

## 도재용착용 Ni-Cr계 합금의 이트륨 첨가물이 도재전단결합강도에 미치는 영향

우제승, 노세라\*, 노형록, 임청하, 이정환  
광주보건대학교 치기공과, (주)휴덴스\*

### Effect of yttrium additives on the shear bond strength of porcelain fused to Ni-Cr alloy for porcelain fused metal crown

Je-Seung Woo, Se-Ra Noh\*, Hyeong-Rok Noh, Chung-Ha Lim, Jung-Hwan Lee

Department of Dental Technology, Gwangju Health University, Gwangju, Korea  
HUDENS Co. Ltd., Gwangju, Korea\*

#### [Abstract]

**Purpose:** In this study, to evaluate the effect of oxide changes on the shear bond strength according to the composition of Ni-Cr alloys for porcelain fused metal crown, T-4 alloys, Zeroy alloys and Zeroy-X alloys were selected.

**Methods:** 20 specimens were fabricated using selected Ni-Cr alloys and porcelain powders. A Ni-Cr alloy having a diameter of 5 mm and a height of 25 mm was produced and the metal surface was polished. Porcelain powder was fired on the polished metal surface to a diameter of 5 mm and a height of 3 mm. The experiment group consisted of three groups, T-4(TNA), Zeroy(ZNA) and Zeroy-X(ZXA).

The fabricated specimens were mounted on a jig of a universal testing machine(UTM) and fracture strength was measured by applying a shear force at a UTM crosshead speed of 0.5 mm/min. The fracture strength was calculated as the bond strength between the porcelain and the alloy. The surface of the fractured alloy was analyzed by X-ray diffraction(XRD) and scanning electron microscopy(SEM), and the components of the oxide were measured by energy dispersive X-ray spectroscopy(EDX) line profile method.

**Results:** In SEM, XRD and EDX analysis, yttrium tended to increase the mechanical and chemical bonding forces. The shear bond strength of ZXA group containing yttrium showed the highest value at 27.53 MPa.

**Conclusion:** Based on the results of this study, it is considered that the yttrium-added Ni-Cr alloy is clinically acceptable in porcelain shear bond strength.

○ **Key words:** Ni-Cr alloy, PFM, Shear bond strength, Yttrium

Corresponding author	Name	임 청 하	Tel.	062-958-7693	E-mail	lchms@yahoo.com
	Address	광주광역시 광산구 북문대로 419번길 73 광주보건대학교 치기공과				
Received	2019. 4. 26	Revised	2019. 6. 7	Accepted	2019. 6. 12	

## 1. 서론

치과 보철치료에 있어서 심미성을 중요시하는 환자들의 요구가 많아짐으로 자연치아의 색상 재현에 유리한 치과용 강화 도재관과 지르코니아 도재관 등 전부도재관의 사용이 증가하고 있다. 심미성을 높일 수 있는 전부도재 수복 시스템은 1980년 후반부터 소개되기 시작하였으나 낮은 파절 강도로 인해 임상에서의 사용이 어렵기 때문에 하부코어의 투명도가 낮은 In-Ceram 제작방식은 사용이 제한적이며, 근래에는 leucite 분산 도재를 열가압하여 수복물을 제작하는 IPS Empress system과 lithum disilicate glass ceramic을 사용하는 IPS Empress system II가 사용되고 있지만 구치부에서 치아 상실이 긴 곳에서는 파절의 가능성이 남아있다. 강화 도재관의 단점을 극복하기 위해 지르코니아를 이용한 보철물 제작방식이 소개되었고 CAD/CAM을 이용하여 지르코니아를 가공하는 지르코니아 도재관은 가장 최근 개발된 것으로 높은 마모저항성 및 생체적합성으로 인해 이중구조 전부도재관의 하부코어, 전부도재관 등 점차로 그 영역을 확대해 가고 있으나 완전 소결된 지르코니아는 절삭과 연삭이 대단히 힘들고 많은 시간이 소요되며, 대합치 마모, 투광성 및 색조 재현, 임상적으로 안정성에 대한 구조적 기준 등이 마련되어 있지 않는 단점을 가지고 있다. 또한, 지르코니아 코어와 글라스 도재 사이의 결합강도에 영향을 미치는 요인으로는 기계적 및 화학적 결합, 열팽창계수의 차이에 의해 발생하는 수축력, 축성 도재층 두께 및 젖음성, 탄성계수 차, 교합력의 방향과 빈도 및 크기, 교합접촉면 크기와 위치, 계면 결합 등이 있으며, 지르코니아 도재관에서 도재 파절에 의한 실패는 2.3~8%로 보고되고 있다(Dündar et al, 2007). 지르코니아 코어와 비니어 도재 수복물의 박리(delamination)에 대한 선행연구로는 도재 파절이나 지르코니아와 도재의 결합부위에서의 파절에 인한 것으로 보고되었고(Sundh and Sjogren, 2004), 이중 구조 지르코니아 전부도재관의 도재가 파절에 취약하며, 인장력을 받는 경우 압축력을 받는 경우에 비해 약 9배의 약한 강도를 보인다고 하였다(White et al, 2005). 이러한 전부도재관의 단점들 때문에 치

과 임상에서는 여전히 도재용착주조관이 가장 보편적으로 선택되어 사용되고 있다(Azer et al, 2006; Pisani-Proenca et al, 2006).

