



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2015년 2월
석사학위논문

치과용 Ni-Cr과 Co-Cr 합금의 부식성과 도재와의 접합 특성

조선대학교 대학원

첨단소재공학과

김 기 정

치과용 Ni-Cr과 Co-Cr 합금의 부식성과 도재와의 접합 특성

Corrosion characteristics of Ni-Cr or Co-Cr alloy as a dental
prosthesis and its adhesion to porcelain

2015년 2월 25일

조선대학교 대학원

첨단소재공학과

김 기 정

치과용 Ni-Cr과 Co-Cr 합금의 부식성과 도재와의 접합 특성

지도교수 최 병 상

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2014년 10월

조선대학교 대학원

첨단소재공학과

김 기 정

김기정의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 장우양



위원 조선대학교 교수 최한철



위원 조선대학교 교수 최병상



2014년 11월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLES.....	i
LIST OF FIGURES.....	ii
Abstract.....	v
제 1 장 서론.....	1
제 2 장 이론적 배경.....	3
제 1 절 치과용 도재의 발달.....	3
1. 치과 도재학의 역사.....	3
2. 치과용 합금 분류.....	9
3. 치과용 도재의 성분.....	13
4. Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금과 Porcelain의 용착성 연구.....	18
5. Ni 화합물의 발암성 식약청 자료.....	19
제 3 장 실험방법.....	21
제 1 절 시편제작.....	21
1. Ni-Cr 및 Co-Cr 합금 제작 및 관찰.....	21
2. 도재와 금속간의 용착성 실험을 위한 시편 제작.....	23
제 2 절 실험 및 관찰방법.....	25
제 4 장 연구 결과 및 고찰.....	27
제 1 절 금속과 도재의 계면의 미세조직.....	27
제 5 장 결론.....	44
참고문헌.....	45
부록.....	46

LIST OF TABLES

Table 2-1. Elemental characteristics of non-precious dental alloy·····	11
Table 2-2. Comparison of ceramics used in dental and industry·····	13
Table 2-3. IARC (International Agency for Research on Cancer) evidence of carcinogenicity of Ni and Ni compounds·····	19
Table 2-4. Hazards of nickel compounds·····	20
Table 3-1. Product name and manufacture of N-Cr and Co-Cr alloys·····	21
Table 3-2. Chemical composition of Ni-Cr and Co-Cr alloys·····	21
Table 3-3. Product name, manufacturer, and chemical composition for opaque and porcelain·····	23
Table 4-1. Comparison of EDX analysis for porcelain fused to Ni-Cr alloy composite·····	43

LIST OF FIGURES

Fig 1-1. A schematic of porcelain fused to metal (PFM) crown consisting metal, opeque, and porcelain.....	7
Fig 1-2. A schematic of porcelain fused to metal (PFM) crown.....	8
Fig 2-1. Porcelain fused metal crown and it's schematic.....	16
Fig 2-2. schematic of porcelain fused to metal crown as a dental prosthesis.....	17
Fig 3-1. Design for the fabrication of specimen by centrifugal casting.....	24
Fig 3-3. A picture of Ni-Cr alloy composite dental prosthesis extracted from a dental patient after about four years usage.....	26
Fig 4-1. Optical microscope (OM) images for porcelain fused to NI-Cr alloy composition.....	29
Fig 4-2. OM images for porcelain fused to Co-Cr alloy composite.....	30
Fig 4-3. OM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage.....	32
Fig 4-4. OM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage (shown only metal portion which was exposed to environment).....	33
Fig 4-5. Potentiodynamic polarization curves for Ni-Cr and Co-Cr alloys.....	34
Fig 4-6. Corrosion rate(i_{corr}) of Ni-Cr and Co-Cr alloys.....	35

Fig 4-7. SEM images showing the interface of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite.....38

Fig 4-8. SEM images showing the interface of porcelain fused to Co-Cr alloy composite.....39

Fig 4-9. EDX mapping of porcelain fused to Co-Cr alloy composite.....40

Fig 4-10. SEM images showing the interface of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage.....41

Fig 4-11. SEM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after four years usage (shown only metal portion which was exposed to environment).....42

Fig A. Porcelain Crown.....48

Fig. A-1 Lingual surface.....48

Fig. A-2 Occlusal surface.....49

Fig. A-3 Buccal surface.....49

Fig. B Porcelain Crown.....50

Fig. B-1 Lingual surface.....50

Fig. B-2 Occlusal Surface.....51

Fig. B-3 Buccal Surface.....51

Fig. C Porcelain Crown.....52

Fig. C-1 Lingual surface.....52

Fig. C-2 Occlusal Surface.....53

Fig. C-3 Buccal Surface.....53

Fig. D Co-Cr² Porcelain Crown.....56

Fig. D-1 Labial Surface.....56

Fig. D-2 Incisal surface.....57

Fig. D-3 Labial Surface.....57

Fig. E Porcelain Crown.....58

Fig. E-1 Labial Surface.....58

Fig. E-2 Incisal surface.....59

Fig. E-3 Lingual surface.....59

Fig. F Porcelain Crown.....60

Fig. F-1 Labial surface.....60

Fig. F-2 Incisal surface.....61

Fig. F-3 Labial surface.....61

Abstract

Corrosion characteristics of Ni-Cr or Co-Cr alloy as a dental prosthesis and its adhesion to porcelain

By Kim, Gi Jung

Advisor: Prof. Choi, Byung-Sang Ph. D.

Dept. of Advanced Materials Engineering

Graduate School of Chosun University

Using the specimen (L 1.5cm × W 1.0cm × T 0.5cm) of Ni-Cr and Co-Cr alloys which were fabricated by centrifugal casting, composite samples of porcelain fused to metal were prepared to examine the interface between metal and porcelain with the utilization of optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM). As compared to porcelain fused to Ni-Cr alloy having thick layer ($\sim 10\mu\text{m}$) of oxide, relatively thin layer (less than $5\mu\text{m}$) was formed in porcelain fused to Co-Cr alloy indicating that the interface of Co-Cr alloy and porcelain is strong enough, and that it could have a better adhesion strength than that of Ni-Cr alloy and porcelain, to be used as a dental prosthesis. The oxide layer was examined and analyzed to be mainly Al_2O_3 and Cr_2O_3 by EDX.

The corrosion rates are determined from the polarization curves based on the Tafel extrapolation method. The corrosion rate of Co-Cr alloy ($1.61 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$) was three times lower than that of Ni-Cr alloy ($4.83 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$) indicating that corrosion resistance of Co-Cr alloy is better.

A composite of porcelain fused to Ni-Cr alloy extracted from a patient after about four years of usage was examined to show its resistance to corrosion. The composite was made up with two parts; one being metal covered with

porcelain and the other being only bare metal exposed to environment. OM and SEM images for the exposed metal reveal a typical corrosion after the usage of about four years by a patient. The indication of corrosion means that Ni and its compounds could be formed when Ni is released and absorbed in a body. Therefore it is necessary further to do in vivo experiment to evaluate the hazardousness of Ni and its compounds to human body.

The aim of this research was to suggest a better replacement of Co-Cr over Ni-Cr alloy as a dental prosthesis for a long term use and to warn the public about the possibility of carcinogenicity of Ni and its compounds when absorbed in a human body.

제 1 장 서 론

치과재료에서 치아의 심미에 대한 환자의 기대심리가 증가됨에 따라 심미보철에 대한 연구 개발의 결과 세라믹 소재를 이용한 일체형 세라믹의 사용이 증가하고 있으나 도재용착금속주조물(PFM ; Porcelain Fused to Metal)도 꾸준한 수요를 보이고 있다^[1,2]. 도재용착금속 구조에서 금속은 Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금이 주로 사용되고 있다.

도재용착 보철물의 구성을 보면 금속의 표면에 추가되는 불투명제(Opaque)가 있고 치아 보철물의 외형을 구성하는 도재로 이루어져 있다. 주조용 합금은 귀금속과 비귀금속으로 구별되는데 귀금속은 주조성이 좋고 전성, 연성, 부식 저항성, 항복강도, 인장강도, 연신율, 경도, 변색 저항성이 어느 합금보다 좋으나 금값의 상승으로 인해 최근 치과에서 수요가 줄어들고 있다. 귀금속에는 Au, Pt, Ag의 합금이 있으며 단적으로 주성분의 80% 이상이 Au이다. 비귀금속으로 대표적인 Ni-Cr과 Co-Cr 합금이 있으며, 이들 비귀금속은 기계적 성질은 좋으나 생체 적합성과 부식저항성, 주조성이 좋지 못한 단점을 가지고 있다^[3].

Ni-Cr 합금은 비교적 주조성이 좋고 가공하기가 편리하여 현재 치과 보철물 중 금속 주조물로 많이 사용되고 있다. Ni은 원자번호 28, 원자량 59, 용점 1445℃, 8b족 원소로서 은백색의 광택을 띤다. Ni 화합물은 발암성과 알레르기 반응을 일으키는 금속으로 알려져 있다^[4]. 기타 미량첨가 원소로는 Ni과 금속간화합물(Ni₃Al)을 형성하여 기계적 성질 향상에 기여하는 Al이 있고, 주조성 향상을 위해 추가되는 Si, Mn 등이 있다.

Co-Cr 합금은 일반적으로 주조온도가 높아 주조성이 떨어지며, 표면 산화물을 구성하는 산화막이 많아 가공하기 어려운 단점이 있는 것으로 알려져 있다^[5]. Co-Cr 합금은 기본적으로 Co와 Cr, Mo 그리고 기타 미량 첨가 원소를 포함하는 흰색의 광택을 보이며 원자번호 27, 원자량 59, 용점 1390℃의 8b족 원소이다. 전성, 연성이 좋고 불용성이며 강자성체 특성과 세포독성을 보이는 것으로 알려져 있다. Cr은 부식 방지를 위해 첨가하는 원소로 은백색 광택을 보이는 원자번호 24번 원소이다. 번호 24, 원자량 52, 용점 1800℃의 6b족 원소로 부동태 피막을 형성하며 일반적으로 10~32% 함유하고 있다. Mo은 기계적 성질의 개선을 위해 소량 첨가

하는 원소로 은백색을 띠며 원자번호 42, 원자량 96, 융점 2625℃의 6b족이다. 기타 미량첨가 원소로 C, Si, Mg, P, Al, W 등이 있다^[6]. 주성분이 장석, 석영, 고령토, 섬장석, 알루미나 등으로 구성된 도재(Porcelain)중 PFM에 사용되는 고온용은 975℃에서 금속과 불투명체와의 용착이 이루어지고, 저온용은 800℃에서 용착이 이루어지는 것으로 알려져있다.

Ni이 구강내의 점막과 접촉함으로써 과민반응과 변색을 일으키는 독성물질로 알려져있어 생체적합성을 갖는 재료는 필수적이다. 구강내의 다양한 환경조건에서 얼마나 안정적인지 명확히 규명되지 않아 본 연구에는 Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금과 도재의 용착 밀접도 관계와 금속표면 산화막과 불투명체층 간의 밀접도에 관한 관찰을 통해 금속 하부구조 노출부분의 부식 정도를 측정하여 금속이 인체에 미치는 영향을 제시하고자 Ni-Cr과 Co-Cr 합금을 비교하여 임상적 사용의 유용성을 알아보하고자 하였다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 치과용 도재의 발달

1. 치과 도재학의 역사

이집트, 그리스, 터키와 한국을 비롯한 중국, 일본의 동양 문화권에서 오랜 역사를 가지고 발달하여 왔으며 다양한 도자기 문화를 관찰할 수 있다.^[7]

치과용 도재가 처음으로 완성된 시기는 1708년 이후 Chemant에 의해 완성 되었고, 1808년 Dubois Foucou에 의해서 고령토와 석영을 주원료로 하는 금속 산화물을 이용하여 3가지 색이 치아를 가진 의치를 제조하였으며, 1837년 Claudius Ash가 최초로 치과재료 회사를 설립하여 도치를 제조하고 생산, 판매까지 하였다.

현재 사용되고 있는 실용적인 도재와 금속의 용착에 관한 치과 응용은 근대 치과과학의 아버지라 불리는 Pierre Fuanchard가 "metal bonded to porcelain"에 관하여 언급한 것이 발단이 되었으며, 이것을 임상에 응용한 사람은 1887년 미국 디트로이트시의 개업의인 Charls H. Land였다. 그는 축성한 도재 분말이 소성과정에서 변화하여 액상으로 그 원형을 잃는 결점이 있기 때문에 이것을 방지하는 방법으로 도재의 소성온도에 영향을 받지 않는 고용점의 백금을 백금판으로 압인하여 기지를 제작하고 그 표면에 도재를 용착하였다. 그러나, 도재 내부의 백금판의 색조가 도재를 투과하여 도재의 색조를 회색으로 변하게 하는 결점이 있어 압인한 백금판 대신에 백금박을 사용하여 도재 소성 후에 내면의 백금박을 제거하는 방법을 고안하여 제작에 성공하였다.

이것이 porcelain jacket crown의 시초이나 도재 자체의 깨지기 쉬운 성질로 인하여 잦은 수복물의 파절이 야기되었다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 1963년 영국의 Mclean과 Hughes는 백금박 위의 장식도재에 알루미나 입자의 함량을 증가시

켜 강도를 보강한 0.5~1.0mm의 opaque inner core 위에 도재관을 축성한 aluminum reinforced jacket crown을 개발하였는데, 이것은 기존의 porcelain jacket crown보다 50% 정도까지 강도가 향상되는 결과를 얻었다. 그러나 알루미늄 함량의 증가로 인해 치경부의 색조가 밝게 나타나는 문제점과 백금박과 코어제의 접착성 결여로 치관 내면에 미세 균열이 종종 발생하여 파절을 야기하는 문제점이 발생하였다. 이러한 단점을 보완하여 1976년 J. W. Mclean과 I. R. Sced는 백금 위에 얇은 주석 막을 코팅하여 더욱 더 강한 백금 접합 알루미늄을 개발하였다.

1907년에 Taggart는 Rh과 Pt 합금의 주조체에 고온용융 도재를 용착하는 방법을 발명하였다. 그러나 백금 자체의 취급 조작이 어려울 뿐만 아니라 다른 금속과의 합금에 있어서 여러 가지 결점이 발견되어 Pt과 Pt합금은 치과용 금속으로서 부적당하다고 인식하게 되었고, 이러한 결점들 때문에 초기의 도재용착금속주조체와 보철물은 임상적 가치를 얻지 못했다. 1950년경에 이르러 오랫동안 정체되어 있던 치과보철에 관한 연구가 실험적 단계에서 한층 발전되어 1958년에는 R. F. Vines, J. O. Semmelman, P. W. lee, F. D. Fonvielle에 의해 미국의 Dentist's supply company에서 진공소성기법을 개발하여 도재의 투명도와 강도의 모순을 해결함으로써 금속과 도재 간의 기술적 문제가 대부분 해결되어 백금, 금합금을 사용하여 제작된 치과보철물이 일반적으로 널리 사용되는 계기가 되었다고 보는 이도 있다.

저온용융 도재의 개발은 1897년 미국인 Newell Sill Jenkins가 Royal Court(Dresden)의 치과의사로 있으면서 도재를 조합하고 처음으로 제조하여 현재 사용하는 제품으로 발매하였다. 그러나 이러한 새로운 시도는 금속과 도재의 결합이라는 점에서는 성공을 하였지만 치아의 색조 재현에 대한 문제점을 해결하지 못하고 저온용융 도재를 판매하던 Permament사는 도산하고 Ney사도 Ney-Oro라는 금속용착도재의 제조를 중지하였다. 그 후 Permament사의 3인의 간부가 시카고, 뉴욕, 뉴저지에서 파마던트의 기술을 되살려 제각기 Micro-bond®, Ceramco®, Thermalite®라는 도재용착금속의 기초를 만들었고, 독일은 Vita사와 Degussa사가 공동 연구하여 1963년에 Vita Degudent®라 불리는 새로운 도재용착금속을 완성했다.

1950~1960년대에 걸쳐 많은 연구와 제품화로 인하여 재료학적인 문제점들이 해결됨으로써 금속주조 Crown의 우수한 적합성 및 견고성과 도재의 심미성, 내마모

성 및 변색에 대한 저항성이 있는 도재용착금속의 사용이 급격히 증가하였다. 1970년대에 이르러 귀금속 생산의 한계성과 고가로 인하여 그림 1-1에서 보여주는 도재용착 주조금속에 사용하는 반귀금속 합금과 비귀금속 합금에 대한 연구가 활발하게 이루어 졌으며, 그림 1-2는 도재용착 주조관 치과 보철물 사진을 보여주고 있다. 도재용착금속의 제작에 있어서는 labial metal collar의 심미적, 위생적 결점을 보완하기 위하여 collarless porcelain crown이 개발되었다.

1982년 미국 연례 학술대회에서 하버드 대학의 Dr. Ralph B. Sszio는 종래의 치과용도재가 수축으로 인해 도재용착금속 제작 시 많은 문제점을 야기하므로 수축이 없는 도재를 개발하여 만족할 만한 실험과 임상적 결과를 얻었다고 보고하였다. 1970년대 말과 1980년대 초에 들어서는 도재의 많은 문제점들이 해결되고 심미성이 더욱 강조되어 현재는 일체형 세라믹이 개발되어 사용 빈도가 점차 증가되고 있다.

한편, 우리나라의 치과용도재의 역사를 살펴보면 1960년 말에 처음으로 Vita사의 도재 기술이 유입된 후 도재 보철물 제작이 시작되었고, Bio bond®(Dentsply, U.S.A) 및 Ceramco 회사의 도재 기술 연수 등을 기회로 널리 사용되기 시작하였다. 또한 1980년 초에 재명산업에서 High-Bake®라는 도재로가 개발되어 국내 시판 및 수출 중이며, 도재 분말이 1990년 중반부터 쌍용에서 개발하기 시작하여 현재는 Alphadent사에서 CeraMax®라는 상품이 생산되어 중국 등으로 수출되고 1980년 초에 저용용 도재인 Uni-bond(Shofu)를 기점으로 Vintage(Shofu)와 Noritake(Noritake)를 생산하고 있는 일본에 비해 짧은 역사를 가지고 있으나 많은 개발과 발전을 위해 노력하고 있다.

2010년 들어 베릴륨은 단단하고 가벼운 은회색을 띄고 있어서 우주 항공용 재료 등으로 기대해 볼만 하지만, 귀금속 등과 비슷할 정도의 높은 가격 때문에 보통 구조용 재료로 사용하기 어렵다는 단점을 가지고 있으며, 치과용 합금에 혼합하여 Ni-Cr 또는 Co-Cr 합금을 만들면 여러 가지 물리적 성질이 향상되는 효과를 볼 수 있다. 그러나 독성이 있어 베릴륨에 노출되면 베릴륨 중독과 같은 증상이 나타날 수 있으므로 2010년에 식약청에서 베릴륨이 포함된 치과용 합금 수입 금지로 인하여 치과재료로서 전면 사용이 금지 되었다. 하지만 베릴륨이 포함되지 않은 Ni-Cr 또는 Co-Cr 합금의 표면에서 산화막이 불규칙적으로 생성되어 금속과 도재와의 용착에 관한 많은 문제점들이 야기되는 것으로 보고되었다. 현재에 이르러서는 다양한 합금이 개발되었으며, 도재용착 Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금 Crown이 환경

에 노출되는 부위에서의 산화문제와 금속과 불투명제 그리고 도재와의 용착에 관하여 계면을 관찰 하고자 광학현미경, 전자현미경을 이용하였으며, 합금의 부식속도 관찰은 분극실험을 이용하여 분석 하였다.

