여 결합력으로 환산한 결과 200SN은 23.81MPa의 결합력을 가지며 50SN은 31.06MPa, NaCuNF220S은 28.78MPa 그리고 NaCuNF50S은 28.76MPa의 결합력을 관찰할 수 있었다(Fig. 3).

결합력 관찰 결과 50 $\mu\text{m}$ 로 샌드블라스팅을 실시한 다음 산 처리를 실시한 시편이 다른 시편들에 비하여 높게 관찰되었으며, 산 처리한 다음 샌드블라스팅을 실시한 군에서는 시편들 간 결합력이 유사한 것으로 관찰되었다. 샌드블라스팅 처리한 다음 산 처리를 실시한 시편은 결합력

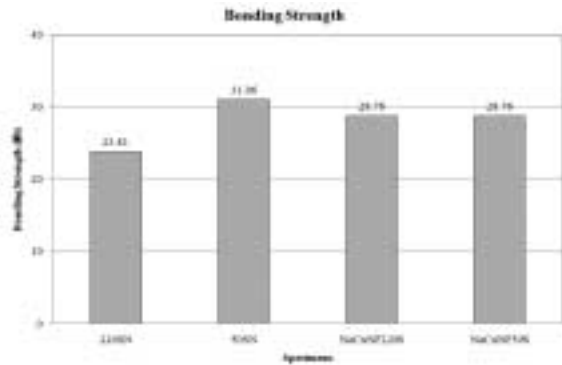


Fig. 3. Means and standard deviations of average bonding strength of Cast Ti Specimens

에 격차를 보였지만 산 처리한 다음 샌드블라스팅을 실시한 시편들은 안전한 결합력을 보였다.

티타늄-도재의 결합력을 평가하기 위하여 거칠기에 따른 결합력의 변화를 관찰한 결과 평균 거칠기 값이 0.997  $\mu\text{m}$ 로 가장 높은 220SN은 가장 낮은 23.81MPa의 결합력을 관찰할 수 있었고, 평균 거칠기 값이 0.748  $\mu\text{m}$ 인 50SN은 31.06MPa로 가장 높은 결합력을 보였다. 그리고 평균 거칠기가 0.865  $\mu\text{m}$ 인 NaCuNF220S는 28.78MPa의 결합력을 가지며, 0.629  $\mu\text{m}$ 로 가장 낮은 거칠기를 가지는 NaCuNF50S는 28.76MPa의 결합력을 관찰할 수 있었다(Fig. 4).

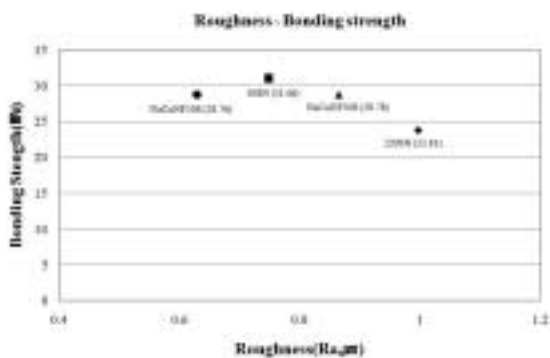


Fig. 4. Relation between average roughness and bond strengths

거칠기에 따른 결합력의 관찰 결과 산 처리 후 샌드블라스팅을 실시한 군에서는 입자의 크기가 50  $\mu\text{m}$ 를 사용하였을 때 결합력이 우수한 것을 관찰할 수 있으며, Roh(2007) 등의 보고와 같은 결과를 보였다. 그리고 산 처리 후 샌드블라스팅을 실시한 NaCuNF220S와 NaCuNF50S은 거칠기에 있어 차이는 보였으나, 결합력은 동일하게 관찰되

었다.

샌드블라스팅 처리 후 산 처리를 실시 한 50  $\mu\text{m}$  입자를 사용한 50SN이 우수한 결합력을 보이지만 220  $\mu\text{m}$  입자에서는 가장 낮은 결합력을 보였다. 반면 산 처리 후 샌드블라스팅을 실시한 시편들은 안정된 결합력을 관찰할 수 있었다. 이 결과는 Navlor(1992) 등의 염산, 불산, 황산으로 화학적 처리를 시행한 결과 산화막 형성을 감소시킴으로써 결합력을 향상시킨다는 보고(Fung, 1994)에 의하여 해석될 수 있다.

