

분말야금공법으로 제조된 CAD/CAM용 Co-Cr-Mo 합금의 미세조직 및 기계적 특성

차 성 수

진주보건대학교 치기공과

Microstructure and Mechanical Properties of Co-Cr-Mo alloy for CAD/CAM Applications fabricated by Powder Metallurgy Process

Sung-Soo Cha

Dept. of Dental Lab Technology, Jinju Health College

[Abstract]

Purpose: The aims of this study are compare with microstructure and mechanical properties of Co-Cr-Mo alloys fabricated by powder metallurgy(P/M) process and casting process respectively.

Methods: Microstructure and micro-hardness were tested by SEM and Vickers Hardness Tester. The sintered specimen was produced by furnace-cooling after sintering, however the casting specimen were produced thru air-cooling and water-cooling after the casting. For observation of phase transformation during sintering, DSC analyzing was carried out.

Results: Mean pore size of sintered Co-Cr-Mo alloy was $4.32\mu\text{m}$ and that of casting alloy was $1.63\mu\text{m}$. Hardness of sintered alloy was lower than water-quenched casting alloy.

Conclusion: Proper sintering temperature of Co-Cr-Mo alloy was above $1,200^\circ\text{C}$ and pore size of casting specimen were finer than sintered specimen, but hardness were similar.

○ **Key words :** Co-Cr-Mo alloy, Powder metallurgy, CAD/CAM, Sintering Microstructure, Mechanical Property

교신저자	성명	차 성 수	전화	010-5549-1861	E-mail	css1861@Hanmail.net	
	주소	경남 진주시 의병로 51 진주보건대학교 치기공과					
접수일	2015. 10. 30		수정일	2015. 11. 19		확정일	2015. 12. 9

I. 서 론

Co-Cr-Mo 합금은 좋은 내식성 뿐 만 아니라 생체적합성이 우수한 기계적 성질 때문에 임플란트에 주로 사용되어 왔으며(Spriano et al, 2005), 근래에는 치과도재소부용 및 관교의치 기공물 제작에 까지 용도가 확대되고 있는 실정이다. Co-Cr-Mo 합금은 Co-Cr 합금에 Mo, C를 첨가하면 고용체강화와 탄화물에 의한 석출강화로 기계적 성질이 향상된다(Kuzucu, 1998). 특히 탄소는 Co-Cr-Mo합금에서 fcc-Co상의 안정화를 높이는데 효과적이지만 입계에 탄화물을 형성시켜 합금의 취성을 증가시키는 단점이 있기에 함량에 제한을 두고 있다. 주조용 합금은 주조 중 발생하는 기포나 응고수축 등의 결함으로 인하여 연성과 피로강도가 감소하고 내식성이 저하되기도 한다. 이러한 기포에 의한 주조결함의 제거는 열처리에 의해서도 다소 해결이 가능하다는 보고가 있다(Kim et al, 2006).

또한 Co-Cr-Mo합금에 Ni과 강화재인 SiC을 첨가하면 적층결함에너지가 증가하여 합금의 소성가공성이 향상된다(Kim, Ju, 2012). 그러나 Ni은 인체에 강한 알레르기 반응을 유발하는 요인이 있기에 Ni을 포함하지 않는 Co-Cr-Mo 합금개발이 강하게 요구되었다. 반면 Co-Cr-Mo 합금은 인성과 가공성이 부족한 단점이 있기 때문에 이에 대한 해결책으로 분말야금공법이 대두되게 되었다. 그동안 치과분야에서 분말야금공법은 임플란트 매식체를 제작할 때 매식체와 치조골의 골융합을 촉진시키기 위하여 분말재료를 매식체에 분사하여 표면처리 하는 등의 제한적인 분야에서만 사용되었다. 그러나 최근 들어 CAD/CAM 전문회사들이 자사의 장비에서 사용될 수 있는 분말야금법을 이용한 치과기공 전용 합금블록을 출시하기 시작하였고 이를 계기로 대부분의 장비에서 사용할 수 있는 범용블록이 등장하게 되었다. 분말야금공법은 주조 방법보다 더 좋은 조성으로 미세 조직을 제어할 수 있기 때문에 복합재료를 비롯하여 새로운 재료를 개발하는데 흥미로운 기술 솔루션을 제공하고 있으며, 특히 분말야금공법으로 제조된 Co-Cr-Mo합금은 임플란트에 적합한 재료(Tajuddin et al, 2008)로 널리 사용되고 있다.

