

# 도재소부금관용 비귀금속 합금의 반복주조가 강도에 미치는 영향

정 희 선, 오 경 재\*

제주관광대학 치기공과, 원광대학교 의과대학 예방의학교실\*

## The Impacts of the Recasting of Non-precious Metal Alloy for Porcelain Fused to Metal Crowns on Strength

Hee-Sun Chung, Gyung-Jae Oh\*

Department of Dental Technology, Cheju Tourism College  
Department of Preventive medicine and Public Health Wonkwang University School of medicine\*

### [Abstract]

This study compared and analyzed changes to the mechanical characteristics to nonprecious metal alloy for porcelain fused to metal crowns when it's repetitively used without the addition of new alloy.

Metal samples were made with the Verabond V nonprecious metal alloy. Those samples to measure tensile and yield strength were made in the standardized design(ISO 22674), those to measure bond strength in the 25mm × 3mm × 0.5mm format, and those to measure hardness in the 10mm × 10mm × 1mm format.

A ceramic to measure bond strength was made at the center of the metal sample in the length of 8mm by using Noritaker Super Porcelain EX-3.

Ten samples were prepared for one, three and five repetitions of casting each. The test results were as follows:

1. The more casting was repeated, the more significantly tensile strength dropped.
2. The more casting was repeated, the more significantly yield strength dropped.
3. Repetitive casting didn't cause significant changes to bond strength.
4. The Vickers hardness significantly fell with increasing repetitions of casting.

There were no changes to bond strength observed with the increasing number of repeating casting. But tensile strength, yield strength, and Vickers hardness decreased. Those results indicate that repeated casting can affect durability and that careful attention should be paid by avoiding repetitive use or excessive increase of uses when no new alloy is added.

● Key words : Recasting, Strength, Bond strength, Tensile strength, Yield strength, Porcelain metal

|      |             |                               |       |              |        |                     |
|------|-------------|-------------------------------|-------|--------------|--------|---------------------|
| 교신저자 | 성명          | 정 희 선                         | 전화    | 011-657-7204 | E-mail | jhs7204@hanmail.net |
|      | 주소          | 제주시 애월읍 광령리 2535, 제주관광대학 치기공과 |       |              |        |                     |
| 논문접수 | 2009. 8. 20 |                               | 수정재접수 | 2009. 9. 20  |        |                     |

## I. 서론

치과 보철치료는 기능적인 면의 회복뿐만 아니라 심미적인 면의 충족을 위해서도 그 적용 범위가 많아짐에 따라 치과도재의 사용량은 앞으로도 많을 것으로 보인다.

치과도재는 압축강도와 내마모성이 뛰어나면서도 심미성과 생체내 안정성이 우수한 장점이 있지만 취성이 있기 때문에 인장과 충격에 약하고 소성과정에서 큰 수축이 나타나는 단점이 있으며, 이러한 문제점을 극복하기 위해 하부구조에 고인성의 금속을 강화한 금속 도재관이 널리 적용되고 있다(Craig, 1993).

또한 금속-세라믹 시스템(치과도재)은 1926년 Weinstein 등에 의해 개발된 이래 안정적인 수명과 제작의 용이성 때문에 현재까지 치과보철 치료에서 가장 일반적으로 사용되고 있다(Kelly, 1997; Christensen, 1999).

Ni-Cr계 비귀금속 합금은 금합금과 비슷한 열팽창계수를 가지므로 이의 대체 재료로 개발되었고, 연성이 좋고 용점이 비교적 낮아서 치과도재소부용 금속재료로 널리 이용되고 있다(Moffa, 1973; 이규환 등, 1985). 또한 1970년대 이후 귀금속 합금의 폭등으로 인하여 Ni-Cr 합금의 사용이 각광을 받게 되었으며(Phillips, 1973; Donald, 1986), 그간 이러한 비귀금속 합금은 가격이 저렴하여 재사용하지 않았으나, 최근에는 가격 상승으로 인해 재사용이 보편화 되었다.