도재용착주조관에서 금속도재관의 하부코어로 사용되는 비귀금속 합금은 주된 금속에 따라 크게 Ni-Cr계 합금, Co-Cr계 합금, 티타늄(Ti) 합금으로 나뉘어진다. 국소의치의 금속상 재료로 사용되는 Co-Cr계 합금은 고정성 보철물의 소재로는 흔히 사용되지 않았으나 Ni-Cr계 합금에 비해 알레르기 반응이 적고 부식저항성이 높아 근래에 들어 도재용착주조관에 적용이 되고 있다. Co-Cr계 합금의 단점은 낮은 주조성으로 인한 주조실패가 있으며, 이 단점을 극복하기 위한 방법으로 CAD/CAM 가공방식이나 금속분말을 이용한 DMLS(direct metal laser sintering) 3D 프린팅 방식이 개발되어 있으나 아직까지 사용이 제한적이다. 이러한 이유로 주조성과 조작성이 우수한 Ni-Cr계 합금이 도재용착주조관용 비귀금속 합금으로 가장 보편적으로 사용되며 니켈(Ni, 68~80%)과 크롬(Cr, 11~20%)으로 구성되고 다양한 첨가원소를 사용하여 물리적, 화학적 특성을 조절한다(Baran, 1983; Mclean, 1983). Ni-Cr계 합금에 베릴륨(Be)을 첨가하면 합금의 용점을 낮추고 결정을 미세화 하여 기계적 성질과 주조성을 향상시키고 도재와의 밀착성이 좋은 양질의 산화막을 형성하여 금속-도재간의 결합강도를 높이는데 기여하지만(Degar and Caniklioglu, 1998), 베릴륨에 노출되면 접촉성 피부염과 종양을 일으킬 수 있으며(Haberman et al., 1993) 주조과정에서 증기화와 연삭 과정에서 발생하는 미세 분진의 흡입 시 만성 염증성 폐질환을 유발시킬 수 있어 유해성이 문제가 되고 있다(Tsalve and Zaprianov, 1983; Kuschner, 1981). 미국산업안전보건청(OSHA)은 2001년도에 베릴륨의 위험성을 경고하였으며, 우리나라에서는 2009년 6월 식품의약품안전청이 베릴륨이 포함된 치과용 비귀금속 합금의 수입을 금지한 상태이다.

도재용착주조관 Ni-Cr계 합금의 성능향상에 도움이 되었던 베릴륨의 생물학적 문제로 인하여 사용이 규제되면서 이를 대체하기 위한 많은 연구들이 있었다. 대표적인 합금으로는 베릴륨의 대체재로 니오븀(Nb)을 첨가

한 Ni-Cr-Nb 합금과 열역학적 특성 조절을 위한 텅스텐(W)을 첨가한 Ni-Cr-W 합금이 있다(Kim, 2004). 하지만 첨가원소의 대체를 위하여 개발된 합금에서 금속-도재간의 결합력이 저하된다고 보고되었다(Choi, 2011). 금속-도재간의 결합력이 저하되는 원인 중에는 표면의 산화물에 의한 것이 포함되어 있다. 일반적으로 Ni-Cr계 합금의 소성을 실시하면 표면에 산화물이 생성되고 그 산화물은 대부분 크롬 또는 니켈의 산화물이며(Grimaudo, 2001), 금속 산화물의 특성이 금속-도재간의 결합력에 영향이 미치는 것으로 보고되었다(Craig, 1997; Choi, 2011).

본 연구에서는 실험재료로서 베릴륨을 함유하지 않는 Ni-Cr계 합금 중 T-4(Ticonium, NY, USA)와 Zeroy(Alphadent, Gyeonggido, Korea), 그리고 Zeroy 합금에 이트륨(Y)을 추가하여 조성한 Zeroy-X(Ni-Cr-xY)를 선택한 다음, Ni-Cr계 합금의 금속-도재간 결합관계를 금속산화막의 산화물 변화량 분석과 전단결합강도 실험 등을 통해 연구함으로써 도재용착주조관용 Ni-Cr계 합금 개발의 기초자료를 제시하기 위하여 Ni-Cr계 합금의 성분에 따른 산화물의 변화가 도재용착주조관의 전장도재와 하부 금속구조물간 전단결합강도에 미치는 영향을 조사하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구재료

금속 재료는 국내에서 도재용착주조관에 사용되는 치과용 Ni-Cr계 합금 2종과 실험 합금인 Ni-Cr-xY를 설계하여 시편을 제작하였고(Table 1), 각 금속 재료의 구성 성분은 Table 2와 같고 비니어용 전장도재는 CeraMax(Alphadent, Gyeonggido, Korea)를 사용하였다.