최근 치과용 캐드캠 시스템을 이용한 치과보철물 자동

화 제작과정의 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 치과보철물을 자동화 시스템으로 제작하는 방법으로는 금속블록을 제작하여 CAD/CAM으로 치과보철물을 가공하여 제작하는데 이에 대한 가공방식에는 습식밀링과 건식밀링 방법이 있다. 습식밀링에서 경질금속블록을 절삭할 경우 가공에 필요한 절삭기구의 소모에 대한 경비가 과도하게 지출되는 단점이 대두되었다. 이를 보완하기 위하여 최근에는 분말야금공법으로 압축 성형하여 제조된 연질금속블록(Ceramill Sintron, Amann Girrbach, 오스트리아 및 SOFT METAL, 보원덴탈, 한국) 재료를 사용하여 CAD/CAM으로 치과보철물을 제작한 후 기계적 특성을 보완하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Bogna Stawarczyk et al, 2014). 이는 건식 밀링으로 가공된다.

연질금속분말은 아르곤 가스 분위기의 1,300℃ 고온 소성로에서 소결하는 동안 유기질 바인더는 분해 제거되고, 금속 분말 입자들이 용융상을 생성하지 않고 소결된다. 연질 블록의 경우 치과용 왁스블록과 같은 물성을 갖고 있기 때문에 가공이 용이하며, 소형 가공기를 사용하기 때문에 치과용 캐드캠 시스템으로 적용(Kim JH et al, 2014)이 더욱 간편해져서 전통적인 주조법 보다 제조 시간과 비용을 절감할 수 있게 되었다. 그러나 분말야금공법으로 제조된 시편에 대해서 기존의 전통적인 주조법으로 제조된 시편과의 특성 비교에 관한 연구는 아직도 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 Co-Cr-Mo 합금을 분말야금공법으로 제조하고, 동일성분의 합금을 고주파주조기를 사용하여 주조하여 두 시편의 기포형태와 크기, 주조 후 성분변화, 소결적정온도를 조사함으로써 분말야금공법으로 제조된 소결체의 특성을 파악하기 위하여 두 합금의 미세조직과 기계적 성질을 비교하여 고찰하였다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

Co-Cr-Mo 합금 분말은 Amann Girrbach회사의 Ceramill sintron을 사용하였다. 분말의 화학적 조성은 <Table 1>과 같으며, 분말 입자의 형상은 전자현미경으로

관찰한 결과 구형 형상을 나타내고 있었다(Fig. 1).

Table 1. Chemical composition of Co-Cr-Mo powders (wt%)

Element	Co	Cr	Mo	C	Si
Composition	66.00	28.00	5.00	<0.10	<1.00

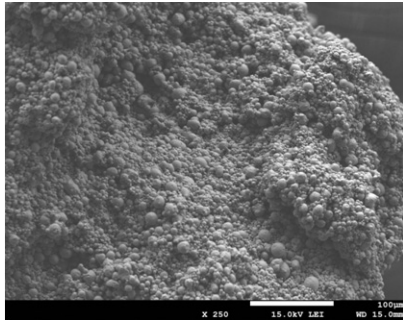


Fig. 1. SEM micrograph of Co-Cr-Mo powders

미세조직은 전자현미경(JSM-6380LV jeol, Japan)을 사용하여 관찰하였고, 경도측정은 Vickers micro hardness(Hv-114, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2. 시편제작