거칠기에 의한 결합력의 관찰결과는 Papadopoulos (1996) 등은 50  $\mu\text{m}$ 보다 더 큰 직경인 250  $\mu\text{m}$ 의 산화알루미늄 입자를 사용한 경우 티타늄과 도재의 결합력을 증가시키고 그 이유는 큰 산화알루미늄 입자가 금속에 잔존되지 않기 때문이라는 보고와는 상반되는 결과를 얻었으나, 샌드블라스팅을 시행한 군보다 산 처리를 실시한 군이 결합강도가 높은 것은 샌드블라스팅시 표면에 잔존하는 산화알루미늄이 결합력을 감소시킨다는 보고(White et al., 1996)와 샌드블라스팅을 실시 후 적절한 세척을 시행한다면 잔존된 산화알루미늄을 감소시켜 높은 결합력을 나타낸다는 보고(김상훈, 2006)를 토대로 분석하였을 때 본 실험의 결과인 50  $\mu\text{m}$  산화알루미늄을 이용하여 샌드블라스팅을 실시한 군이 결합력이 높게 나온다는 것을 뒷받침할 수 있다.

그리고 본 실험의 결과 Reyes(2001) 등의 티타늄 표면을 샌드블라스팅과 화학처리를 시행한 후 평균 표면거칠기(Ra)와 미세표면형상을 분석 후 도재와 결합강도를 측정하였을 때 표면처리 방법에 따라 결합강도의 유의한 차이를 보인다는 보고와 유사한 결과를 얻을 수 있으며, 티타늄과 저온 소성도재와의 물리적인 결합력에 영향을 주는 요소인 미세표면형상과 표면거칠기를 들 수 있으며, 이중 미세표면형상에 따라 유의성이 있는 차이를 보였으나 표면 거칠기에 따른 결합강도의 유의성은 검사를 확인하지 못한 보고(Bondioli, 2004)를 뒷받침 할 수 있는 참고 데이터를 얻을 수 있었다.

접촉각을 이용한 젖음성에 따른 결합력 관찰결과 젖음성이 우수한 50SN이 결합력이 가장 우수하며, NaCuNF220S과 NaCuNF50S은 젖음성과 관계없이 동일한 결합력을 보였다. 그리고 젖음성이 낮은 220SN의 결합력이 가장

낮은 것으로 관찰되었다(Fig. 5). 이러한 결과는 젖음성이 우수한 표면이 도재와 조밀한 접촉을 이루어 결합력을 합력을 향상 시키는 이론과 동일한 내용을 보여 주고 있다.

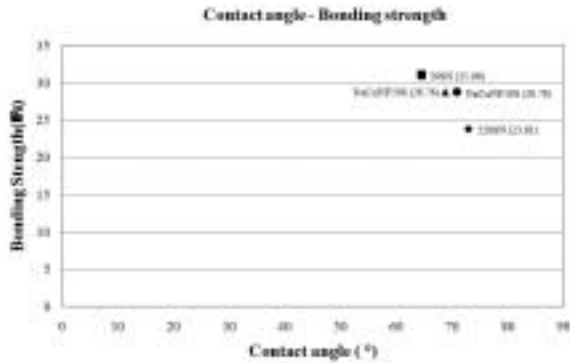


Fig. 5. Relation between average contact angle and bond strengths

도재와 금속의 결합기전으로 Root와 Findley(1976) 등은 금속과 도재 계면은 결합 기전을 갖는데 금속 산화물에 의한 화학적 결합과 금속의 거친 표면을 이용한 물리적 결합력 그리고 열팽창률 차로 인한 압축력의 영향을 받는다고 하였으며, 또한 2차적인 젖음성을 증가시키는 도재와 금속의 중요인자로 분자간 인력을 강조하여 젖음성의 의미를 부각시켰다(Root & Findley, 1976).

젖음성에 의한 금속-도재간의 결합력과 관련해서는 Lavine과 Custer(1966) 등은 거친 주조면이 연마된 주조면 보다 결합강도가 증가하는데 이는 계면에 젖음성이 증가하여 도재입자의 확산이 더 잘 이루어지기 때문이라고 보고(Togaya et al, 1998; Lavine & Custer, 1966)와 액체의 표면 인장력은 접촉된 표면을 적시려는 경향과 관련된다. 고체-액체 벡터 간의 각도가 젖음성을 결정하며 각도가 더 작을수록 형성된 도재의 고체 금속에 대한 젖음성을 더 향상시킨다. 만일 젖음성이 효율적으로 일어난다면 도재는 금속표면에서 불규칙적인 미세한 부위로 들어갈 수 있으며 기계적 잠김이 일어날 것이라는 보고로 해석될 수 있다(Naylor, 1992). 그러나 최근 Kelly(1969) 등은 총체적인 표면 거칠기는 금합금에 대한 도재의 완전 젖음성을 억제하여 결합강도를 감소시킨다고 하였으며 매끄러운 금속 표면이 결합강도를 증가 시킬 것이라고 제안되기도 하였다(Taria, 1998).

