

치과 도재용착 주조관용 비귀금속 합금의 반복주조가 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향

원광보건대학 치기공과
최운재, 신무학, 정희선, 고명원

[Abstract]

A Study on How Cyclic Casting of Base Metal Alloy for Dental Ceramic Crown May Effects upon Its Mechanical Properties and Microstructure

Un-Jae, Choi · Moo-Hak, Shin · Hee-Sun, Chung · Myoung-Won, Koh
Dept. of Dental Laboratory Technology, Wonkwang Health Science College

Using a nickel-chrome casting alloy called 'Rexillium V' which is also available as base metal alloy for dental ceramic crown, 4 types of mixtures(A, B, C, D) with old and new metal were prepared for cyclic casting. The results of cyclic casting can be outlined as follows:

1. For Vickers hardness after casting, specimen A and D tended to have lower hardness in the course of cyclic casting, while specimen B and C tended to higher hardness.
2. The results of X-ray diffraction analysis showed that major crystal phase contained nickel-chrome compounds and carbide.
3. The observation results of SEM photographs after cyclic casting show that there was a significant tendency to have similar structures among experimental groups.
4. The results of EDX analysis after cyclic casting showed that there were little differences in chemical composition between parent metal and base metal alloy.

Although industrial nickel-chrome cast alloy did not show any significant change in material properties even through cyclic casting over several times, it is recommended that more there be more in-depth studies on how to detect any potential corrosion, discoloration and toxication of dental ceramic crown implanted in patient's oral cavity.

• Key Words : Dental Base Metal Alloys, Cyclic Casting

* 이 논문은 2003학년도 원광보건대학 학내연구비에 의해 수행되었음.

교신 •성명: 최운재 •전화: 063-840-1245 •E-mail: ujchoi@sky.wkhc.ac.kr
저자 •주소: 전북 익산시 신용동 344-2 원광보건대학 치기공과 연구실

I. 서 론

치과보철물 제작시 사용되는 금속은 어느 한 금속만으로 사용하지 못하고 여러 가지 금속들을 합금화(alloys)하여 사용하게 되는데 그 이유는 각 금속들의 좋은 성질을 이용하여 구강내에서 부식 변색되지 않고 적당한 강도, 경도등을 갖도록 열처리하여 사용하고 있다. 그 동안 대부분 귀금속 합금을 이용하였으나 국내 생산량이 적고 외국 수입에 의존하는 실정이므로 경제적으로 환자들에게 부담이 되어 가격이 저렴한 금합금 대용합금의 필요성이 요구되어지고 있었는데 1970년대 이후 귀금속 합금의 폭등으로 인하여 그 대용품 개발이 촉진됨에 따라 nickel-chromium(Ni-Cr)합금이 각광을 받게 되었다(이인규, 최운재 1991).

치과보철물은 현재 의료보험이 적용되지 않은 고가의 보철시술의 경우 대부분의 환자들은 가격이 저렴하고 구강내에서 부식 변색 저항성이 높으며 기계적 성질이 우수한 비귀금속 합금을 선호하고 있어 그 사용량이 감소하지 않고 있다(배지명 2002). 특히 가격이 저렴하여 경제성이 높음으로 종전에 한번 주조하여 사용했던 합금을 다시 사용하지 않았으나 점차 사용량이 증대함에 따라 그 가격이 상승하여 요즘은 한번 사용했던 금속도 새금속과 섞어서 재사용하고 있는 것이 현실이다(이인규, 최운재 1990).

Tylman(1970)과 phillips(1973)등은 경제적인 측면을 고려해 비귀금속 합금도 귀금속 합금처럼 재 사용해야 한다고 보고했으며 Anderson(1976)은 재주조시 손실된 Cr의 양만큼 첨가해 줌으로써 주조성을 개선할 수 있다고 하였다.

Hesby(1980)는 합금 재사용시 4회까지 주조했을 때 물리적 성질, 연성, 탄성까지도 변화는 거의 없다고 보고하였으며 Nelson(1986)은 Ni-Cr 합금을 10회 까지 재사용해도 변질성 변화가 없다고 발표하였다.

