

전해연마후 교정선의 변화에 관한 실험적 연구

전남대학교 치과대학 치과교정학교실

이재철 · 김종철

목 차

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도 설명

I. 서 론

1920년대 Edward H. Angle에 의해 선재가 교정성 교정장치의 구성요소로 사용된 이래¹⁰⁾ 교정용선재와 bracket 그리고 결찰재 사이에서 발생하는 활주 마찰(sliding friction)이 치과교정의들에게 많은 관심의 대상이 되어왔다. 활주마찰이란 접촉하고 있는 두 물체중 하나가 상대적으로 움직이거나 움직이려고 할때 접촉면 사이에서 운동의 반대 방향으로 작용하는 일종의 저항으로서 bracket이 교정용선재를 따라 움직일때 또한 교정용선재가 bracket을 따라 움직일때 발생한다^{6,7,12,27,32)}. 이러한 활주마찰은 교정용선재의 재질^{8,14,15,18)}과 굵기¹²⁾ 및 표면처리상태^{11,31)}, bracket의 slot크기^{17,23)}, 폭경 및 재질^{2,5,20,22,34)}, 결찰재의 재질^{1,7)}, 접촉면에 가해지는 교정력의 방향⁷⁾, 접촉면 사이의

타액 및 이물질의 존재유무^{3,16,24,29,35)}등에 따라 매우 다양하게 나타난다.

1960년 Stoner²⁵⁾에 의해서 교정학분야에서 마찰력에 관한 연구의 필요성이 지적된 이래 많은 연구가 진행되어 왔다. Drescher⁶⁾, Echols⁷⁾, Frank와 Nikolai⁸⁾, Kusy와 Whitley¹⁵⁾등은 여러 종류의 교정용선재의 굵기와 형태, bracket폭경, 결찰재료를 조합하여 마찰력을 비교 측정하였고, Schudy²³⁾는 전치와 구치부에 slot의 크기가 다른 bracket을 사용할 경우의 마찰력의 차이에 대해, Riley와 Garret²²⁾과 Andreasen과 Quevedo²⁾등은 bracket종류에 따른 마찰력의 차이에 대해 보고하였다. 또한 Green berg와 Kusy¹¹⁾는 선재의 표면상태에 대해 Stannard²⁴⁾와 Baker⁹⁾는 타액의 존재유무 및 조성에 따른 마찰력의 차이에 대해, Kapila와 Angolkar¹⁴⁾는 교정선의 굵기와 재질이 마찰력에 미치는 영향에 대해 보고하였고, Burstone⁴⁾은 frictionless system를 사용하여 교정치료를 할 것을 추천하였다. 국내에서도 고²⁰⁾와 황³⁵⁾등이 인공타액하에서 교정용 선재의 굵기와 결찰 재료에 따른 마찰력의 차이에 대해서 연구하였고, 민³⁰⁾은 교정용선재의 폭경과 각도를 조합하여 실험하였고, 조³⁴⁾는 bracket종류에 따른 마찰력의 차이를 보고하였다. 발생한 마찰력은 가해진 교정력의 일부 또는 전부를 소실시키거나 bracket과의 binding을 초래하여 치아 이동을 저해하는 요

인이 되고²⁶⁾, 선택적인 치아이동을 어렵게 하고²⁵⁾, 저항원에 부가적인 부담을 초래하며¹³⁾, 교정력의 크기 예측을 어렵게 하여²⁴⁾ 결국 바람직하지 않은 부작용을 초래하므로 현재까지 마찰력을 감소시키기 위한 여러가지 시도가 행하여져 왔는데, 이중 교정용선재의 굵기를 부분적으로 감소시켜 마찰력을 줄이고자 하는 방법이 전해연마(electropolishing)이다.

1929년에 프랑스의 Pierre Jacquet에 의해 개발되었고, 1935년에 metallographic sample preparation에 성공적으로 적용된 전해연마는 적당한 전해액속에 양극인 시편과 음극인 납, 스테인레스판, 탄소봉등을 위치시켜 전류를 통과시키는 방법으로서, 이때 시편의 표면중 오목부분은 금속이온의 이동과 확산이 잘 되지 않아 금속이온의 양이 많아지기 때문에 전류가 잘 통하지 않고 양극피막의 파괴도 잘 일어나지 않아 용해가 잘되지 않지만 볼록부분은 금속이온의 확산이 원활하므로 전류가 집중적으로 통해서 볼록부분에서 용해되는 금속의 양이 상대적으로 더 많게되어 굵기의 감소와 함께 평활한 표면을 얻을 수 있다²⁸⁾. 전해연마는 전류(A/dm²), 전압, 전해액의 조성, 온도 및 유동상태, 연마시간, 양극표면의 초기 상태, 음극의 크기, 형태 및 조성, 세척방법등에 의해서 영향을 받는다¹⁹⁾.