한번 사용한 금속을 다시 녹여서 재사용하려 할 때 일반적으로 50%이상의 새로운 금속을 함께 사용하기를 권장한다(McLean, 1979; Skinner 등, 1982). 이는 미량원소들이 용융과정에서 증발과 산화에 의해 손실 될 수 있고, 이러한 손실은 도재와 금속간의 결합력이나 합금의 강도, 주조성에 영향을 미칠 수 있기 때문에(Lubovich 등, 1977), 금속 도재용 합금을 재사용할 경우에 있어서는 적어도 동량의 새로운 합금을 첨가하여 조성의 결함을 보상에 주어야 한다.

Tylman과 Phillips등은 경제적인 측면을 고려해 비귀금속 합금도 귀금속 합금처럼 재사용해야 한다고 했고(Tylman, 1970; Phillips 등, 1973), Hesby는 합금 재사용시 4회까지 주조했을 때 물리적 성질, 연성, 탄성의 변화는 거의 없다고 보고했으며(Hesby, 1980), Nelson은

Ni-Cr 합금을 10회까지 재사용해도 변질성 변화가 없다고 하였다(Nelson 등, 1986).

Rasmussen등은 합금의 재사용시 새로운 합금 50%를 포함시켜야 한다는 법칙은 근거가 희박하다고도 하였다(Rasmussen 등, 1986). 또한 최운재 등은 도재용착 주조관 제작용 Rexillum V 합금의 반복주조에 따른 기계적 특성과 미세구조의 변화에 관해 연구한 결과 반복주조를 하여도 물성과 미세구조에 큰 변화가 없었다고 보고하였다(최운재 등, 2003). 그러나 지금까지의 연구는 일정량의 새로운 금속을 첨가하여 반복주조 했으나 본 연구에서는 비귀금속 합금의 재사용시 간과할 수 있는 새로운 합금의 첨가없이 재용용 및 재주조가 강도에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험에 사용된 합금은 시판되고 있는 도재소부용 Ni-Cr계 비귀금속 합금중 비교적 사용량이 많은 VeraBond V(AalbaDent, Inc. USA)를 사용했으며 합금의 조성은 니켈(Ni) 74.80%, 크롬(Cr) 12.70%, 몰리브덴(Mo) 9.00%, 알루미늄(Al) 2.00%, 베릴륨(Be) 1.95%, 코발트(Co) 0.45%로 구성되었으며(Table 1), 인장강도 120,000psi, 항복강도 83,500psi, 연신율 10%, 비커스 경도 380 등의 물리적 특성을 갖는다(Table 2).

Table 1. The Composition of VeraBond V

| Composition | Ni    | Cr    | Mo   | Al   | Be   | Co   |
|-------------|-------|-------|------|------|------|------|
| %           | 74.80 | 12.70 | 9.00 | 2.00 | 1.95 | 0.45 |

AalbaDent, Inc. USA.

Table 2. Physical characteristics of VeraBond V

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Tensile Strength, psi(MPa) | 120,000(828)                  |
| Yield Strength, psi(MPa)   | 83,500(576)                   |
| Elongation (%)             | 10                            |
| Vickers Hardness, HV1      | 380                           |
| Density, g/cm <sup>3</sup> | 8.1                           |
| Color                      | white                         |
| Coefficient of Expansion   | 13.8×10 <sup>-6</sup> (500°C) |
| Melting Range, °F(°C)      | 2,124-2,282(1,162-1,250)      |

AalbaDent, Inc. USA.

2. 실험방법

1) 시편제작

(1) 인장강도, 항복강도

인장강도, 항복강도를 측정하기 위해 ISO 22674에서 제시한 형태로 납형을 제작했다(Fig. 1). 납형을 제작한 후  $\phi 1.5\text{mm}$  두께의 sprue를 부착하여 원추대에 고정하였다. 매몰을 위해 납형에 wetting agent를 도포하였으며 metal ring의 내면에는 석면대를 내장 한 후 인산염계 매물재인 CB-30 micro fire (Ticonium Industries LLC., USA)를 사용하여 진공매몰기로 매몰하였다. 850℃까지 소환하고 90분간 유지한 후 산소-아세틸렌 가스 화염으로 금속을 용융하여 원심주조기(Centrifugal Casting Machine, Kerr Co., USA)로 주조하였다. 시편은 각각 10개씩 3군(1회 주조, 3회 주조, 5회 주조)으로 준비하였으며, 1회 주조는 새로운 금속을 이용하여 바로 주조하였으며, 3회 주조는 금속을 완전히 녹인 후 식히는 과정을 두 번 반복한 후 세 번째에 금속을 녹여 주조하였다. 5회 주조는 금속을 완전히 녹인 후 식히는 과정을 네 번 반복한 후 다섯 번째에 금속을 녹여 주조하였다. 매물재 제거는 125 $\mu\text{m}$ 의 알루미나를 이용하여 모래분사(sandblast) 하였으며 매물재 제거가 완료된 후 주입선을 절단하여 시편을 준비하였다.