Table 1. Composition of the experimental groups

Alloy name	Component	Manufacturer
T-4	Ni-Cr alloy	Ticonium, USA
Zeroy	Ni-Cr alloy	Alphadent, Korea
Zeroy-X	Ni-Cr-xY alloy	Alphadent, Korea

Table 2. Approximate composition(wt%) of alloy used in this study

Alloy name	Ni	Cr	Mo	Si	Al	W	La	Y	bal.
T-4	65.7	20.1	1.3	3.3	2.4	7.1	0.1		
Zeroy	66.0	20.0	5.0		4.0				2.0
Zeroy-X	69.0	20.0	5.0		4.0			≤2.0	

## 2. 연구방법

### 1) 시편제작

전단결합강도 실험시편은 Figure 1의 형태로 제작하였다. 시편은 직경 5 mm, 높이 25 mm 원기둥 형태로 납형을 제작하고(n=20), 통상적인 방법에 따라 매몰과 소환을 실시하고 실험시편을 주조하였다. 시편 표면에 부착되어 있는 매몰재는 50 μm 산화알루미늄(Hi-aluminas, Shofu, Kyoto, Japan)를 사용하여 10 mm 떨어진 위치에서 2.5 기압으로 블라스팅 처리를 하였고 3분 동안 증류수에서 초음파 세척을 실시하고 증기 세척을 하였다. 준비된 시편에 직경 5 mm, 높이 3 mm 원기둥 형태로 전장도재를 축성하기 위해서 phaste opaque을 시편에 도포하고 450℃로 예열된 도재 전기로(Programat P510, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)에 위치시켜 8분간 건조시킨 다음 진공상태에서 60 ℃/min의 가열 속도로 950℃까지 온도를 올리고 1분간 계류 후 냉각하였다. 상아질 도재 축성은 전용의 지그(jig)를 이용하여 도재 분말을 축성하고 시편을 500℃로 예열된 전기로에 넣고 5분간 건조시킨 후에 전기로를 진공 상태로 유지하면서 60 ℃/min의 가열 속도로 880℃까지 온도를 올린 다음 1분간 계류시키고 냉각하였다(Table 3). 1차 도재 소성이 완료된 시편은 밀링 머신(milling machine ; SAT, Artiglio-Italia, Parma, Italia)의 전용 지그에 장

착한 후 Diamond Disk(Superflex 806,104,358, NTI-Kahla GmbH, Kahla, Germany)로 연마한 다음 제조사의 지시에 따라 2차 소성을 실시하였다. 전단결합강도 실험군은 T-4(TNA), Zeroy(ZNA)와 Zeroy-X(ZXA) 등 3개의 실험군으로 하였으며, 각 실험군은 20개의 시편으로 구성하였다.

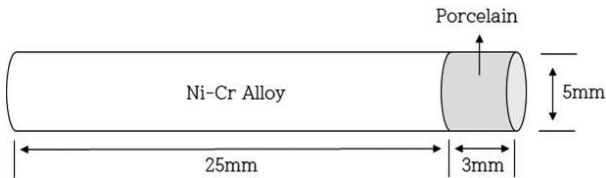


Figure 1. Schematic diagram of specimen

Table 3. Firing schedule of porcelain used in this study

CeraMax	Pre-Dry			Firing		Vacuum (mmHg)
	Start Temp	Time	Heating Rate	Final Temp	Holding Time	
Opaque	450 °C	8 min	60 °C/min	950 °C	1 min	Full
Body	500 °C	5 min	60 °C/min	880 °C	1 min	Full

### 2) 전단결합강도 시험

전단결합강도를 측정하기 위하여 만능시험기(UTM ; RB 302 ML Universal Testing Machine, R&B Co. Ltd., Daejeon, Korea) 지그에 시편을 장착하고 crosshead 속도 0.5 mm/min으로 파절하중을 측정하였으며(Fig. 2), 파절강도는 파절하중을 단위면적으로 나누어 평가하였다.

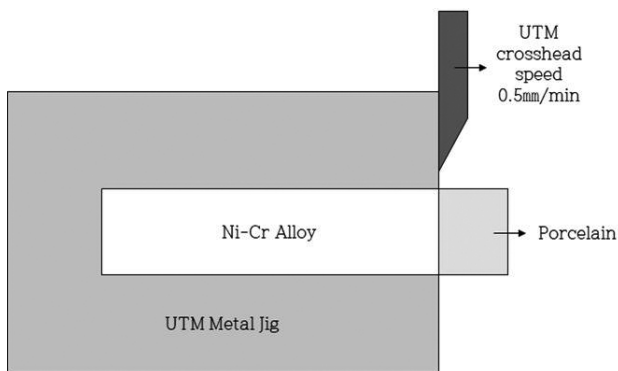


Figure 2. Schematic diagram of shear bond strength test set-up on UTM

### 3) 표면 분석 및 파단면 관찰

실험 시편은 X-선 회절기(Empyrean Alpha 1,

Malvern Panalytical, Malvern, UK)를 이용하여 열처리 후 합금의 표면을 2θ 범위에서 X-선 회절분석하였고, 전단결합강도 실험 후 파단면은 EDS(energy dispersive X-ray spectroscopy, Horiba, Kyoto, Japan)가 장착되어 있는 주사전자현미경(scanning electron microscope : SEM ; S-4700, HITACHI, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

