

## 치과 주조용 Co—Cr—Mo alloy에서 전해용액 온도와 전해시간에 따른 전해연마의 특성

장 재 영, 송 재 상, 나 정 숙\*  
김천대학교 치기공학과, 진주보건대학교 치기공과

## Effect of polishing solution temperature and times by electro-polishing in dental casting Co-Cr-Mo alloy

Jae-Young Jang, Jae-Sang, Song, Jung-Sook Nah\*

Department of Dental Technology, Gimcheon University, Gimcheon  
Department of Dental Technology, Jinju Health College\*

### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate to effect of the electro-polishing condition according to electrolyte temperature and current and polishing time on surface morphology and composition by scanning electron microscopy(SEM) and energy dispersive X-ray spectrometer(EDS) in dental casting Co-Cr-Mo alloys.

**Methods:** 16 specimens were divided into 4 groups which have each 4 specimens. The size of specimens were 10 mm wide and 5 mm height. the electro-polishing of specimens are by polishing solution temperature and times in Co-Cr-Mo alloy by SEM and EDS analysis.

**Results:** The results shows that most smooth surface is obtained when electro-polishing is performed at 49°C for 30-40sec with electro gap of 10mm and 8 voltage.

**Conclusion:** The morphologies of specimens after electro-polishing were scratch absent and significant between at 40°C for 45sec and at 49°C for 45sec.

○ **Key words :** electro-polishing solution, temperature, electron polishing time, surface morphology

교신저자	성명	장 재 영	전화	010-3851-5739	E-mail	jeknock@yahoo.co.kr	
	주소	경상남도 진주시 상봉서동 1142 진주보건대학교 치기공과					
접수일	2012. 5. 4		수정일	2012. 6. 25		확정일	2012. 6. 26

## I. 서 론

Co-Cr합금은 우수한 생체적합성과 적당한 기계적 성질과 내식성을 가지고 있어 생체재료로 응용되어 왔다. 이러한 Co-Cr합금이 의료용으로 사용되기 위해서는 표면개질특성을 향상시켜야 한다. 또한 기계적 가공방법은 공작물 표면의 미세한 가공흔적을 근본적으로 청정하게 얻을 수 없다. 따라서 비접촉 연마방식 (electro-polishing)이 필요하다. 현재 의료용으로 사용되는 Co-Cr 합금은 stent, implant, hip-joint 및 치과의 보철로 널리 상용화 되어 있다. 표면개질특성을 개선시키는 방법으로는 여러 가지가 있지만 본 실험에서 사용한 방법은 현재 치과기공소에서 사용하는 전해연마를 이용한 방법이다. 전해연마는 전기적 힘을 이용하여 가공물 표면에 있는 돌출부위나 석출물, 개재물, 불순물 등의 표면특성을 저해하는 물질을 제거하는 방법이다. 기계적 연마는 다양하고 여러 방법으로 인하여 형태가 복잡하게 이루어져 있는 공작물의 표면에 미세 스크레치나 불순물을 제거하는데 어려움이 있으며, 표면에 정전기 같은 전기적 성질이 남아 있어 표면 개선에 좋지 않다. 따라서 전해연마를 통해 표면을 개질하면 부식이나 피로수명특성이 좋아지는데 표면에 산화막이나 부동태막의 형성을 빠르고 강하게 형성시켜 부식저항성을 증가시키고 표면이 평탄해지고 미세 스크레치나 개재물 등의 영향을 제거하여 피로수명도 증가 하는 것으로 나타난다(박제근, 2010).

Co-Cr-Mo합금은 크게 두 가지로 주조합금인 Co-Cr-Mo합금과 단조합금인 Co-Cr-W-Ni합금이 있으며 최근에는 MP35N합금(Co-Ni-Cr-Mo)이라고 하는 합금도 사용되고 있다. 이들 합금의 화학조성과 기계적 특성은 Co-Cr-Mo합금은 1350℃~1450℃에서 주조하며, 불균일하고 조대한 결정립과 편석조직을 갖는다. 미세조직을 보면 수지상 중심부는 Co-rich 조성으로 구성된다. 또한 이와 같은 수지상용고 편석의 특징으로 주조결합인 미세기공이 많이 형성된다.