(2) 결합강도

결합강도를 측정하기 위한 시편은 Paraffin wax를 25mm $\times$ 3mm $\times$ 0.5mm의 판형으로 제작하였으며 인장강도 시편과 동일한 과정으로 주입선 부착, 매몰, 소환, 주조, 매물재 제거, 주입선 절단을 시행하였다. 도재와의 결합강도를 측정하기 위해 각각의 시편을 carbide bur로 연마한 후 50 $\mu\text{m}$  알루미나 입자로 모래분사 하였다. 모래분사 후 표면에 남은 이물질을 제거하기 위해 steam으로 세척 후 도재로(HIGHBAKE-II PLUS, JAE MYUNG)를 이용하여 degassing을 실시하였다. opaque을 도포하기 위해 Noritaker paste opaque을 사용하여 중앙부위에 8mm 넓이로 1차 Opaque을 도포한 후 소성하였다. 소성은 450℃까지 5분간 건조시키고, 450℃에서 940℃까지 분당 50℃의 상승온도로 상승시켰다. 940℃에서는 1분 30초간 유지시킨 후 1분간 냉각과정을 거쳤다. 소성 시 진공은

100% 진공을 가해졌으며 450℃에서 940℃까지 계속 진공상태에서 소성하였다. 소성이 완료된 후 2차 opaque을 도포하여 동일하게 소성하였다. 소성이 완료된 후 Dentin 도재의 측성을 위해 Noritaker Super Porcelain EX-3 porcelain powder를 이용하였으며 Dentin의 두께는 1mm, Enamel은 0.1mm 두께로 측성 후 소성하였다.

(3) 경도

경도를 측정하기 위한 시편은 10mm $\times$ 10mm $\times$ 1mm 판형으로 제작하였으며 인장강도 시편과 동일한 과정으로 주입선 부착, 매몰, 소환, 주조, 매물재 제거, 주입선 절단을 시행하였다. 표면 연마를 위해 모든 시편은 레진에 마운팅하여 SiC paper를 이용하여 #200부터 시작하여 #1000번까지 연마를 시행하였으며 1 $\mu\text{m}$  Alumina Powder로 최종 연마하였다. 연마가 완료된 시편은 표면의 이물질을 제거하기 위하여 초음파 세척기를 이용하여 5분간 세척하였다.

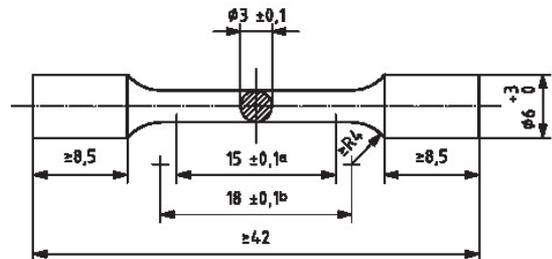


Fig. 1. Test specimen with radial shoulders

2) 실험방법

(1) 인장강도, 항복강도

인장강도, 항복강도를 측정하기 위하여 만능시험기(Instron 3344, Instron, MA, USA)를 이용하여 실험하였다. 총 하중 범위 10KN의 로드셀(load cell)을 이용하여 1.5mm/min의 cross head speed로 실험하였다.