전해연마시 하나의 교정용선재 내에서 선재의 굵기가 부분적으로 감소되어 굵기를 감소시킨 부위의 bracket과 선재 사이의 play양은 증가되고 마찰력은 감소된다. 결국, 전해연마를 시행하지 않는 부위를 고정원(anchorage)으로 사용하면서 전해연마를 시행한 부위의 치아 이동을 손쉽게 유도할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 현재까지 전해연마후 선재의 변화에 관한 연구가 부진하였으나, 이에 저자는 전해액의 온도, 연마시간, 전류의 양, 선재의 종류를 각각 달리하여 전해연마를 시행한 결과 선재의 굵기, 단면형태 및 표면상태의 변화에 관하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

0.017"×0.025" 굵기의 chrome과 nickel의 함량이 각각 18.0~20.0wt%, 8.0~10.0 wt/%인 18 chrome-8 nickel의 stainless steel의 선재*와 0.017"×0.025" 굵기의 cobalt와 chrome이 주성분인 Elgiloy® 선재**를 실험재료로 사용하였다. 각각의 선재의 조성은 Table 1.과 같다.

* Resilient Tru-Chrome, Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colo., USA

** Blue Elgiloy, Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colo., USA

Table 1. Compositions of experimental wires

	(Wt/%)		
	Stainless steel	Elgiloy®*	
Chromium	17.0~19.0%	Cobalt	40.0 %
Nickel	8.0%10.0~	Chromium	20.0 %
Manganese	2.0%	Iron	15.8 %
Silicon	1.0%	Carbon	15.0 %
Phosphorus	0.04%	Molybedenum	7.0 %
Sulfur	0.03%	Manganese	2.0 %
Carbon	0.08~0.20%	Nickel	0.15%
Iron	balance	Beryllium	0.04%

* Elgiloy® means chrome-cobalt alloy.

나. 실험방법

1. 전해연마기(electropolisher)의 제작

전해연마기는 구멍을 내어 전해액의 순환을 용이하도록 할 목적으로 제작한 길이 10.0 cm, 지름 2.5 mm의 음극인 stainless steel원통과 stainless steel원통의 중앙에 시편을 위치시키기 위해 수직으로 2개의 buccal tube가 부착된 고무판(이를 electrode assembly라 칭함), 3.0 A, 30.0 V기능의 DC power source, 0.01 voltage까지 측정할 수 있는 digital

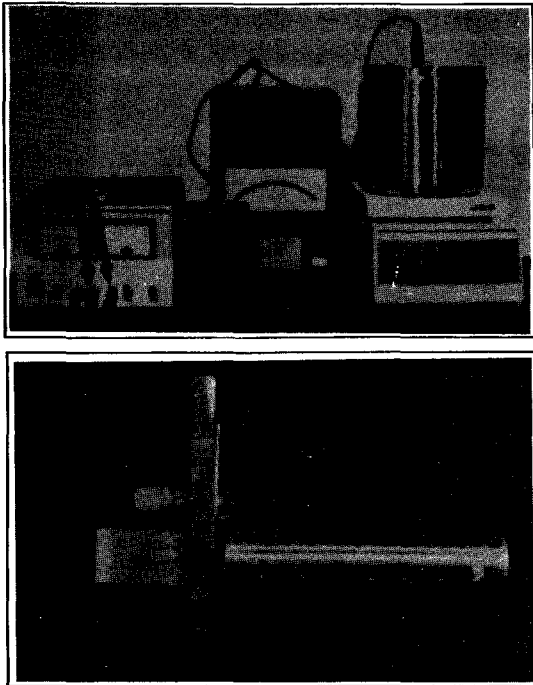


Fig. 1. Electropolisher used in this study.
 (A) Total electropolisher
 (B) Electrode assembly

voltmeter, 1,000 ml 용량을 가진 stainless steel재재의 전해조, 전해액의 온도를 조절하기 위한 중탕기, 온도를 일정하게 유지하기 위한 정온계 그리고 전해액의 온도를 측정할 수 있는 유리온도계로 구성되어 있다(Fig. 1 & 2).

2. 전해연마 시행

전해연마전 선재 표면의 불순물을 제거하기 위해서 먼저 이차증류수로 세척하고 소독된 가제로 닦은 다음 시편을 전해액에 담그고 전류를 정해진 시간만큼 통과시켰다. 전해연마를 시행하지 않을 부위는 메니큐어를 사용하여 masking 하였으며, 전해연마시의 원하지 않는 효과를 방지하기 위해서 전해연마 후 시편을 전해액내에서 빠르고 안전하게 제거하여 acetone solution으로 세척하였다.

