

치과용 Co-Cr 금속도재관의 표면처리에 의한 도재와의 결합 강도 분석

박희근, 박원욱, 조경명*, 황규홍*
진주보건대학교 치기공과, 경상대학교 나노신소재공학부*

Analysis of the bonding strength according to surface treatments of dental Co-Cr alloy for porcelain fused to metal

Hee-Geun Park, Won-UK Park, Jinming Zhao*, Kyu-Hong Hwang*
Department of Dental Technology, Jinju Health College
School of Nano and Advanced Materials Engineering, Gyeongsang National University*

[Abstract]

Purpose: Observation of Oxide Film Formation and Bonding Strength according to surface treatment of Co-Cr Alloy for porcelain fused to Metal.

Methods: metal specimens $0.5\text{mm} \times 25\text{mm} \times 4\text{mm}$ in size were made using Co-Cr alloys for porcelain fused to metal crown (Heraenium P, Tae jung Medis). Dental porcelain $0.5\text{mm} \times 25\text{mm} \times 4\text{mm}$ in size was sintered on the metal specimens after changing the etching time, sandblasting condition, and heat treatment temperature. Subsequently, the bonding strength was compared by the three-point flexural strength test using a universal testing machine (UTM) to observe the fracture surface and oxidized layers.

Results: With regard to the experimental group treated with acid-etching, Specimen 1 treated for 25 minutes (B-3) showed the highest bonding strength, and Specimen 2 treated only with sandblasting showed the most excellent bonding force at 3.5 bar (C-3). With regard to the experimental group treated with sandblasting at 3.5 bar after acid-etching for 25 minutes, Specimen 3 with heat treatment at 980°C (D-3) showed the highest bonding strength.

Conclusion: The specimen which went through both sandblasting and etching, showed an excellent ceramic-metal bond strength.

○Key words : Co-Cr Alloy, surface treatment, bond strength, sandblasting, etching

* 이 연구는 2015년도 경상대학교 발전기금재단 재원으로 수행되었음.

교신저자	성명	박 희 근	전화	010-5048-6696	E-mail	p0124864@nate.com	
	주소	경남 진주시 상봉동 상봉한주 아파트 3동 109호					
접수일	2016. 7. 7		수정일	2016. 9. 1		확정일	2016. 9. 20

I. 서 론

최근에 사회 경제적 수준의 성장과 함께 아름다움에 대한 욕구가 높아지고 자연 치열의 모양과 색조를 최대한 재현할 수 있는 심미적 수복 재료의 필요성과 수요가 늘어가고 있다. 높은 품질의 심미적 치과치료에 대한 요구가 증가함에 따라 치과용 세라믹 재료의 전부도재관, 고정성 국소의치, 임플란트 수복물 등에 대한 사용이 증가하고 있다. 1960년대 초반에 최초의 금속-도재 수복물이 소개된 이후로 도재 수복재료에 대한 수요가 계속적으로 증가되어왔다(Weinstein, Katz et al, 1962). 최근 금값의 꾸준한 상승에 따라 치과용 비 귀금속의 사용이 늘고 있다. 금속-도재관용 합금이 갖추어야 할 요건은 도재의 강한 결합력, 도재와 합금간의 열팽창계수의 조화, 도재 소성 시 변형에 저항 할 수 있는 능력 등 이다(Craig, 1997).

그 중 금속과 도재의 결합기전은 화학적 결합, 기계적 결합, 도재와 금속의 열팽창계수 차이에서 오는 압축강도에 의한 결합, Van der Waal,s force등이 있으며, 이러한 결합력이 복합적으로 작용하여 결합력을 높지게 된다. 결합력에 영향을 미치는 요인으로 금속의 성분, 금속의 표면처리, degassing 조건, 금속과 도재의 열팽창계수의 차이 등이 있다. 화학적 결합은 금속에 첨가된 금속원소들의 영향을 받으며 치과용 금속-도재관에서 가장 강한 결합력으로 작용하는 결합이다(Anusavice, et al. 2003).

비귀금속 합금은 탄성계수, 강도, 경도 등이 높고 신장율이 2~33%로써 우수한 물리적 성질을 갖고 있다. 그러므로 비귀금속 합금은 변형에 대한 저항이 커서 금속구조물을 가능한 얇게 만들어, 도재의 두께를 충분히 부여할 수 있어 심미성을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 치아의 삭제량도 줄여 치아조직을 보존 할 수 있으며, 경제적인 면에서도 유리하기 때문에 널리 사용되고 있다(Papazoglou et al, 1993; Papazoglou et al, 1998; Nusavice, 2003; Resmussen et al, 1986).