(2) 결합강도

만능시험기(Instron 3344, Instron, MA, USA)를 사용하여 cross head speed를 1.5mm/min의 속도로 3점 굽힘 시험을 하였으며 총 하중 범위 10KN의 로드셀(load cell)을 이용하여 측정하였다. 도재가 금속에서 파괴될 때

의 force(F<sub>fail</sub>)를 측정하여 ISO 9693에 따라 결합력을  $\tau$   
 $b = k \cdot F_{fail}$ 로 계산하였다.

(3) 경도

경도 측정을 위해 Micro vickers hardness tester(JT TOHSI INC. MMT -3)로 1Kgf의 하중을 10초간 적용하여 d값을 측정하였으며 각 시편당 5회씩 측정하였다.

3. 자료분석

각 항목에 따른 그룹간 결과비교는 SPSS(Version 12.0)을 이용하여 Kruscal-Wallis test를 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 인장강도

반복주조 횟수에 따른 시편들 중 무작위로 5개씩의 시편을 이용하여 각각의 인장강도를 측정하였다(Fig. 2, 3, 4).

각 시편들의 인장강도를 분석해 보면 1회 주조한 시편의 인장강도 값은 957로 나타났으며, 3회 주조한 시편은 775로 나타났고, 5회 주조한 시편은 556으로 나타나 주조 횟수를 거듭할수록 인장강도는 감소하였으며, 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3,  $p < 0.05$ ).

Fig. 5는 인장강도의 평균값을 그래프로 비교한 것이다.

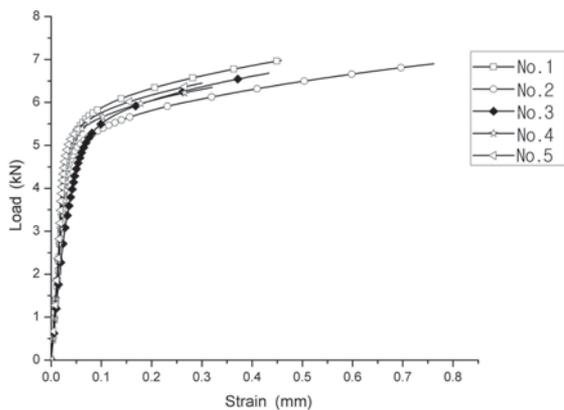


Fig. 2. The tensile strength of one-time casting

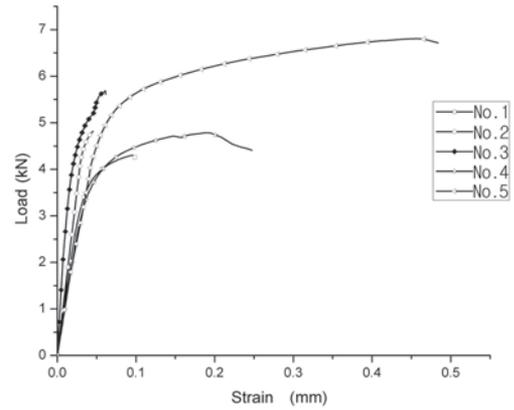


Fig. 3. The tensile strength of third-time recasting

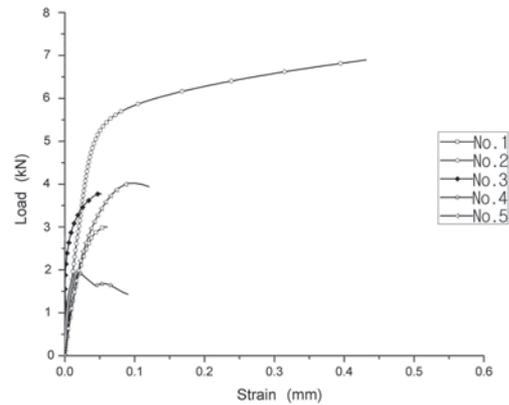


Fig. 4. The tensile strength of fifth-time recasting

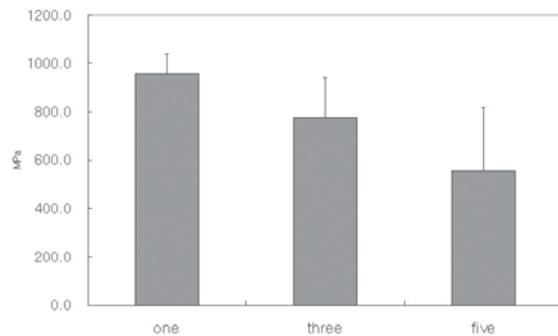


Fig. 5. Mean values of tensile strength (MPa)