### 4) 통계적 분석

각 실험군간 전단결합강도 값의 다양성에 대하여 통계 프로그램(SPSS 16.0 windows, SPSS Inc., IL, USA)

을 이용하였다. 측정된 결과는 일원배치분산분석(One-way ANOVA analysis)을 시행하였고, 분산분석에 의해 통계적 유의성을 검증한 다음 각 실험군 사이의 차이를 비교하기 위하여 Tukey HSD 방법을 통하여 사후검정을 실시하였다.

## III. 결과

### 1. X-선 회절 (XRD) 분석

결합된 도재가 파절된 Ni-Cr 합금 표면을 XRD로 분석하여 각 실험군의 표면 산화물을 관찰하였다. TNA군의 XRD 분석결과는 Al-Cr-Ni, Cr-Ni-Si 그리고 Mo-Ni 관찰되었고 Al-Cr-Ni이 44°에서 관찰되었다(Fig. 3). ZNA군의 XRD 분석 결과는 Ni-Mo, Ni-Si 그리고 Al-Cr이 관찰되었고 Ni-Mo이 43.9°에서 가장 높은 피크로 나타났다(Fig. 4). ZXA군의 XRD 분석 결과는 Ni-Y, Al-Y 그리고 Al-Y등이 관찰되었고, Ni-Y이 43.8°에서 가장 높게 나타났다(Fig. 5).

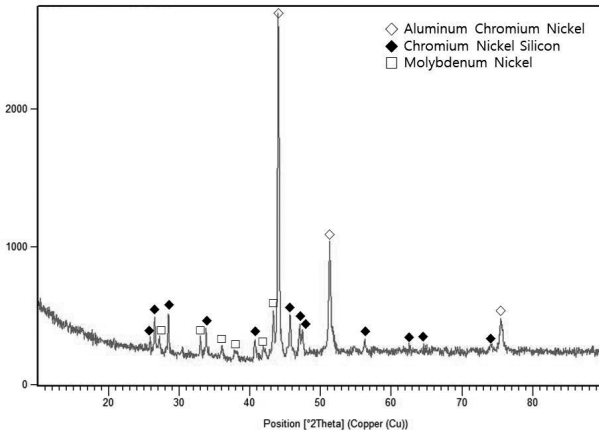


Figure 3. X-ray diffraction patterns of specimen : TNA

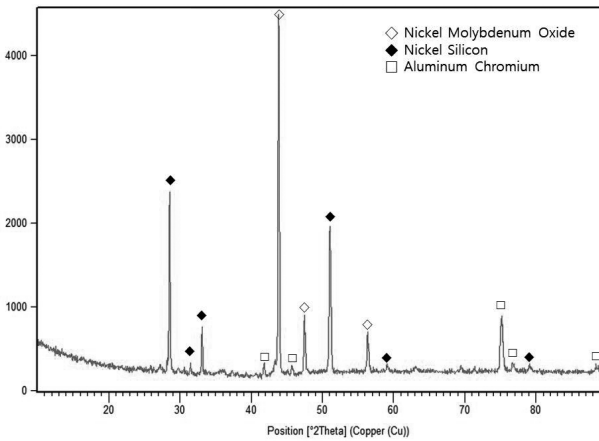


Figure 4. X-ray diffraction patterns of specimen : ZNA

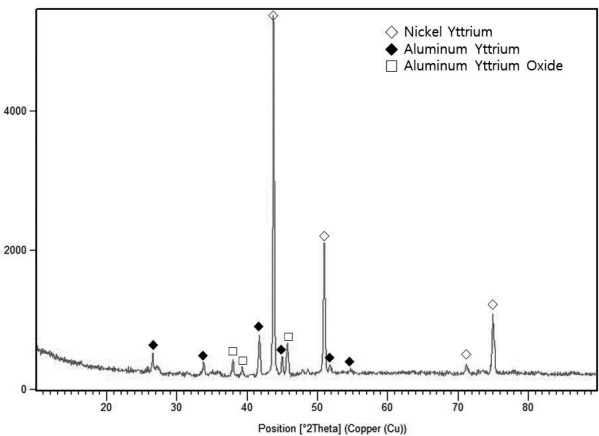


Figure 5. X-ray diffraction patterns of specimen : ZXA

## 2. SEM/EDS 분석

Figure 6은 전단결합강도 실험 후 SEM 관찰 사진이다. 각 실험군의 금속 시편의 파단면 표면에 잔존되어 있는 불투명 도재층은 TNA군과 ZNA군보다 ZXA

군에서 더 많이 관찰되었다. 파절 양상은 ZXA군에서 cohesive failure가 많이 관찰되었으며, TNA군과 ZNA군에서는 adhesive failure와 cohesive failure가 혼재된 mixed failure이 많이 관찰되었다(Table 4).