Co-Cr-Mo 주조합금은 가열시 약 890℃의 온도에서 조밀육방정(hcp)에서 면심입방정(fcc) 구조로 동소 변태를 겪게 되는데, 이때 변태된 fcc구조는 냉각을 해도 유지

가 된다. 이를 다시 890℃ 이하의 온도에서 소둔하면 hcp 구조의 band조직이 나타나게 되며, band내에는  $M_{26}C_6$  탄화물이 많이 형성되는 것을 관찰할 수 있다. Co-Cr-Mo 주조합금의 공정변태온도는 1,235℃로 합금이 이 온도 이상으로 가열되면 수지상간이나 입계부위 등 공정상이 존재하는 국부적인 영역이 재 용해 된 후, 냉각 시 시그마, 감마,  $M_{26}C_6$  탄화물 등 취약한 상들이 형성된다. 이 상들은 연성을 크게 감소시키는 것은 물론 내식성도 저하시키므로 Co-Cr-Mo합금의 용체화 온도는 대략 1,225℃로 하고 있다.

전해연마는 전기-화학적 반응을 이용한 연마법으로 공작물을 양극 전극으로 하고 대극을 음극으로 하여 양극 표면에서의 금속용출을 이용해 표면 평판도, 광택도, 내식성 등을 향상시키는 연마법이다. 전극과 공작물의 비접촉에 의한 연마법으로 기계적인 가공이 어려운 복잡한 형상, 고경도, 난삭재 연마에 적합하다. <Fig. 1>와 같이 적절한 전해액속에 양극측에 공작물과 음극에 대극을 넣고 전류를 흘리면 양극 측에서는 미량의 산소가스가 발생하면서 전기저항에서 기인하는 전류밀도의 차이로 돌출부위 금속의 용해가 이루어지고, 음극 측에서 용해작용 없이 다량의 수소가스가 발생한다. Ben Franklin은 어떤 형상의 금속에 전기를 인가하면 모서리 뾰족한 부분 그리고 불규칙한 부분에 전류가 집중 한다는 결과를 증명한 바 있다. 전해연마는 근본적으로 금속의 용출을 이용하는 가공법이므로 이 결과를 도입하면 양극 산화층에서 돌출된 부분에 전류가 집중하여 골부분에 비해 빠른 금속용해가 이루어지는 현상을 나타낸다(김정근 외, 2001).

본 연구에서 사용된 주조합금은 현재 의료용으로 사용되고 있는 합금을 사용하였으며 기존의 전해연구에서는 주로 전류밀도에 따른 금속학적 측면에서의 표면조직 관찰이 주목적이었으나 본 연구에서는 가공성을 분석하고자 하였다. 따라서 Co-Cr-Mo 합금의 최적 전해연마가공 특성들 중 전류밀도, 가공시간, 전해액 온도, 전극간극, 전 가공 표면 거칠기 중에서 전해액온도, 전극간극에 따른 전해 가공시간 변화의 영향성을 평가 연구하여 효율적이고 메뉴얼화 된 전해연마와 표면조도 변화를 통한 기계적, 화학적 변화를 연구하고자 한다.

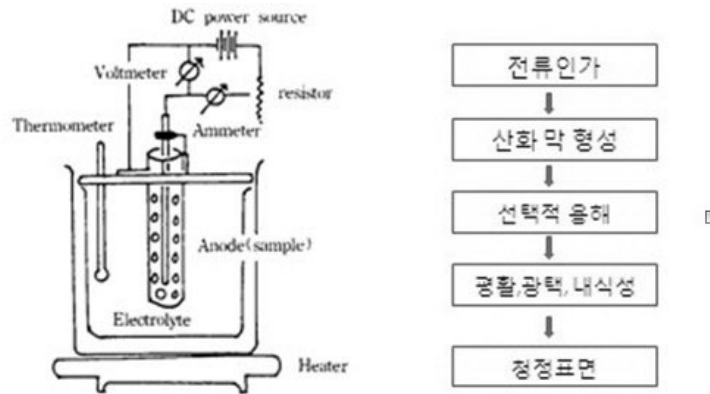


Fig. 1. Schematic diagram of electro-polisher used in this experiment

## II. 연구 방법

### 1. 연구재료

시험용 시편제조는 Degudent사의 Biosil-f Co-Cr-Mo합금 ingots를 사용하였고 조성은 <Table 1>와 같다. 시편제작 wax는 (주)대동산업의 Stippled 0.5mm wax를 사용하였다. 복제모형 제작 및 매몰재는 인산염계 파삭 매몰재(BC-BEST P-1000, Korea)를 사용하여 통법으로 매몰하였다. 소환용 furnace(Seki, Korea)로 850℃ 소환 후 30분 계류하였다. 시편주조는 고주파주조기(Neurodun Easyti HD, Italy)로 용해 주조하였다. 주입