특히 Harcout(1962), Craig(1979)등은 현 합금에 새 합금을 혼합하여 사용하는 것이 가능하다고 보고하여 그 후 많은 학자들의 연구가 활발히 진행되었다. 이러한 영향으로 치과기공소(실)에서 주조할 때 실제로 새로운 합금(alloy)만을 사용하는 경우는 드물며 주조에 사용하던 sprue와 button(rest)을 새로운 합금과 혼합하여 사용하는 경우가 많다.

일반적으로 주조용 귀금속 합금은 2~3회 재 사용한다 할지라도 조성의 심한 변화는 없으나 금속 도재용 합금은 아연, 인듐 및 철과 같은 성분들이 기화될 염려가 있다.

그러므로 금속도재용 합금을 재사용 할 경우에 있어서는 적어도 동량의 새로운 합금을 첨가하여 조성의 결함을 보상해 주어야 하고 합금을 재사용 할 때에는 합금에 있는 이물질 등을 깨끗이 세척하여 사용하여야 하며 그 밖에도 합금은 종류와 제품에 따라 조성이 다르기 때문에 재사용시에는 서로 섞이지 않도록 주의를 기울여야 한다(김웅철, 1987).

도재전장 보철물의 하부구조물 제작시 사용되는 비귀금속 합금은 고온에서 안정적인 뿐 아니라 가격이 저렴하면서도 비교적 정확한 주조체를 얻을 수 있어 도재전장 보철물의 제작시에 널리 사용되고 있는데(Preston과 Berger, 1977 : Weiss, 1977) 도재전장 보철물용 비귀금속 합금은 용융점이 높아 주조 후 수축량이 크고 용융시

최운재, 신무학, 정희선, 고명원 : 치과도재용착 주조관용 비귀금속 합금의 반복주조가 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향

에 흐름성이 낮은 등 귀금속 합금에 비해 정확한 주조체를 얻기 힘든 단점이 있다고 보고하였다 (Anusavice 등, 1985 : Anusavice과 Shafagh 1986 : 김웅철, 1987).

그러므로 만족스러운 보철물을 얻기 위해서는 비귀금속 합금 주조시 합금의 함량과 주조횟수 등 세심한 주의가 필요하므로 본 연구에서는 치과도재 주조관용 비귀금속 합금의 반복 주조횟수와 재주조시 새 합금과 현 합금의 함량이 기계적 특성과 미세구조에 미치는 영향을 전자현미

경을 이용하여 관찰한 후 비교 분석하여 결과를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료로는 현재 치과도재용착 주조관용 비귀금속합금으로 시판되고 있는 니켈-크롬 합금 (Rexillium V, U.S.A)을 사용하였으며 재료의 주성분은 Table 1에 제시된 바와 같다.

〈Table 1〉 Composition of Rexillium V

Composition	Ni	Mo	Al	Cr	Be	Ti	Co
wt%	73	9	2.5	14	1.8	Trace	Trace

〈Table 2〉 Physical Properties of Rexillium V

Yield strength / proof stress : 720 MPa
Ultimate tensile strength(UTS): 1060 MPa
% Elongation : 15%
modulus of Elasticity : 218 GPa
Vicer's hardness : 344
Melting Range : 1165-1215°C
Casting Temp : 1315°C

〈Table 3〉 Content(%) of old and new metal in base metal alloy used for the experiment

Type	Composition ratio	Weight
A Type(A1~A5)	O - 100 %	O - 16g
B Type(B1~B5)	N - 70 %	N - 11.2g
	O - 30 %	O - 4.8g
C Type(C1~C5)	N - 50 %	N - 8g
	O - 50 %	O - 8g
D Type(D1~D5)	N - 30 %	N - 4.8g
	O - 70 %	O - 11.2g