Table 3. Tensile Strength to recasting

| Group      | Mean   | S.D     | P     |
|------------|--------|---------|-------|
| one time   | 957.40 | 81.549  | 0.016 |
| three time | 774.80 | 166.716 |       |
| five time  | 556.00 | 260.889 |       |
| Total      | 762.73 | 241.117 |       |

2. 항복강도

각 시편들의 항복강도를 분석해 보면 1회 주조한 시편의 항복강도값은 739로 나타났으며, 3회 주조한 시편은 634로 나타나 약간의 감소를 나타냈고, 5회 주조한 시편은 476으로 나타나 주조 횟수를 거듭할수록 항복강도는 감소하였으며 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(Table 4, p<0.05).

반복주조 횟수에 따른 항복강도의 결과는 Fig. 6과 같다.

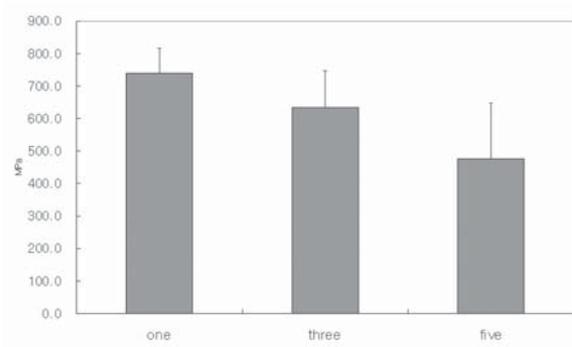


Fig. 6. Mean values of yield strength (MPa)

Table 4. Yield Strength to recasting

| Group      | Mean   | S.D     | P     |
|------------|--------|---------|-------|
| one time   | 739.40 | 77.161  | 0.021 |
| three time | 634.20 | 113.744 |       |
| five time  | 476.20 | 172.243 |       |
| Total      | 616.60 | 162.513 |       |

3. 결합강도

Fig. 7의 그래프를 이용하여 금속두께에 따른 계수 k값

을 구한 후 최대 하중값으로 결합강도를 계산하였다(Table 5). 결합강도 측정결과는 Table 6, 7, 8에 나타내었다.

각 시편들의 결합강도를 분석해 보면 1회 주조한 시편은 29로 나타났으며, 3회 주조한 시편의 결합강도는 28로 약간의 감소를 나타냈다.

5회 주조한 시편은 31로 나타나 1회와 3회 주조한 시편보다 결합력이 높은 것으로 나타났으나 반복 주조횟수에 따른 결합강도는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 (Table 9, p>0.05).

반복주조에 따른 결합강도의 결과는 Fig 8과 같다.

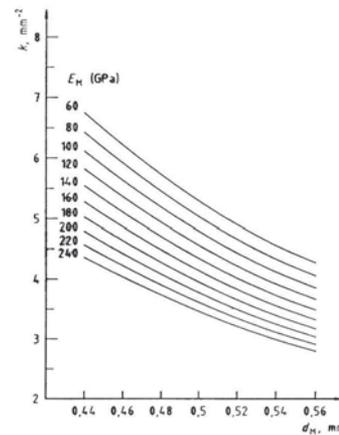


Fig. 7. A graph to obtain coefficient k with a function between dM of metal thickness and EM of Young's modulus(ISO 9694).

Table 5. Modulus of elasticity, 132.5 GPa, was used to draw a graph and decide the k value

| dM | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.55 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k  | 4.80 | 4.60 | 4.40 | 4.25 | 4.10 | 3.95 | 3.80 | 3.70 |