선 절단, 연삭제로 연마, alumina oxide sand blasting sanding 처리 후 정밀절단기(HPC-20, Korea)를 사용하여 가로 10mm, 세로 10mm, 두께 1mm로 절단하였다. 각 시편은 4군으로 나누었다. A군 전해온도 상온 25℃이고 B군은 전해용액온도 30℃, C군 전해용액온도 40℃, D군은 전해온도 49℃로 설정하였다. 전해용액은 Ticonium 2000(Ticonium, USA)을 사용하여 제조사의 권장 전해용액온도 49℃를 조건으로 실험하였다. 전해연마 전 시편의 무게를 전자저울(D99-09-030, Switzerland)을 이용하여 각 시편의 전해연마 실험전후의 무게변화를 알아보기 위해 전자저울로 계량하였다.

Table 1. Composition in mass% of Co-Cr-Mo alloy (Biosil-f)

성분	Co	Cr	Mo	Si	Mn	C
조성	64.8	28.5	5.3	0.5	0.5	0.4

### 2. 연구방법

#### 1) 전해연마기(electro-polisher)의 제작

전해연마 가공특성을 실험하기 위하여 아래와 같이 실험 장치를 구성하였다. 가로, 세로, 두께 10mm×10mm×1mm 형태의 Co-Cr-Mo 전용합금을 전해연마하기 위하여 전해연마기기(Woo sung, Korea) 실험 장비를 사용하였다. 전압은 8V로 고정시켜 전류변화는 하지 않았다. 전류의 제어는 전원공급 장치를 이용하여 고정시켜 실험을 진행하였다. 전해연마 시 동일한 전극간극을 유지하기 위하여 상하좌우로 움직임이 가능한 고정 장치를 설치하였다. 전

해액은 황산·염산·인산 혼합액을 사용하였으며 시편의 내 외측을 전해연마 할 수 있도록 제작하였다. 온도보정은 Hot plate(대광전기S.N.I, Korea)를 사용하여 전해액 온도를 조절하였다. 전해용액의 온도변화는 전자온도장치(HI93530 K-thermocouple Thermometer, Italy)를 사용 온도변화를 측정하였다. 모든 시편은 전해연마 전, 후 전자저울을 통해 무게변화를 측정하였다. 전해연마 전, 후의 PH 변화량은 PH/SE PH-240L장치를 사용 측정하였다. 전해연마는 전해액의 온도변화와 전해시간의 변화에 따라 표면처리 전 시편과 표면처리 후 시편은 표면

변화를 조사하기 위하여 주사전자현미경(JSM-6380LV, Japan)로 관찰하였고 화학적 변화를 조사하기 위하여 EDS(Dispersive X-ray spectrometer)를 이용하여 성분 분석하였다.

2) 전해연마에 사용되는 전해액

Co-Cr-Mo 합금의 전해연마에 사용되는 전해액은 황산과 염산, 인산을 혼합하여 사용하였고 <Table 2>에 조성을 나타내었다. 본 실험에 사용되는 전해액의 온도는 상온 25℃, 30℃, 40℃, 49℃. 오차 범위 내에서 진행하였으며 전해연마 실험 시에 발생 되는 열에 의한 변화는 무시하였다.

Table 2. Composition of electrolyte condition

Composition	Mass(%)
60% Sulfuric acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	60%
37% Hydrochloric acid (HCl)	10%
85% Phosphoric acid (HPO <sub>4</sub> )	10%