Co-Cr합금은 가공용 합금과 주조용 합금이 있는데, 가공용 Co-Cr계 합금은 기계적 강도가 우수하여 의치용으로 많이 적용되고 있으며, 최근에는 주조용 Co-Cr계 합금에 의해 성질을 향상 시켜 도재관으로 사용하려는 연구

가 많이 진행되고 있다.

본 연구에서는 도재용착주조관용 Co-Cr 합금의 표면 처리 조건에 따른 산화막층의 특성과 미세구조를 관찰하고 각각의 시편에 치과용 도재를 소성한 후 3점 굽힘강도 시험을 통하여 도재용착주조관용 Co-Cr 합금과 도재와의 결합강도 및 파절 양상을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

도재용착주조관용 Co-Cr계 합금의 시편을 제조하기 위해 사용한 Co-Cr 합금(주) Tae jung Medis, Korea, Heraenium P) <Table 1>에 나타내었고, 도재 축성에 사용한 Powder는(Noritake, Japan, Super porcelain EX-3) <Table 2>에 나타내었다.

2. 시편제작

Table 1. Chemical composition of used Co-Cr alloy

Hera (Taejung medis)	Co	Cr	Mo	W	Si	Mn	N
	59%	25%	4%	10%	1%	0.80%	0.20%

Table 2. Chemical Composition of Noritake porcelain

	CeO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Opaque powder	26%	27.8%	6.2%	<1.0%	<1.0%
Body powder		64.5	14.4	<1.0	<1.0
	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	Pigments	Liquid
Opaque powder	3.7%	4.0%	<1.0%	10.6%	21.0%
Body powder	8.7	9.2	<1.0	minute	

1) 금속시편

3점 굽힘강도용 시편은 0.5mm×25mm×4mm 크기에 맞춘 아크릴를 사용하여 주조 한 후 인산염계 매몰재(CB-700, BC-VEST, 부광)를 사용하여 제조사의 지시에 따라 매몰

하였다. 실온에서 60분간 경화시킨 뒤 furnace에 넣어 940℃ 온도에 소환 후, <Table 1>의 Co-Cr 합금(Hera, Tae jung Medis)을 사용하여 주조를 하였다.

주조 후 주조체를 링으로부터 분리하여 잔여 매물체를 제거한 후, 시편의 표면을 균일하게 부여하기 위해 #400, #800, #1000, #1200의 SiC paper를 사용하여 순서대로 표면을 연마하여 0.5mm×25mm×4mm의 크기로 제작하였다(Fig. 1).

2) 금속시편의 표면처리

금속시편의 표면처리는 <Table 3>과 같이 시행 하였다. 표면처리를 실시하기 전 연마를 마친 시편을 증류수와 메칠 알코올에 넣어 10분간 초음파세척기를 이용하여 세척을 하였으며 물기를 완전히 제거하였다.

A시편은 표면처리를 하지 않은 시편을 980℃ 온도에서

열처리한 시편이고, B시편은 52% HF(불산)용액을 사용하여 0분, 15분, 25분, 40분 동안 acid-etching을 시행한 후 980℃ 온도에서 열처리를 하였으며, C시편은 도재층이 결합될 부위에 50µm 입자의 Al₂O₃을 이용하여 표면에 0.5bar, 2bar, 3.5bar, 5bar의 분사압력으로 sand blasting 처리 후 980℃의 온도에서 열처리를 실시하였다. D시편은 B시편의 시험 군과 C시편의 시험 군에서 가장 높은 결합력을 보인 group의 조건을 토대로 sand blasting을 실시하고 52%HF(불산)용액에서 먼저 acid-etching후 800℃, 920℃, 980℃, 1050℃의 온도에서 각각 열처리를 실시하였으며, E시편은 D시편과 달리 열처리를 먼저 실시하고 acid-etching을 하였다. 시편의 개수는 각 group당 각각 5개씩의 시편을 준비하였다.

3) 금속-도재 시편제작

열처리된 금속시편에 도재 분말(Super porcelain EX-

Table 3. Conditions of Surface treatment for each group

Treatment	Solution	Sample	Method
Untreated		A	Polishing
acid-etching	0	B1	acid-etching 52%(HF) ↓ heat treatment(980℃)
	15	B2	
	25	B3	
	40	B4	
sand blasting	0.5	C1	sand blasting ↓ heat treatment(980℃)
	2	C2	
	3.5	C3	
	5	C4	
sand blasting + acid-etching + heat treatment	800	D1	sand blasting(3.5 bar) ↓ acid-etching(25min) ↓ heat treatment
	920	D2	
	980	D3	
	1050	D4	
sand blasting + heat treatment + acid-etching	800	E1	sand blasting(3.5 bar) ↓ heat treatment ↓ acid-etching(25min)
	920	E2	
	980	E3	
	1050	E4	

3, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)을 제조사의 소성방법에 따라 opaque powder를 2회, body powder를 2회 소성하였다. 소성 후 과잉된 powder는 stone point로 연마하여 1mm×8mm의 최종크기로 <Fig. 1>과 같

이 금속위에 도재를 소성한 시편을 제작하였다.