Table 6. Bond strength of one-time casting group

| Case No. | Thick(mm) | k    | Maximum load (N) | Bond Strength (MPa) |
|----------|-----------|------|------------------|---------------------|
| 1        | 0.53      | 3.95 | 8.75             | 34.6                |
| 2        | 0.53      | 3.95 | 6.40             | 25.3                |
| 3        | 0.51      | 4.25 | 5.46             | 23.2                |
| 4        | 0.50      | 4.40 | 4.27             | 18.8                |
| 5        | 0.49      | 4.60 | 6.04             | 27.8                |
| 6        | 0.54      | 3.80 | 7.32             | 27.8                |
| 7        | 0.51      | 4.25 | -                | -                   |
| 8        | 0.48      | 4.80 | 7.68             | 36.9                |
| 9        | 0.54      | 3.80 | 8.67             | 32.9                |
| 10       | 0.55      | 3.70 | 9.04             | 33.4                |

Table 7. Bond strength of third-time recasting group

| Case No. | Thick(mm) | k    | Maximum load (N) | Bond Strength (MPa) |
|----------|-----------|------|------------------|---------------------|
| 1        | 0.53      | 3.95 | 6.48             | 25.6                |
| 2        | 0.51      | 4.25 | 6.46             | 27.5                |
| 3        | 0.50      | 4.40 | 7.84             | 34.5                |
| 4        | 0.48      | 4.80 | 5.52             | 26.5                |
| 5        | 0.48      | 4.80 | 6.21             | 29.8                |
| 6        | 0.51      | 4.25 | 6.90             | 29.3                |
| 7        | 0.48      | 4.80 | 7.62             | 36.6                |
| 8        | 0.53      | 3.95 | 5.67             | 22.4                |
| 9        | 0.49      | 4.60 | 4.48             | 20.6                |
| 10       | 0.49      | 4.60 | 6.97             | 32.1                |

Table 8. Bond strength of five-time recasting group

| Case No. | Thick(mm) | k    | Maximum load (N) | Bond Strength (MPa) |
|----------|-----------|------|------------------|---------------------|
| 1        | 0.54      | 3.80 | 7.09             | 26.9                |
| 2        | 0.51      | 4.25 | 7.71             | 32.8                |
| 3        | 0.52      | 4.10 | 8.65             | 35.5                |
| 4        | 0.48      | 4.80 | -                | -                   |
| 5        | 0.53      | 3.95 | -                | -                   |
| 6        | 0.50      | 4.40 | 7.11             | 31.3                |
| 7        | 0.53      | 3.95 | 8.45             | 33.4                |
| 8        | 0.52      | 4.10 | 8.01             | 32.8                |
| 9        | 0.51      | 4.25 | 5.64             | 24.0                |
| 10       | 0.51      | 4.25 | 7.83             | 33.3                |

Table 9. Bonding Strength to recasting

| Group      | Mean   | S.D    | P     |
|------------|--------|--------|-------|
| one time   | 28.967 | 5.9433 | 0.288 |
| three time | 28.490 | 5.0545 |       |
| five time  | 31.250 | 3.8393 |       |
| Total      | 29.467 | 5.0112 |       |

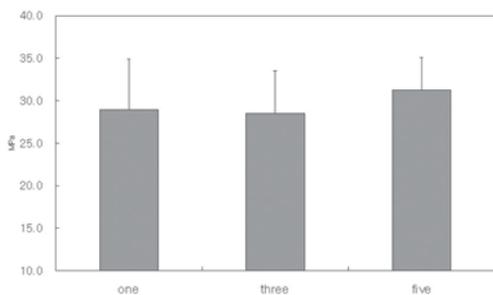


Fig. 8. Mean values of bonding strength (MPa)

#### 4. 경도

반복 주조 횟수에 따른 각 시편들의 비커스 경도값을 분석해 보면 1회 주조한 시편의 경도값은 435로 나타났으며, 3회 주조한 시편의 경도값은 410으로 나타났고, 5회 주조한 시편의 경도값은 362로 나타나 주조횟수가 증가할수록 비커스 경도값은 감소를 보였으며, 통계학적으로 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 있었다(Table 10, Fig 9).