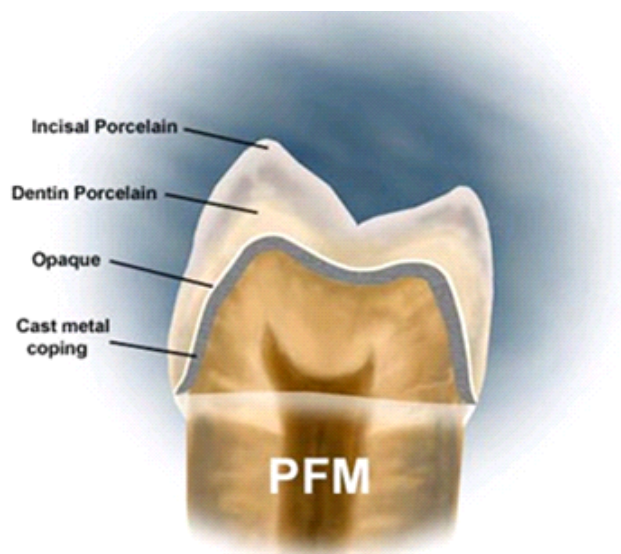


Fig 1-1. A schematic of porcelain fused to metal (PFM) crown consisting metal, opaque, and porcelain^[8].



Fig 1-2. A schematic of porcelain fused to metal (PFM) crown^[9].

2. 치과용 합금 분류^[5]

치과용 합금은 결손 된 차아의 저작기능 및 형태를 회복시키기 위해 치과분야에서 널리 사용되고 있으며, 화학성분 및 용도에 대해 아래와 같이 분류한다.

가. 성분에 따른 분류

- ① Porcelain Gold Alloy : 합금 함량이 Au 80% 이상, Pt 10%, Ag 3.9%를 함유하는 치과용 도재 합금으로 황금색이며, 전성, 경도, 부식 저항성, 변색 저항성이 좋으나 가격이 비싸다.
- ② Inlay 합금 S형 및 합금 : 합금 내의 금의 함량이 83% 이상인 인레이(Inlay)와 60~75% 이하의 크라운(Crown) 제작에 사용된다.
- ③ A형 및 B형 합금 : 금 함금이 30~60% 정도의 합금으로 크라운과 브리지(bridge)형으로 제작에 사용되는 합금이다. 또한, 옅은 황금색을 가지며 기계적강도가 우수하다.
- ④ 은-팔라듐 합금 : 합금 성분이 Ag-Pd 합금으로 은백색을 가지며 금합금에 비해 가격이 저렴하다. 부식, 변색이 금합금에 비해 다소 떨어지며, 주조성 또한 좋지 않다.
- ⑤ 비 귀금속 합금 : 합금의 주성분이 귀금속이 아닌 Ni, Cr, Co, Mo 등의 합금으로 Ni-Cr계, Co-Cr계 및 Ti계 합금이 있으며 일반적으로 기계적 강도가 우수하고, 내식성이 크며 가격이 저렴한 반면 생체 친화성이 귀금속에 비해 낮고 주조성, 가공성이 떨어진다.

나. 용도에 따른 분류

도재용착금속용 : 본 연구에서 도재용착금속용 합금은 Crown 제작에 사용되는 비귀금속 Ni-Cr계 합금이 80~90% 사용되며, Co-Cr계 합금은 약 10% 내외로 사용되고 있는 것으로 알려졌다 (2014년 기준). 따라서 비 귀금속합금 중에서 Ni-Cr계와 Co-Cr계의 일반적인 4종류의 분류와 그 특성에 대하여 간략히 요약하고자 한다.

① 주조용 Ni-Cr 합금

- Co-Cr 합금에 비해 인장강도가 낮고 연성이 크다.
- 기계적 성질은 치과 주조용 Au 합금의 A형이나 B형과 유사하다.
- 용융온도가 높고 Au 합금보다 주조성이 떨어지나 Co-Cr 합금 보다는 주조성이 좋다.
- 주조품의 성질변화가 크므로 주조 시 주의해야 한다.

② 주조용 Co-Cr 합금

- Ni-Cr 합금에 비해 인장강도는 높고 연성이 좋지 않다.
- 기계적 성질은 Ni-Cr과 유사하나 Au 합금의 A형과 B형과 유사하다.
- 용융성이 높고 주조 흐름성이 Ni-Cr 합금 보다 낮다.
- Ni-Cr 합금 보다 주조품의 성질의 변화가 크므로 주조 시 주의해야 한다.
- 인체에 미치는 영향이 Ni-Cr 합금 보다 좋다

③ 가공용 Ni-Cr 합금

- 일반적으로 Co-Cr 합금 보다 부드럽다.
- 크라운, 국소의치(Clasp), 치과 교정용으로 사용한다.

④ 도재용착금속용 Ni-Cr 합금 및 Co-Cr 합금

- 귀금속의 가격이 시장 원리에 따라 가격 상승폭의 변화가 크므로 대체 재료로 많이 사용한다.
- 도재와 금속간의 결합은 금속의 산화피막과 도재의 화학적 결합과 물리적 결합이 있다.
- 미량원소 첨가에 의해 산화피막의 특성을 조절할 수 있다.

표 2-1은 치과보철재료에 사용되는 비 귀금속 합금의 합금원소와 특성을 보이고 있으며, 합금원소의 역할 및 영향에 대하여 간략히 정리하였다.^[5]

Table 2-1. Elemental characteristics of non-precious dental alloy

Element	Atomic #	Atomic mass	Melting point [°C]	Crystal structure
Ni	28	59	1445	fcc
Cr	24	52	1800	bcc
Mo	42	96	2625	bcc
Co	27	59	1390	hcp
Si	14	28	1410	diamond cubic
Mn	45	55	1245	cubic
Al	13	27	660	fcc
Fe	26	56	1539	bcc
Nb	41	93	2468	bcc
C	6	12	3727	hcp
Be	4	9	1277	hcp

① Ni

Ni은 Cr을 12.8%, Mo 9%, Nb 4%, Al 2.5%, Si 0.5%을 고용하며 금속학적 안정성, 환원성, 산 및 알칼리에 대한 저항, 내음극부식 균열을 개선한다. 연조직 염증 같은 세포 특성이 있고, 발암성이 있으며 접촉성 피부염과 같은 알레르기 반응을 일으키는 것으로 알려져 있다.

② Co

Co의 내식성은 대부분의 환경에서 Ni과 유사하며 세포 독성이 있다. Co는 Ni합금에 C의 용해도를 증가시키고, 고용강화에 의한 강도 향상 및 내산화성 개선과 열팽창 조절을 한다.

③ Cr

비귀금속 합금의 부동태화에 의한 내식성을 증가시키기 위해 첨가하는 원소로 공기나 물에 접하면 강하고 안정된 산화피막을 형성한다. 일반적으로 12~30% 함유한다. 20% 이상이면 Ni에 고용하여 강도를 향상시키나, 금속-세라믹 접착능력이 떨어지고, 함량이 높으면 착색불량을 일으킨다. Si나 Al이 첨가되면 Cr 산화물층 제거가 가능하다. 22% 이하에서는 내식성이 충분하지 못하고, 25% 이상에서는

도재 결합 문제를 일으킨다.

④ Mo

기계적 성질, 열팽창 개선을 위해 소량 첨가하며 5.5% 이하에서는 내식성이 불충분하고, 기계적 강도가 불충분하고, 용융점은 5687°C이며 Ni에 50%정도 첨가하면 1450°C까지 용융점을 내릴 수 있다. Ni 합금의 공식과 틈 부식에 대한 저항을 증가시키고, 환원성에 대한 저항을 증가시킨다.

⑤ Nb

탄화물이 안정화된 원소로 결정립간 부식과 내식성을 개선한다. 고용경화 및 금속간화합물 Ni_3Nb 를 형성하여 석출경화에 의해 기계적 성질을 향상시킨다.

⑥ Al

Al은 탈산제로 첨가되며, 표면 내식성, 내산화성의 치밀한 알루미늄 피막의 형성을 촉진하기 위해 사용되고 있다. 고용강화 및 금속간의 화합물(Ni_3Al)을 형성하여 석출경화에 의해 기계적 성질을 향상시킨다. 도재와의 결합 매개물인 산화물을 형성한다.

⑦ Si

주조성을 향상시키고, 도재와의 결합 매개물인 산화물 형성을 위해 소량, 약 0.5% 첨가한다. 고용경화에 의해 기계적 성질을 향상시키나 4.5% 이상 함유되면 취약해지므로 이하로 첨가한다.

⑧ Mn

고용경화 및 결정립 미세화에 의해 기계적 성질을 개선시키며, 탈산제로 작용하여 내식성 및 주조성을 향상시킨다.

⑨ Fe

Co-Cr 합금에 미량 사용되며, Ni 합금에서는 내식성을 개선하기 위해서가 아니라 비용을 줄이기 위해 사용된다. 고용경화에 의해 합금을 강화시키고, 도재접합용 산화물을 형성한다.

⑩ C

0.05% 이상이면 Cr, Mo, Nb 등과 탄화물을 형성하여 강도를 상승시키나 가공성이 불량하다.

3. 치과용 도재의 성분^[7]

1) 장석

치과도재용 장석으로는 칼륨장석(정장석)을 가장 많이 사용하고 있으며 치과 도재 성분 중 대부분을 차지하는 70~90% 정도로 함유되어 있으며 치과도재의 유리 성분으로 반투명효과를 나타내는 성분으로 주로 규산나트륨, 규산칼륨, 규산알루미늄, 칼슘으로 되어있다. 장석은 1250~1500℃ 정도로 열을 가하면 화학적으로 분해되어 유리상과 같은 결정 물질로 변화하므로 자연 치아가 갖고 있는 반투명도를 재현한다. 또한 용융점이 낮고 석영과 고령토 등에 대하여 용제 역할을 하며 소성 후에는 도재 속에 현탁액처럼 분산된다.

2) 석영

치과용 도재의 내화성 골조를 이루는 성분으로 18%를 함유하며 기계적인 강도와 경도를 증가시키고 소성 중 Crown 형태가 없어지기도 하는 내화성 골조(Refractory Skeleton)의 역할을 한다. 동시에 다른 성분이 녹아 흘러 들어가 용착하게 된다. 석영은 도재 전체의 열팽창계수에 영향을 미치므로 필요 이상의 고온으로 가열하면 물리적 성질이 변하게 된다. 이 열팽창계수를 조절하기 위해서 SiO₂의 cristobalite를 석영에 첨가하면 비용해성 석영의 열팽창계수를 조절할 수 있으므로 도재 전체의 열팽창계수를 조절할 수 있다.

3) 고령토

고령토 또는 점토는 그 점착성을 이용하는 것으로 도재를 축성할 때 조작용을 용이하게 해주고, 유기 결합제로서의 역할을 한다. 불투명도재이기 때문에 상아질에 많이 섞여 있으며, 법랑질에는 소량으로 함유되어 있다.

Table 2-2. Comparison of ceramics used in dental and industry

Composition Area	Feldspar	Quartz	Kaolin	Flux
Dental	60-81%	12-15%	4%	10-20%
Industrial	20-40%	50-60%	10-20%	0%

4) 섬장석

섬장석은 약 50%의 조장석과 25%의 섬장석, 그리고 25%의 하석으로 구성되어 있다. 장석 대용으로 사용한 도재는 성숙 범위가 연장된다.

만약 섬장석을 도재 성분으로 사용할 경우에는 예비소성과 예비열처리 과정을 거쳐야 한다.

5) 알루미나

도재의 강도를 높여주는 반면 불투명하기 때문에 도재용착금속에 코어로만 사용이 가능하다. 특히 의치용 도치에서는 금속 편이 위치하여야 할 부근에 많이 사용되며 경우에 따라서 강도를 증가시키기 위해서 알루미나의 함유량을 60~70% 까지도 사용할 수 있다. 알루미나의 물리적 특성은 도재의 용융점을 상승시키며 열팽창계수를 저하시키고 마모나 화학적 침해에 충분한 저항력을 가지고 있으며, 1500℃의 높은 작업온도에서도 사용할 수 있다.

6) 유리

유리는 Silica 또는 Pyrex glass(내열성, 화학내구성이 강한유리), 규석 Vycor glass(내열성이 뛰어난 고규산유리)로 나누어지며 Tube Teeth(의치상과 인공도치를 연결하기위해 인공도치에 구멍을 뚫음)나 도치제작에 사용하는데 도치를 열충격에 의해 파절되는 것을 방지하고 열팽창계수가 낮기 때문에 보통 Ceramic glazing 나 Stain은 추가 조정하기 어렵다.

7) 용제

용제는 소성온도와 열팽창계수를 조절하고 유동성을 증가 시키며 불순물의 흡수나 제지 작용도 한다. 산화리튬과 규산염 칼륨을 사용하는데 이때 강도를 약화시키거나 용해도를 저하시켜서는 안 된다.

8) 색소

착색제로서 열처리할 때 혼합된 도재 속으로 스며드는 금속 산화물이다.
흰색, 노란색, 분홍색, 푸른색, 녹색, 회색, 검정색

9) 형광제

형광성을 나타내는데 사용되는 주요 물질은 U인데, 우라늄은 황록색 형광빛을 나타내지만 자연치의 형광성과는 같지 않다. 따라서 절단면의 높은 반투명도를 표현할 때 사용하며, Ce은 자연치아 백청색 형광빛을 나타낼 때 사용되며, Sm은 붉은 형광빛을 띤다. 이러한 형광제들은 혼합해서 사용한다.

- 황록색 형광빛 - U
- 백록색 형광빛 - Ce
- 붉은색 형광빛 - Sm

10) 착색제

착색제는 도재

의 색깔을 자연스럽게 해주는 것으로 불투명층 도재와 범랑질층(그림 2-1 참조) 도재 표면에 아주 얇고 고운 분말로 되어있어 도재관에 얇게 바르도록 되어있다. 용융온도는 도재의 용융온도와 매우 가까울 경우에 잘 결합된다. 개개 치아의 특수성을 부여할 목적으로 사용된다.

11) 광택제

형태 수정이 다 끝난 후 유리화 같은 표면을 부여하기 위해 사용된다. Self Glazing은 최종 소성단계에서 몇 분 간 계류하며 도재와 광택제와의 열팽창계수가 같지 않으면 미세한 균열로 인하여 껍질이 벗겨지고 마모되는 현상이 발생한다. 소성방법은 도재 소성온도 보다 낮으며 대기 중에 소성한다.

그림 2-2에서 보여주는 Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금 Crown 보철물의 구성을 보면 금속 표면에 추가되는 도재관의 전체 두께는 1.5~2mm 이상 초과되면 깨지기 쉽다. 금속과 불투명제와의 계면 두께는 보통 0.2~0.3mm 정도 이상이며 금속을 차단해주고 빛의 투과를 막으며 탈가스 처리 후 산화막이 생기면 그 위에 바른다. Be이 첨가되지 않은 금속은 산화막이 안정적으로 생기지 않기 때문에 알루미나(Al_2O_3) 표면 처리 후 불투명제를 투명도 0%의 투명감이 없는 탁한 불투명 색상으로 금속의 표면에 불투명제를 바른다. 도재는 금속 구조물 위에 금속색이 투시되는 것을 방지하기 위해 상아질과 범랑질 층으로 구성되어 있으며 장식, 석영, 고령토, 알루미나 성분 등이 골조를 이루어 치아와 유사한 강도, 경도를 가진 도자기 성분의 치과용 도재이다¹

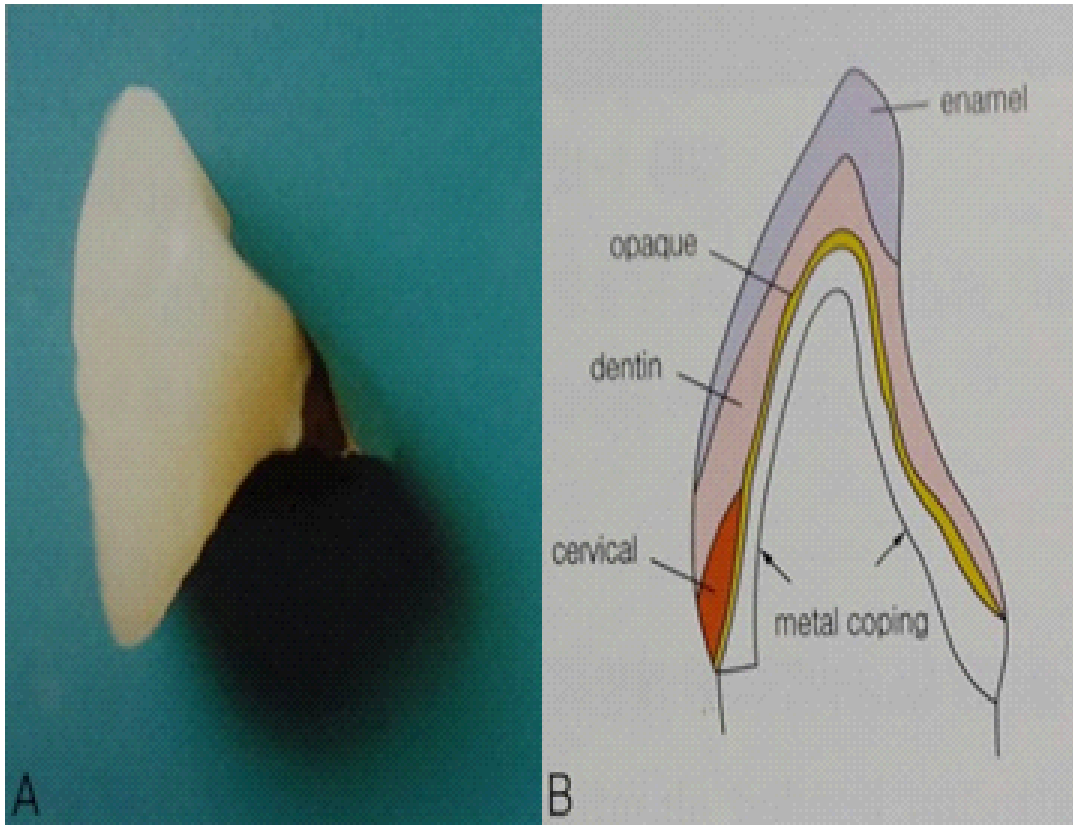


Fig 2-1. Porcelain fused metal crown and it's schematic^[7].