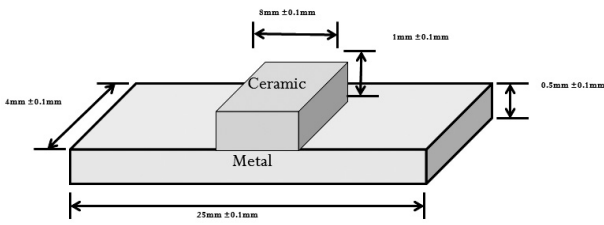


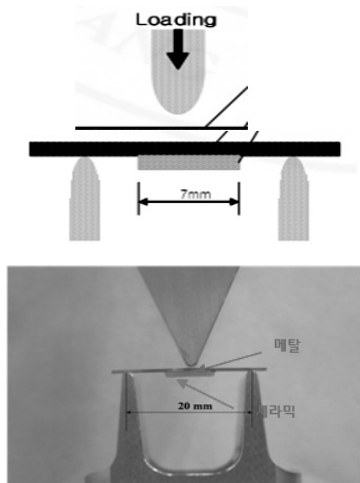
Fig. 1. Specimens for metal-ceramic bond strength test

3. 실험방법

1) 3점 굽힘 강도 시험

금속-도재와의 결합강도를 알아보기 위한 3점 굽힘 시험을 위해 각각의 시편을 만능시험기(Model RB302, R&B Inc, Daejeon, Korea)의 지지대 중앙에 도재면이 하부로 향하도록 하고 지점간 거리 20mm의 jig에 위치시키고 load point는 시편의 중앙 상위에 위치하였다. 하중 이동 속도는 0.5mm/min으로 하였으며, 파절시의 순간 최대 하중을 측정하고 도재와 금속간의 결합력을 산출하였다(Fig. 2).

금속과 도재의 분리 시점 및 도재의 파절시점을 결합강도 계산식에 의해 계산 하였다.



$$\text{굽힘강도(Mpa)} = \frac{3Pl}{2bd^2} \dots\dots\dots \text{식}$$

P : 파절 순간의 힘(N) b : 시편의 폭 (mm)
 d : 시편의 높이 (mm) l : 지지대 사이의 거리(mm)

Fig. 2. Specimen configuration of three point flexure test

2) 미세구조 관찰

각 시편의 표면처리 조건에 따른 Co-Cr 합금과 치과용 도재와의 결합강도를 실시하고 도재가 박리된 금속 시편의 잔존하는 물질과 산화막층의 미세구조를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope, Philips XL30 S FEG, Netherland)을 사용하였다. 그리고 그 성분을 EDS로 분석하여 금속-도재 사이의 파절양상을 분류하였다.

III. 결 과

1. 3점 굽힘강도 시험

1) acid-etching 시간에 따른 금속과 도재의 결합강도 <Fig. 3>은 도재용착주조관용 Co-Cr 합금을 acid-etching을 하지 않은 시편과 52%의 HF에 0분, 15분, 25분, 40분 동안 각각 acid-etching후 980℃의 진공하에서 산화막을 형성한 다음 치과용 도재를 소성하여 금속과 도재간의 3점 굽힘강도 시험을 통한 결합강도 결과를 나타낸 것이며, 점상의 결과는 금속 시편에 아무런 표면처리 없이 polishing만으로 이루어진 금속시편에 도재를 축성하고 3점 굽힘강도 수치를 나타낸 것이다.

측정결과 acid-etching을 하지 않은 시편보다 15분 동안 acid-etching을 실시한 시편의 결합강도가 높았으며, 25분 동안 acid-etching을 시행한 시편의 결합강도가 가

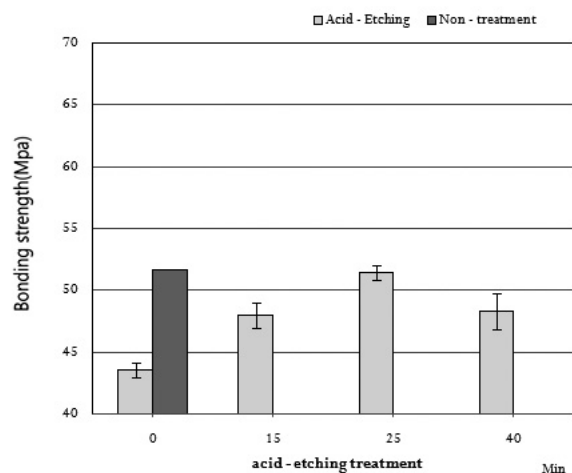


Fig. 3. The bonding strength of the metal and porcelain according to the acid treatment time

장 높았으나 40분 동안 acid-etching을 시행한 시편에서는 오히려 결합강도가 떨어지는 결과를 보였다. 전체적으로 결합강도를 분석하여 보았을 때 금속시편에 아무런 표면처리를 하지 않은 시편보다 acid-etching을 한 시편의 결합강도 값이 낮은 것으로 보아 acid-etching은 금속과 도재와의 결합강도에 있어 큰 영향을 미치지 못함을 확인할 수 있었다.