1) 분말야금 시편

가스분무법에 의해 제조된 Co-Cr-Mo금속분말(Sandvik Osprey LTD., Uk.)에 결합제로 스테아린산아연(3wt.%)를 첨가하여 24rpm에서 V-콘형 혼합기로 2시간 동안 혼합하였다. 혼합된 분말 10g을 지름 15mm 크기의 공구강 다이에 붓고 800 Mpa의 압력을 가하여 압축성형 하였다. 시편은 미세조직관찰, 상변화 특성조사, 경도시험 및 주조 후 공냉과 수냉처리를 하기위한 주조체 시편을 준비하기 위하여 5개를 제작하였으며, 압축성형한 분말시편의 소결은 아르곤 분위기의 관상로(Ceramill sintron furnace, Amann Girrbach, Austria)에서 수행하였다. 시편의 용점은 1590℃이었기에 소결은 10℃/min의 승온속도로 480℃까지 가열하여 결합제를 제거시킨 후 다시 1300℃에서 60분 동안 소결하였다. 소결된 시편은 로 내에서 10℃/min로 서냉하여 시편을 제작하였다.

2) 주조체 시편

분말야금공법으로 제조된 시편과 동일한 성분의 Co-Cr-Mo 주조체를 제작하기 위하여 분말야금공법으로 소결 제조된 Co-Cr-Mo합금을 고주파 주조기(Manfredi, Italy)로 아르곤 분위기에서 1590℃로 용해하여 로스트 왁스 법으로 10×10×2mm 주조체 시편을 제작하였다. 주조체의 시편은 분말야금공법으로 소결제조 한 시편과 미세조직 및 경도를 비교분석하기 위해서 통법에 따라 주조 후 공기 중에서 서냉 한 것과, 주조 후 물속에 넣어 수냉 처리한 2개의 시편을 제작하였다.

3. 실험방법

1) 미세조직관찰

본 연구에서는 Co-Cr-Mo합금의 제조방법에 따른 시편의 미세조직 변화 및 기포의 형상과 크기를 관찰하기 위하여 주의 깊게 연마를 실시하고 초음파세척 한 다음, Marble's Reagent(CuSO₄ 4g, HCl 20cc, H₂O 20cc)액으로 에칭하였다. 합금의 기지조직의 변화는 주사전자현미경(JSM-6380LV, jeol, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

Co-Cr-Mo 합금의 성분은 EDS(JXA-8100, Jeol, Japan)분석을 이용하여 분석하였다. 열처리 효과를 알아보기 위하여 분말야금으로 제조된 시편은 로냉하였으나, 주조체 시편은 주조 후 공냉과 수냉 처리를 각각 실시하였다.

2) 상변화 특성조사

Co-Cr-Mo분말이 소결되는 과정에서 상변태의 특성을 조사하기 위하여 열분석기(Q600, Tainstruments, USA)를 사용하여 10℃/min로 분석하였으며 분위기는 아르곤 가스를 사용하였다.

3) 경도시험

합금재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 micro vickers 경도기 (Hv-114, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 경도변화를 측정하였다. 경도 측정은 하중 1.0kg으로 10초 동안 가하여 각 시편에 대하여 10회씩 경도를 측정하고 최대값과 최소값에 해당하는 유효 측정치 2개를 제외하고 측정치의 산술평균값을 경도값으로 정하였다.

III. 결 과

1. 미세조직관찰

Co-Cr-Mo분말을 이용하여 제작한 CAM/CAM용 압축성형체의 분말 입자 크기와 형태를 확인하기 위하여 전

자현미경을 사용하여 관찰한 결과는 <Fig. 2>와 같다. 분말입자의 형태는 구형으로 평균 입도는 $3.62\mu\text{m}$ 이었고(a), 분말입자와 입자 사이에는 스테아린산 아연으로 결합된 형태를 볼 수 있었다(b).

소결한 시편과 로스트 왁스법으로 주조한 시편의 표면기

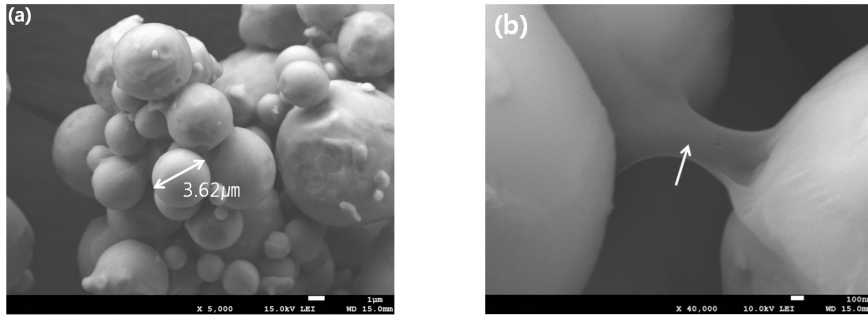


Fig. 2. SEM micrograph of Co-Cr-Mo powders; (a) $\times 5,000$ (b) $\times 40,000$