3) 전해연마 시행

전해연마 전 시편 표면의 불순물을 제거하기 위해서 2차 증류수로 세척 후 건조 시켜 시편을 전해액에 담고 전류를 정해진 시간만큼 통과시켰다. 모든 시편은 전해연마 후 acetone solution으로 세척하였다. 실험 조건 중 전압은 8V로 전류는 고정하였다. 전해액은 일반적으로 stainless steel 전해연마에 사용되는 98% Sulfuric acid(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 60%와 37% Hydrochloric acid(HCl) 10%와 85% Phosphoric acid(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 10%로 사용되는 혼합액을 사용하였다. 시편의 길이는 가로10mm, 세로10mm, 두께 1mm로 정하였다. 이렇게 얻어진 시편들은 다음과 같이 나타내었다. A군 전해온도 상온25℃에서 전해시간 15, 25, 30, 45sec이고, B군은 전해용액온도 30℃에서 전해시간은 15, 25, 30, 45sec이었으며, C군 전해용액온도 40℃에서 전해시간 15, 25, 30, 45sec이었다. D군은 전해용액온도 49℃에서 전해시간 15, 25, 30, 45sec로 <Table 3>로 설정하였다. 모든 실험조건에서 전극간 거리는 10mm로 정하였다. 전해액의 온도는 상온 실내기준 25℃에서 Co-Cr-Mo 요구 전해온도 49℃로 정하여 전해온도와 전해시간을 달리하여 실험하였다. 또한 모든 시험시편들은 전해

연마 전, 시편 무게변화를 관찰하기 위하여 전자저울을 이용하여 계량하였다.

Table 3. Electro-polishing test condition

전해시간(sec)변화	15sec
	25sec
	30sec
	45sec
전 압(V)	8V
전극간거리(mm)	10mm
전해용액온도(℃)	25℃
	30℃
	40℃
	49℃

전압은 일정하게 8V로 유지시키며 전해온도를 25℃에서 변화시키면서 표면상태를 SEM을 이용하여 관찰하였다. 전해온도가 낮은 25℃와 전해유지 시간이 짧을 때에는 돌출부위나 개재물과 같은 요철부위는 EDS를 사용하여 성분을 분석하였다.

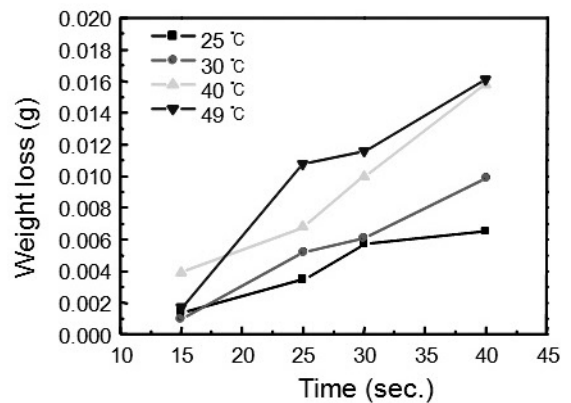


Fig. 2. Plot of specimens weight-loss versus time for electro-polishing

III. 결 과

1. Co-Cr-Mo 합금의 SEM 관찰

Co-Cr-Mo 합금의 표면조직을 SEM을 사용하여 나타내었다. <Fig. 3>은 표면처리 전, 후의 합금의 표면을

SEM으로 관찰한 것이다. (a)는 전해 전 합금이고 (b)는 전해 후 합금으로 두 합금 표면을 SEM으로 표면 관찰한 것이다. (a)에서는 표면 거칠기, 기계가공 흔적 등이 뚜렷이 나타나며 (b)에서는 전해 연마 전보다 크게 향상된 가공 표면을 나타내고 있다. 이러한 표면은 높은 기계적 성질과 내식성, 내열성 등의 화학적 성질을 향상시키는 것으로 사료된다(이지환 외, 1993).

〈Fig. 4〉는 상온인 25℃에서 15, 25, 35, 45sec로 전극 간거리 10mm, 전해용액온도, 시간의 증가에 따라 실험금속의 거칠기가 향상되어 표면이 평탄화 되었다.

〈Fig. 5〉는 30℃에서의 실험에서는 더욱 개선된 금속 표면을 관찰할 수가 있다.

〈Fig. 6〉은 40℃에서의 금속표면을 나타낸 것으로 더욱 평활한 표면을 나타내고 있다. 전해시간이 짧은 조건에서도 평활한 표면을 관찰 할 수 있다.

〈Fig. 7〉은 T2000 전해액 제조회사의 권장요구 전해온도 49℃의 금속표면 상태를 나타낸 표면상태다.