2) sand blasting 압력에 따른 금속과 도재의 결합강도

〈Fig. 4〉는 sand blasting시 압력이 금속과 도재와의 결합강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 50 μ m 입자의 Al₂O₃를 이용하여 0.5bar, 2bar, 3.5bar, 5bar의 압력으로 각각 Co-Cr 금속 시편에 분사한 후 980 $^{\circ}$ C의 진공 하에서 산화막을 형성한 다음 치과용 도재를 소성하여 금속과 도재간의 3점 굴곡강도 시험을 통한 결합강도 결과를 나타낸 것이며, 점상의 결과는 금속 시편에 아무런 표면처리 없이 polishing만으로 이루어진 금속시편에 도재를 축성하고 3점 굴곡강도 수치를 나타낸 것이다.

측정결과 가장 약한 0.5bar 압력에서 3.5bar까지의 압력이 증가할수록 결합강도도 증가하였으나, 5bar의 가장 높은 압력 하에서는 결합강도가 떨어지는 결과를 보였다. 전체적으로 결합강도를 분석하여 보았을 때 금속시편에 아무런 표면처리를 하지 않은 시편보다 금속 표면에 sand blasting를 시행한 시편의 결합강도 값이 높은 것으로 보아 sand blasting는 금속과 도재와의 결합강도에

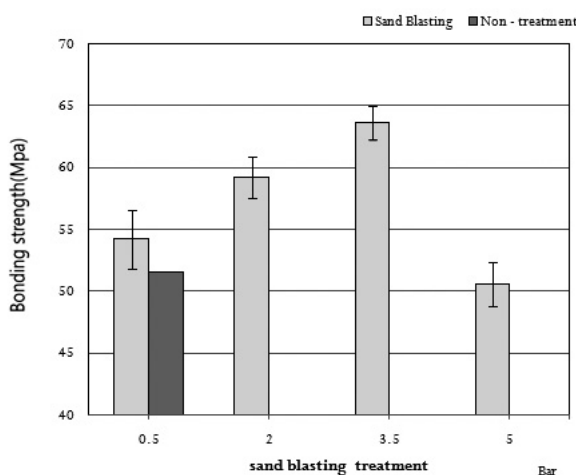


Fig. 4. The bonding strength of the metal and porcelain according to the pressure of the sand blasting

있어 결합력을 향상시키는 표면처리 방법임을 확인할 수 있었다.

3) sand blasting+heat treatment+acid-etching 한 금속과 도재의 결합강도

선행 시험 결과를 바탕으로 acid-etching와 sand blasting 시 가장 높은 결합강도 값을 나타낸 각각의 시험 조건에 산화막 형성 온도와 소성 환경이 결합강도에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 〈Fig. 5〉는 50 μ m 입자의 Al₂O₃를 이용하여 sand blasting한 후, 52%의 HF에 25분 동안 acid-etching을 하고 800 $^{\circ}$ C, 920 $^{\circ}$ C, 980 $^{\circ}$ C, 1050 $^{\circ}$ C에서 진공상태와 대기상태에서 각각 산화막 형성 후 치과용 도재를 소성하여 금속과 도재간의 3점 굴곡강도 시험을 통한 결합강도 결과를 나타낸 것이고, A의 결과는 금속 시편에 아무런 표면처리 없이 polishing만으로 이루어진 금속시편에 도재를 축성하고 3점 굴곡강도 수치를 나타낸 것이다.

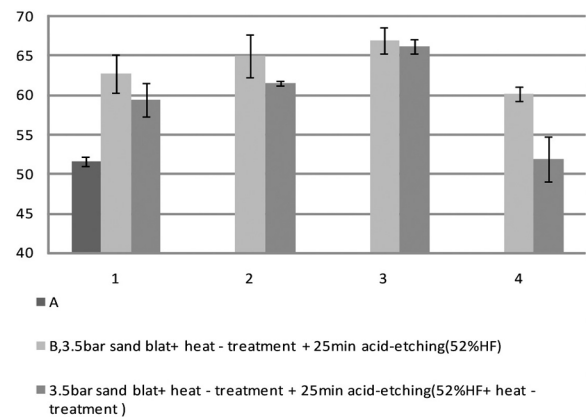


Fig. 5. The bonding strength of the specimens with oxidation heat-treatment after sand blasting and acid treatment