Table 5는 반복소성으로 형성된 각 실험군의 표면산화물 성분에 대한 EDS 분석 결과이다. ZNA군에서 세륨(Ce)이 많이 관찰되었으며 ZXA군에서는 이트륨이 관찰되었다.

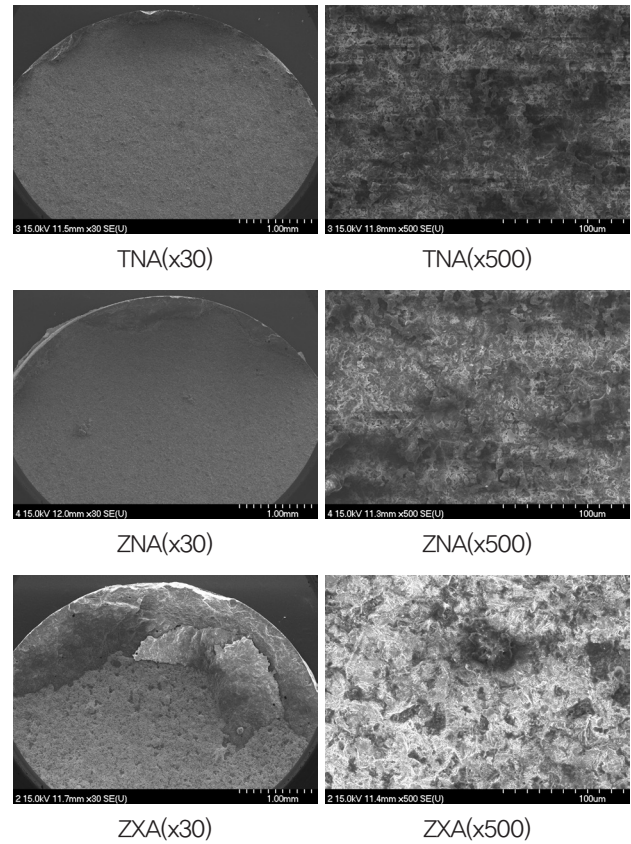


Figure 6. SEM images of specimen surface after shear bond strength test

Table 4. Failure aspect in each group(n=20)

Group	Adhesive failure	Cohesive failure	Mixed failure
TNA	3	5	12
ZNA	4	3	13
ZXA	3	11	6

Table 5. EDS analysis(wt%)

Group	Element(wt%)												
	O	Na	Al	Si	K	Cr	Ni	Y	Ca	Ti	Sn	Nb	Ce
TNA	39.46	1.80	8.99	18.15	3.44	8.58	10.72	0	0	0	10.28	0	0
	37.71	1.97	9.84	19.57	2.00	11.01	14.96	0	2.03	2.35	0	0	0
ZNA	27.86	0	4.59	11.40	3.55	8.38	15.78	0	0	0	0	0	30.72
	27.67	3.18	5.55	11.82	2.81	7.27	12.74	0	0	0	0	0	30.97
ZXA	21.85	0	5.12	8.57	0	10.33	38.35	0.59	0	0	7.13	8.05	0
	19.47	0	6.50	10.45	0	11.62	44.58	0.60	0	0	6.78	0	0

### 3. 전단결합강도 분석

Table 6은 Ni-Cr계 합금의 성분에 따른 전단결합강도의 평균값과 표준편차이다. 이트륨이 포함된 ZXA군에서는  $27.53 \pm 4.24$  MPa로서 가장 큰 값을 보였고, TNA군에서는  $12.68 \pm 1.16$  MPa로서 가장 작은 값을 보였다. 그리고 ZNA군에서는  $15.24 \pm 1.68$  MPa를 보였다. 각 실험군 전단결합강도에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ , Table 7). 각 실험군 간의 유의한 차이를 본 결과, 모든 실험군 간에는 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ , Fig. 7).

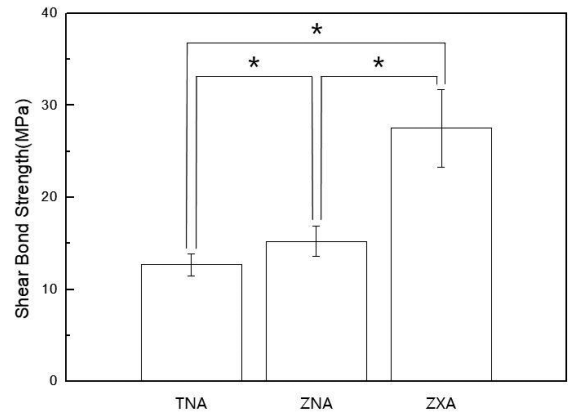


Figure 7. Shear bond strength between porcelain and Ni-Cr alloys

Table 6. Shear bond strength between porcelain and Ni-Cr alloys(MPa)