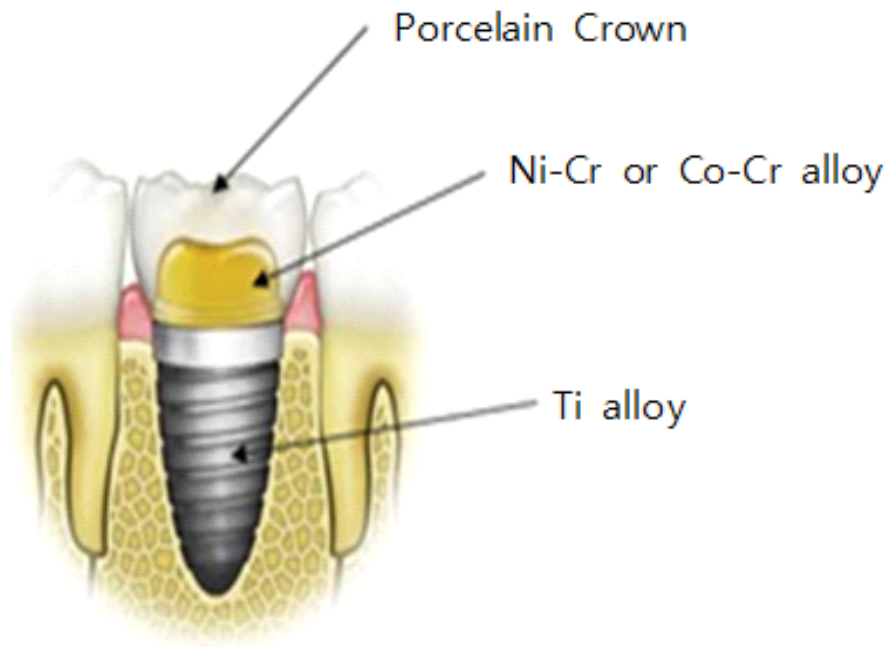


Fig 2-2. Schematic of porcelain fused to metal crown as a dental prosthesis.^[10]

4. Ni-Cr 혹은 Co-Cr 합금과 도재의 용착성 연구

Ni-Cr과 Co-Cr 합금의 표면산화물을 관찰하기 위해 샌드블라스팅 ($50\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$) 시편과 샌드블라스팅 ($50\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$) + 산화처리 ($600\sim 980^\circ\text{C}$) 두 종류의 표면처리법을 이용하여 표면 산화물을 관찰한 결과 Co-Cr 합금 샌드블라스팅 ($50\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$) 표면 처리한 시편과 샌드블라스팅($50\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$) + 산화처리 ($600\sim 980^\circ\text{C}$) 시편에서 약 13% 정도의 표면산화물의 증가가 측정 되었으며 Ni-Cr 합금을 두 가지 표면 처리한 시편에서 약 8%의 O 원소의 증가가 측정 되었다. 이러한 O 원소의 증가는 표면 산화물의 증가를 나타내는 것이다.^[11] Co-Cr 합금의 Cr 원소가 약 19% 증가하였고, Ni-Cr 합금의 Cr 원소가 약 16% 증가하여 두 합금 모두 Cr 성분의 산화물이 생성된 것으로 판단된다. 이상의 표면 산화물 관찰 결과 Ni-Cr 합금과 Co-Cr 합금의 표면 산화물은 Ni계 또는 Cr계 산화물이 생성된다는 보고가 있다.^[12] Ni-Cr 합금인 경우 산화물의 외층에 Ni와 내층에 Cr이 화합된 NiCr_2O_4 이 생성되는 것으로 실험에 사용된 Ni-Cr 합금에서는 Ni계 산화물의 생성이 적은 것으로 보고되었다.^[13] 표면의 산화물을 관찰한 결과 표면성분으로는 Co-Cr 합금과 Ni-Cr 합금의 차이를 보이지 않으나 표면 산화물의 형상을 관찰하였을 때 다소 차이를 보인다.

도재 용착성(전단결합강도)은 Ni-Cr 합금인 경우 Vnitage Halo[®]도재로 Co-Cr 합금인 경우에는 EX_3 [®] 도재를 사용했을 때 최대의 결합을 가진 것으로 보고되었다.^[13] 국제 표준규격(ISO9693)의 결합력인 25Mpa과 통계분석을 실시한 결과 CeramcoIII[®], Creation[®], Vintage Halo[®], EX_3 [®] 도재의 모든 제품에서 결합력은 유사하나 높은 결합을 갖는 것으로 나타났다. 또한 실험한 모든 도재용착금속을 제작하기에 적합한 것으로 보고되었다.^[14]

5. Ni 화합물의 발암성 식약청 자료

다음 표 2-3은 Ni 및 Ni 화합물의 IARC 발암증거를 보여 주고 있다.

Table 2-3. IARC (International Agency for Research on Cancer) evidence of carcinogenicity of Ni and Ni compounds^[4]

Evidence of carcinogenicity	Sufficient	Less than sufficient	Limited	Inadequate	Lake
Cancer in Human					
Nickel sulfate , Nickel sulphide + Nickel oxide (Nickel refining industry)	○				
Metallic nickel , nickel alloy				○	
Cancer in Experimental					
Metallic nickel , Monoxide and nickel , nickel hydroxide , nickel sulfide crystal	○				
Nickel alloys, Nickel carbonyl , Nickel salts, etc.			○		
Trioxide, nickel , Amorphous nickel sulphide				○	

Ni이 일으키는 가장 흔한 부작용은 알레르기 반응이다. 전체 인구 10~20%가 Ni에 민감성을 보이며, 접촉 했을 때 발진과 피부염을 일으킨다. 이러한 피부염은 Ni과 닿은 곳에서 멀리 떨어진 부위에서 발생할 수도 있다. 흔치는 않지만 Ni에 노출된 후 천식을 일으키는 사람도 있다.

Ni 정련화 가공공장에서 일하는 노동자들은 만성 기관지염이나 폐 기능 감소를 경험하는 경우가 많다. 고 용량의 Ni에 노출되는 경우 폐 및 부비강에 암이 생길 수도 있다. 치과 보철 착용 시 Ni로 인한 알레르기도 보고되었다.^[15] Ni은 치밀한 금속상태에서는 상온의 공기와 물에는 침식되기 어려워 보호막으로 전기도금에 이용된다. 분말상태에서는 공기에 대한 반응이 커서 자연 발화하는 경우도 있다. 묽은 산에서는 철보다 녹기 어렵다. 묽은 질산에서는 쉽게 녹지만 진한 질산에서는 철과 같이 부동태를 만들기 때문에 녹지 않는다.

Ni-화합물(니켈 정련 분진 및 아황화니켈 포함 135종)은 1급 발암물질로 식품의약품안전청 발표 자료에 지정되어 있다.

Table 2-4. Hazards of nickel compounds^[4]

Mortality	Systemic toxicity	Immunotoxicity	Neural Immune	Reproductive / developmental Toxicity	Genotoxicity	Carcinogenic
○	○	○	△	△	○	○

제 3 장 실험방법

제1절 시편 제작

(1) Ni-Cr 및 Co-Cr 합금 제작 및 관찰

가. 실험재료

본 실험에서 사용된 Ni-Cr과 Co-Cr 합금 잉곳에 대하여 표 3-1에 각각의 상품명과 생산자 정보를 보여주고 있으며, 표 3-2에서는 각 합금에 대한 화학 조성을 보여주고 있다.

Table 3-1. Product name and manufacture of N-Cr and Co-Cr alloys

Type	Name	Manufacture
Ni-Cr alloy	VeraBond [®] 2V	Aalbadent
Co-Cr alloy	Argeloy [®] N.P Special	Argen Corporation

Table 3-2. Chemical composition of Ni-Cr and Co-Cr alloys (wt%)

Ni-Cr alloy		Co-Cr alloy	
Ni	71.85	Co	59.5
Cr	12.80	Cr	31.5
Mo	9.00	Mo	5.0
Nb	4.00	Si	2.0
Al	2.50	Mn	< 1.0
Si	0.50	Fe	< 1.0
		C	< 1.0

나. 원심주조

가로 1.5cm, 세로 1cm, 두께 0.5cm 크기의 합금 시편을 제작하기 위하여 파라핀 왁스를 이용해 통상적으로 선을 달고 수축을 방지하기 위해 압탕을 부착하고, 금속의 주입선을 만들었다. 주 주입로(원추대)는 주입선 양쪽에 두 개를 1cm 간격으로 띄어 길이는 2cm로 달았다(그림 3-1 참조). 매물재는 BC-VEST®CB-700 인산염계 주조용 매물재를 이용하였다. 분말의 희석방법은 분말 100g/액 18ml의 량으로 혼합하여 매물 하였다. 1시간 동안 진공도 5 bar의 압력의 상태에서 두었다가 소환로에서 250℃에서 30분간 계류하였고 850℃에서 30분간 계류하여 소환 매물재의 가스가 완전 연소된 것을 확인 후 VeraBond® 2V Ni-Cr 합금을 이용하여 주조하였다.

Co-Cr 합금은 Argeloy® N. P Special 제품으로 Ni-Cr 합금과 동일한 방법으로 원심주조 하였다. 원심주조로 제작된 Ni-Cr과 Co-Cr 합금 시편은 주조성을 평가하고, 금속과 도재와의 용착성 및 부식실험에 사용하기 위하여 제작되었다.

다. 원심주조 시편의 후처리

통상적으로 매물재는 샌드블라스트를 이용하여 제거하였다. Ni-Cr 합금은 금속 표면이 비교적 깨끗하게 제거되었다. 그러나 Co-Cr 합금은 녹색 산화막이 형성되었으나 Talladium-Alumina® (입자크기 110µm, 하이텐탈코리아 제작)를 3.5 bar의 압력에서 샌드블라스트 처리하여 쉽게 제거 할 수 있었다. 주입선은 Cutting Disks를 이용해 절단하여 표면을 송풍회사의 Coblax-Chrome Disks로 표면을 거칠게 한 다음 3.5 bar에서 다시 Talladium-Alumina®를 이용하여 표면처리 후 5분 간 세척 후 스팀크리너를 이용 표면을 세척하였다. Densply사의 도재 소성로를 이용하여 시편을 진공에서 처리 후 1000℃에서 3분간 열처리 하였으며, 열처리 후 Talladium-Alumina®를 이용하여 시편의 산화막을 제거하였다. 반복하여 5분 간 세척 후 스팀크리너를 이용하여 표면을 청결히 한 후에 잔여 습기를 제거하기 위해 헤어드라이기를 이용하여 건조하였다.

2. 도재와 금속간의 용착성 실험을 위한 시편 제작

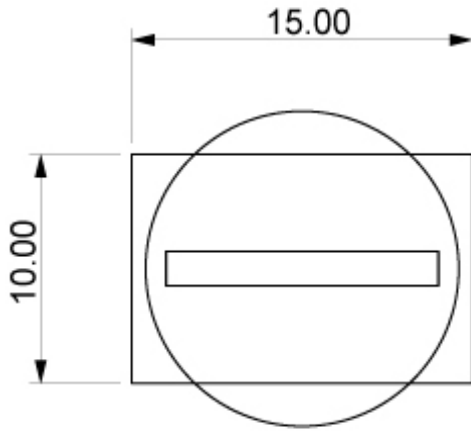
원심주조에서 준비된 후처리 후의 시편 위에 불투명체를 1차 페인팅하고 도재 소성로에서 100°C/min의 상승온도로 975°C에서 20분 동안 진공소성 한다. 진공 소성 후 냉각된 시편 위에 2차 Ultra-Escent™ Crystal을 도포하여 건조시킨 후 다시 위와 동일한 조건에서 진공소성 한다. 냉각 후 3차 Shade[#] A₃ paste 색조 불투명체와 결정 분말을 도포하고 동일 조건에서 다시 진공소성을 한다.

범랑질 부분은 범랑 분말을 도포 후 45°C/min의 상승온도로 930°C에서 20분 동안 재차 진공 소성하여 완결한다. 표 3-3은 본 실험에서 사용된 불투명체와 도재의 상품명, 제조사 및 성분조성을 보여 준다.

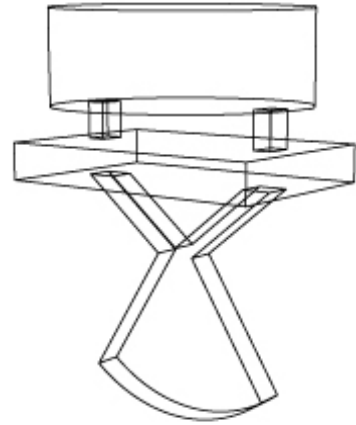
Table 3-3. Product name, manufacturer, and chemical composition for opaque and porcelain

	Product name	Manufacturer	Chemical composition
Opaque	Ceram Co III	Densply	Feldspar 60%, quartz 12%, lux 28%
Porcelain	Ceram Co III	Densply	

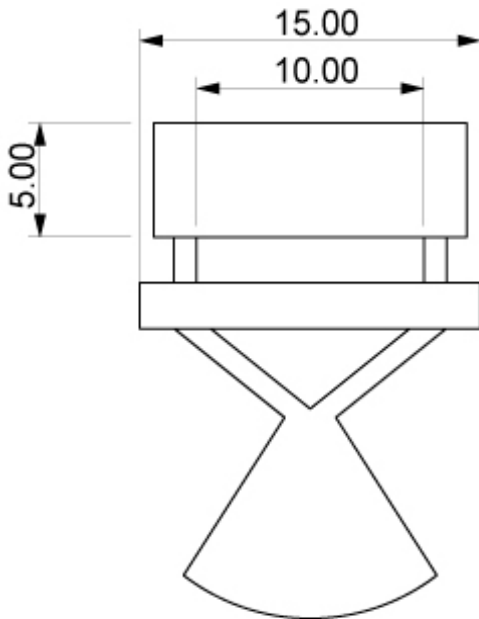
TOP



PERSPECTIVE



FRONT



SIDE

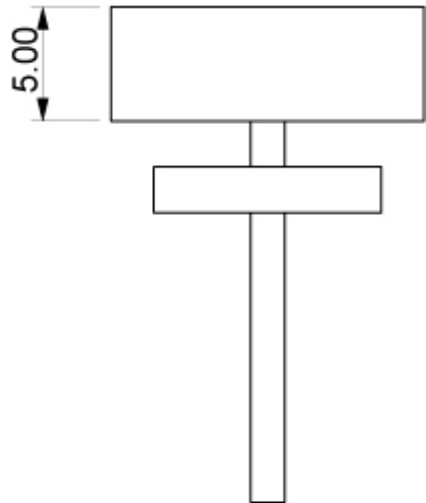


Fig 3-1. Design for the fabrication of specimen by centrifugal casting (Scales are in mm).

제 2절 실험 및 관찰 방법

(1) 광학현미경 관찰

Ni-Cr과 Co-Cr 합금 복합체 제작 시편을 이용하여 합금과 불투명제 및 도재와의 계면을 관찰하고자 시편을 마운팅하고, 미세연마 시편은 관찰 면의 청결을 위하여 acetone에 담근 후 3분 이상 초음파를 이용하여 세척하였다. 또한, 그림 3-3은 환자가 제공한 약 4년 사용 후 발치된 Ni-Cr 합금 보철물을 보여주고 있으며, 시편의 계면 및 부식상태 관찰을 위하여 위의 동일한 방법을 이용하여 시편을 준비하였다.

(2) SEM 관찰

광학현미경에서 관찰한 마운팅된 시편을 Pt 코팅하고, FE-SEM를 이용하여 시편의 표면관찰 및 표면 성분 분석을 수행하였다.

(3) 분극실험

상온에서 시편에 대한 부식 저항성은 실험 시작 전 1시간 동안 가스를 사용하여 탈기한 3.5wt% NaCl 용액을 사용하고 시편을 작업전극, 포화칼로멜전극(saturated calomel electrode, SCE)을 기준전극, 그리고 백금상대전극을 3-전극 전기화학 셀로 구성하는 동전위 분극실험에 의하여 평가 하였다. 위의 분극실험은 1,800초 동안 개방회로퍼텐셜을 관찰하였으며, 전류밀도는 퍼텐셜을 0.5 mV/s의 속도로 스캔하여 기록하였다.



Fig 3-3. A picture of Ni-Cr alloy composite dental prosthesis extracted from a dental patient after about four years usage.

제 4 장 연구 결과 및 고찰

제 1절 금속과 도재의 계면의 미세조직

그림 4-1은 Ni-Cr 합금 복합체 시편 사진으로서 광학현미경을 이용하여 금속과 불투명체 및 도재의 계면을 관찰하였다. 그림 4-1(a)의 사진에서는 금속, 불투명체, 그리고 도재의 영역을 명확히 관찰이 가능하였으며, 불투명체와 도재의 계면에서는 어떠한 결함을 관찰할 수 없었다. 그림 4-1(b)는 (a)의 금속과 불투명체계면 부위를 확대한 사진으로 금속표면의 거칠기를 관찰할 수 있으며, 이는 원심주조 시편 제작 후 후처리 과정에서 샌드 블라스트와 Talladium-Alumina[®]를 이용하여 금속의 표면을 거칠게 한 결과이다. 이는 금속의 표면적을 크게 하여 불투명체와의 접착성을 크게 하기 위함이었다. 그림 4-1(b)의 사진에서 금속과 불투명체 계면의 두께가 약 10 μ m 정도의 검은 부분은 금속산화물층으로 금속과 불투명체의 용착이 잘 이루어지고 있는 것으로 보이나, 너무 두꺼운 산화물층은 취약하여 금속과 불투명체의 계면이 충격 시에 파손되어 떨어져 나가는 문제가 발생할 수 있어 되도록 산화물 층의 두께가 얇은 것이 접합 강도 측면에서 우수한 것으로 알려져 있다.

그림 4-2는 Co-Cr 합금 복합체의 광학현미경 사진으로 그림 4-2(a)의 불투명체와 도재의 계면은 그림 4-1(a)와는 다르게 두께 약 200 μ m에 걸쳐 불투명체와 도재간의 확산에 의한 용착층이 형성되었음을 보여준다. 이러한 확산에 의한 용착층은 불투명체와 도재의 층간 결합력을 강화시키는 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 하지만, Ni-Cr 합금과 비교 시 Co-Cr 합금 도재용착금속 복합체에서 보이는 이러한 불투명체와 도재층간의 용착층 형성의 차이에 대한 원인은 본 실험에서 불투명체와 도재층간의 결합에서 뚜렷한 문제점이 발견되지 않아 다루지 않았다. 그림 4-2(b)는 금속과 불투명체의 계면 사진으로 금속의 표면은 충분한 거칠기와 넓은 표면적으로 불투명체와의 접촉 면적이 충분히 유지되고 있음을 알 수 있으며, 그림 4-1(b)와 비교 시 금속 산화물층 두께 또한 비교적 얇아 계면간의 충분한 접촉 강도를 유지할 수 있음을 유추할 수 있다.

Co-Cr 시편과 비교 시 Ni-Cr 시편의 금속과 불투명체의 계면에서 더 많은

산화물이 관찰되었으며, 이와 같은 과도한 산화물은 금속과 세라믹 복합체의 접착강도를 떨어뜨리고, 결과적으로 시편의 강도가 취약해지는 것을 알 수 있었다. 그러므로 산화물이 적은 Co-Cr 합금 복합체의 강도가 더 강하고 접착성이 우수하다는 결과를 얻을 수 있었다.

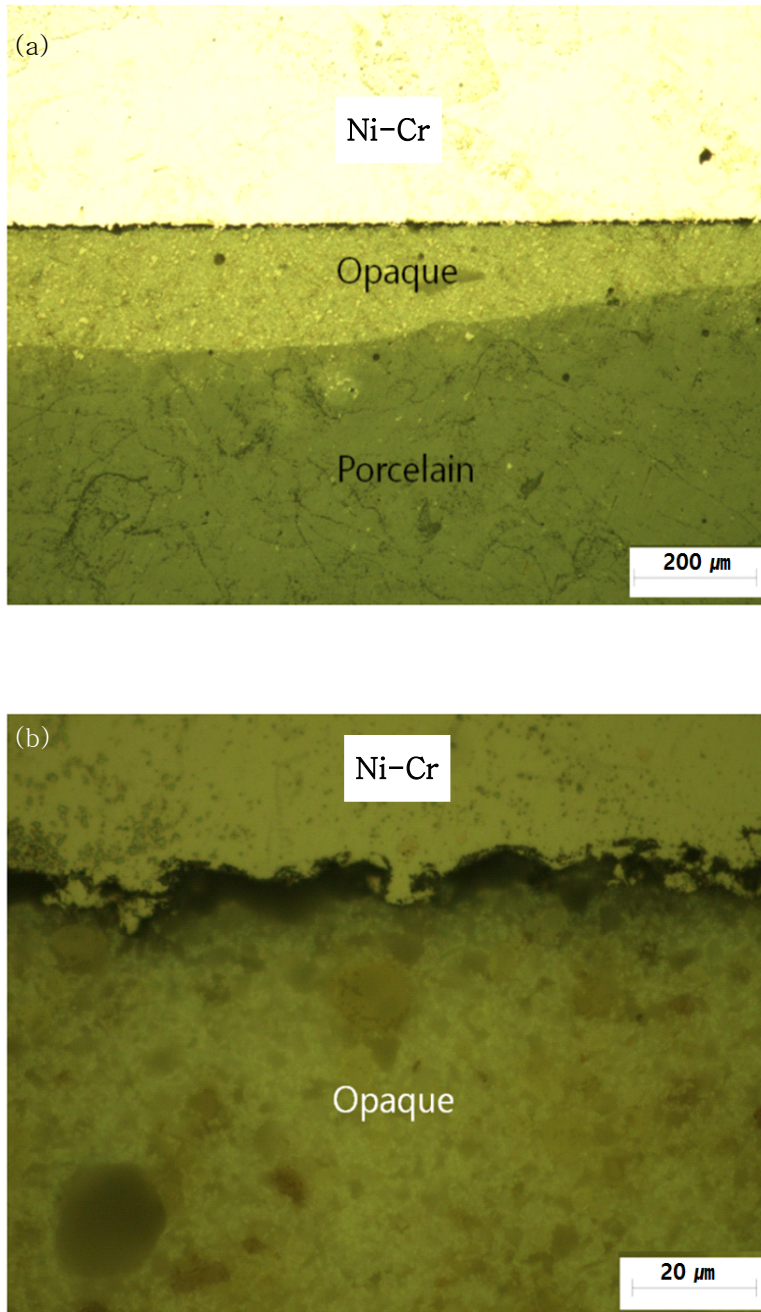


Fig 4-1. Optical microscope (OM) images for porcelain fused to NI-Cr alloy composition.