sand blasting과 acid-etching을 동시에 실시한 시편 중 진공하에서 열처리한 시편의 결합강도는 두 종류의 표면처리 중 한가지만을 시행한 시편의 결합강도 보다 전체적으로 아주 높은 결합강도 값을 나타내었으며, 980 $^{\circ}$ C의 열처리 시 가장 높은 결합력을 확인할 수 있었다. 하지만 대기 하에서 열처리를 실시한 시편은 열처리 온도가 상승함에 따라 결합력이 높아지는 현상을 보였으나, 전체적으로 비교할 때 진공 하에서 열처리된 시편보다는 결합력이

확연히 떨어지는 결과를 확인할 수 있었다. 특히 산화막을 먼저 형성하고 acid-etching을 실시한 시편에서는 더 높은 결합강도를 나타내었다.

2. 미세구조

1) 산화층 두께 관찰

〈Fig. 6〉은 각각의 조건에 따라 Co-Cr 금속에 표면처리를 시행한 후 치과용 도재를 소성한 시편을 3점 굽힘 강도 실험을 통해 세라믹이 메탈플레이트에서 박리되어진

측면에서 관찰한 사진이다.

금속시편 위에 불규칙한 산화층과 도재층이 존재함을 확인할 수 있었고 acid-etching을 행한 시편에서 가장 두꺼운 산화층을 관찰할 수 있었으며, sand blasting한 시편과 sand blasting과 acid-etching을 동시에 시행한 시편은 산화층의 두께가 비슷하였다. 특히, (A)시편은 열처리를 하지 않았음에도 불구하고 아주 얇은 두께의 산화막 층을 관찰할 수 있었다.

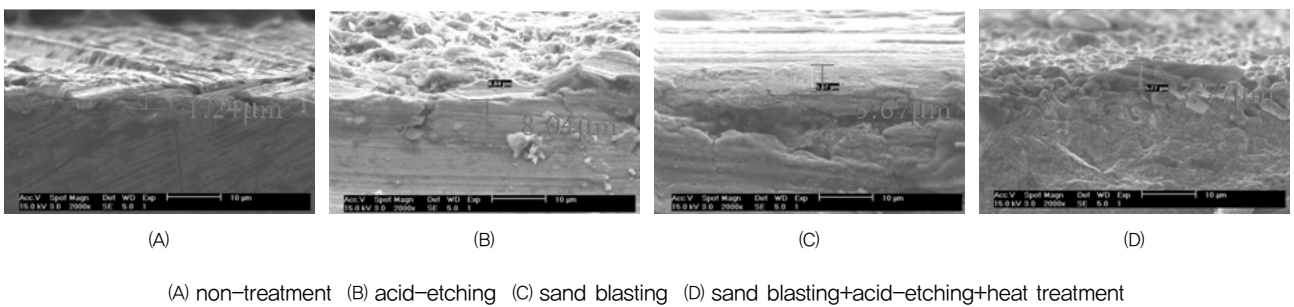


Fig. 6. SEM images of oxide layers

2) 표면조도 분석

금속 시편의 표면 거칠기에 따른 도재와의 결합관계를 알아보려고 3차원 주사탐침현미경(Scanning probe Microscope, PARKS, USA)을 사용하여, 그 표면형상을 〈Fig. 7〉과 같이 관찰 할 수 있었다. 관찰결과 아무런 표면처리를 시행하지 않은 시편의 전체적인 형상은 일률적

이고 규칙적인 폭과 높이를 보였고, acid-etching이나 sand blasting만 각각 시행한 시편은 둥글고 불규칙한 높이의 형상이 관찰되었으며, sand blasting+acid-etching+heat treatment 순서로 실시한 시편의 형상은 불규칙한 폭과 여러 개의 작고 예리한 높이를 가진 형태의 형상이 관찰되었다.