포의 형상과 크기는 <Fig. 3>과 같다. (a)(b)(c)는 분말야금 공법으로 제조한 시편의 단면형상이며, (d)(e)(f)는 로스트 왁스법으로 주조 후 공냉시킨 조직이고, (g)(h)(i)는 주조 후

주조체가 응고하는 즉시 얼음물로 급냉 한 후의 단면 상태로써 각각 250배, 2,000배, 10,000배로 확대한 기포의 형상이다. 기포의 크기 측정결과는 <Table 2>와 같다.

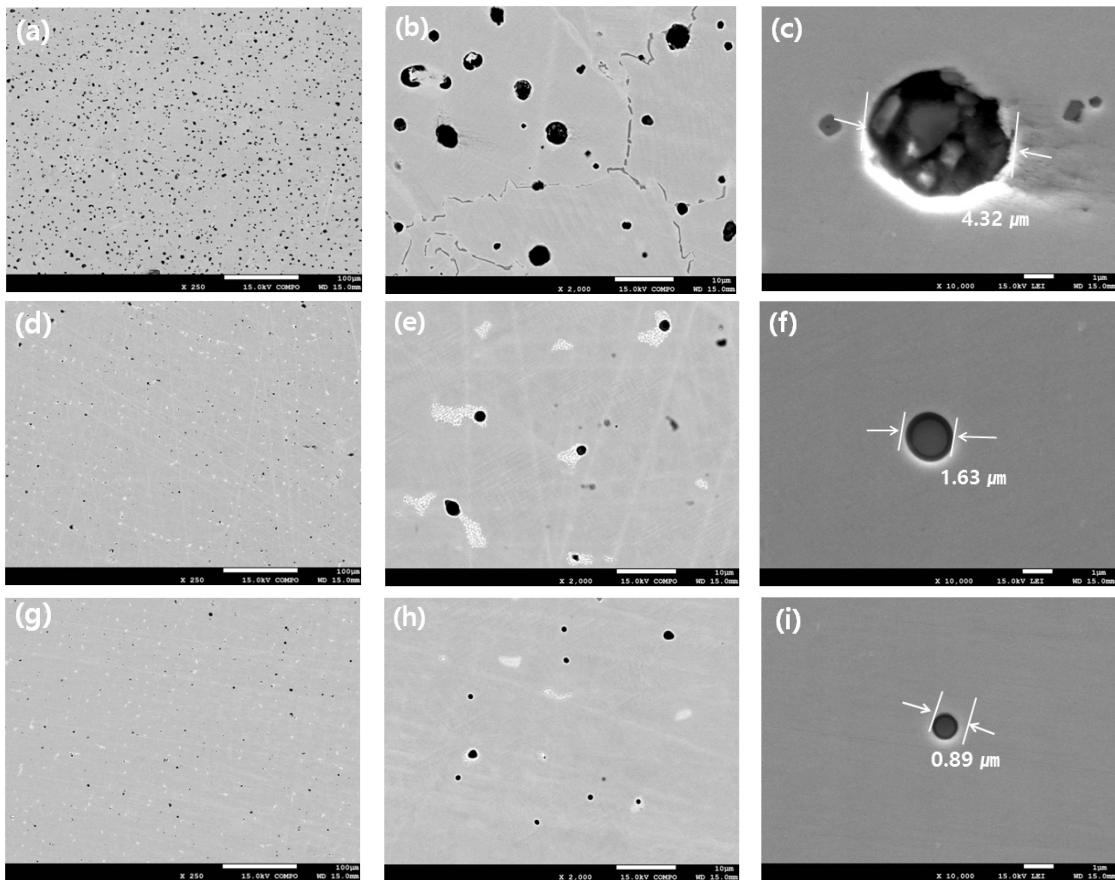


Fig. 3. Microstructure of sintering and casting alloys

(a)(b)(c) : after sintering (a): $\times 250$ (b): $\times 2,000$ (c): $\times 10,000$
 (d)(e)(f) : air cooling after casting (d): $\times 250$ (e): $\times 2,000$ (f): $\times 10,000$
 (g)(h)(i) : water cooling after casting (g): $\times 250$ (h): $\times 2,000$ (i): $\times 10,000$