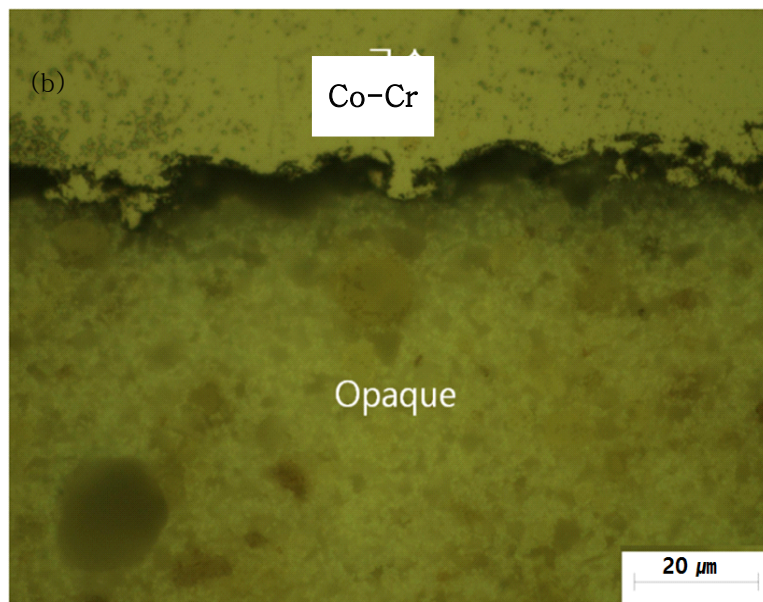
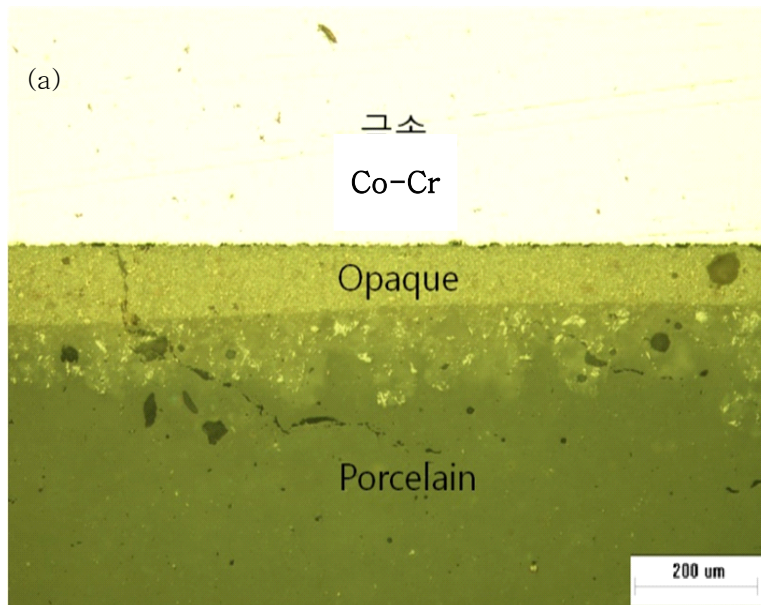


Fig 4-2. OM images for porcelain fused to Co-Cr alloy composite.

그림 4-3은 환자가 약 4년 사용 후 발치된 도재용착 Ni-Cr 합금 복합체의 광학 현미경 사진으로 그림 4-1과 비교 시 큰 차이점이 없이 각 계면에서 어떠한 결함을 찾을 수는 없었으며, 약 4년의 사용 후에도 각 계면은 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 그림 4-3(b)에서도 금속과 불투명체와 도재의 계면이 넓은 접촉 면적을 유지하면서 안정된 용착을 보이고 있다. 여기에서 Ni-Cr 합금은 불투명체와 도재에 의하여 외부 환경으로부터 차단되어 어떠한 부식 환경에도 노출이 되지 않아 Ni-Cr 합금의 부식 문제는 발생하지 않은 것으로 보인다.

그림 4-4는 환자가 약 4년 사용 후 발치된 Ni-Cr 합금 복합체의 노출된 금속 부위 광학현미경 사진으로 (a)의 윗부분은 Ni-Cr 합금이고 아래 부분은 Mounting resin을 보이고 있다. 사진 (a)의 중앙 금속 부분에 작은 홈이 보이며, 이를 확대한 것이 사진 (b)이다. 본 시편의 Ni-Cr 합금은 약 4년의 기간 동안 구강에서 다양한 환경에 노출되었으며, 결과적으로 그림 4-4에서와 같은 부식을 보이는 것으로 판단된다. 그림 4-4(b)에서 보이는 형태의 결함은 외부의 충격이나 제작 시에 야기된 결함(주조 결함)의 결과로 생성된 결함으로 판단되지는 않는다.

그림 4-5는 Ni-Cr과 Co-Cr 합금 시편에 대한 동일조건 하에서의 동전위 분극실험 결과를 보여주고 있다. 일반적으로 Ni-Cr 합금이 내산화성이 우수하나, 열간 내식성은 Co-Cr 합금이 보다 우수한 것으로 알려져 있으며^[16], 상온에서의 분극실험을 통한 부식특성 또한 Co-Cr 합금이 안정한 결과를 보이고 있다.

그림 4-6의 부식속도 비교에서 Ni-Cr 합금($4.83 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$)의 경우보다 동일한 부식 환경에서 Co-Cr 합금($1.61 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$)이 약 3배 정도 안정적인 것으로 관찰이 되었다. 위의 부식속도는 분극실험 결과(그림 4-5)를 바탕으로 타펠 외삽보간법(Tafel extrapolation method)를 이용하여 측정하였다.

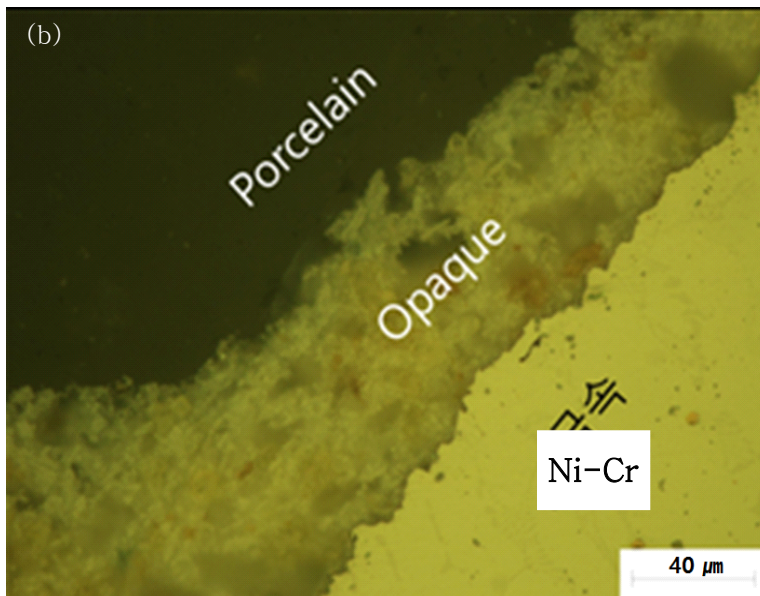
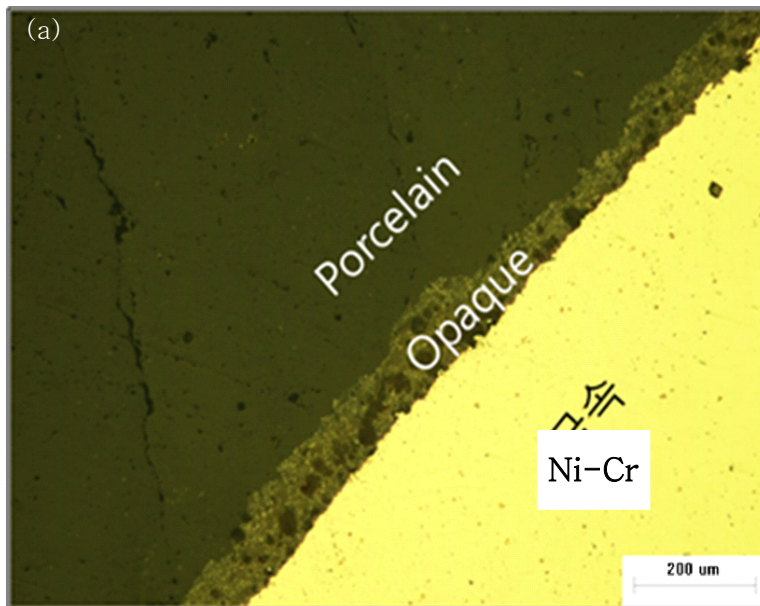
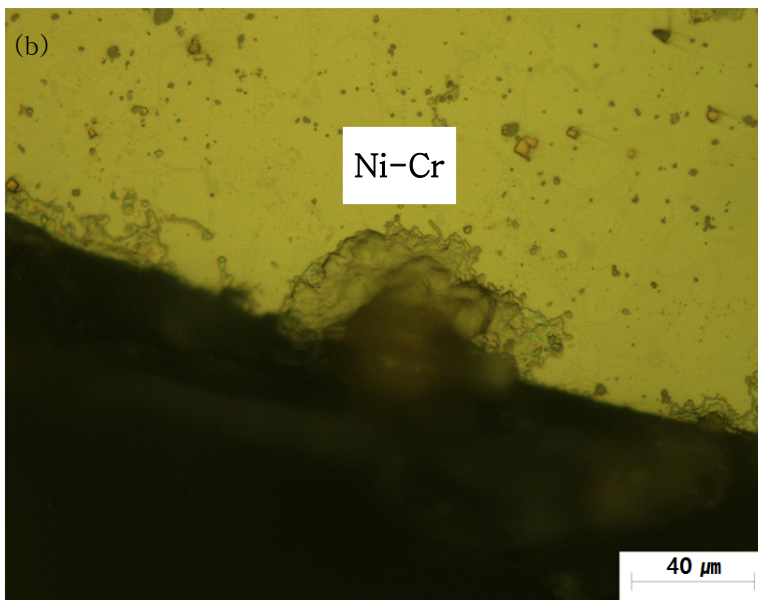
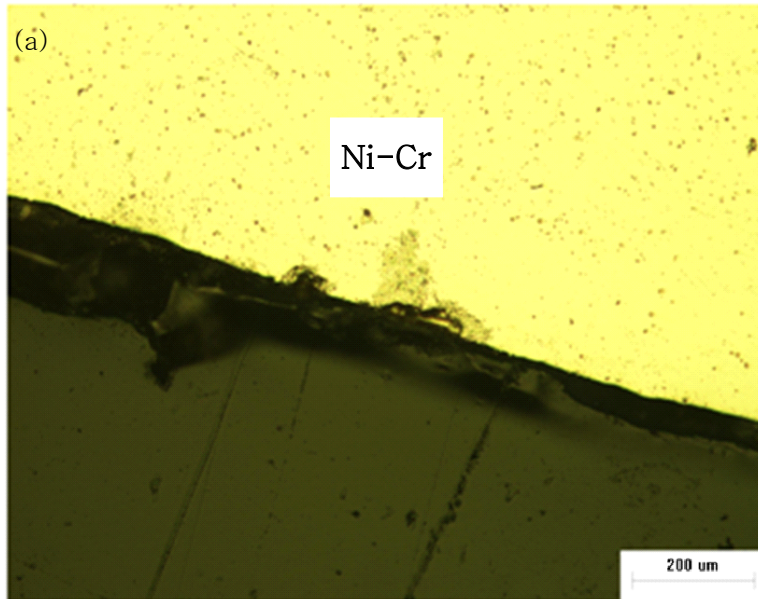


Fig 4-3. OM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage.



.Fig 4-4. OM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage (shown only metal portion which was exposed to environment).

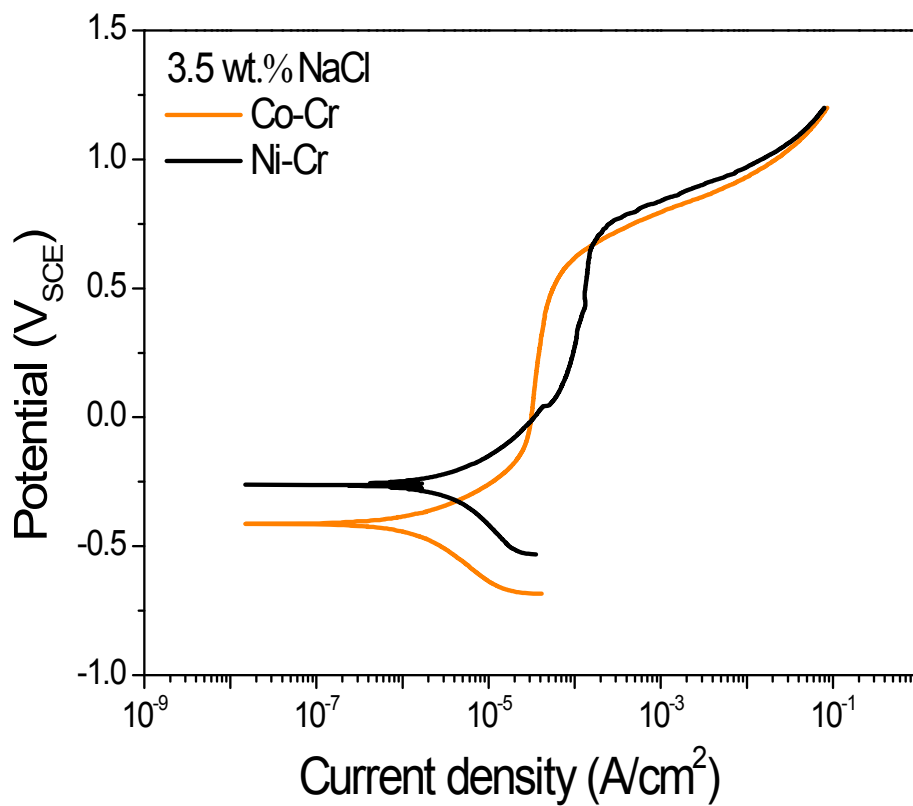


Fig 4-5. Potentiodynamic polarization curves for Ni-Cr and Co-Cr alloys.

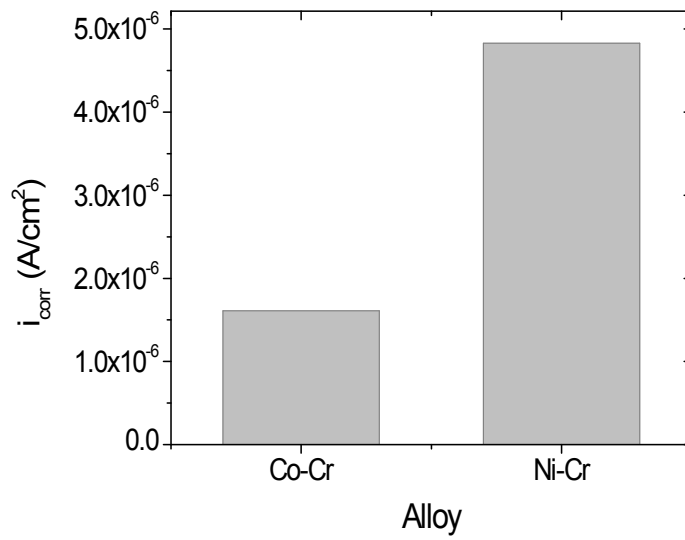


Fig 4-6. Corrosion rate(i_{corr}) of Ni-Cr and Co-Cr alloys.

그림 4-7은 4-1의 광학현미경 시편을 보다 더 세밀한 관찰을 위하여 전자현미경을 이용하여 계면을 관찰하고자 하였다. 그림 4-7(a)에서 금속과 불투명체의 뚜렷한 접촉 계면을 확인 할 수 있으며, 불투명체층에서 보이는 흰 반점들로 인하여 각각의 영역에 대한 구별은 어느 정도 가능해 보인다. 그림 4-7(b)는 금속과 불투명체의 계면을 확대한 것으로 약 $10\mu\text{m}$ 정도 두께의 금속산화물층을 형성하면서 금속과 불투명체가 잘 용착되어 있음을 확인 할 수가 있었다. 자세한 관찰 결과 약 $1\mu\text{m}$ 크기 이내의 작은 입자 형태가 금속산화물층에 고르게 분산되어 있는 것을 알 수 있으며 두 층간의 용착 기구의 이해를 위해서는 이에 대한 보다 세밀한 관찰과 분석이 있어야 할 것으로 판단이 된다. 불투명체층에서 관찰된 흰색의 입자들은 Ca와 Sn으로 구성된 입자인 것으로 EDX의 성분 분석에서 확인이 되었다.

그림 4-8은 Co-Cr 합금 도재용착금속 복합체의 계면을 보여주는 전자현미경(SEM) 사진으로 (a)는 그림 4-7에서와 동일한 형태의 금속, 불투명체 그리고 도재의 계면을 보이고 있다. 그림 4-8(b)에서는 4-7(b)에서와는 다른 다량의 탄화물이 형성된 것을 확인할 수 있다. 또한 Ni-Cr 합금과 비교하여 매우 얇은 산화물층을 형성하고 있으며 산화물층 내에 작은 입자 형태의 산화물층을 관찰할 수 있었다.

그림 4-9는 그림 4-8 Co-Cr 합금 도재용착금속 복합체 계면에 대한 EDX mapping의 결과를 보여주는 것으로 금속 부분은 Co, Cr와 Mo, 불투명체에서는 Na, Al, Si, K, Sn, Ca와 Ti 그리고 O의 성분 조성을 보이는 것으로 분석이 되었으며 산화물층에서는 Al과 Cr의 성분 검출이 많은 것으로 보아 Al_2O_3 와 Cr_2O_3 형태의 산화물이 형성된 것으로 보인다.

그림 4-10은 환자 사용 후 Ni-Cr 합금 도재용착금속 복합체의 금속, 불투명체, 도재 계면을 보여주는 전자현미경 사진이다. 그림 4-10(a)와 (b)의 금속과 불투명체의 층간 그리고 불투명체에서 관찰되는 균열은 시편 관찰을 위한 준비 시 충격으로 발생한 것으로 환자 사용 후 발치된 시편에서는 이러한 결함이 발견된 것은 아니다. 그림 4-10에서도 금속과 불투명체의 뚜렷한 계면, 그리고 불투명체와 도재 영역의 구별이 가능한 양상을 보이는 도재용착금속 복합체의 전형적인 계면을 관찰할 수 있었다.