〈Fig. 6〉의 표면사진과 〈Fig. 7〉의 표면사진에서 전해 온도와 전해시간과의 조건에서 표면의 변화가 뚜렷한 차이를 나타내지 않고 있지만 시편의 급격한 무게 손실을 나타내고 있다. 따라서 전해액 제조사에서 권장 요구하는 전해온도 49℃와 유사한 표면결과를 보다 낮은 전해온도 조건에서 얻을 수 있었다. 이는 전극간 거리의 조건이 전해연마 특성향상을 개선시킬 것으로 사료된다. 또한 전해연마 시 발생하는 시편의 무게 손실을 감소시키면서 평탄한 결과를 얻을 수 있었다.

〈Fig. 8〉은 EDS 성분분석에서 나타나는 계재물과 불순물의 생성은 전형적 구조결함으로 나타나는 현상이다. 전해연마 조건향상에 따라 Cr량이 증가되어 나타났다. 이는 금속의 내식성 향상을 증가시키는 것으로 알려졌다.

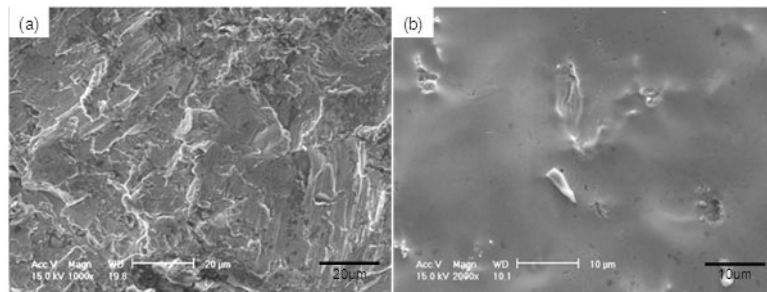
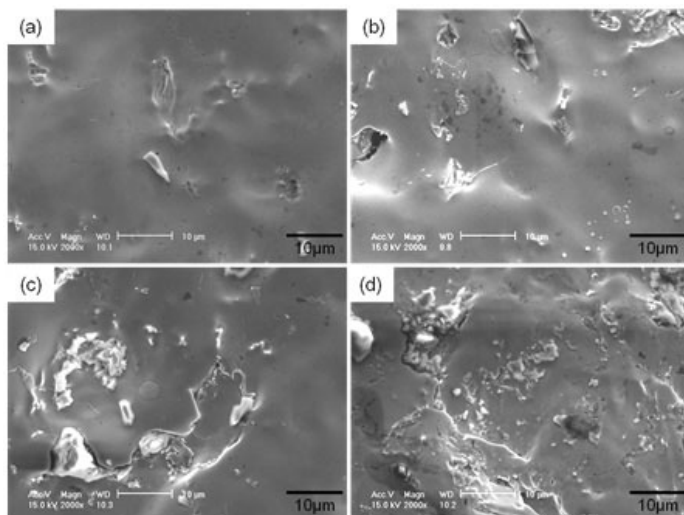
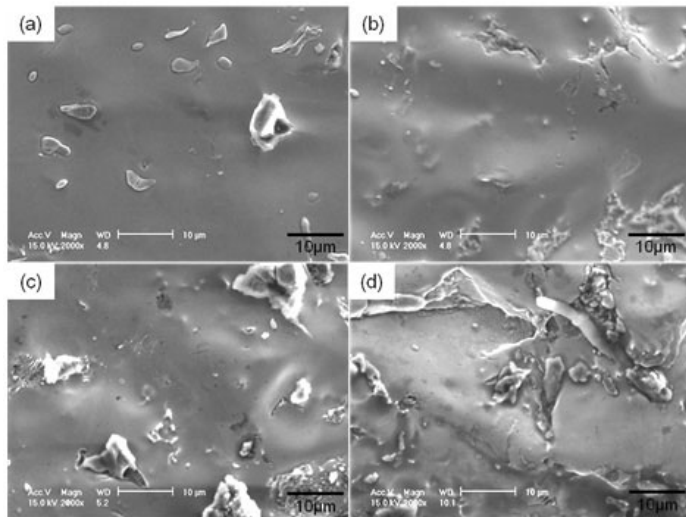


Fig. 3. SEM images of (a) Co-Cr-Mo alloys before and (b) Co-Cr-Mo alloys after electro-polishing