* O = old metal, N = new metal

2. 실험방법

1) 시편제작

본 연구에 사용될 시편 제작을 위하여 paraffin wax를 10mm×10mm×1mm의 정사각형으로 자른 후 spuring 하여 각 Type(4개) ring 1개에 4개의 시편을 부착(1회주조시 ring 4개)하여 총 5회 주조할 때마다 ring내면에 asbestos를 내장하고 인산염계 매몰재(CB-30 crown & bridge investment)를 이용하여 매몰, 소환, 주조(Kerr Co. USA)하였는데 ring 4개를 주조시 type A ring(old metal 100%), type B ring(New metal 70%, old metal 30%) type C ring(new metal 50%, old metal 50%), type D ring(new metal 30%, old metal 70%)으로 구분하고 금속을 매 주조시마다 ring type별로 혼합하여 계속 5회 반복주조 하였다. 매 주조시마다 각 type의 시편 1개씩을 선택하여 총 100개 중 20개 실험시편을 #600에서 #1,200까지 emery paper로 연마한 다음 0.05 μ m 알루미늄 수용액으로 미세연마를 하고 초음파세척기로 세정을 하여 최종시편으로 사용하였다.

2) 비커스 경도 측정

경도측정을 위해 표면에 비커스 경도기(MHT-1, Matsuzawa seki co., Japan)를 사용하여 압입하중 1kg, 유지시간 15sec의 조건에서 각각의 시편에 대해서 5번 측정한 후 통계처리를 하였다.

3) XRD 분석

주조 후 생성된 결정상을 분석하기 위하여 X-선 회절분석기(D/MAX-2500PC, Rigaku, Japan)를 사용하였으며, 이때의 실험조건은 CuK α 의 방사선을 사용하여 step size 0.05,

step time 0.5초로 30~70° (2 θ)범위에서 분석하였다.

4) SEM 관찰 및 EDX 분석

주조 후 표면을 관찰하기 위해 80ml 질산(1.40)에 3ml 불산(40%)을 혼합한 부식액을 사용하여 2분간 부식한 후 초음파 세척기에서 2분간 세척한 후 건조하였다. 시편의 표면에 대하여 2분간 Au코팅한 다음 주사전자현미경(JSM-5900, Japan)을 사용하여 표면을 1,000배 확대 관찰하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

치과보철물 제작에 사용되는 금속재료는 파절(저작압)에 대한 강·경도와 같은 물리적 성질, 온도과 습기 및 pH의 변화, 그리고 부식, 변색등에 대한 저항성이 우수해야 하며, 기공조작상 어려움이 없어야 하고, 구강의 생체조직에 자극성 등 생물학적인 적합성을 고려하여 재료를 선택 사용해야 한다(Bates 와 Knapton, 1977).

특히 보철물의 구강내 적합성과 저작압에 관계되는 주조정밀성과 강·경도는 중요하다하겠다(Phillips, 1982).

그동안 금속소부도재관(Porcelain Fused to Metal Crown : PFM)은 1950년대초 도재를 금합금에 용착하는 방법이 개발되면서 새로운 도재용 합금의 개발과 함께 도재와 합금과의 용착 특성을 개선하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다(Miyagawa, 1978 : Bertolotti와 Fukui, 1982 : McLean, 1983 : Yamamoto, 1985 : Bruggers등, 1986).

1970년대의 국제적인 금가격의 폭등 이후 귀

금속 합금을 대체할 보다 저렴한 합금에 대한 요구에 부응하여 연구, 개발이 활발하게 이루어지는 가운데 최근에는 그 사용이 증가하고 있는 금속-도재수복물용 비귀금속 합금에는 Ni-Cr계 합금, Co-Cr계 합금, Ti, Ti-6Al-4V합금이 있으나 임상에서는 거의 Ni-Cr계가 사용되고 있다(김치영 등, 2002). 그러나 도재전장 보철물용 비귀금속 합금은 용융점이 높아 주조후 수축량이 크고, 용융시에 흐름성이 낮은 등 귀금속 합금에 비해 정확한 주조체를 얻기 힘든 단점이 있으므로(Anusavice 등, 1985 : Anusavice과 Shafagh : 1986 : 김웅철, 1987), 만족스러운 보철물을 얻기 위해서는 비귀금속 합금의 주조시에는 보다 세심한 주의가 필요하다.