그림 4-11은 환자 사용 후 Ni-Cr 합금 도재용착금속 복합체의 일부로 불투명체와 도재의 층이 없이 구강 내에서 노출된 금속 부위 전자현미경 사진으로 앞서 관찰한 그림 4-4 광학현미경 사진의 시편을 관찰한 것이다. 그림 4-11(a)에서는 이러

한 결함의 양상이 주조 혹은 어떠한 외적인 충격에 의하여 만들어진 결함이 아니라는 것을 유추 할 수가 있으며, 그림 4- 11(b)에서 명확하게 이러한 결함이 부식에 의해 야기된 결함이라는 것을 알 수 있다. 그림 4-11 (b)는 스펀지 형태의 미세한 기공을 갖는 금속 시편의 표면으로 합금 중 내식성이 좋지 못한 일부 금속 원소가 부식되어 빠져 나와 생성된 전형적인 부식의 양상을 보여주고 있는 사진이다. 이러한 부식이 계속적으로 진행됨으로써 4-11(a)와 같은 형태의 결함을 보이고 더 나아가 광학현미경에서 관찰된 그림 4-4에서와 같은 표면 결함을 야기하는 것으로 보인다.

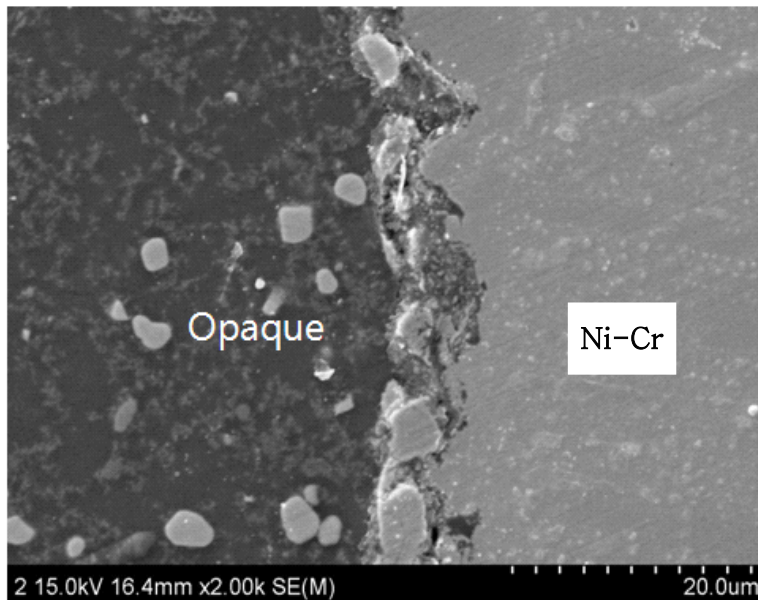
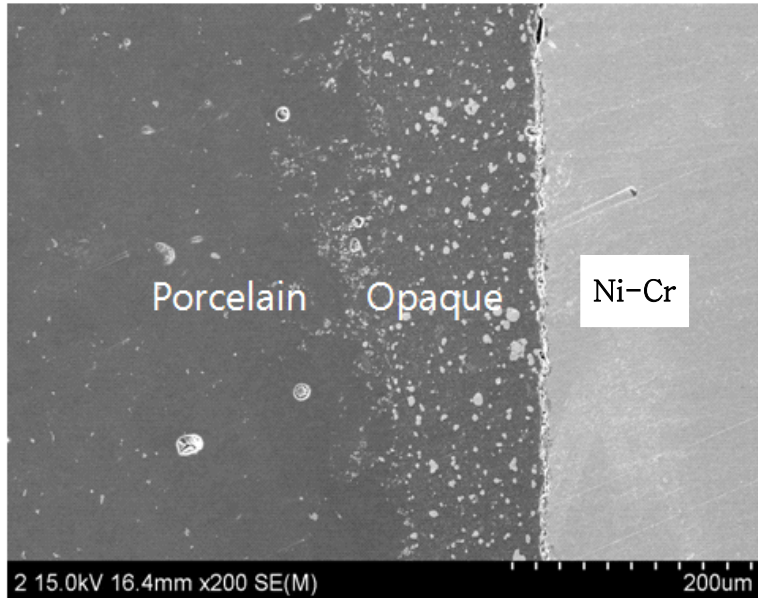


Fig 4-7. SEM images showing the interface of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite.

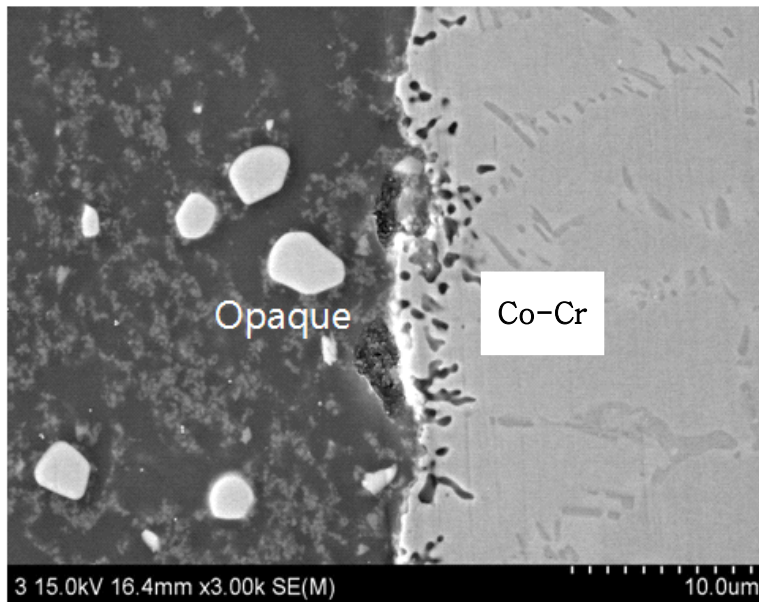
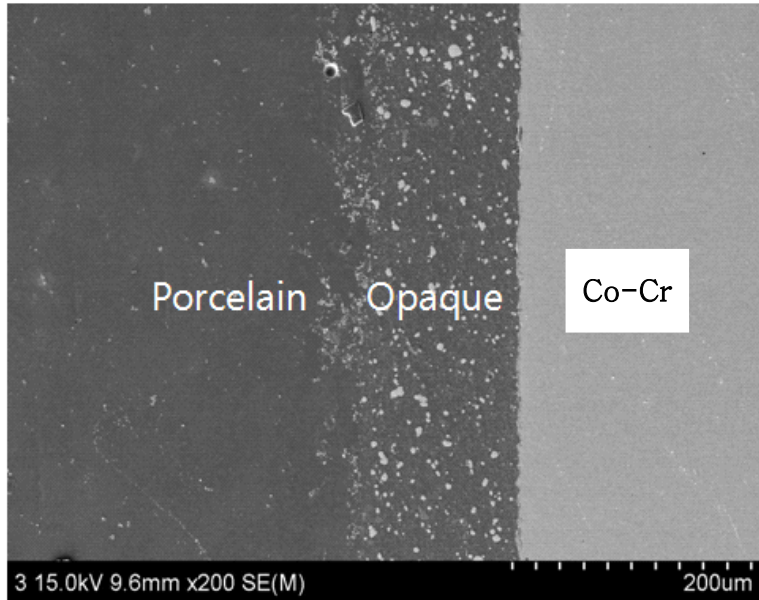


Fig 4-8. SEM images showing the interface of porcelain fused to Co-Cr alloy composite.

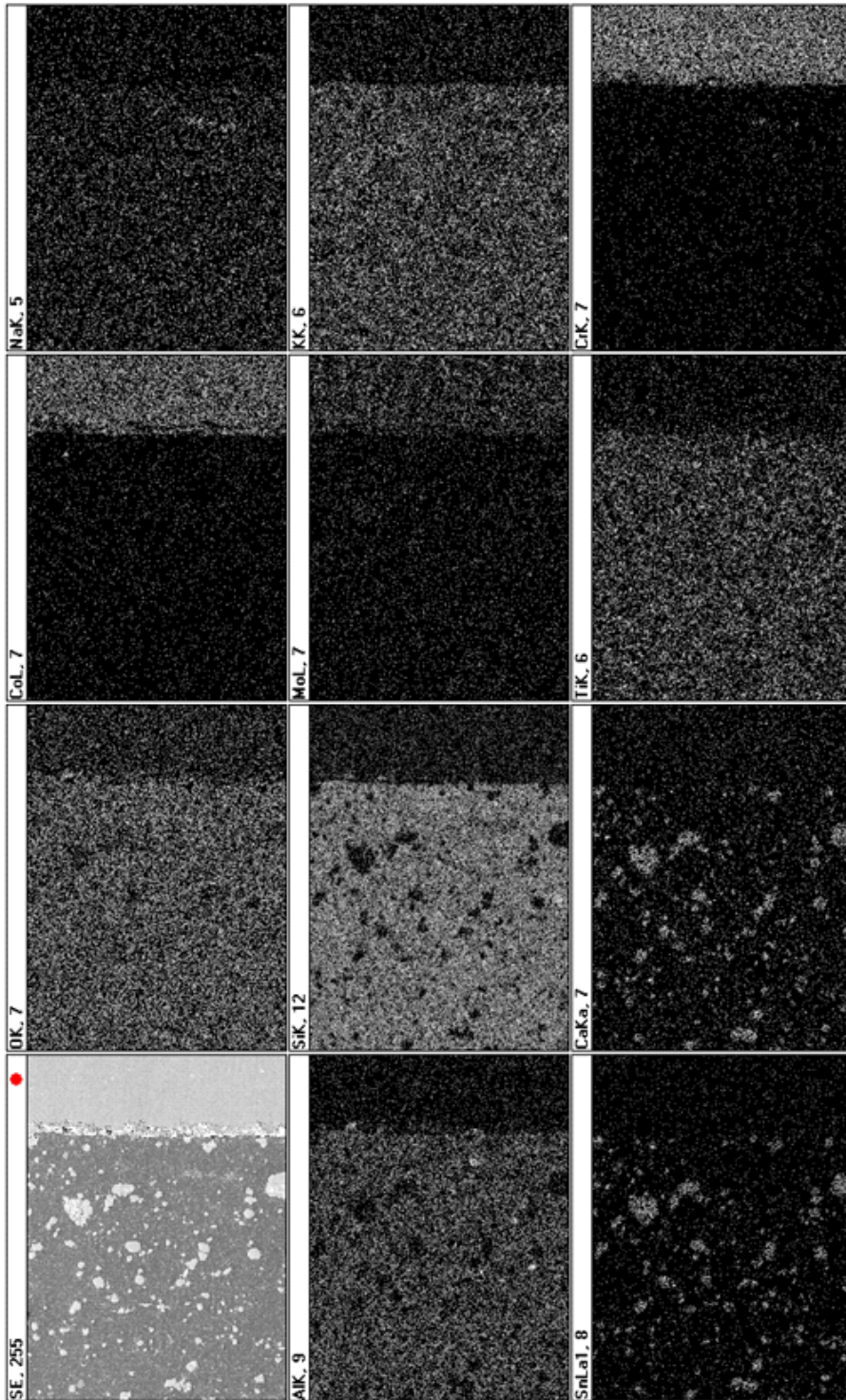


Fig 4-9. EDX mapping of porcelain fused to Co-Cr alloy composite.

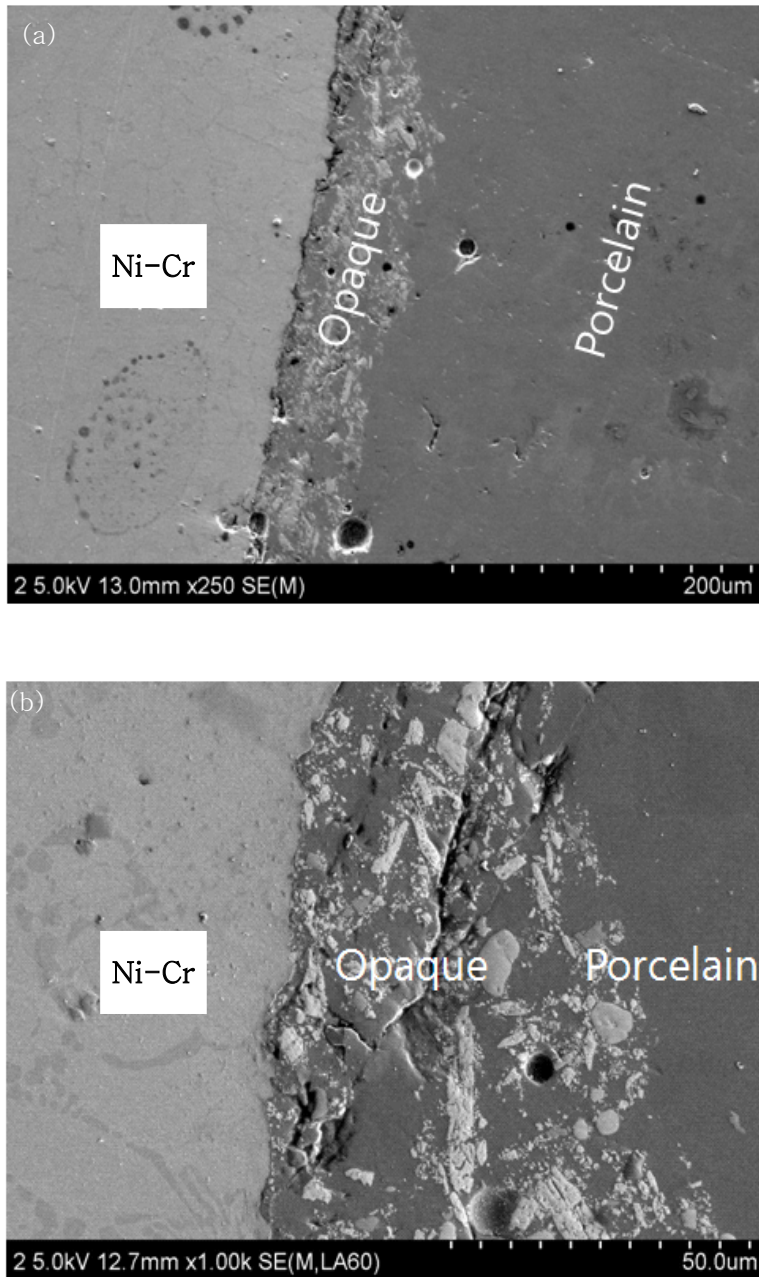


Fig 4-10. SEM images showing the interface of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after about four years usage.

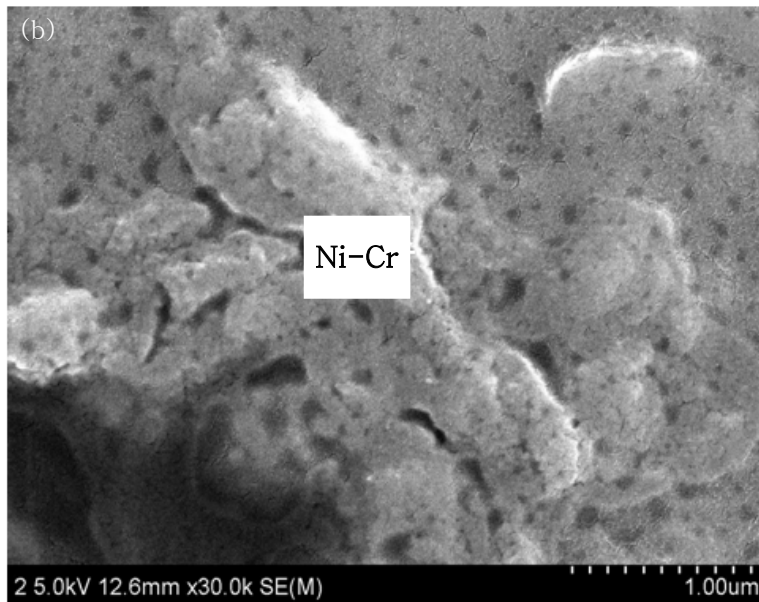
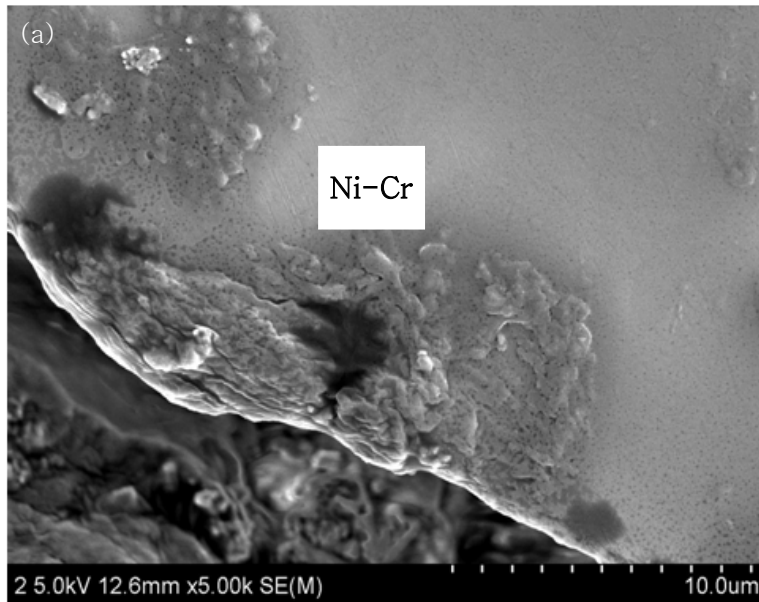


Fig 4-11. SEM images of porcelain fused to Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after four years usage (shown only metal portion which was exposed to environment).

표 4-1은 환자 사용 후 Ni-Cr 합금 도재용착금속 복합체의 구강 내에서 환경에 노출된 금속과 노출되지 않은 금속 부위에 대한 EDX 성분분석 비교표이다. 환자 사용 후 시편에서 환경에 노출되지 않은 불투명제 및 도재 코팅된 금속에서는 부식이 관찰되지 않았으나, 환경에 노출된 금속시편에서는 전형적인 부식이 발생한 것을 관찰할 수 있었다.

Table 4-1. Comparison of EDX analysis for porcelain fused to Ni-Cr alloy composite (examined for both no corrosion and corrosion portions in Ni-Cr alloy composite extracted from a dental patient after four years of usage).

Elements	wt%	
	no corrosion	corrosion
Al	2.78	2.40
Si	0.07	0.00
Cr	15.66	14.10
Ni	72.01	74.23
Zr	4.55	4.67
Nb	0.09	0.00
Mo	4.84	4.60
Total	100.00	100.00

환자 사용 후 시편에서 부식이 발생한 부분과 발생하지 않은 부분의 성분분석 비교 결과 Al, Si, Cr, Mo 성분의 유출이 Ni, Zr과 비교 시 상대적으로 많은 것으로 관찰이 되었다. 이러한 부식의 결과 그림 4-11(b)의 전자현미경 사진에서처럼 다공질 조직을 보이고, 계속된 부식의 결과는 그림 4-11(a)와 그림 4-4의 광학현미경 사진에서 관찰된 금속의 일부가 떨어져 나간 것처럼 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

제 5 장 결 론

Ni-Cr과 Co-Cr 합금을 이용한 도재용착금속 복합체를 제작하였으며, 광학현미경 및 전자현미경을 이용하여 금속과 도재와의 계면을 관찰한 결과 Ni-Cr 합금과 비교 시 비교적 산화물층의 두께가 얇은 Co-Cr 합금을 이용한 도재용착금속 복합체가 금속과 도재의 용착에서 계면간의 충분한 접착 강도를 유지하고 있는 것으로 보이고, 산화물층에 대한 EDX mapping의 결과에서는 주로 Al_2O_3 와 Cr_2O_3 형태의 산화물이 형성 되는 것으로 분석이 되었다. 하지만 산화물층에 형성된 $1\mu m$ 크기 이내의 작은 입자형태의 산화물에 대한 생성과 성장 기구 및 역할에 대하여서는 추후에 보다 더 세밀한 관찰과 분석이 있어야 할 것으로 보인다.