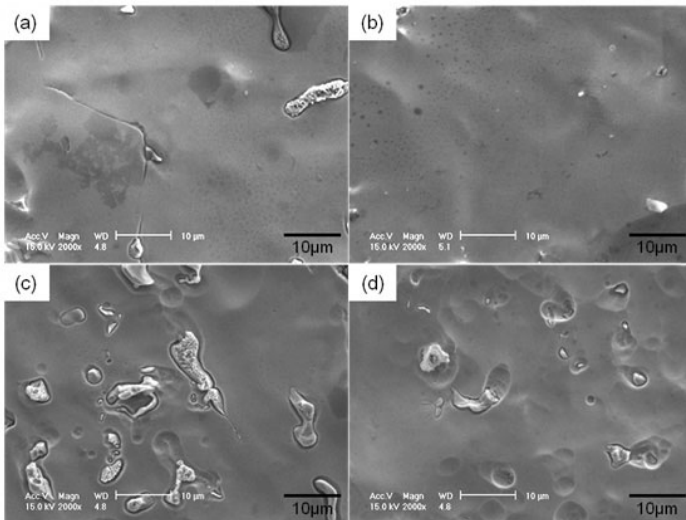
(a) solution treatment at 25°C for 15sec  
 (b) solution treatment at 25°C for 25sec  
 (c) solution treatment at 25°C for 30sec  
 (d) solution treatment at 25°C for 45sec

Fig. 4. SEM images of Co-Cr-Mo alloy in polishing solution for 25°C from 15sec to 45sec soaking



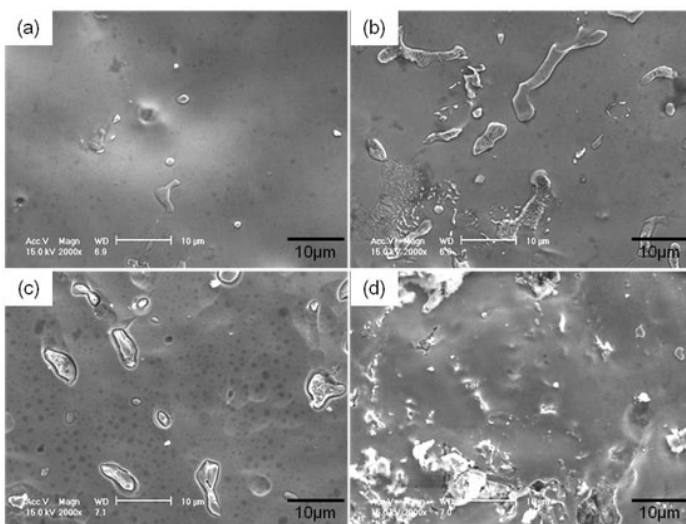
(a) solution treatment at 30°C for 45sec  
(b) solution treatment at 30°C for 30sec  
(c) solution treatment at 30°C for 25sec  
(d) solution treatment at 30°C for 15sec

Fig. 5. SEM images of Co-Cr-Mo alloy in polishing solution for 30°C from 40sec to 15sec soaking



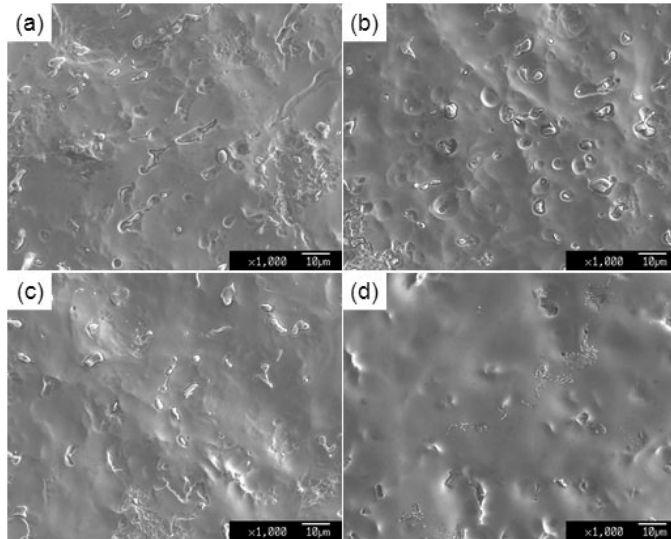
(a) solution treatment at 40°C for 45sec  
(b) solution treatment at 40°C for 30sec  
(c) solution treatment at 40°C for 25sec  
(d) solution treatment at 40°C for 15sec