Table 10. Hardness (VHN) to recasting

| Group      | Mean    | S.D     | P     |
|------------|---------|---------|-------|
| one time   | 435.300 | 9.0678  | 0.000 |
| three time | 410.280 | 9.3170  |       |
| five time  | 361.700 | 18.2276 |       |
| Total      | 402.427 | 33.8168 |       |

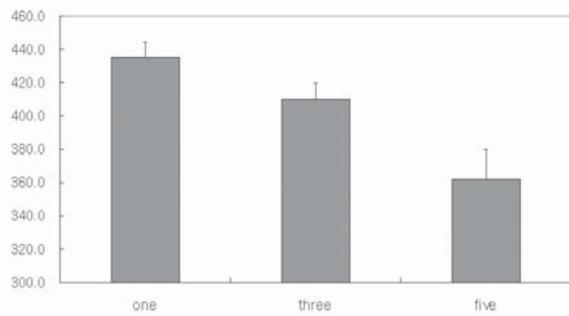


Fig. 9. Mean values of Hardness (VHN)

#### IV. 고찰

금속-도재 보철물용의 Ni-Cr계 비귀금속 합금은 귀금속에 비해 경제적이고, 경도, 강도, 강인성, 변형에 대한 저항이 높다는 점과 도재 전장부의 금속의 두께를 줄여 줄 수 있는 장점이 있어 현재 널리 사용되고 있다(Kobes, 1973; Moffa 등, 1974). 그러나 한번 사용한 합금의 재사용 여부에 대한 논란이 있는 가운데 물가상승 등으로 인한 합금의 재사용은 보편화 되어가고 있다.

Ni-Cr 합금의 재사용에 대한 관심이 높아 정인성은 관교의치제작용 Ni-Cr 합금의 반복사용에 따른 주조성과 물성의 변화에서 통계학적 유의차가 없었음을 보고하였고(정인성, 1987), 정경풍은 국부의치 제작용 Cr-Co 합금의 반복주조 횟수에 따른 인장강도 및 경도변화에 대한 연구에서 반복 주조하여도 경도와 인장강도에는 큰 차이를 보이지 않는다고 보고하였으며(정경풍, 1996), 배수현 등(2006)은 VeraBond와 Rexillium V로 제작된 시편 모두 주조횟수가 증가 할수록 미세구조와 부식 저항성은 변화가 없었고 주조완전성 및 비커스 경도값은 약간 감소하는 것으로 나타났으나, 통계학적 유의차는 없다고 하였다(배수현, 2006). 그러나 본 연구결과 인장강도, 항복강도, 경도는 주조 횟수가 증가할수록 감소한 것으로 나타났다. 이는 합금의 재사용시 새로운 합금의 첨가가 없었으며 주조 횟수 증가에 따른 금속 일부 성분의 소실과 악화가 원인이 될 수 있다고 사료되며 김인은 비귀금속군에서 준귀금속의 결합력과 비교하여 반복 주조시의 결합력이 낮게 나타났으나 새 금속의 첨가 비율(75%, 50%, 25%, 0%)에

따른 재사용 금속간의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났고, 도재와 합금의 파절 양상은 합금의 종류나 새 금속의 첨가비에 관계없이 비슷한 양상을 보였다(김인, 1993). 본 연구에서는 1회와 3회 보다 5회 주조한 시편의 결합강도가 증가 하였으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 귀금속과 비귀금속의 결합력에 대해서는 연구자에 따라 이견이 많으며 비귀금속의 사용량이 적지 않으므로 비귀금속에 대한 좀 더 깊은 연구가 있어야 할 것으로 보인다.

#### V. 결론

본 연구는 도재소부용 비귀금속 합금을 새로운 합금의 첨가없이 반복 사용시 기계적 특성에 대한 변화를 비교분석 하였다.

Verabond V 비귀금속 합금을 이용하여 금속 시편을 제작하였으며 인장강도, 항복강도 측정을 위한 시편은 규격화된(ISO 22674) 디자인으로 제작했고, 결합강도를 측정하기 위한 시편은 25mm×3mm×0.5mm의 판형으로 제작하였으며, 경도를 측정하기 위한 시편은 10mm×10mm×1mm 판형으로 제작하였다.

결합강도 측정을 위한 Ceramic은 Noritaker Super Porcelain EX-3을 이용하여 금속시편 중앙에 8mm의 길이로 축성하였다.