Group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% confidence interval for Mean			
					95% confidence interval for Mean		Min	Max
					Lower bound	Upper bound		
TNA	20	12.68	1.16	0.29	12.03	13.32	10.62	14.77
ZNA	20	15.24	1.68	0.43	14.30	16.17	13.55	17.93
ZXA	20	27.53	4.24	1.09	25.18	29.88	23.13	36.83
Total	60	18.48	7.07	1.05	16.35	20.61	10.62	36.83

Table 7. Result of one-way ANOVA of shear bond strengths

	Sum of squares	DF	Mean square	F-ratio	p-value
Between group	1,891,065	2	945,533	127.720	0,001
Within group	310,932	42	7,403		
Total	2,201,997	44			

## IV. 고찰

성공적인 도재용착구조관을 완성하기 위해서는 금속과 도재의 결합이 매우 중요하다. 금속과 도재간의 결합은 일반적으로 합금 표면 요철에 의한 기계적 결합, 도재와 금속의 열팽창계수 차이에 의한 열수축력에 의한 결합, 도재와 금속계면의 금속산화물에 의한 화학적 결합, 그리고 분자간 인력(Van der Waals force)에 의한 결합이 알려져 있다(정인성 등, 2000). 금속-도재간의 화학적 결합은 금속계면의 금속산화물을 이용한 결합 관계이다. Rosenstiel(2001) 등은 금속-도재간의 화학적 결합은 금속의 degassing 및 도재 소성 시 가열에 의해 금속계면에 생성되는 산화물에 영향을 받으며, 양질의 산화물을 형성한 금속-도재간 계면은 금속-도재간의 결합 파절에 대한 저항성이 우수하다고 하였다. 이 외에도 금속과 도재의 결합은 금속하부구조의 설계, 금속의 표면처리, 도재의 축성 및 소성방법, 도재와 금속의 열팽창계수 차, 금속표면의 산화막의 두께, 금속의 재사용에 따라 결합력은 영향을 받는다고 보고되었다(McLean, 1979; McLean, 1980; Resmussen and Doukoudakis, 1986).

금속-도재간 결합강도와 금속의 주조성을 증가시키기 위하여 베릴륨을 포함한 Ni-Cr 합금이 사용되었지만, 베릴륨의 인체유해성 문제 때문에 임상에서 사용할 수 없게 되었다. 베릴륨을 포함하지 않는 Ni-Cr 합금에서는 합금의 기계적 성질과 주조성이 저하되고 도재 소성 시 양질의 산화막이 형성되지 않음으로 금속-도재간의 결합강도가 낮아지는 등의 임상적인 문제들이 발생하고 있다. 도재용착용 Ni-Cr계 비귀금속 합금의 조성은 일반적으로 니켈이 68~80%, 크롬이 10~27%이며 몰리브덴(Mo), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 텅스텐, 규소(Si), 베릴륨, 니오븀, 탄소(C), 철(Fe), 티타늄, 구리(Cu) 등이 미량 첨가되어 물리적, 화학적 특성을 조절한다. 미량 첨가원소들은 결정립의 크기를 줄여 기계적 성질을 좋게 하거나 산화물을 제거하는 목적으로 사용된다. 알루미늄은 내식성과 내산화성이 치밀한 알루미늄 피막을 형성하고, 고금속간화합물  $Ni_3Al$ 을 형성하여 합금을 고용경화시키고, 석출경

화에 의해 기계적 성질을 향상시키며 도재와의 결합때 개물인 산화물을 형성한다. 지르코늄은 미량 첨가시 조직을 미세화하고, 결정립계를 강화하여 파단연성을 증가시키고, 니오븀은 탄화물 안정화원소로 결정립간 부식과 내식성을 개선하며, 금속간화합물  $Ni_3Nb$ 를 형성하여 기계적 성질을 향상시키는 특성을 가지고 있다. 희토류원소는 주기율표의 17개 화학 원소의 통칭으로 스칸듐(Sc)과 이트륨, 란타넘(La), 루테튬(Lu)까지의 란타넘족 15개 원소이며 화학적 성질이 유사하고 광물 속에 그룹으로 함께 존재하는데, 란타넘과 이트륨은 도재용착용 비귀금속합금의 내산화성을 향상시키고 도재와 결합력을 증가시키기 위해 미량 첨가하여 사용하고 있다.

도재용착용 비귀금속 합금의 조성에 따른 도재와의 결합강도에 관한 연구로 Wu(1991) 등은 베릴륨이 포함되지 않은 Ni-Cr 합금은 Ni-Cr-Be 합금보다 결합강도가 낮은 것으로 보고되었으며, O'Connor(1996) 등은 베릴륨이 포함된 Ni-Cr-Be 합금은 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 우수했으나 베릴륨 대신 망간이 포함된 Ni-Cr-Mo 합금은 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 낮다고 보고하였다. DeMelo(2005) 등은 금속과 도재와의 전단결합강도는 합금의 조성, 열팽창계수, 그리고 산화막의 두께에 의해 결정되며, 합금의 조성비에 따라 Co-Cr 합금의 전단결합강도가 Ni-Cr 합금보다 우수할 수 있음을 보고하였다.