동일 조건하에서의 동전위 분극실험의 결과 Co-Cr 합금($1.61 \times 10^{-6} A/cm^2$)이 Ni-Cr 합금($4.83 \times 10^{-6} A/cm^2$)보다 약 3배 정도 부식 환경에서 안정적인 것으로 분석이 되었으며, 우수한 부식 저항성을 보이는 것으로 평가되었다. 환자 사용 후 발치된 Ni-Cr 합금 도재용착금속 복합체의 경우 환경에 노출된 금속 부위 광학 현미경 및 전자현미경 관찰에서 부식의 문제를 야기하는 것으로 판단이 되었으며 따라서, 현재 대부분의 도재용착금속의 금속재료로 사용 중인 Ni-Cr 합금을 생체재료로 사용 시 부식으로 인하여 인체에 유해한 발암물질(Ni-화합물)을 생성할 가능성이 있는 것으로 보이며, 생체재료로 사용 시 인체에 대한 유해 유무는 실질적인 생체 실험을 통하여 밝혀져야 할 것으로 보인다.

결과적으로, 본 연구에서는 Ni-Cr 합금을 Co-Cr 합금으로 대체함으로써 환자들의 발암물질에 대한 노출 가능성의 문제를 제거하고, Ni-Cr 합금 보다 더 장기간 안전하게 사용이 가능한 치과용 보철재료 Co-Cr 합금을 제공함으로써 환자에게는 건강에 대한 안전과 비용을 절감할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Azer S.S, Ayash G.M. Johnston W.M. Khalil MF, Rosenstiel S.F., Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crown.J, Prosthodont, 96, 397-401, 2006
- [2] Ahn JS, Ko Ek, Joo KJ, Comparison of shear bond strength of ceramic fused to Ni-Cr and Co-Cr alloy by heat treatment, the journal of Korean academy of dental technology, 33(3), 185-192, 2011
- [3] Smith, Second Ed. 금속재료, 도서출판 인터비전, 2003년 개정판
- [4] 식품의약품안전청, KFDA 니켈 Risk Profile, 2010.12
- [5] 안중철, 도재소부용 Ni-Cr-Mo계 치과용 합금의 미세조직 및 기계적 성질, 전남대학교, 2006
- [6] 석병훈, Zero special Report
- [7] 광동주, 김사학, 노재경, 박명자, 선금주, 신무학, 임시덕, 최석순, 최용석 저 치과도재기공학 (개정판), 지성출판사
- [8] www.nobledental.com.au
- [9] akshaylaserdentalcare.com
- [10] www.colgape.com
- [11] 김갑진, 정인선, 최성민 도재용학주조관용 Co-Cr 합금의 주조성 및 결합강도 관찰, 대한치과기공학회지, 35, 2, 113-120, 2013
- [12] Yamamoto, M.Metal-Ceramics, Quinte-ssence pub. Co. Tokyo. 1985)
- [13] 정인성, 김치영, 김갑진 도재용착금속주조관용 Co-Cr 합금의 주조성 및 결합강도 관찰, 대한치과 기공학회지 35, 2, 105-112, 2013
- [14] McLean JW, Dental Ceramics proceedings of the first International symposium on ceramics, 467, 1973
- [15] 식품의약품안전청, 니켈 Risk Profile 위해정보교류, 소비자를 위한 리스크 커뮤니케이션 가이드, 3(2), 44-48, 2010.12
- [16] 한봉희 저 금속재료공학 (개정판), 교보문고

부록

Ni-Cr과 Co-Cr 계면사진을 광학현미경으로 관찰한 환자의 지대치 도재용착 구조관을 각각 3편씩 제작하여 도재와 금속간의 용착 정도를 비교 관찰 하였다.

1. Ni-Cr 계면사진

그림 A는 도재의 제작 순서에 의해 만들어 졌으며 설면 (그림 A-1) 교합면 (그림 A-2) 협면 (그림 A-3) 으로 분류하여 각 면마다 100 μ m의 사진으로 관찰하였다. 그림 A의 설측면 상에서는 금속과 불투명체과의 계면에서는 산화막이 불규칙하게 만들어져 있으며 산화막이 중앙부위에 조금 있다가 상, 하로 보이는 50 μ m상의 불규칙한 산화막층이 관찰되었다. 그림 A-1 설측면상 에서는 금속과 오פק과의 계면에서는 산화막이 불규칙하게 만들어져 있으며 산화막이 중앙부위에 적게 분포하고 상하로 보이는 50 μ m상의 불규칙한 산화막층이 관찰되었다. 그림 A-2 교합면 상에서 금속과 오팩의 용착을 관찰한 결과 중앙부위는 산화막층이 얇고 대체적으로 가늘며 상, 하 쪽은 40 μ m ~ 50 μ m으로 불규칙한 층을 관찰할 수 있다. 그림 A-3 의 협면에서의 금속과 오팩과의 산화막이 그림 A-2 구역에서와 비교해보면 규칙적이며 오팩층도 안정적인 두께를 가진다.

그림 A-1의 도재용착구조관의 100 μ m의 광학현미경으로 계면사진 관찰 그림 A-1의 설면상의 금속층은 깨끗한 상태이며 금속산화막 또한 불규칙하다 큰 것은 50 μ m에서 작은 것은 30 μ m상의 산화막이 형성되었다. 오팩층은 일정한 용착을 보이며 세라믹 면과 오팩층도 안정적인 층을 보인다.

그림 B-1의 설면상의 금속 층은 깨끗한 상태이며 금속 산화막 또한 불규칙하다. 큰 것을 50 μ m에서 작은 것은 30 μ m상의 산화막이 형성되었다. 오팩 층은 일정한 용착을 보이며 세라믹 면과 오팩층도 안정적인 층을 보인다.

그림 B-2의 교합면상은 금속 층과 오팩층 사이에 보이는 금속 산화층이 불규칙한 상태이나 우측면은 다소 안정적이나 흰 반점과 함께 좌측면으로 내려갈수록 얇은 산화막층을 관찰할 수 있다. 오팩층과 세라믹과의 용착은 일직선상으로 용착되었음을 보여준다.

그림 B-3 협면상은 그림 A-3의 면과 비슷한 계면과 교합면상에 비해 산화막층이 안정적이며 일직선상의 용착을 보여준다.

Ni-Cr의 그림 도재용착구조관은 화질이 비교적 깨끗하며 명암이 밝고 검은색의

산화막이 전체적으로 보인다.

그림 C-1의 설면상은 금속과 오팩사이의 산화막층이 열으며 불규칙한 상태를 관찰할 수 있다. 오팩 층과 세라믹 층의 용착을 안정적인 상태를 보이거나 세라믹 층에 검은 반점이 보인다.

그림 C-3 협면상의 계면에서는 금속과 금속간은 상태를 초점을 맞춘 후 관찰하였다. 금속 층에서는 아주 미세한 검은 반점을 관찰할 수 있다.