비귀금속 합금도 그 수요가 날로 증가함에 따라 한번 사용했던 현합금(old metal)의 재사용에 대한 연구가 많은 학자들에 의해 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있는데 Tylman(1970)과 Phillips(1973)는 경제적인 측면을 고려해 비귀금속도 재사용해야 한다고 하였고 Anerson(1976)은 재주조시 손실된 Chrome의 양만 첨가해 주면 주조성을 개선할 수 있다고 하였다. 또한 Nesby(1980)등이 합금 재사용시 4회까지 주조했을 때 물리적 성질, 연성, 탄성까지도 변화는 거의 없다고 하였고 Nelson(1986)은 Ni-Cr합금을 10회 재사용해도 변질성 변화

가 없다고 발표하였으며 Carig(1979)는 현 합금 33~50%까지 혼합 사용했을 경우 금속의 물리적 성질의 변화가 거의 없었고 적합도는 양호하다고 보고하였다. 또한 정경룡(1996)의 연구 보고에 의하면 chrome cobalt alloy를 7회 까지 재주조 했을 때 경도와 인장강도에는 큰 차이가 없었다고 하였으나 임호남(1991)등은 은-팔라듐 합금의 반복주조가 경도에 미치는 영향에 관한 연구에서 반복주조에 의해 주조체의 경도가 감소한 것으로 보고되어 본 연구결과와 일치하였는데 본 연구결과에 나타난 바와 같이 new metal보다 old metal 함량이 많고 반복주조 회수가 많을수록 경도가 감소하는 경향을 볼 수 있는데 큰 차이는 아니라고 사료된다.

1. 비커스 경도 측정

반복 주조회수에 따른 비커스 경도 값의 변화를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 A와 D는 주조회수가 증가할수록 비커스 경도 값은 작은 감소를 보였으며, B와 C는 주조회수가 증가함에 따라 비커스 경도 값이 약간 증가되었다. 이와 같이 경도값의 변화는 모재금속이 적고 재주조 금속이 많을수록 또한 주조회수가 증가함에 따라 탄소, 산소등의 혼입의 증가로 인하여 경도값이 변화되었다고 생각된다.

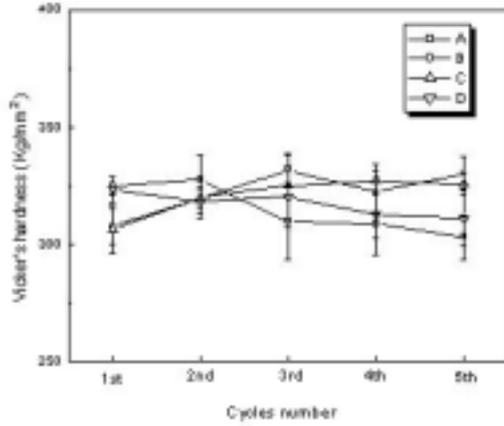


Fig 1. Variation of Vicker's hardness depending on the number of cyclic casting

A : Cyclic casting up to 5 times using 100% old metal

B : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 70% new metal and 30% old metal in each cycle.

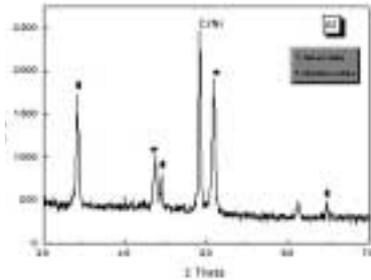
C : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 50% new metal and 50% old metal in each cycle.

D : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 30% new metal and 70% old metal in each cycle.

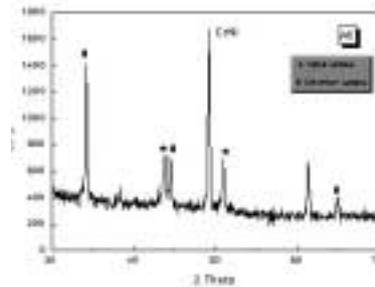
2. XRD 분석

그림 2는 주조회수에 따른 X-선 회절 분석 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 모재 금속인 경우(A1) 주 결정 피크는 크롬니켈 화합물과, 니켈카바이드, 크롬카바이드등의 석출상

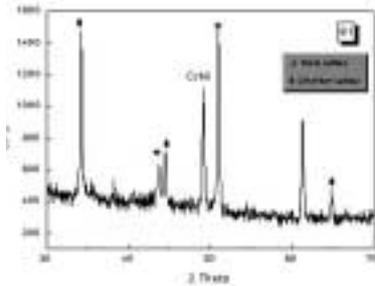
이 관찰되었다. 5번 계속 100% old metal로 주조를 한 후에도 (A5) 주 결정 피크들은 변화되지 않았으며 피크강도가 상대적으로 약간 감소하는 경향을 보였다.