Table 2. Pore size analysis of sintered and casting alloys
(Unit: μm)

After sintering	Air cooling after casting	Water cooling after casting
4.32 ± 1.02	1.63 ± 0.63	0.89 ± 0.21

소결한 시편(a)은 적은 기포들이 전체 표면에 균일하게 형성되어 있어 분말 사이의 기공이 완전 치밀화가 안 되어 있음을 알 수 있었고, 주조한 시편(d)(g)의 기포는 주조 후 응고수축에 의해서 발생한 것을 알 수 있었다. 기공의 양은 소결한 것이 주조한 것보다 더 많았다. 기공의 형상과 크기를 비교한 표면상태는 (c)(f)(i)와 같다. 소결체에서 나타나는 기공의 형상은 약간의 불규칙성을 갖는 구상이며 평균크기는 $4.32\mu\text{m}$ 였다. 기포내부에는 금속분말이 충분한 결합력을 가지지 못하고 응집되어있는 형상을 보이고 있으며 개방형의 기공형상을 나타내고 있다. 이와는 다르게 주조 후 공냉과 수냉한 주조체의 기포는 전형적인 폐쇄형 구상의 형상을 나타내었고, 평균 기포의 크기는 각각 $1.63\mu\text{m}$ 와 $0.89\mu\text{m}$ 로 나타났다. 주조 후 수냉한 주조체의 표면상태가 가장 우수하였다.

2. EDS 정량분석

Co-Cr-Mo 합금 분말을 분말야금공법으로 소결한 시편과 주조한 시편의 성분 변화를 EDS로 분석한 결과 <Fig. 4> 주조한 시편에서 Mo성분이 다소 감소하는 경향을 보였다(Table 3).

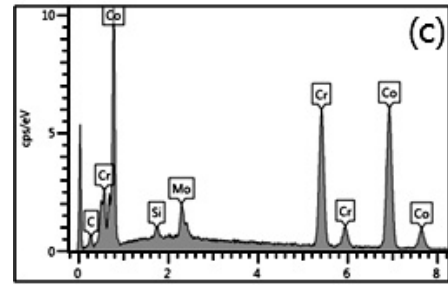
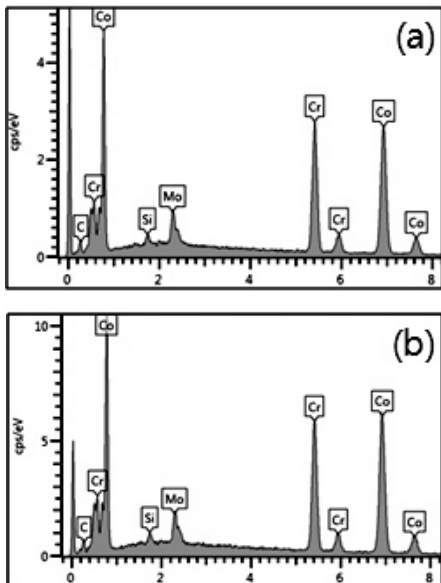


Fig. 4. Results of EDS analysis for Co-Cr-Mo sintering and casting metal

- (a): after sintering
- (b): air cooling after casting
- (c): water cooling after casting

Table 3. Chemical composition of Co-Cr-Mo alloy (wt%)

Sample	Co	Cr	Mo	C	Si
After sintering	62.55	27.98	5.16	3.80	0.52
Air cooling after casting	63.90	27.22	4.60	3.74	0.55
Water cooling after casting	63.83	27.56	4.69	3.38	0.54

3. 상변태 특성조사

분말야금법으로 금속분말을 소결하는 과정에서 상변화에 의한 반응온도를 측정하기 위하여 열분석시험을 한 결과 400°C 에서 발열반응이 일어났으며, 1150°C 에서 발열반응이 일어났다(Fig. 5). 따라서 1150°C 이상에서 소결이 진행되기 시작하였으며, 적정 소결온도는 1300°C 인 것으로 판단된다.