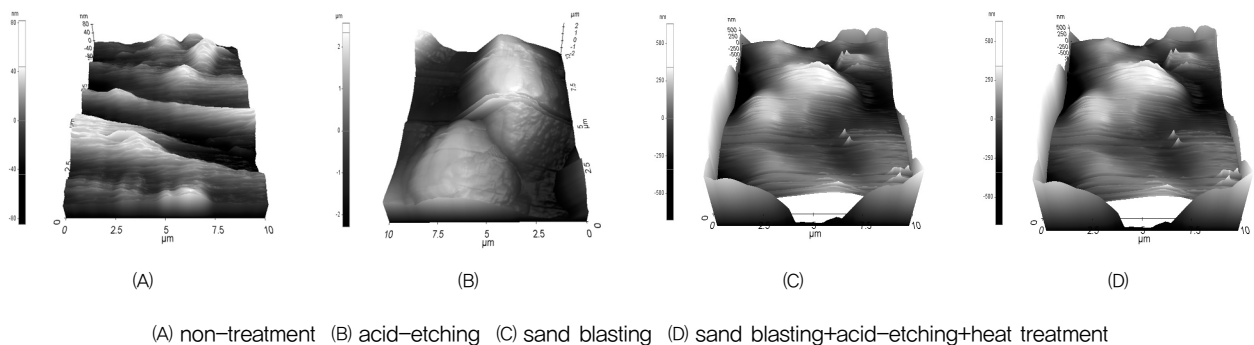


Fig. 7. AFM(Atomic Force Microscope) images of the surface roughness

3) 파단면 관찰

〈Fig. 8〉은 각각의 조건에 따라 Co-Cr 금속에 표면처리를 시행한 후 치과용 도재를 소성한 시편을 3점 굽힘 강

도 실험을 통해 세라믹이 메탈플레이트에서 박리되어진 금속면을 관찰한 사진이다.

모든 조건의 금속시편 상에 도재 잔유물이 존재함을 확

인할 수 있었으며 아무런 표면처리를 하지 않은 (A)시편의 금속표면에서는 일률적이고 깨끗한 금속면이 관찰된 것으로 보아 도재가 덩어리 형태로 박리된 것으로 보이며, acid-etching을 실시한 (B)시편은 아주 작고 조밀한 증착

된 형태의 잔유물이 존재함을 관찰할 수 있었으며 모래분사 및 모래분사와 산처리를 함께 실시한 금속시편에서는 불규칙한 형태로 도재 잔유물과 산화층이 관찰되었다.

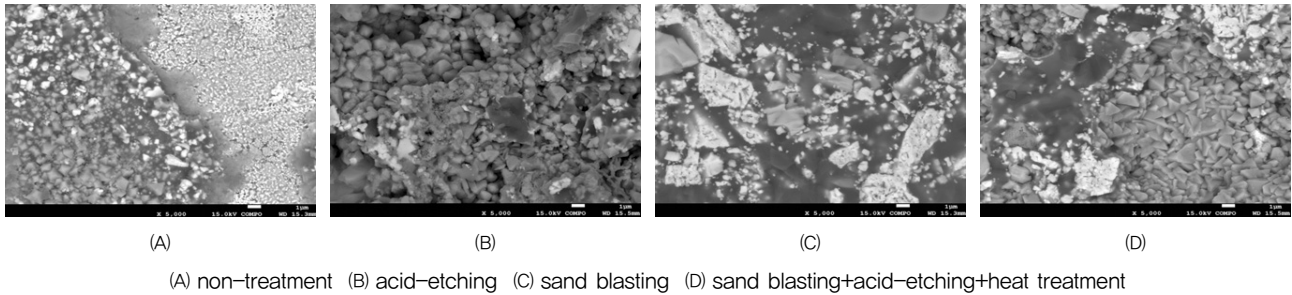


Fig. 8. SEM images of specimens of the fractured surface

3. EDX분석 및 파절양상

〈Fig. 9〉는 Co-Cr 합금에 아무런 표면처리를 하지 않은 시편에 도재를 축성하여 소성한 후 3점 굽힘 시험을 실시하여 파단면을 EDX분석한 결과이다.

분석 결과 금속성분인 Co가 33.27%, Cr가 20.34%, 도재성분인 Ce가 7.21% 검출된 것으로 보아 Metal oxide-porcelain 사이에서 파절되었음을 관찰할 수 있었다.

〈Fig. 10〉은 Co-Cr 합금에 산처리(acid-etching)를 실

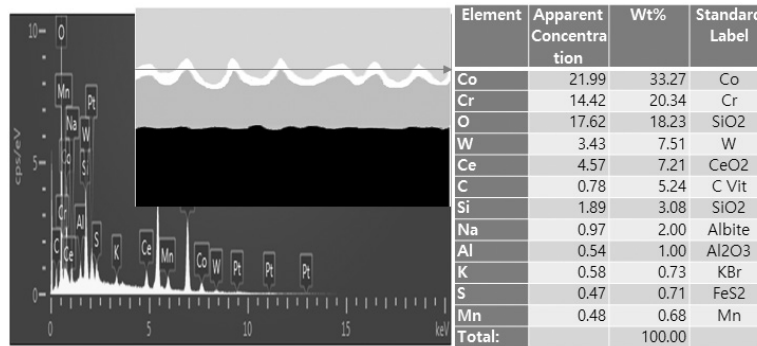


Fig. 9. EDX analysis of polished specimen(A-0) and its fail patterns

시하고 980℃의 진공하에서 열처리를 실시한 다음 도재를 축성 및 소성한 시편에 3점 굽힘 시험을 한 후 파단면을 EDX분석한 결과이다.