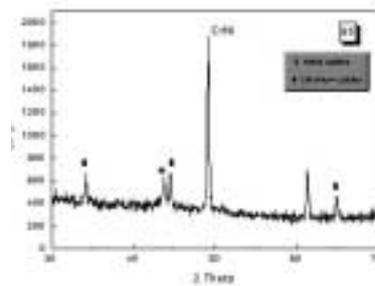
A1 : one-time casting of 100% old metal



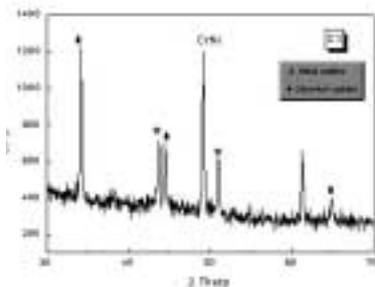
A5 : five-time casting of 100% old metal



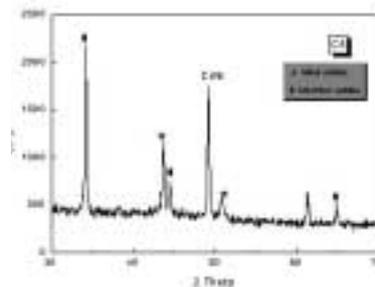
B1 : one-time casting of 70% new metal and 30% old metal



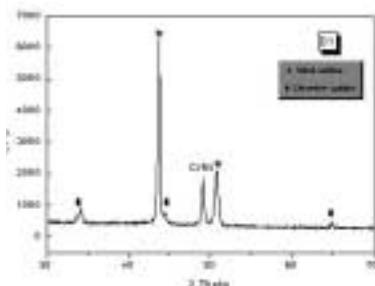
B5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 70% new metal and 30% old metal in each cycle.



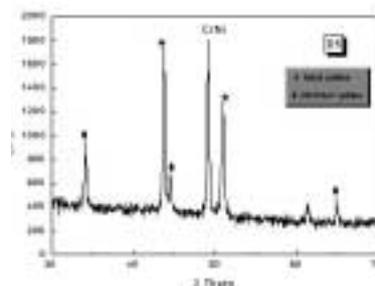
C1 : one-time casting of 50% new metal and 50% old metal



C5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 50% new metal and 50% old metal in each cycle.



D1 : one-time casting of 30% new metal and 70% old metal



D5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 30% new metal and 70% old metal in each cycle.

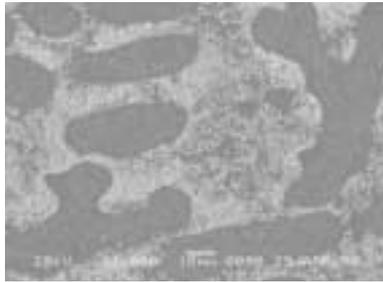
Fig 2. X-ray diffraction analysis on each specimen to cast.

모금속과 재주조 금속이 70:30인 경우(B1)는 주 결정 상들의 상대적인 피크강도가 감소되었고, 5번 주조한 경우(B5)는 크롬니켈 화합물의 경우 피크 강도는 변하지 않으나 다른 니켈카바이드와 크롬카바이드의 상대적인 피크강도는 감소되었다. 모금속과 재주조금속이 50:50인 경우(C1)는 주 결정상들의 상대적인 피크강도가 가장 작은 피크강도를 나타내었으며, 5번 주조한 경우(C5)는 A1과 비슷한 피크 강도를 보였다. 모금속과 재주조금속이 30:70인 경우(D1)는 주 결정상 중의 하나인 니켈카바이드의 피크강도가 가장 큰 피크강도를 보였으며, 5번 주조한 경우(D5)는 전체적으로 주 결정상들의 피크강도가