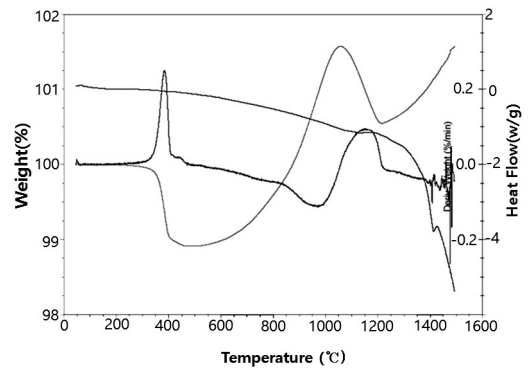


Fig. 5. DSC analysis of Co-Cr-Mo sintering metal

4. 경도시험

소결한 시편과 주조한 시편에 대해서 경도시험을 한 결과는 <Fig. 6>과 같다. 소결한 시편과 주조 후 공냉한 시편의 경도는 각각 290 Hv로 유사하였으나 주조 후 수냉한 시편의 경도는 313 Hv로 다소 증가하였다.

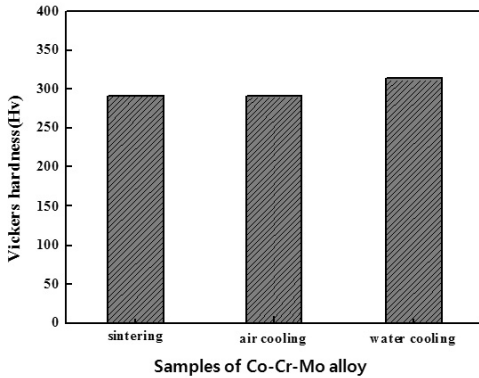


Fig. 6. Vickers hardness for Co-Cr-Mo alloys

IV. 고찰

금속재료를 가열해 최종결과물을 제작하는 대표적인 방식으로는 주조법과 분말야금법이 있다. 주조법은 금속을 용해하여 제작하는 공정이지만 분말야금공법은 금속분말을 가압한 후 용점이하의 온도에서 소결하여 제작하는 공정으로 복잡한 공정 없이도 복잡한 정밀형상을 만들 수 있는 장점과 넓은 조성의 합금화를 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 금속분말을 제조하는 대표적인 방법은 주로 분사법이 사용되는데, 분사법은 용융된 금속에 가스 또는 액체(주로 물을 사용하나 이 경우는 불활성 가스를 사용)를 충돌시켜, 충돌 모멘텀 에너지를 이용하여 미세한 액적을 형성시키고, 이 액적을 응고시켜 분말을 제조하는 방법이다. 이 방법은 구형의 분말을 대량 생산할 수 있는 장점이 있다.

분말을 이용하여 각종제품을 제조하기 위해서는 먼저 분말에 소정의 형상을 부여하지 않으면 안 된다. 이를 위해 분말을 성형용 금형 내에 충전한 다음 프레스로 가압하여 성형된 블록을 제작한다. 금속분말을 압축 성형한 블록은 가공 후 소결을 거쳐 최종 결과물을 완성하게 된다. 금속분말을 압축성형 한 블록의 장점은 메탈블록 대