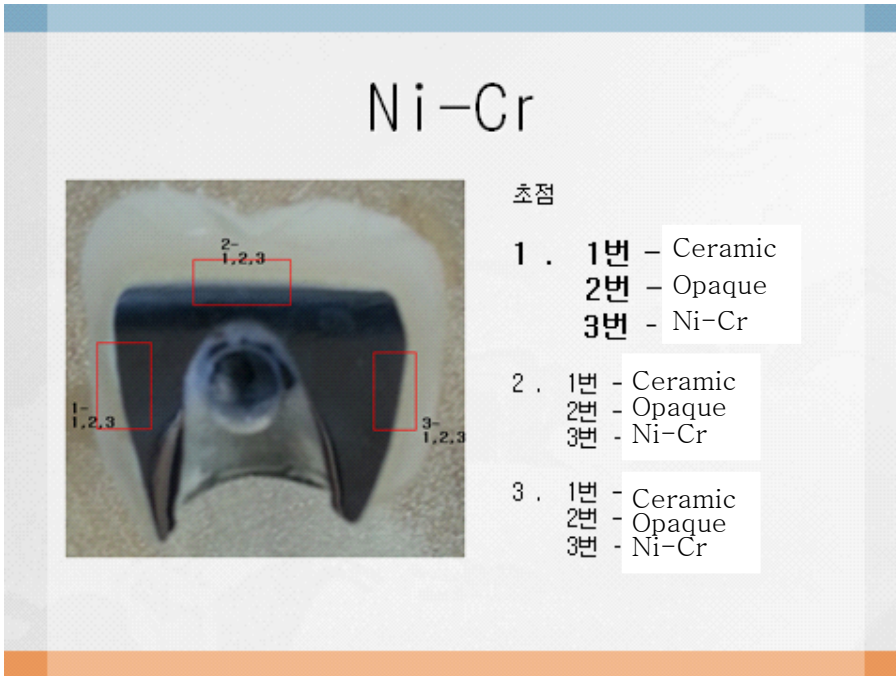


그림 A. Porcelain Crown

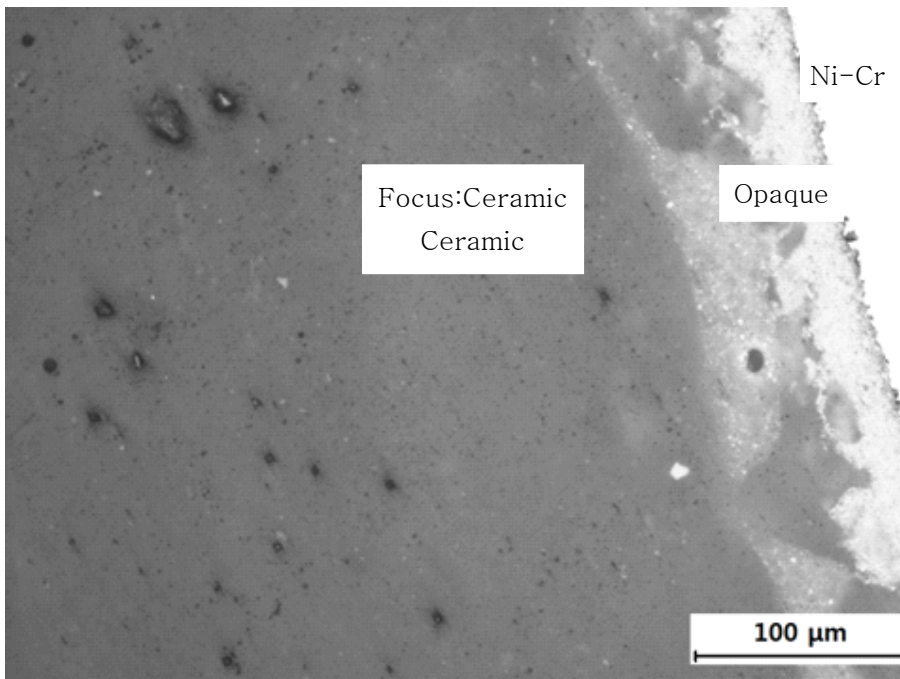


Fig. A-1 Lingual surface

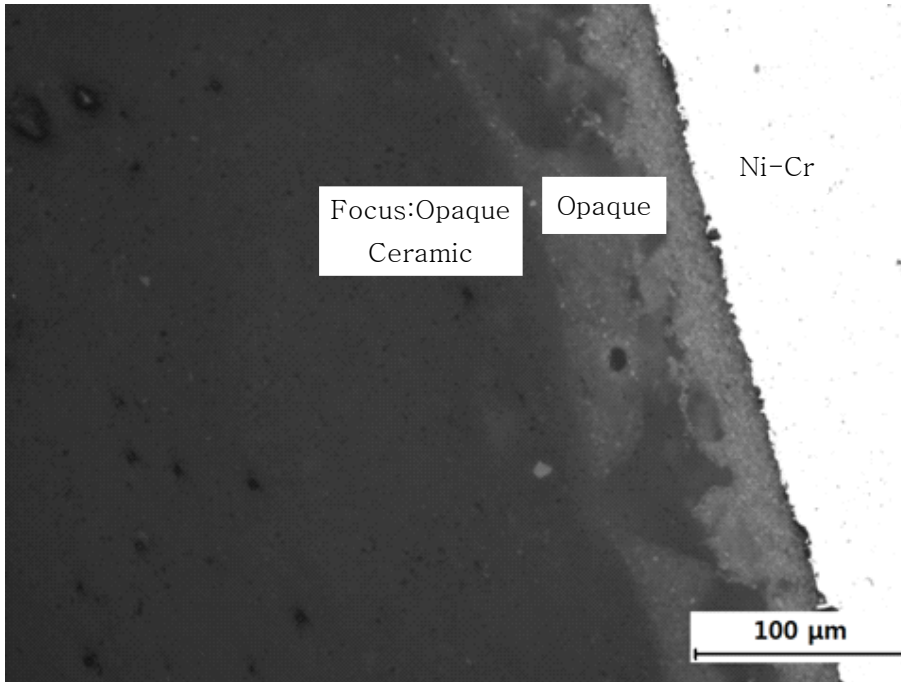


Fig. A-2 Occlusal surface

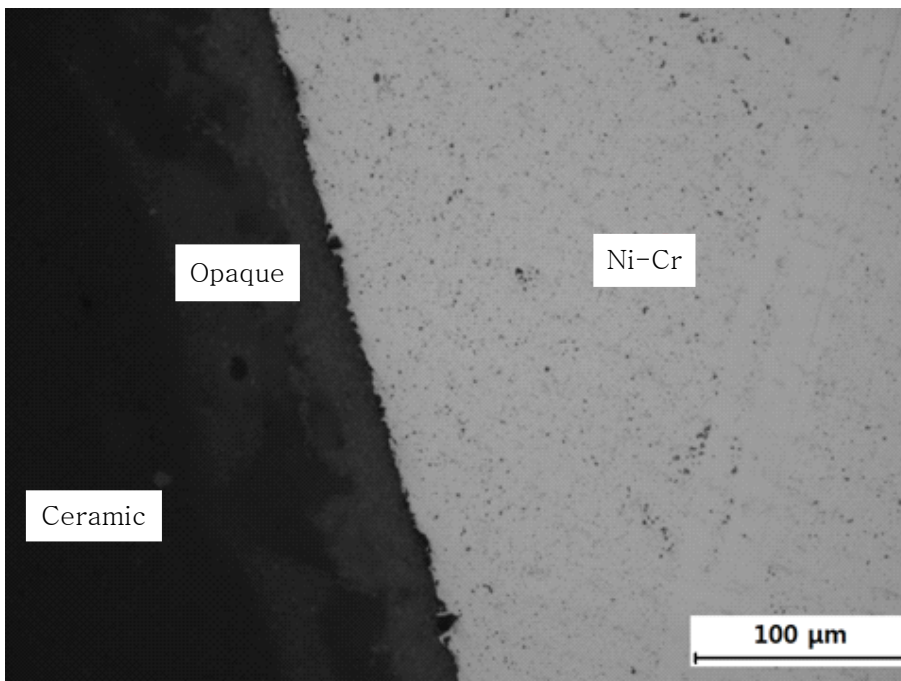


Fig. A-3 Buccal surface

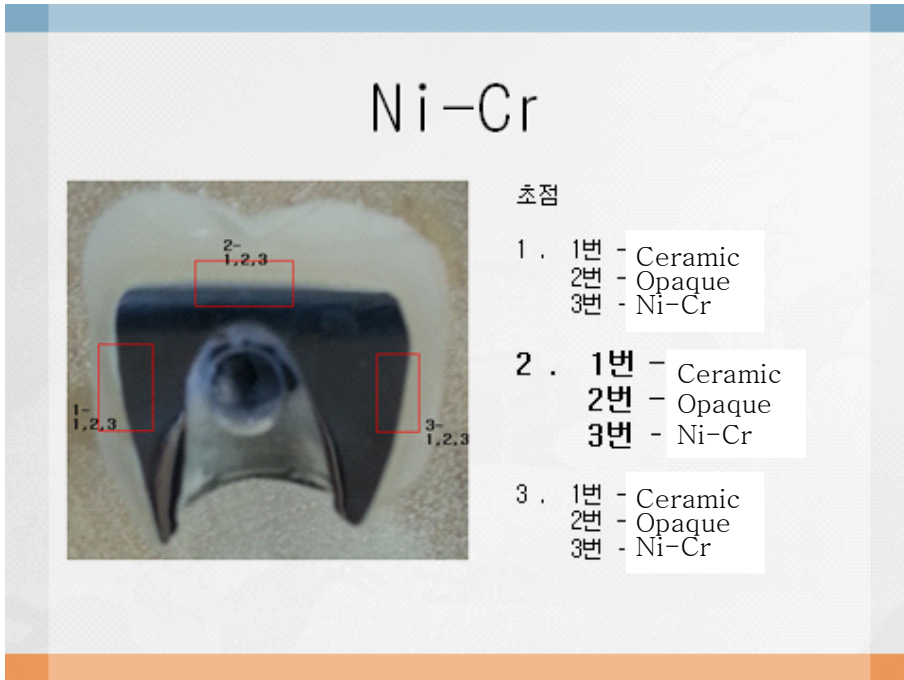


Fig. B Porcelain Crown

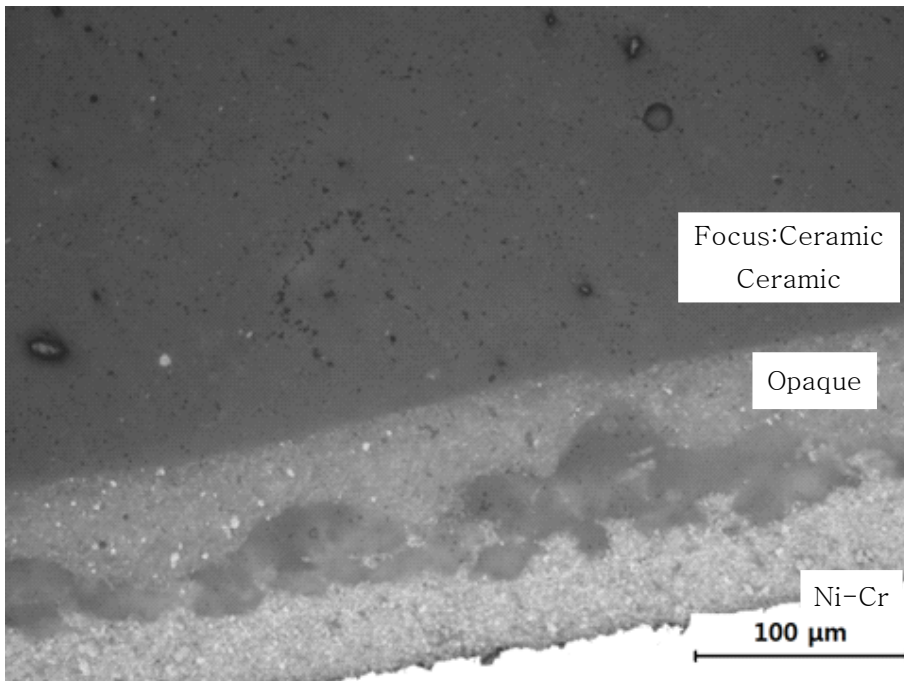


Fig. B-1 Lingual surface

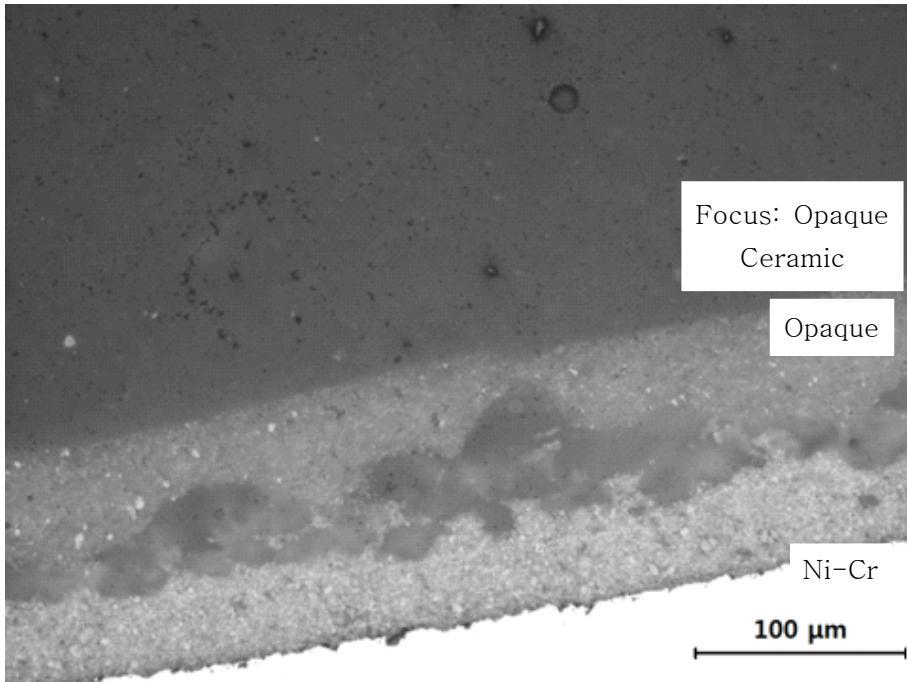


Fig. B-2 Occlusal Surface

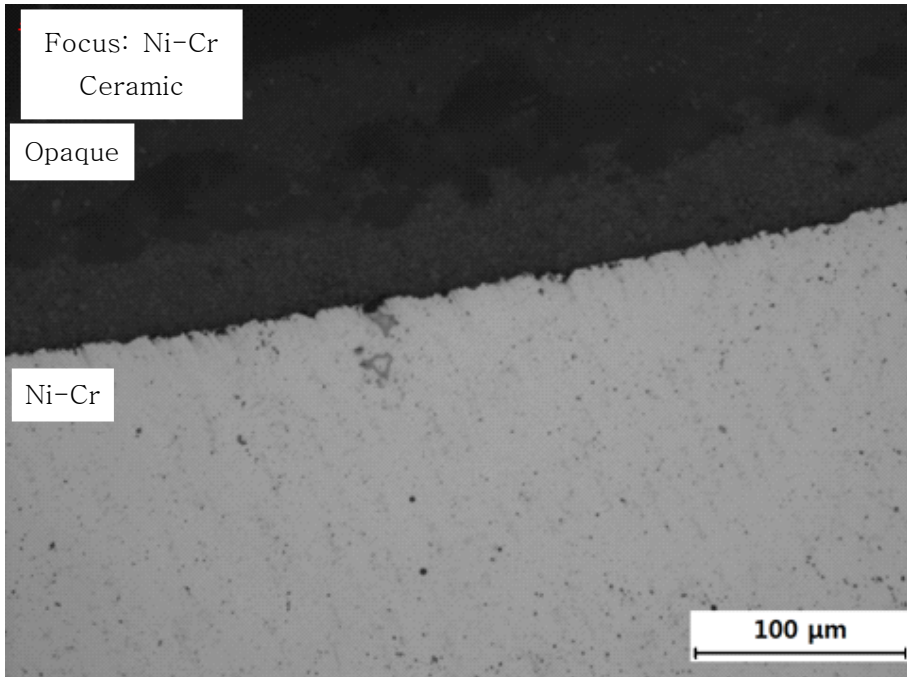


Fig. B-3 Buccal Surface

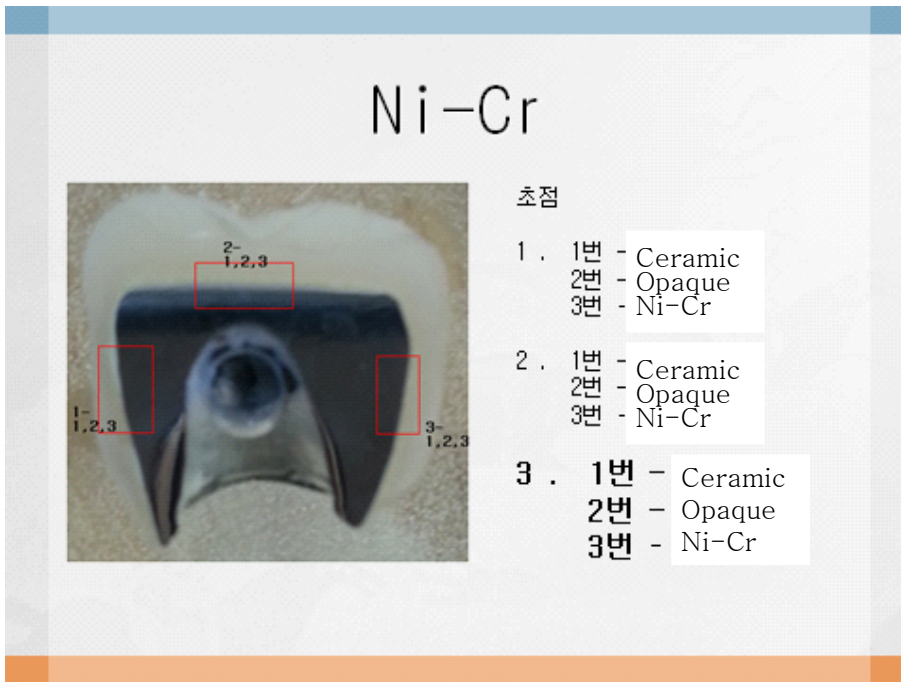


Fig. C Porcelain Crown

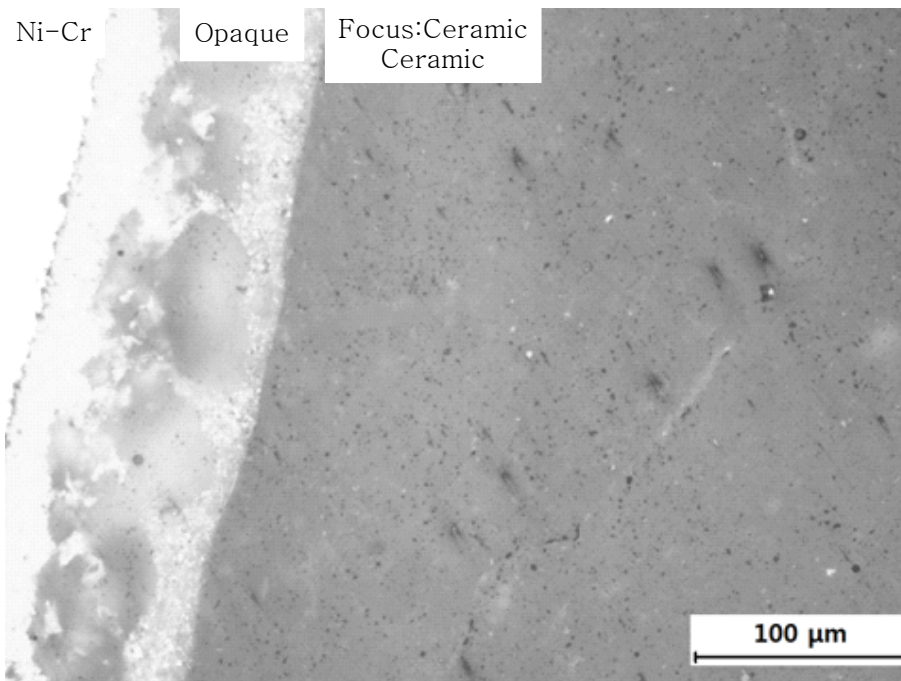


Fig. C-1 Lingual surface

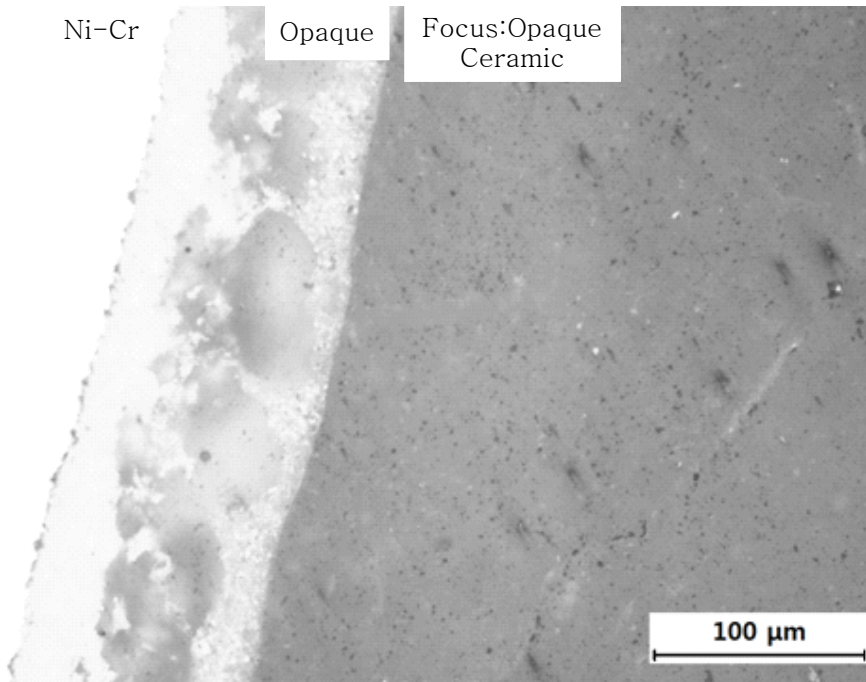


Fig. C-2 Occlusal Surface

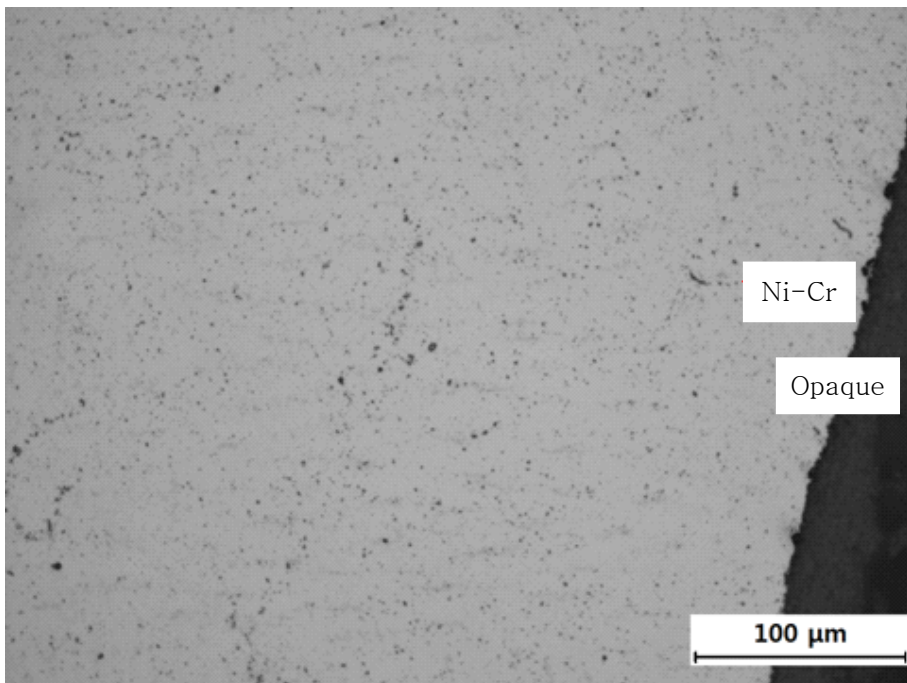


Fig. C-3 Buccal Surface

2. Co-Cr의 계면사진 관찰

그림 D에서는 Co-Cr과의 도재용착금속주조관 금속과 도재와 용착관계를 100 μ m 범위로 주사전자 현미경으로 각 3편씩 관찰하였다.

그림 D-1의 순측면은 세라믹과 세라믹의 상태를 초점을 맞추어서 관찰하였다 도재의 흰점이 관찰되며 이는 기포 또는 불순물이 석여있는 것으로 보인다.

그림 D-2 절단면 상태의 관찰은 금속과 오פק상의 관찰을 보이며 다소 안정적인 산화막층을 보이며 오펙 층에 산화막이 스며든 느낌을 보인다.

그림 D-3의 순면상의 계면을 금속과 오펙, 세라믹 층을 초점을 맞춰 관찰 하였으며 금속 층은 산화막이 일정 하면서도 중앙 쪽에 50 μ m 정도의 깊은 막을 보인다. 세라믹층과 용착 또한 큰 변화가 없음을 보여준다.

Co-Cr의 그림 E 도재용착금속주조관의 전체적인 계면 사진을 관찰해보면 금속의 Cervical 쪽 부분에서 순면 쪽으로 이어지는 부분이 짙은 녹색의 산화막이 관찰되며 절단면 측으로 갈수록 산화막이 열리는 모습이 보인다. 이는 절단면 측의 금속의 두께가 더 얇고 Cervical(치은측)면으로 갈수록 금속의 두께가 더 큼을 알 수 있다.

그림 E-1의 순면에서의 그림은 세라믹과 세라믹의 초점을 맞춰 관찰되었는데 세라믹 층에서는 큰 변화를 보이지 않았고 작은 반점이 있는데 이는 세라믹이 믹싱이 덜되어 일어날 수 있는 흰 반점 또는 불순물이 섞여서 생겨난 기포라고 추측이 된다. 오펙층의 깨끗한 단면을 볼수 있고 산화막 또한 심하지 않아 비교적 용착이 잘 이루어져 있음을 알 수 있다.

그림 E-2의 절단면의 초점은 오펙과 세라믹을 관찰한 광학 현미경 사진으로 오펙과 금속산화막이 깨끗하게 용착되었음을 보이며 오펙과 세라믹 층도 오펙이 40 μ m~50 μ m 정도의 일정한 층을 보이면서 세라믹 층과의 용착이 잘 이루어 짐을 관찰되었다.

그림 E-3의 절면 층을 관찰해보면 금속과 오펙의 초점을 맞춰 졌으며 금속 층 중앙 하단부위에 흰색반점은 금속 표면의 다공성이나 기포가 관찰되며 금속과 오펙사이에 용착이 잘되어 있음을 보여준다.

그림 F Co-Cr 도재용착금속주조관의 전체사진을 관찰해보면 그림 5 사진과 큰 변화가 없으며 그림 E 과 대체적으로 비슷한 면이 관찰되었다.

그림 F-1의 순면에서의 관찰의 초점은 세라믹과 세라믹을 관찰하였고 세라믹 층

에 검은 반점과 도재의 용착이 되지 않는 흰반점이 있음을 알 수 있다.

그림 F-2의 순면에서의 관찰의 초점은 오פק과 세라믹 층을 초점을 두어 관찰하였으며 오פק에서 세라믹 층으로 이어지는 부분이 연한 녹색 산화막이 회색빛을 띄는 것이 보이며 하단부위에서 오פק층이 더 확산되었음이 관찰되었다.

그림 F-3 순면에서의 관찰의 초점이 금속과 오פק 층을 관찰하였으며 금속 부분의 표면층에는 깨끗한 단면이 보이며 왼쪽 하단부위 쪽에 다공성의 기포가 있음이 관찰된다. 오פק 층과 금속과의 용착은 깨끗하게 잘 이루어져 있음이 관찰되었다.