분석 결과 금속성분인 Co가 32.42%, 도재성분인 Ce가 14.86% 검출된 것으로 보아 metal oxide-porcelain 사이에서 파절되었음을 관찰할 수 있었다.

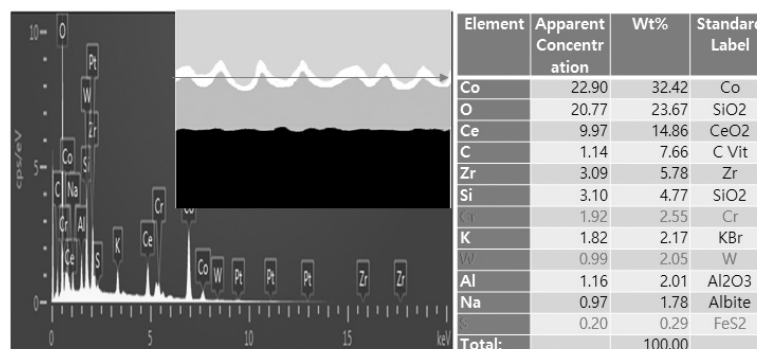


Fig. 10. EDX analysis of specimen and failure patterns(acid-etching)

〈Fig. 11〉은 Co-Cr 합금에 분사처리(sand blasting)를 실시하고 980℃의 진공하에서 열처리를 실시하여 도재를 축성 및 소성한 시편을 3점 굽힘 시험을 한 후 파단면을 EDX분석한 결과이다.

분석 결과 금속 성분은 검출되지 않았으며, 도재 성분인 Ce가 30.86% 검출된 것으로 보아 도재와 도재 사이에서 파절되었음을 관찰할 수 있었다.

〈Fig. 12〉는 Co-Cr 합금에 50μm 입자의 Al₂O₃로 분사

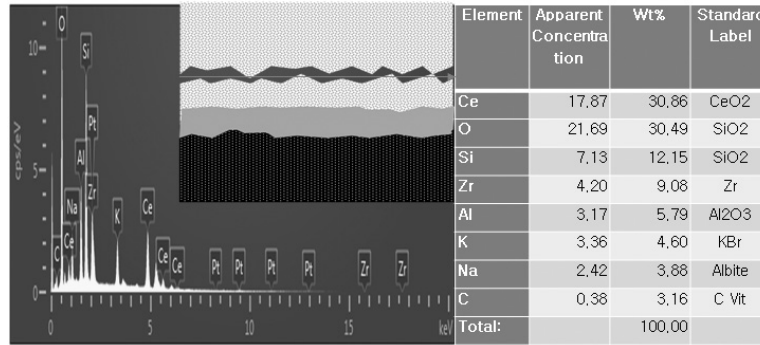


Fig. 11. EDX analysis of specimen and failure patterns(Sand blasting)

처리(sand blasting)를 먼저 실시한 다음 52%의 HF에 25분 동안 acid-etching 후 980℃의 진공하에서 열처리를 실시한 다음 도재를 축성 및 소성한 시편을 3점 굽힘 시험을 한 후 파단면을 EDX분석한 결과이다. 분석 결과 금

속성분인 Co가 24.14%, 도재성분인 Ce가 27.14% 검출된 것으로 보아 metal oxide-porcelain 사이에서 파절되었음을 관찰할 수 있었다.

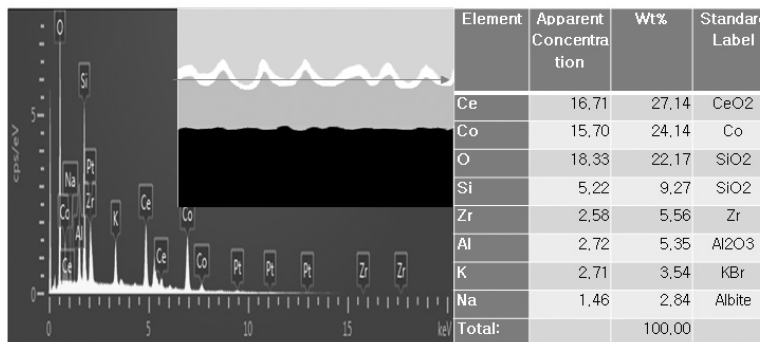


Fig. 12. EDX analysis of specimen and failure patterns(sand blasting+acid-etching+heat treatment)