비 절삭기구의 소모량을 현격하게 감소시키는 것과 압분체 내의 각 분말 입자간의 결합은 기계적으로 서로 맞물려 있는 것에 기인 한 것이기 때문에 그 강도는 매우 낮아 절삭가공이 용이하다는 것이 큰 장점이다. 주조법은 납형을 매몰, 소환을 통해 왁스제거, 금속주조의 과정을 거치게 되며, 여러 가지 부수적 소재들이 필요하며 많은 부분을 사람의 손으로 해결해야한다. 반면 소결금속의 경우에는 CAD로 디자인 후 CAM장비로 가공하여 소결로에서 소결하면 작업이 완료된다. 이로 인하여 소결 방법으로 금속을 가공하는 공정이 한결 간소한 공정으로 진행되는 장점도 있지만, 재료원가 및 장비가 고가인 단점도 있다. 본 연구에서는 최근 금속분말을 압축 성형한 연질금속블록을 가공하여 소결하는 방식으로 보철물을 제작하는 분말야금공법과 기존의 방식인 주조법에 의해 제작된 시편을 비교 평가하였다. Co-Cr-Mo분말을 혼합기에 넣고 스테아린산 아연(3wt.%)을 결합제로 사용하여 제작한 CAM/CAM용 압축성형체 분말입자의 형태는 구형이었으며 분말입자의 평균 입도는 3.62 μ m였다. 분말입자와 입자 사이에는 스테아린산 아연으로 결합된 형상을 볼 수 있었다. 소결한 시편과 주조한 시편의 표면기포의 형상과 크기를 비교해보면 소결한 시편은 적은 기포들이 전체 표면에 비교적 균일하게 형성되었는데(Tajuddin et al, 2008) 이는 본 실험의 결과와 일치하였다. 주조한 주조체의 표면기포는 응고수축에 의해서 발생한 것으로 기포형성은 소결한 것이 주조한 것보다 더 많이 발생하였다. 기포의 형상을 비교해보면 주조체의 표면에 형성된 기포는 폐쇄형의 전형적인 구형으로 나타났지만 소결한 시편에서 나타나는 기포의 형상은 다소 불규칙한 구형을 형성하였으며 개방형 기포로 나타났다. 분말야금공법으로 소결한 시편에서 형성된 이러한 기포는 치과 임플란트에서 임플란트의 지대주(fixture)가 주위 골유착과 연조직반응에 필요하다(Mour et al, 2010)는 실험결과를 고려해 볼 때 오히려 장점으로 활용가치가 있다고 사료된다. 소결체에서 나타나는 기포의 형상은 불규칙한 구상이었으며 기포의 크기는 Wilson et al, 2010 등이 연구한 결과에서는 평균 입경이 8.2 μ m 였으나 본 실험에서는 4.32 μ m로 미세하였으며, 기포내부에는 금속분말이 충분한 결합력을 가지지 못하고 응집되어있는 형상을 보이고 있었다. 주조 후 공

냉과 수냉한 주조체의 표면기포는 소결한 시편에서 나타나는 기포의 형상과는 달리 전형적인 구상의 폐쇄형 다공성 기포로 나타났으며, 평균 기포의 크기는 각각 1.63 μm 와 0.89 μm 로 주조 후 수냉한 주조체 표면의 상태가 가장 우수하였다. 이처럼 기포의 크기가 감소한 것은 열처리에 의한 조직미세화 효과(Kim wy et al, 2006)의 영향이라고 생각된다. Co-Cr-Mo합금을 주조후 성분 변화를 분석한 결과 주조 후 Mo 성분은 무게비로 5.16%에서 4.60%로 약 0.5% 정도 감소하는 경향을 보였다. 이는 보철물의 고용체강화에 영향을 줄 것으로 생각되어 향후 이에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. Co-Cr-Mo 금속 분말을 소결 시 1차 발열반응은 400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 일어났으며, 2차 발열반응은 1150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 일어났는데 이는 금속분말의 결합제가 소결과정에서 소환되어 제거되는 온도가 400 $^{\circ}\text{C}$ 이며, 압축성형된 분말이 1150 $^{\circ}\text{C}$ 부터 소결이 시작됨을 알 수 있었다. 소결은 분말을 결합하기 위한 일반적인 기술에서 분말야금의 가장 마지막 단계(Eksi and Yuzbasioglu, 2007)로써 일반적으로 소결은 용융온도의 70~90%의 온도로 가열하면, 분말확산의 메커니즘으로 인하여 치밀화 되기 때문이다(Teoh et al, 2015). 분말야금으로 소결한 시편과 주조체의 시편의 경도시험 결과 두 시편의 경도는 Hv290수준으로 동일하였다. 이는 선행 연구 결과(Zuraidawani & Shamsul, 2008)와 비교해 볼 때 유사한 결과를 나타내었다. 하지만 주조 후 수냉한 시편의 강도는 313으로 경도는 다소 증가하였다. 주조 후 수냉한 시편은 냉각속도가 빨랐기 때문에 입자가 미세화되어 경도가 향상되어 나타난 것으로 사료된다. 향후 이에 대한 후속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 CAD/CAM용 Co-Cr-Mo합금을 분말야금공법과 주조법으로 제조하여 미세조직과 기계적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 분말야금공법으로 제조된 Co-Cr-Mo합금 소결체에 형성된 기포의 평균크기는 4.32 μm 였으며, 주조법으로 제