본 실험 결과와 같이 샌드블라스팅 후 산처리를 실시한 50SN 군이 결합력이 높은 결과는 10% 염산 수용액으로 30분간 끓임으로써 표면처리를 시행한 군에서 가장 이상적인 접촉각을 얻었으며, 티타늄 표면에 가장 적절한 산화막을 감소시켜 가장 적절한 산화막을 형성하여 가장 높은 결합강도를 보인다는 보고와 거대표면처리를 시행한 후 미세표면처리를 실시하면 이전에 처리된 표면 구조의 균일성을 방해하여 부적절한 접촉각을 야기하고 티타늄과 도재 계면 사이의 결합력을 악화시키는 역할을 한다는 보고(Reyes et al, 2001)의 이론과 동일한 해석을 할 수 있는 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

티타늄-도재간의 결합력을 관찰하기 위하여 샌드블라스팅(220 $\mu$ m, 50 $\mu$ m)한 다음 산 처리를 실시한 군과 산 처리한 다음 샌드블라스팅(220 $\mu$ m, 50 $\mu$ m)을 실시하는 방법으로 티타늄의 표면처리 후 표면의 변화를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 50 $\mu$ m 입자로 샌드블라스팅 후 산 처리를 한 시편이 다른 시편에 비교하여 결합력이 우수하였다.
2. 산 처리 후 샌드블라스팅을 실시한 시편에서 안정된 결합력을 보였다.
3. 티타늄 표면의 젖음성이 티타늄-도재의 결합력과 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

김상훈. 타이타늄의 표면거칠기가 도재의 결합강도에 미치는 영향. 전남대학교 대학원. 석사학위논문, 2006.  
 Atsu S, Berksun S. "Bond strength of three porcelains two forms of titanium using two firing atmospheres. J Prosthet, Dent, 84;

- 567-74, 2000.
- Boening KW, Walter MH, Reppel PD. Non-cast titanium restorations in fixed prosthodontics. *J Oral Rehabil*, 19; 281-7, 1992.
- Bondioli IR, Bottino MA. Evaluation of shear bond strength at the interface of two porcelains and pure titanium injected into casting mold at three different temperatures. *J Prosthet Dent*, 91: 542-7, 2004.
- Fung LW. A study on bond strength of fired porcelain on nitrided-pure titanium[Thesis]. Indiana University School of Dentistry, Indianapolis, 1994.
- Gilbert JL, Covey DA, Lautenschlager EP. Bond characteristics of porcelain fused to milled titanium. *Dent Mater*, 10; 134-40, 1994.
- Hussaini IA, Wazzan KAA. Effect of surface treatment on bond strength of low-fusing porcelain to commercially pure titanium. *J Prosthet Dent*, 94; 350-6, 2005.
- King AW, Lautenschlager E, Chai J, Gilbert J. A comparison of the hardness of different types of titanium and conventional metal ceramics. *J Prosthet Dent*, 72: 314-9, 1994.
- Kivilahti KM. Fusing of dental ceramics to titanium. *J Dent Res*, 80: 848-54, 2001.
- Kelly M, K Asgar K, O'brien WJ. Tensile strength determination of the interface between porcelain fused to gold. *J Biomed Mat Res*, 3: 403-407, 1969.
- Lavine MH, Custer R. Variables affecting the strength of bond between porcelain and gold. *J Dent Res*, 45: 32-35, 1966.
- Navlor PW. Introduction to metal ceramic technology. Quintessence Publishing Co, 1992.
- Pang IC, Gilbert JL, Chai J, Lautenschlager EP. Bonding characteristics of low-fusing porcelain bonded to pure titanium and palladium-copper alloy. *J Prosthet Dent*, 73: 17-25, 1995.
- Papadopoulous V. Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces. Presented at 34th IADR/CEO, 18-20 1996.
- Reyes MJ, Oshida Y, Andres CJ, Barco T, Hovijitra S, Brown D. Titanium-porcelain system Part III; effects of surface modification on bond strengths. *Biomed Mater Eng*, 11; 117-36, 2001.
- Reyes MJD, Ohida Y, Andres CJ, Barco T, Hovijitra S, Brown D. Titanium-porcelain system. Part III: Effects of surface modification on bond strengths. *Bio Med and Eng*, 11: 117-136, 2001.
- Roh SW, Vang MS, Yang HS, Park SW, Park HO, Lim HP. Effect of surface modification on bond strength in titanium-porcelain system. *J Korean Academy of prosthodontics*, 5: 589-600, 2007.
- Root NS, Findley MM. The bond between porcelain and gold alloys: characteristics and practical consideration. *Quintessence Dent Tech*, 1: 93, 1976.
- Taria Y, Matsumra H, Yoshida K, Tanaka T, Atsuta M. Influence of surface oxidation of titanium on adhesion. *J Dent*, 26: 69-73, 1998.
- Togaya T, Suzuki M, Tsutsumi S, Ida K. An application of pure titanium to the metal porcelain system. *Dent Mater J*, 26: 69-73, 1998.
- Wataha JC. Biocompatibility of dental casting alloys; a review. *J Prosthet Dent*, 83; 224-34, 2000.
- White SN, HO L, Caputo AA, Goo E. Strength of porcelain fused to titanium. *J Prosthet Dent*, 48: 429-31, 1996.