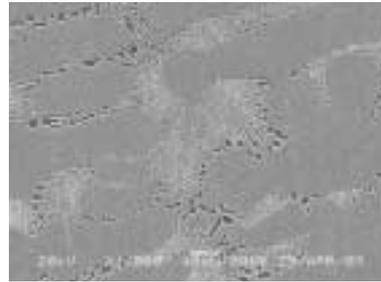
D1에 비교하여 피크강도가 크게 감소되었다.

3. SEM 관찰

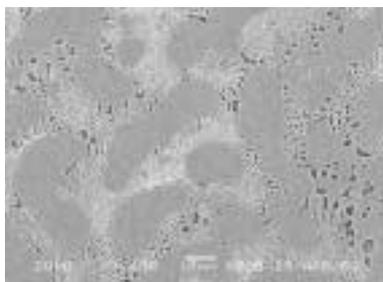
그림 3은 주사전자현미경으로 표면을 관찰한 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 니켈카바이드와 크롬카바이드 혼합 석출물이 관찰되었으며(white), 기지는 니켈이 풍부한 조직이다(dark). 크롬은 탄소와 결합하여 Cr_2C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ 의 형태로 다양한 크롬탄화물이 석출되며, 또한 니켈은 탄소와 결합하여 NiC , Ni_3C 의 형태로 니켈탄화물이 석출된다. 이와같이 반복주조시에 탄소의 혼입으로 인해 탄화물이 생성되면 주조합금의 물성이 변화된다고 하였다(Asger 와 Peyton, 1961 a,b).



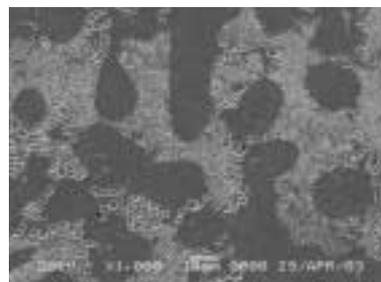
A1 : one-time casting of 100% old metal



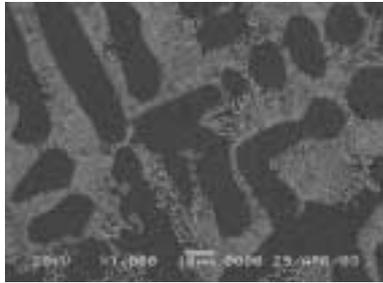
A5 : five-time casting of 100% old metal



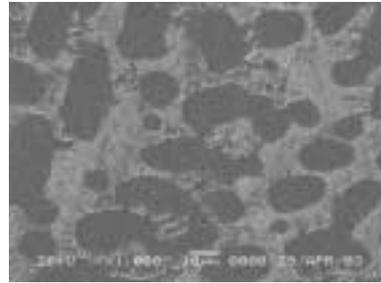
B1 : one-time casting of 70% new metal and 30% old metal



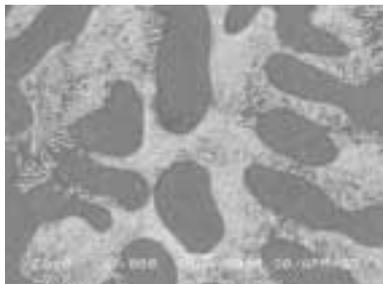
B5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 70% new metal and 30% old metal in each cycle.



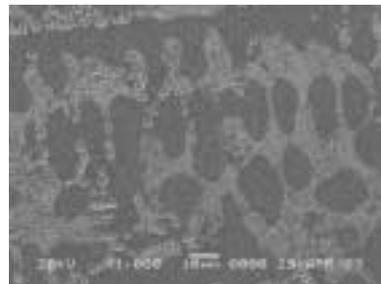
C1 : one-time casting of 50% new metal and 50% old metal



C5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 50% new metal and 50% old metal in each cycle.