IV. 고 찰

도재와 금속간의 결합 증진을 위한 노력으로 화학적 증진 방법이나 기계적 결합 증진 등을 위한 여러 가지 연구들이 시행되어 왔다(Szantho von Radnoth, et al. 1969, Borom과 Pask, 1966). 도재간의 결합강도를 증가시킬 수 있는 표면처리 방법으로 결합제의 사용이나, sand blasting, acid-etching, Silicon nitride coating 으로 방법도 제안 되었다(Kern와 Thompson, 1994). 실험에 사용되어진 금속은 비 귀금속 중에 생체친화적인 금

속인 Co-Cr 금속을 사용하였다. Co-Cr합금은 가공용 합금과 주조용 합금이 있는데, 가공용 Co-Cr계 합금은 기계적 강도가 우수하여 의치용으로 많이 적용되고 있으며, 최근에는 주조용 Co-Cr계 합금에 의해 성질을 향상시켜 도재관 으로 사용하려는 연구가 많이 진행하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 도재용착주조관용 Co-Cr 합금의 표면처리 조건에 따른 산화막층의 특성과 미세구조를 관찰하고 각각의 시편에 치과용 도재를 소성한 후 3점 굽힘강도 시험을 통하여 도재용착주조관용 Co-Cr 합금과 도재와의 결합강도 및 파절 양상을 알아보하고자 하였

다. 단점보다는 장점이 더 우수한 Co-Cr 합금의 연구를 더 지속하여 임상에 Ni-Cr계 금속 합금 보다 생체친화성 합금인 Co-Cr계 금속합금을 더 많이 사용 할 수 있도록 연구가 많이 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

현재 임상에서 사용하는 금속합금은 Ni-Cr계 금속합금을 사용하는데, Ni-Cr계 금속합금은 Ni 성분이 알레르기 성 피부질환을 일으킬 수 있기 때문에 대체로 사용 할 수 있는 합금을 찾다보니, 이번 실험에서 Co-Cr계 금속합금을 사용하였다. 우수한 강도와 생체친화성을 가진 Co-Cr계 금속합금으로 금속표면의 acid-etching시간, sand blasting조건 및 열처리 온도를 달리하여 산화물과 도재 층 사이의 반응을 관찰하였으며, 금속-도재 간의 굽힘 결합 강도를 측정, 비교분석해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 표면 연마만 행한 시편도 얇은 산화막 층이 형성됨을 관찰 할 수 있었으며, 이에 의한 도재와의 약한 화학결합을 확인할 수 있었다.

2. 금속시편 표면을 acid-etching 한 경우 25분 처리 (B-3) 시편이 금속 /도재 간의 결합강도가 제일 우수하게 나타났으나 전반적으로 낮은 결합 강도를 보여주었다.

3. 금속 표면을 sand blasting 한 경우 3.5bar 처리 시편 (C-3)에서 기계적 요철에 의한 산화층의 강한 결합으로 금속/도재 간 우수한 결합 강도를 보여주었다.

4. sand blasting와 acid-etching을 둘 다 시행한 시편에서 금속/도재 간의 결합(접합)강도가 더욱 우수하였다.

5. 열처리 온도는 980℃에서 산화막이 형성이 잘 이루어져 결합강도가 제일 우수하였다.

REFERENCES

- Anusavice KJ, Cascone, P. Phillips' Science of Dental Materials, 11th ed, 563-620. 2003.
- Craig RG. Restorative dental materials ed. 10. Mosby-Year Book Inc: 409-412, 493. 1997.
- Lautenschagler EP, Grenner EH, Elington WE, Microprobe analysis of goldporcelain bonding. J Dent Res 1969, 48, 1206-1209.
- Kern M, Thompson VP. Effects of sandblasting and silica-coating procedures on pure titanium. J Dent, 22: 300-6, 1994.
- M Szantho von Radnoth, Lautenschagler EP. Metal surface changes during porcelain firing. J Dent Res, 48: 321-326, 1969.
- Borom MP, Pask JA. Role of adherence oxides in the development of chemical bonding at glass-metal interfaces H Am Ceram Soc, 49: 1-6, 1966.
- Nusavice KJ. Phillips' science of dental materials, 11th ed, Philadelphia Saunders, 562-563. 2003.
- Papazoglou E, Brantley WA, Carr AB, Johnston WM. Porcelain -38-adherence to high-palladium alloys. J Prosthet Dent, 70, 386-394. 1993.
- Papazoglou E, Brantley WA, Johnston WM, Carr AB. Effects of dental laboratory processing variables and in vitro testing medium on the porcelain adherence of high-palladium casting alloys. J Prosthet Dent, 79, 514-519. 1998.
- Resmussen ST, Doukoudakis AA. The effect of using recast metal on the bond between porcelain and gold-palladium alloy. J Prosthet dent, 55, 447-452. 1986.
- Weinstein M. Katz S, Weinstein AB. Fused porcelain-to-metal teeth. Washington D.C.:U.S. Patent Office.U.S.Patent No 3,052,982 Sept. 1962.