Fig. 6. SEM images of Co-Cr-Mo alloy in polishing solution for 40°C from 40sec to 15sec soaking



(a) solution treatment at 49°C for 45sec  
(b) solution treatment at 49°C for 30sec  
(c) solution treatment at 49°C for 25sec  
(d) solution treatment at 49°C for 15sec

Fig. 7. SEM images of Co-Cr-Mo alloy in polishing solution for 49°C from 40sec to 15sec soaking



(a) solution treatment at 25°C for 45sec  
 (b) solution treatment at 30°C for 45sec  
 (c) solution treatment at 40°C for 45sec  
 (d) solution treatment at 49°C for 45sec

Condition	M/P	Composition(at%)				
		Cr	Co	Mo	C	P
20°C 45sec	Matrix Particle	31.19	65.89	2.92		
		24.44	27.72	11.05	31.66	5.13
35°C 45sec	Matrix Particle	31.79	65.13	3.07		
		38.62	30.38	8.03	22.27	
40°C 45sec	Matrix Particle	32.81	63.83	3.36		
		33.16	32.20	11.07	20.08	5.50
49°C 45sec	Matrix	29.31	67.86	2.83		

Fig. 8. EDS analysis of Co-Cr-Mo alloy composition of matrix and particle

## 2. Co-Cr-Mo 합금의 EDS 분석

〈Fig. 8〉은 개재물의 EDS 이미지다. 깨끗하고 평판화된 matrix위에 알맹이 모양의 개재물이 존재하는데 성분 분석 하였다. Matrix 부분은 Co, Cr의 균일한 조성을 나타내고 있다. Particle인 개재물에서는 C, Cr, Mo이 편재해 있는 것으로 나타났다(Poncin, 2004).

이는 주조합금의 전형적인 특징으로 알려져 있다(이지환 외, 1993).

이러한 개재물과 기지(matrix)사이에서 생기는 틈은 부식이나 기계적 성질에 좋지 않은 영향을 미친다(Walke 외, 2007).

전해용액 온도나 전해유지 시간의 변화에 따라 개재물이 크게 형성되거나 제거되어 matrix에 pit이 모여 dimple의 형성을 관찰할 수 있다.

## 3. Co-Cr-Mo 합금의 무게변화

전해연마 시간과 온도의 변화에 따라 실험시편의 무게 감소는 〈Fig. 2〉에서와 같이 거의 정비례적으로 나타났다. 전해용액 온도가 40°C에서 전해시간이 증가할수록 시편의 무게 손실이 증가됨을 나타내고 있다.

## IV. 고찰

치과주조용 합금에 대한 전해연마 가공연마에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다.

전해연마는 연마작업에서 생길 수 있는 표면변형이 생기지 않고 복잡한 모양을 가진 가공하기 어려운 부분을 연마할 수 있는 장점이 있다. 설비가 비교적 간편하며 연

마시 시간이 짧다. 단점으로는 연마량이 적어 깊은 흠집 제거가 어렵고 각이 진 복잡한 형태의 연마가 곤란하다. 따라서 치과보철물과 같은 복잡한 형태의 전해연마에는 보조음극의 사용과 전해탱크를 음극으로 사용한 전해연마를 한다.

본 실험에서 모든 시편에서 전해연마 전 표면에 존재하는 요철부분과 scratch가 연마에 의해 제거되어 매끄러운 상태를 나타냈다. 이는 전해연마 시 시편표면의 s-scratch가 없어지고 금속 및 금속합금의 표면층이 제거되어 광택정도가 향상되고 표면에 film이 생겨서 부식으로부터 금속을 보호할 수 있다(Vander Voort, 1996).

Petzow의 실험 결과에 의하면 전해액의 온도가 상승하면 전해연마 시 양극반응이 촉진되어 시편의 용해속도가 커지므로 연마량이 증가한다고 하였다(Kapila, 1990).

또한 전류, 전해액온도 등의 연마조건이 동일하다면 전해연마 시간이 증가함에 따라 연마량이 증가한다(Vander Voort, 1996).

본 실험금속의 모든 모서리부분이 전해연마 후 둥그러진 형태변화가 관찰되었다.

이는 오목부분은 볼록 부분에 비해 금속이온의 이동과 확산이 잘되지 않아 금속이 온 농도가 커짐으로 농도분극 전압이 생겨 전류가 적게 흘러 오목부분의 용해가 억제되고 볼록 부분의 선택적 용해가 원활하게 된다는 농도분극 효과로 판단된다.