조된 주조체에 형성된 기포의 평균크기는 1.63 μm 로 분말야금 공법이 주조법보다 약2.5배 큰 기포가 형성되었다.

2. 분말야금으로 제조된 Co-Cr-Mo합금을 열분석한 결과 소결은 1,150 $^{\circ}\text{C}$ 부터 시작되었으며 최적의 소결온도는 1,300 $^{\circ}\text{C}$ 로 판단된다.

3. 분말야금공법과 주조법으로 제조된 Co-Cr-Mo합금의 비커스경도는 각각 290으로 유사하였으나, 주조 후 수냉 처리한 주조체의 비커스 경도는 313으로 주조 후 공냉 처리한 시편보다 증가하였다. 이는 수냉으로 인해 조직이 미세화되는 열처리 효과에 의한 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Bogna S, Marlis E, Rita H, Falko N, Josef S, Daniel E, Florian B. A novel CAM/CAM base metal compared to conventional CoCrMo alloy. An in-vitro study of the long-term metal-ceramic bond strength. OHDM 13(2), 446-452, 2014.
- Eksi AK, Yuzbasioglu A. Effect of sintering and pressing parameters on the densification of cold isostatically pressed Al and Fe powders. Materials and Design, 28(4), 1364-1368, 2007.
- Ju SH. Microstructure and mechanical properties of Al-Si/SiC composites fabricated by powder metallurgy. Department of material science and engineering, graduate school pusan national university, 1-79, 2012.
- Kim JH, Kim WS, Kim BK. Evaluation of marginal gap of fixed dental prostheses fabricated by soft metal material using dental CAD/CAM. J Dent Hyg Sci, 14(3), 349-355, 2014.
- Kuzucu V, Ceylan M, Celik H and Aksoy I. Phase investigation of a cobalt base alloy containing Cr, Ni, W and C. J Mat Proc Tech,

74, 137-141, 1998.

Kim WY, Kim HS, Akihiko Chiba. Effects of hot-forging reduction ratio on microstructure, mechanical properties and dry friction wear behavior of Co-29Cr-6Mo alloy without Ni and C addition for biomedical applications. Korean Journal of Metals and Materials, 44 (6), 432-440, 2006.

Mour M, Das D, Winkler T, Hoenig E, Mielke G, Morlock MM, Schilling AF, Advances in porous biomaterials for dental and orthopaedic applications. Materials, 3(5), 2947-2974, 2010.

Spriano S, Veme E, Faga MG, Bugliosi S, Maina G. Surface treatment on an implant cobalt alloy for high biocompatibility and wear resistance. Wear, 259, 919-925, 2005.

Tajuddin MIM, Shamsul JB, Noraziana P. The effect of sintering temperature to the microstructure of PM F75(Co-Cr-Mo)alloy. Malaysian Metallurgical Conference, 435-439, 2008.

Teoh SH, Agrawal M, Bruijn JD, Tabata Y. Engineering materials for biomedical application. BEPS 1, 1-31, 2015.

Wilson CR, Luiz RB, Lirio S, Gerhard K. Powder metallurgical processing of Co-28%Cr-6%Mo for dental implants: Physical, mechanical and electrochemical properties. Powder Technology, 206(3), 233-238, 2011.

Zuraidawani CD, Shamsul BJ. The influence of sintering time on the physical properties of F-75 (Co-Cr-Mo) alloy. Malaysian Metallurgical Conference, 371-376, 2008.