본 연구에서는 도재용착용 Ni-Cr 합금 성분에서 비귀금속 합금과 도재간의 전단결합강도 차이를 알기 위해 이트륨이 포함된 Ni-Cr 합금과 이트륨이 포함되지 않고 성분과 제조사가 다른 2가지의 Ni-Cr 합금 위에 불투명 도재와 상아질 도재를 축성하고 소성하여 각 실험군당 20개의 시편을 제작한 다음 금속과 도재와의 전단결합강도를 측정하였고, 강도 실험 후 파단면을 관찰함으로써 미세구조, 결정상과 금속 산화물 성분을 분석하였다.

Ni-Cr 합금 3종의 전단결합강도 실험 후 표면산화물 성분과 파단면을 관찰하였다. 도재 소성과정에서 발생하는 Ni-Cr 합금 표면 산화물은 결합력에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 Ni-Cr계 합금의 금속계면이 금

속산화물은 NiO, Cr<sub>2</sub>O 및 NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>가 형성되며, 이 금속산화물은 Ni-Cr계 합금의 조성 및 도재의 소성에 의한 외부에서 가해지는 열적 영향에 의하여 금속산화물의 성분 및 질이 결정된다. Baran(1983)에 의하면 Ni-Cr계 합금 최외각 표면에 NiO층이 형성되고 산화반응이 계속 진행됨에 따라 합금 내부 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 석출물과 결합되면서 점차 NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>로 바뀌게 되고 임상적으로 사용되는 Ni-Cr계 합금의 산화막의 성분은 Ni계 또는 Cr계 산화막으로 보고되었으며, 2 μm에서 5 μm 두께의 산화막이 적정한 것으로 보고되었다(Yamamoto, 1985). 본 연구의 실험군인 TNA군과 ZNA군에서는 나트륨(Na), 칼륨(K), 알루미늄, 규소와 같은 원소들이 선택적으로 산화되어 표층부위에서 관찰되었으며, ZXA군에서는 AlY, NiY, Al<sub>2</sub>O<sub>12</sub>Y<sub>3</sub> 등이 관찰되었고 금속의 표면에 형성된 산화물은 금속과 도재간의 결합력에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

SEM/EDS 분석 결과로 TNA군과 ZNA군에서 칼륨 금속산화물이 관찰되었고, 규소와 알루미늄도 많이 관찰되었다. 특히, 금속-도재간 전단결합강도가 가장 높게 측정된 ZXA군에서는 다른 군에서는 관찰되지 않은 이트륨이 관찰되었으며, 전단결합강도 실험 후 파단면의 양상도 ZXA군에서 cohesive failure 양상이 많이 관찰되었다. 파절 양상은 항상 결합강도 결과와 일치하지 않을지라도 낮은 결합강도를 보이는 TNA군과 ZNA군에서는 adhesive failure와 cohesive failure가 혼재된 mixed failure이 많이 나타났고 높은 결합강도를 나타내는 ZXA군에서는 cohesive failure 양상이 많이 관찰되어 ZXA군에만 포함되어 있는 이트륨이 금속과 도재간의 전단결합강도를 높이는데 영향을 미친 것으로 생각된다.

본 연구 결과에서 이트륨이 포함된 도재용착주조관용 Ni-Cr 합금은 도재와의 전단결합강도 부분에서 기존의 Ni-Cr 합금에 비하여 많은 개선이 있었음을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구 결과로서 이트륨이 포함된 도재용착주조관용 Ni-Cr 합금은 도재와의 전단결합강도가 기존의 Ni-Cr 합금에 비해서 많은 개선이 되었기 때문에, 이트륨이 포함된 Ni-Cr 합금은 도재전단결합강도 부분에서 임상적으로 허용 가능하다고 생각된다. 앞

으로의 연구에서는 동일한 성분의 Ni-Cr 합금에서 표면처리 방법, 도재소성 방법 등을 다르게 하여 전단결합강도의 변화를 측정할 필요가 있으며, 다양한 원소 성분을 Ni-Cr계 합금의 조성에 사용하여 성분별 조성 차이에 따른 전단결합강도에 관한 연구와 기계적 성질과 주조성 증가에 관한 연구도 계속되어야 한다고 생각된다.