상온 25℃, 30℃에서의 전해연마실험에서 불순물과 계재물의 크기가 조대하였지만 전해시간이 증가될수록 표면의 평탄화가 향상되었다. 또한 연마량의 유의한 차이도 나타나지 않았다. 온도차를 5℃로 두고 실험한 것은 전해온도와의 미세한 연관성을 실험하고자 하였다. 전해용액온도가 증가될수록 불순물과 계재물의 크기가 작아지면서 pit, dimple의 모양이 두드러지게 나타났다. 이 또한 실험금속의 기계적성질을 나쁘게 하는 것으로 판단된다. 전해용액온도가 증가될수록 실험금속의 질량 감소가 급격하게 일어났다. 이는 전해용액온도 상승 시 발생하는 양극산화반응이 전극간거리의 차이에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 전해용액온도 상승으로 심한 전해용액 냄새와 가스발생으로 특별한 환기장치의 필요성과, 온도보정장치, 냉각장치, 전해용액 교반기를 가진 정밀한 전해

기기의 필요성도 판단된다.

그리하여 가공방법 개선을 통한 전해연마, 조건 변화를 이용한 전해연마 실험을 하여 시편의 표면적에 따른 면당 재료손실 계산을 통한 목표전해 조건 지침서의 필요가 사료된다.

## V. 결 론

본 실험에서는 치과 주조용 Co-Cr-Mo 합금의 전해연마 가공특성을 전해액 온도와 전해시간에 따른 영향성을 연구한 실험이다. 전해연마의 여러 조건 중에서 전극간 거리에 따른 전해연마 특성 중 전해액 온도변화를 통한 효율적 전해가공 특성을 연구하여 가공특성 조건변화를 통한 전해연마 표면개질을 향상하고자 하였다.

1. 여러 가지 조건의 전해연마 변수 중에서 전압 8V, 전해온도 40℃와 49℃, 전해시간 45sec에서 표면에 개재물이나 불순물의 영향이 거의 나타나지 않았다.

2. SEM, EDS 실험에서 개재물이나 불순물이 관찰되어 성분분석 하였고 전해시간과 전해용액온도가 증가할수록 금속표면에 산화크롬막의 형성이 증가되었다.

3. 전해액 제조사가 요구하는 권장요구 전해연마 전해시간 5-15분, 전해온도 49℃에서 전해가공 조건을 전극간거리의 조건변화 10mm를 통해 전해시간 45sec, 전해용액온도 40℃에서도 안정된 조건을 가진 전해연마를 할 수 있었다.

4. 전해시간과 전해용액온도가 증가할수록 실험금속의 weight loss(질량감소)와의 관계에서 거의 정비례하는 것으로 나타났다. 또한 전해용액온도 49℃에서는 전해용액의 온도상승으로 심한 냄새와 gas가 발생하였다.

본 실험은 여러 가지 복잡한 모양을 가진 치과기공작업에 합당한 전해연마 요구조건 지침서의 필요성을 절감하고 정밀전해연마에 활용하고자 실험하였다. 또한 코발트,



크롬합금에 한정된 실험으로 조성의 변화에 따른 실험도 필요하다고 판단된다. 짧은 시간 부족한 여러 가지 조건으로 실험에 한계가 있었으며 많은 시간과 조건을 달리한 전해연마 실험을 통한 다양한 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 김정근, 박노진, 이상복. Metallografie 노드미디, 2001.
- 박제근. Co—Cr 합금에서 부식과 피로에 미치는 전해연마의 영향. 홍익대 금속과 석사 논문집, 2010.
- 이지환, 이정중, 김병일, 배차현. 비철금속재료. 원창출판사, 1993.
- Kapila S, Angolkar PV. Evaluation of friction between egewise stainless steel bracket and orthodontic wires of four alloys. J Orthod, 98, 117–126, 1990.
- Poncin P, Millet C, Chevy J. Materials and Technical Devices. 27, 24–29, 2004.
- Vander Voort GF. Metallography Principle, 119–164, 562–598, McGraw–Hill Book Company, 1976.
- Walke W, Paszenda Z, Ziebowicz A. Achieves of Materials Science and Engineering. 28, 293–296, 2007.