D1 : one-time casting of 30% new metal and 70% old metal



D5 : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 30% new metal and 70% old metal in each cycle.

Fig 3. SEM photographs on cast surface

4. EDX 분석

주조 후 D5 시편에 대하여 EDX 분석한 결과를 그림4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 주성분은 니켈과 크롬원소이다. Table 4는 EDX 분석 결과를 성분 함량비로 나타내었다. 니켈의 함량은 주조전 모금속보다 조금 증가되었으며, 알루미늄의 함량은 감소되었다. 베리륨은 원소의 질량이 가볍기 때문에 EDX 장비로 검출이 어려웠으며 또한 니켈은 주조를 여러번 하여도 성분의 함량에는 큰 변화가 발견되지 않

았다.

선임연구자들(Vincent, 1977 ; Nielsen과 Shalits, 1977 ; Nielsen과 Shalits, 1980)의 연구내용에 의하면 금속의 용융시 고열을 사용하는 방법과 금속성분에 베리륨을 첨가시키는 방법도 금속의 유동성을 증가시켜 주조성을 높여 주는 것으로 알려져 있으나 이들 방법은 금속의 과열로 인한 기포의 형성과 베리륨의 독성등으로 인해 여러 가지 문제점을 내포하고 있다고 하였다.

치과보철물제작시 사용되는 금속들은 대부분 재주조하여 사용하여도 재료의 물성에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 환자구강내에 장

착 후 부식, 변색의 발생여부와 독성여부를 확실히 규명할 필요가 있다고 사료된다.

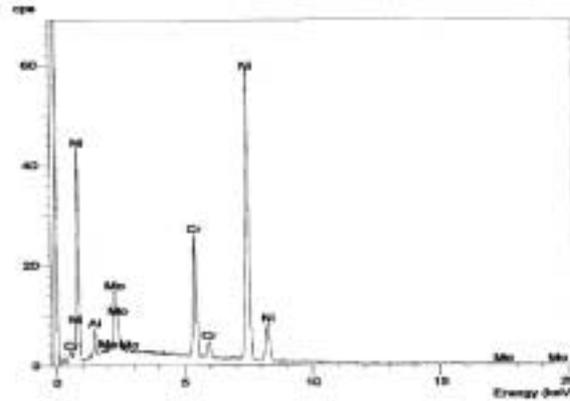


Fig 4. Results of EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) analysis on D5

Table 4. Result of EDX analysis for the D5 sample

Composition	Ni	Mo	Al	Cr	Be	Ti	C
wt%	75.4	8.22	1.75	14.24	-	0.19	0.2

* D5 sample : Cyclic casting up to 5 times using a mixture of 30% new metal and 70% old metal in each cycle.

IV. 결 론

치과도재소부용 비귀금속 합금으로 시판되고 있는 주조용 니켈-크롬 합금인 Rexillium V를 사용하여 새금속과 현금속의 혼합비를 4가지 (A,B,C,D)Type으로 혼합한 다음 반복 주조를 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주조 후 비커스 경도 값은 A, D의 경우는 여러번 주조가 진행될수록 조금 감소되는 경향을 보였으며, B, C의 경우는 조금 증가되는 경향을 보였다.

2. X-선회절 분석결과 주결정상은 크롬니켈 화합물과 니켈, 크롬 탄화물이었다.

3. 반복 주조후 주사전자현미경 관찰결과 실험군 간의 비슷한 조직을 갖는 경향을 보였다.

4. 반복 주조후 EDX 분석결과 모금속과는 조성의 차이가 거의 나타나지 않았다.