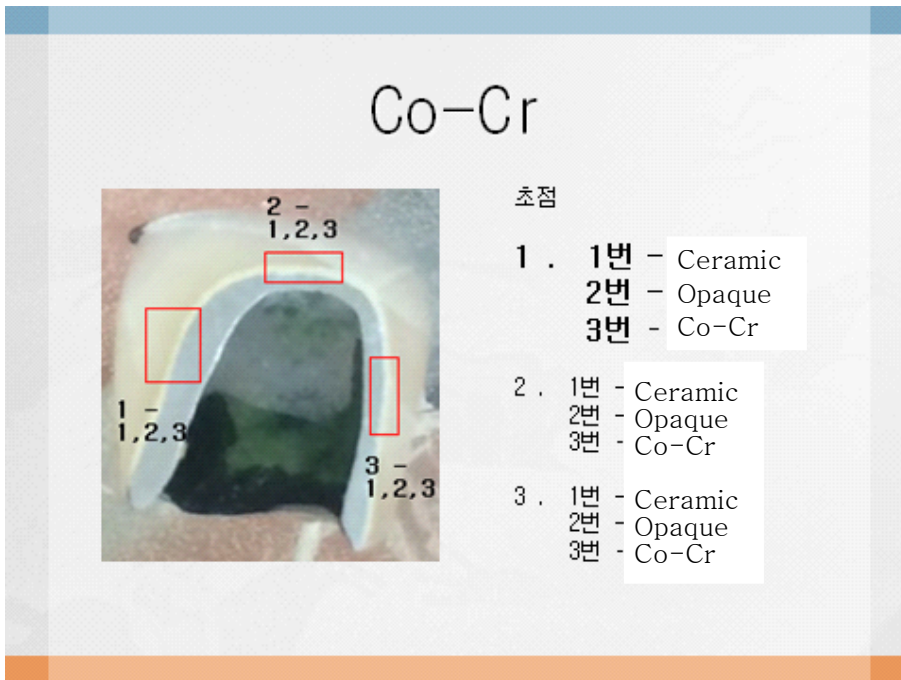


Fig. D Co-Cr의 Porcelain Crown

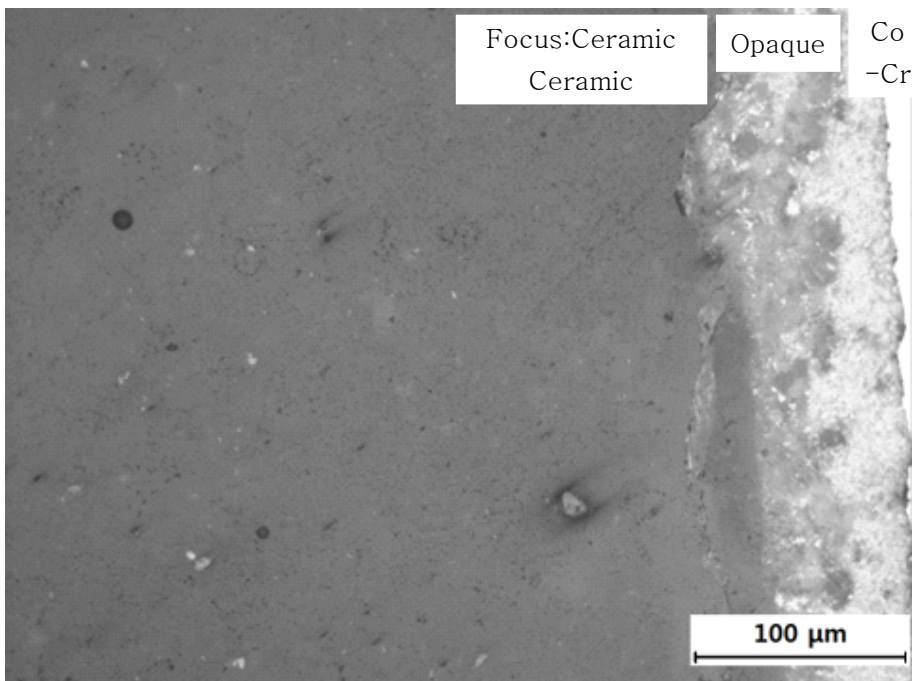


Fig. D-1 Labial Surface

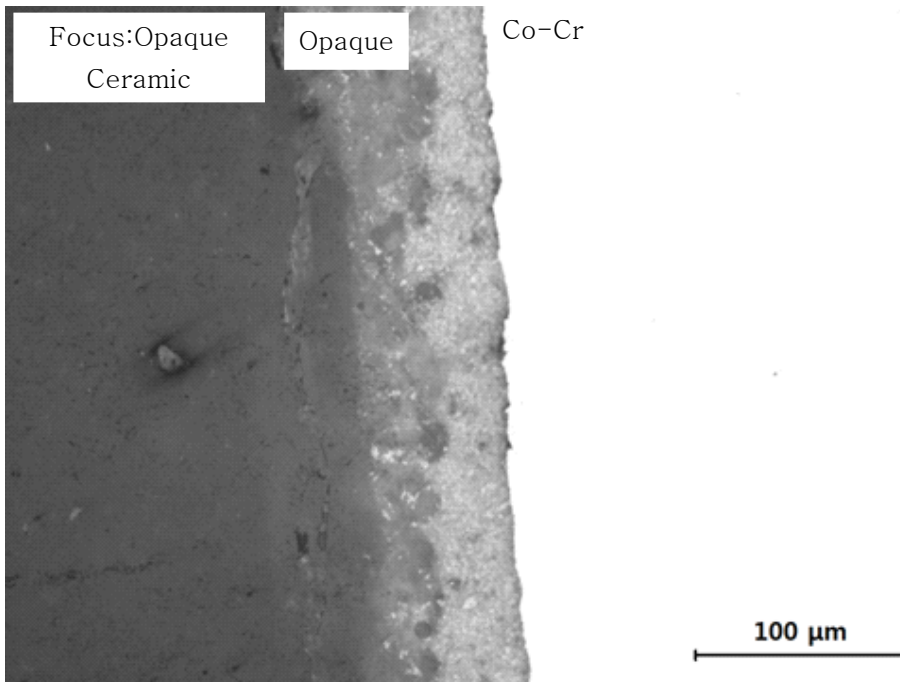


Fig. D-2 Incisal surface

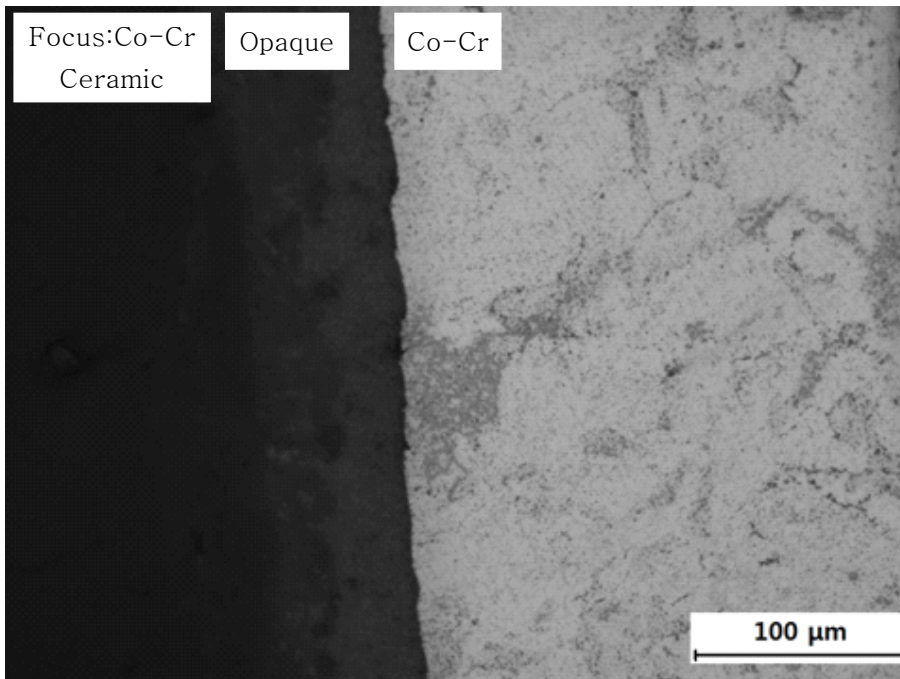


Fig. D-3 Labial Surface

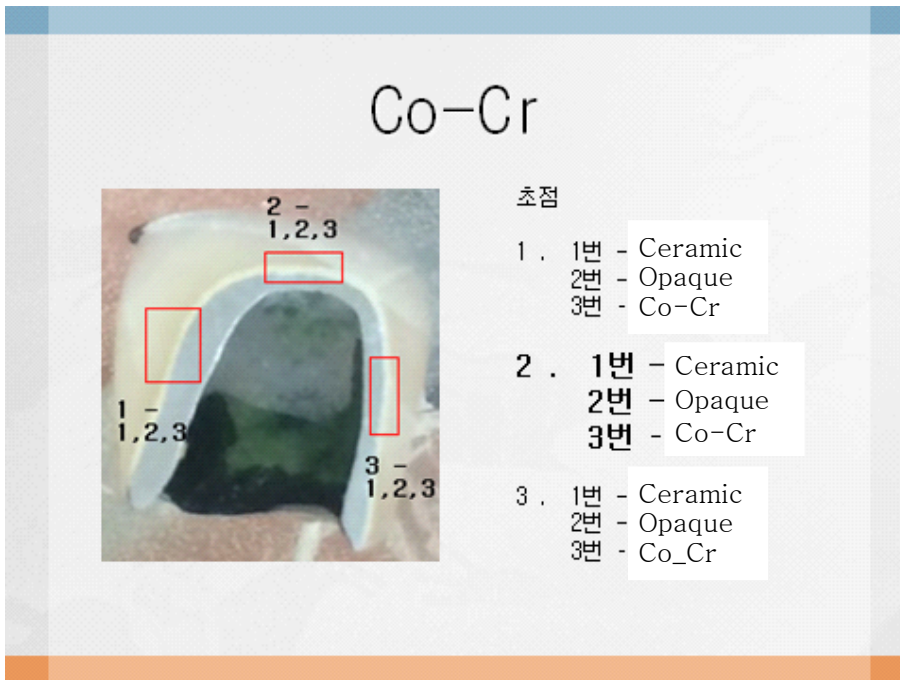


Fig. E Porcelain Crown

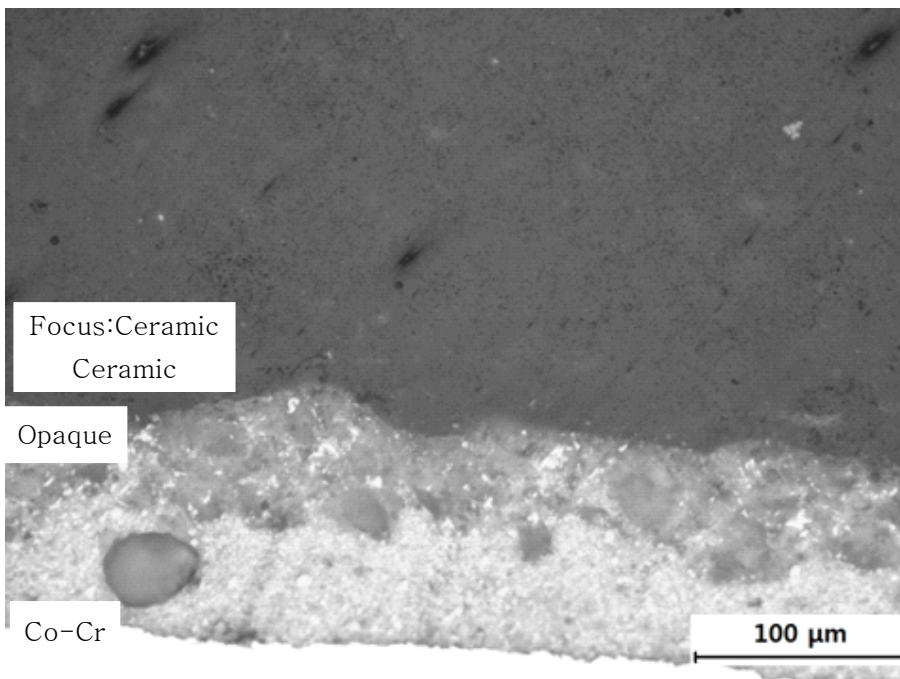


Fig. E-1 Labial Surface

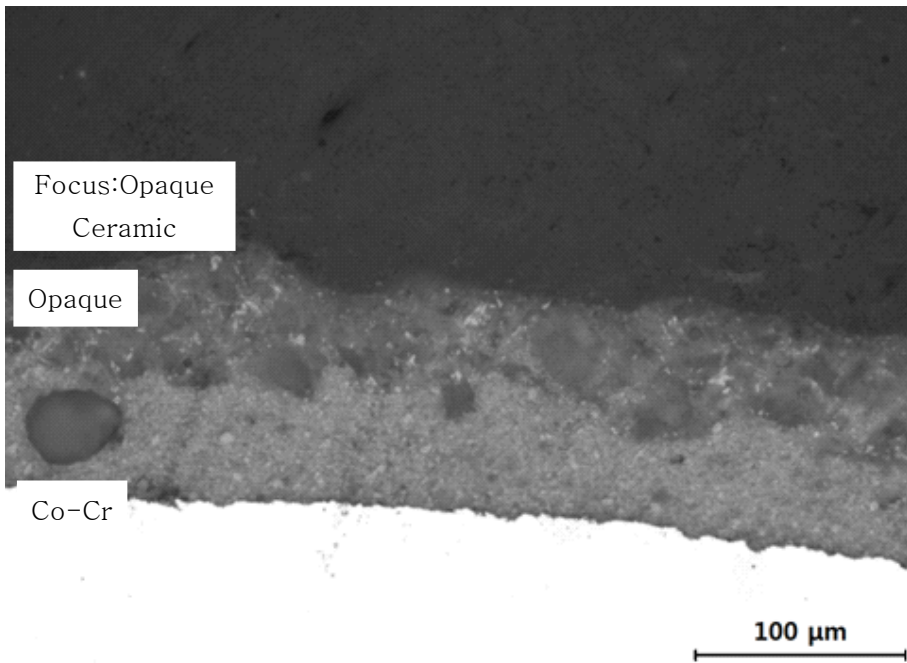


Fig. E-2 Incisal surface

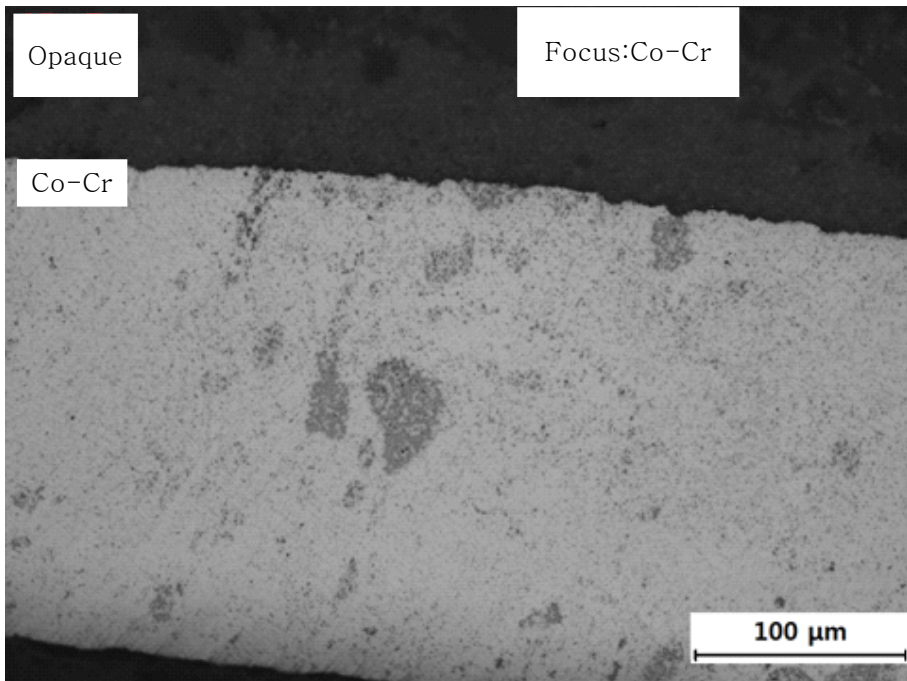


Fig. E-3 Lingual surface

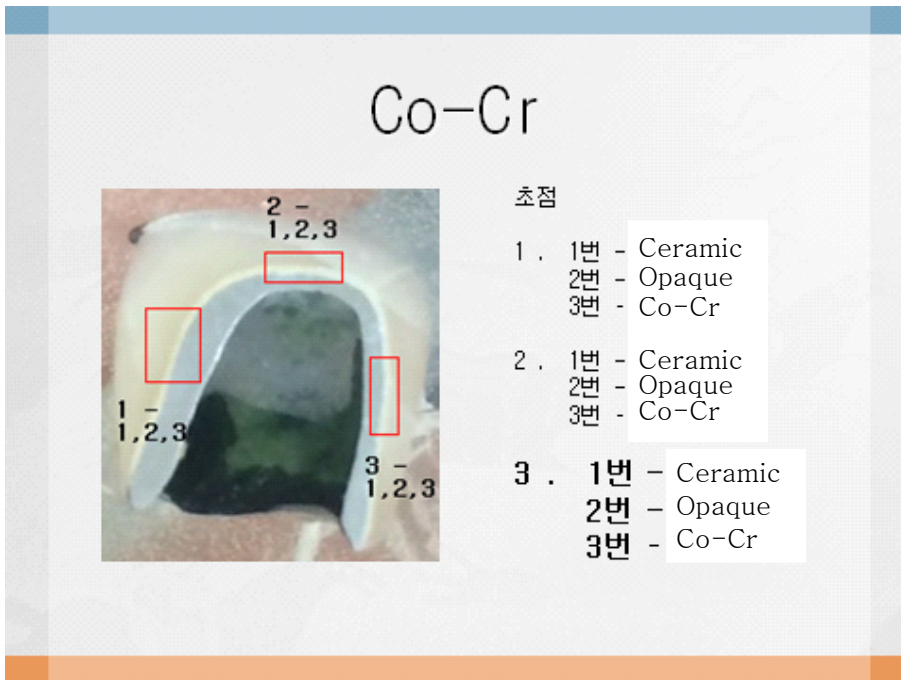


Fig. F Porcelain Crown

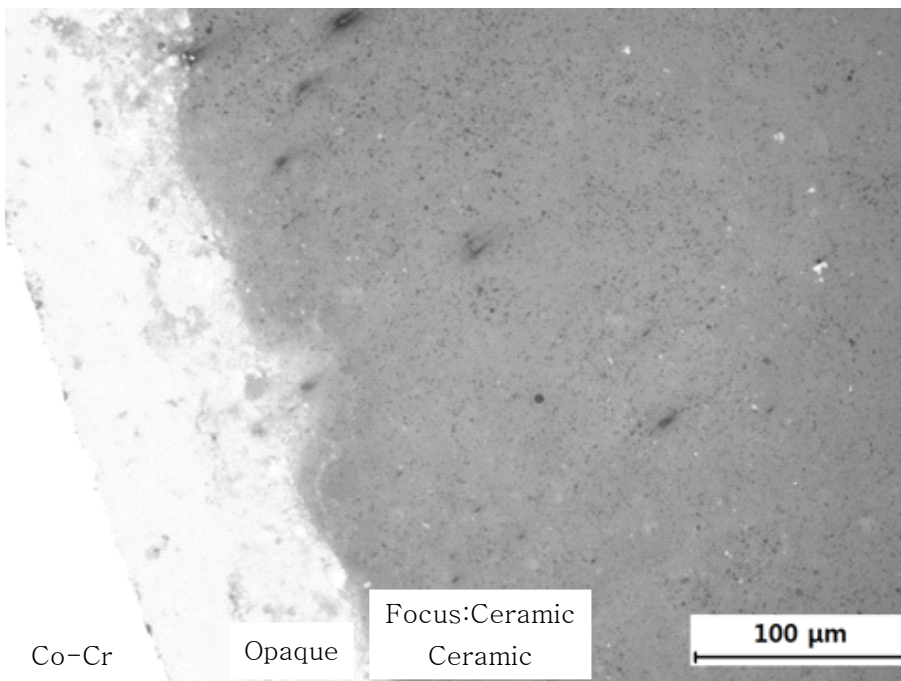


Fig. F-1 Labial surface

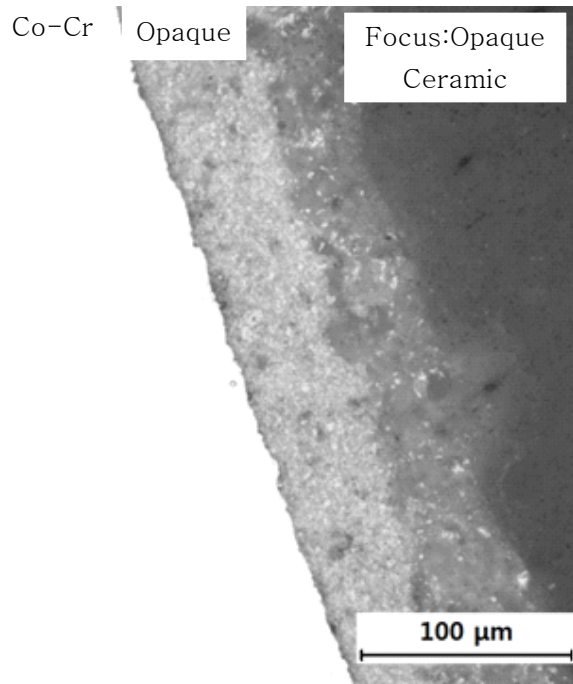


Fig. F-2 Incisal surface

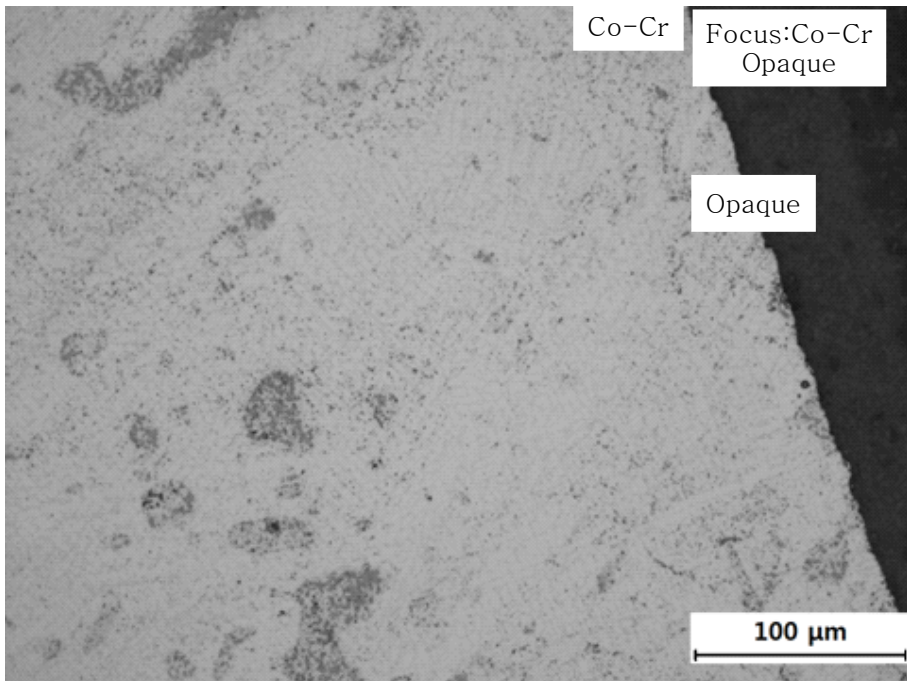


Fig. F-3 Labial surface

관찰결과

Ni-Cr 합금과 Co-Cr 합금의 표면 산화막은 색과 성분은 다르나 큰 차이가 나지 않음이 관찰되었다. 금속과 도재와의 결합은 100 μ m상의 광학 현미경 관찰결과 Ni-Cr과 Co-Cr의 두 금속간의 표면산화막 성분에서 색의 다름이 발견되었고 불투명층의 불투명 차단 또한 양호 하였고 도재 층과 불투명층의 용착 또한 큰 변화를 보이질 않았다. 실험결과 환자의 사용에 있어서는 물리적으로 큰 차이가 없음이 관찰되었다. 니켈에 의한 부작용과 위험함을 여러 논문의 연구에 의해 발표된 바 Ni-Cr계열의 치과용 도재용착금속에 쓰이는 도재의 대응으로 용착성과 모든 물리적 화학적요소가 Ni-Cr와의 비교해 접착성과 용착성이 떨어지지 않는 Co-Cr계열의 치과용 도재를 비교분석결과 Co-Cr 도재금속 계열로 대체 하여도 이상이 발견되지 않음을 알 수 있었습니다.