## V. 결론

도재용착용 Ni-Cr 합금의 성분에서 다른 비귀금속 합금과 도재간의 전단결합강도 차이를 알기 위해 이트륨이 포함된 Ni-Cr 합금과 이트륨이 포함되지 않고 성분과 제조사가 다른 2가지의 Ni-Cr 합금 위에 도재 분말을 소성하여 20개의 시편을 제작한 다음, 합금 표면에서의 미세구조, 결정상과 금속 산화물 성분을 분석하여 이트륨이 비귀금속 합금과 도재와의 전단결합강도에 미치는 영향을 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이트륨이 포함된 Ni-Cr 합금 표면을 SEM으로 분석한 결과는 금속과 도재간의 기계적인 결합력이 가장 높게 생길 수 있는 다공성의 구조였다.
2. XRD와 EDX 분석에서 이트륨은 산화물 생성에 영향을 미쳐 화학적인 결합력을 증가시키는 경향을 보였다.
3. 이트륨이 포함된 ZXA군의 전단결합강도가 가장 높게 나타났으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

결론적으로, 이트륨이 포함된 도재용착주조관용 Ni-Cr 합금은 도재와의 전단결합강도가 기존의 Ni-Cr 합금에 비해서 많은 개선이 되었기 때문에, 이트륨이 포함된 Ni-Cr 합금은 도재전단결합강도 부분에서 임상적으로 허용 가능하다고 생각된다.



## REFERENCES

- Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials, 11th ed, Philadelphia Saunders, 562-563, 2003.
- Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khalil MF, Rosenstiel SF. Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 96, 397-401, 2006.
- Baran GR. The metallurgy of Ni-Cr alloys for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 50, 639, 1983.
- Choi EK. Bond strength between dental porcelains and base metal alloys - influence of Be element and repeated firing. Department of Oral Health Graduate school of Public Health and Welfare, Dankook University, 2011.
- Craig RG. Restorative dental materials, 10th ed, Mosby-Year Book Inc, 409-412, 1997.
- Deger S, Caniklioglu MB. Effects of tin plating on base metal alloy-ceramic bond strength. *Int J Prosthodont*, 11(2), 165-172, 1998.
- De Melo RM, Travassos AC, Neisser MP. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. *J Prosthet Dent*, 93, 64-69, 2005.
- Dündar M, Ozcan M, Gökçe B, Cömlekoğlu E, Leite F, Valandro LF. Comparison of two bond strength testing methodologies for bilayered all-ceramics. *Dent Mater*, 23, 630-636, 2007.
- Grimaudo NJ. Biocompatibility of nickel and cobalt dental alloys. *Gen Dent*, 49, 498-503, 2001.
- Haberman AL, Pratt M, Storrs FJ. Contact dermatitis from beryllium in dental alloys. *Contact Dermatitis*, 28(3), 157-162, 1993.
- Kim CY. The effect of Nb on interfacial characteristics of Ni-Cr alloy for porcelain fused to metal crown. Department of Biomedical Engineering, Graduate school, Inje University, 2004.
- Kuschner M. The carcinogenicity of beryllium. *Environ Health Perspect*, 40, 101, 1981.
- Lawson JR. Alternative alloys for resin-bonded retainers. *J Prosthet Dent*, 65, 97-99, 1991.
- Matkovic T, Slokar L, Matkovic P. Structure and properties of biomedical Co-Cr-Ti alloys. *J Alloys and Compounds*, 407, 294-298, 2005.
- McLean JW. The science and art of dental ceramics. Quintessence publishing Co. Inc., 55-95, 1979.
- McLean JW. The science and art of dental ceramics. Quintessence publishing Co. Inc., 189-192, 1980.
- McLean JW. Dental ceramics proceedings of the first international symposium on ceramics. Quintessence publishing Co. Inc., 467, 1983.
- O'Connor RP, Mackert JR Jr, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masquing and porcelain bonding of 17 porcelains fused to metal alloys. *J Prosthet Dent*, 75, 367-374, 1996.
- Papazoglou E, Brantley WA, Carr AB, Johnston WM. Porcelain 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.
- Pisani-Proenca J, Erhardt MC, Valandro LF, Guitierrez-Aceves G, Bolanos-Carmona MV, DelCastillo-Salmeron R, Bottino MA. Influence of ceramic surface conditioning

- and resin cements on microtensile bond strength to a glass ceramic. *J Prosthet Dent*, 94, 412–417, 2006.
- 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.
- Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. *Contemporary fixed prosthodontics*, 3rd ed, St. Louis, Mosby, 488–512, 2001.
- Santos JG, Fonseca RG, Adabo GL, Santos CA. Shear bond strength of metal–ceramic repair systems. *J Prosthet Dent*, 96, 165–173, 2006.
- Sundh A, Sjogren GA. A Comparison of fracture strength of yttrium–oxide–partially–stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. *J Oral Rehabil*, 31, 682–688, 2004.
- Tsalve DL, Zaprianov ZK. Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. *Environ Health Perspect*, 96–101, 1983.
- White SN, Miklus VG, McLaren EA, Lang LA, Caputo AA. Flexural strength of a layered zirconia and porcelain dental all–ceramic system. *J Prosthet Dent*, 94, 125–131, 2005.
- Wu Y, Moser JB, Jameson LM, Malone WF. The effect of oxidation heat treatment of porcelain bond strength in selected base metal alloys. *J Prosthet Dent*, 66, 439–444, 1991.
- Yamamoto M. *Metal–ceramics: principle and methods of Makoto Yamamoto*. Quintessence publishing Co, Inc., 1985.