1회, 3회, 5회 반복주조한 시편들을 각각 10개씩 준비하여 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 주조횟수를 반복할수록 인장강도는 유의하게 감소하였다.
2. 주조횟수를 반복할수록 항복강도는 유의하게 감소하였다.
3. 주조횟수를 반복하여도 결합강도의 유의한 변화는 관찰되지 않았다.
4. 주조횟수에 따른 비커스 경도는 주조 횟수가 증가할수록 유의하게 감소하였다.

따라서 반복주조 횟수가 증가하여도 결합강도의 변화는 관찰되지 않았으나 인장강도, 항복강도, 비커스경도 등이 감소하여 향후 반복 주조시에 내구성에 영향이 있을 수 있

으므로 새로운 합금을 첨가하지 않은 반복사용이나 사용 횟수의 무리한 증가를 피하는 등의 세심한 주의를 요한다.

## 참 고 문 헌

- 김 인. 치과도재용 금속의 재사용에 따른 금속과 도재간의 결합강도에 관한 연구. 전남대학교 대학원 치의학과, 1993.
- 배수현, 김부섭, 정인성. 도재용착주조관용 Ni-Cr 합금의 반복주조가 부식거동에 미치는 영향. 대한치과기공학회지, 28(2):355-366, 2006.
- 이규환, 신명철, 최부병. 도재소부용 Ni-Cr 보철 합금개발에 관한 연구. J KOSOMBE 6-1:37-46, 1985.
- 정경풍. 국부치 제작에 사용되는 Chrome Cobalt alloy의 재주조 횟수에 따른 인장 강도 및 경도변화에 대한 실험적 연구. 대한치과기공학회지, 18(1):11-21, 1996.
- 정인성. 치관보철물 제작에 사용되는 비귀금속합금의 주조성에 관한 실험적 연구(Ⅲ)-합금의 재사용에 따른 주조성과 물리적 특성의 변화. 지산간호보건전문대학논문집, 5:229-240, 1987.
- 최운재, 신무학, 정희선, 고명원. 치과도재용착주조관용 비귀금속합금의 반복주조가 기계적 특성 및 미세구조에 미치는 영향. 대한치과기공학회지, 25(1):9-20 2003.
- Craig RG. Restorative dental materials Ceramics & Ceramic-metal system. 9th ed, Mosby. 473-501, 1993.
- Christensen GJ. Porcelain-fused-to-metal vs nonmetal crowns. J Am Dent Assoc, 130(3):409-11, 1999.
- Donald R Joyce F, Harold F, Martin C. Recasting a nickel-chromium ally. J Prosthetic Dent, 55(1):122-127, 1986.
- Hesby DA. Physical properties of repeatedly used nonprecious metal alloy. J Prosthetic Dent, 44:291-293, 1980.
- Kelly JR. Ceramics in restorative and prosthetic dentistry. Annu Rev Sci, 27:443-468, 1997.
- Kobes L. Solution of prothetic problems with the wiron metal ceramic method. Quintessence Int, 4:1-7, 1973.
- Lubovich RP, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious, and nonprecious ceramic-metal alloys with two porcelanins. J Prosthet Dent, 37:288-299, 1977.
- McLean JW. The science and art of dental ceramics. Quintessence Publishing Co Inc, (1):71-79, 1979.
- Moffa JP. An evaluation of nonprecious alloys for use with porcelain veneers, part I, physical properties. J Prosthet Dent, 30(4):424, 1973.
- Nelson DR Palik JF, Morris HF, Comella MC. Recasting a Ni-Cr alloy. J Pros Dent, 55:122-127, 1986.
- Philips RW. Skinner's of Dental Materials. WB Saunders Co ed, 7592, 1973.
- Phillips RW. Skinner's of science Dental Materials, 7th ed. WB. Saunders Co., 397, 1973.
- Rasmussen ST, Doukoudakis AA. The effect of using recast metal on the bond between porcelain and a gold-palladium alloy. J Prosthet Dent, 55:447-453, 1986.
- Skinner EW, Philips RW. The science of dental materials, ed 8 Igaku-Shoin/Saunders International, Tokyo WB. Saunders Company, 526-527, 1982.
- Tylman SD. Theory and practice of Crown and fixed partal prosthetics 6th ed.