이상의 결과를 토대로 시판되고 있는 주조용 니켈-크롬 합금을 여러번 반복주조를 하여도 물성에는 큰 변화를 보이지 않았으나, 환자 구강내에 장착 후 부식, 변색과 독성 여부에 더 심도있

는 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

- 김웅철. 치과재료학, 대학서림, 1986.
- 김치영, 김영곤, 조현설. 도재-금속의 결합강도에 미치는 비금속 합금의 열처리효과. 대한치과기공학회지, 24(1) : 33-41, 2002.
- 배지명, 김정남. 치과용 비귀금속 합금의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 성질의 변화, 대한치과기공학회지, Vol.29, No.4, 2002.
- 이인규, 최운재. 치관보철물 제작에 사용되는 비귀금속 합금의 치경부 변연에 관한 적합성, 원광보건대학논문집, Vol.13, No.1, 1990.
- 이인규, 최운재. 치과보철물 제작에 사용되는 Nickel-Chromium계 합금의 치경부 변연에 관한 적합성, 대한치과기공학회지, Vol.13, No.1, 1991.
- 임호남, 박남수. 은-팔라듐 합금의 반복주조가 경도와 미세구조에 미치는 영향. 대치기재지, 18(1) : 49, 1991.
- 정경풍. 국부의치 제작에 사용되는 Chrome Cobalt Alloy의 재주조 횟수에 따른 인장강도 및 경도 변화에 대한 실험적 연구. 대한치과기공학회지, Vol.18, No.1, 1996.
- Anderson JM. Applied Dental Materials 5th ed Blackwell Scientific publication 94, 1976.
- Anusavice KJ, Okabe T, Galloway SE et al. Flexure test evaluation of presoldered base metal alloys. J Prosthet Dent, 54:507-517, 1985.
- Anusavice KJ, Shafagh I. Inert gas presoldering of nickel-chromium alloys. J Prosthet Dent, 55 : 317-323, 1986.
- Asger K, Peyton FA. Effect of microstructure on the physical properties of cobalt-base alloys. J Dent Res 40:73, 1961(a).
- Asger K, Peyton FA. Effect of casting condition on some mechanical properties of cobalt-base alloys. J Dent Res 40:63, 1961(b)
- Bates JF and Knapton AG. Metals and alloys in dentistry. International Metals Review, 215 : 39~60, 1977.
- Bertolotti RL, Fukui H. Measurement of softening temperature in dental dental bake-on porcelains. J Dent Res, 61 : 480-483, 1982.
- Bruggers K, Corcoran C, Jeansinne EE. Role of manganese in alloy porcelain bonding. J Prosthet Dent, 55(4) : 453-456, 1986.
- Craig RG. Dental materials properties and manipulation. CV Mosby, Saint Louis, 202, 1979.
- Harcourt HJ. remelting of Cobalt-Chrome alloys, Br Dent J 112 : 198, 1962.

- Hesby DA, Kobes P, Graver DG, Pelleu GB. Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy. *J Pros Dent* 44 : 291, 1980.
- McLean JW. The Metal ceramic restoration. *Dent Clin North Am*, 27 : 747-761, 1983.
- Miyagawa Y. Radiographic diffraction at the interface of metal ceramics. Surface oxides of 88% Au alloys containing Fe, In, Sn for porcelain fusing. *Shika Rikogaku Zasshi*, 19(45) : 15-27, 1978.
- Nelson DR, Palik JF, Morris HF, Comella MC. Recasting a Ni-Cr alloy. *J Pros Dent* 55 : 122-127, 1986.
- Nielsen JP, Shalits S. Margin casting monitor. *J Dent Res*, 56(Special issue B):213, 1977.
- Nielsen JP, Shalits S. Dental porcelain in dental casting. *J Dent Res*, 59(Special issue A) : 432, 1980.
- Phillips R W. Skinner's of science Dental Materials, 7th ed. W. B. Saunders Co., 397.1973.
- Phillips. Skinner's Science of dental Materials. W. B. Saunders Co, 1982.
- Preston JD, Berger R. Laboratory variables affecting ceramometal alloys. *Dent Clin. North Am*, 21 : 717, 1977.
- Tylman SD. Theory and practice of Crown and fixed partial prosthetics 6th ed. Mosby. 1970.
- Vincent PF, Stevens L, Basford KE. A comparison of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering. *J Prosthet Dent*, 37 : 527, 1977.
- Weiss PA. New design parameters : Utilizing the properties of Ni-Cr super alloys. *Dent Clin North Am*, 21 : 749, 1977.
- Yamamoto M. Metal-Ceramics: Principle and methods of Makoto-Yamamoto. Quintessence Publishing co. :110, 483, 1985.