실험 조건중 전류량과 시간을 결정하기 위해서 예비실험을 시행하였다. 전해액은 일반적으로 stainless steel선재의 전해연마에 많이 사

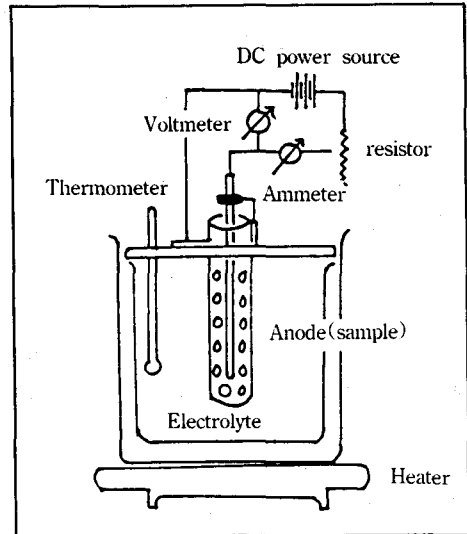


Fig. 2. Schematic diagram of electropolisher used in this study.

용되는 H_3PO_4 420 ml, glycerin 470 ml, 이차증류수 150 ml로 구성된 혼합용액을 사용하였다¹⁾. 시편의 길이는 임상적 용도를 감안하여 3.0 cm로 정하였다.

먼저 적당한 전류량을 결정하기 위해서 stainless steel선재를 20°C의 전해액에서 83A/dm², 166A/dm², 249A/dm², 332A/dm²의 전류로 1분 간격으로 5분까지 매 분당 3개의 시편을 전해연마하여 총 60개의 시편을 얻었다. 얻어진 시편들에서 전해연마된 부분을 3등분하여 처음, 중간, 끝부분등 3부위의 굵기를 0.01 mm 까지 잴 수 있는 micrometer로 측정한다 다음 단위를 inch로 환산하였다. 예비실험 결과, 교정용 선재의 폭(wire width)을 0.001" 와 0.002"정도 연마할 목적으로 전해연마하려고 할 경우 249A/dm², 332A/dm²의 전류와 2분 이내의 연마시간이 적당하다고 인정되었다(Table 2). 전해액의 온도는 실온을 기준으로 한 20°C와 여름철의 전해액 온도상승을 감안하여 25°C 2가지로 정하였다.

Stainless steel선재와 Elgiloy®선재의 2가지 선재에 대해 249A/dm², 332A/dm²의 전류, 20°C, 25°C의 온도의 조건을 조합하여 모두 8 군으로 나누었고, 각군은 10초간격으로 120초까지 12개 군으로 나누어 각각 10개의 시편을

Table 2. Results of pre-experimental study for electropolishing of stainless steel on 20°C (Mean wire width*×wire depth** in 10⁻² inches)

	83A/dm ²	166A/dm ²	249A/dm ²	332A/dm ²
1 minute	1.65×2.45	1.63×2.43	1.61×2.41	1.58×2.40
2 minute	1.62×2.42	1.59×2.39	1.55×2.35	1.45×2.25
3 minute	1.57×2.37	1.53×2.33	1.50×2.30	1.44×2.24
4 minute	1.49×2.36	1.47×2.27	1.45×2.25	1.43×2.23
5 minute	1.47×2.35	1.42×2.22	1.38×2.18	1.37×2.17

* Wire width means occlusolingival dimension of wire.

** Wire depth means faciolingual dimension of wire.

연마하였다. 각 군당 120개의 시편, 총 960개의 시편에 대해 선재의 굵기를 0.01 mm까지 잴 수 있는 micrometer로 측정하였다.

이상의 선재굵기의 자료에 대해 ANOVA와 Duncan's Multiple range test로 검정하였다.

3. 전해연마후 시편의 단면형태 관찰

전해연마를 시행하지 않은 stainless steel 선재와 Elgiloy® 선재의 시편과 249A/dm²와 20°C, 249A/dm²와 25°C, 332A/dm²와 20°C 및 332A/dm²와 25°C의 4가지 조건에서 전해연마 시간이 120초인 stainless steel 선재와 Elgiloy® 선재의 시편을 선택하여 10.0 mm 길이로 자른 다음 교정용 resin(Caulk®)내에 매몰하였다. 그 다음 belt grinder(Buehler LTD., Leco®)로 시편과 resin의 표면이 평행하게 되도록 연마하여 시편의 단면을 노출시킨 다음 선재의 단면형태를 광학현미경(Optical microscopes)으로 관찰하였다.

4. 전해연마후 시편의 표면상태 관찰

전해연마를 시행하지 않은 stainless steel 선재와 Elgiloy® 선재의 시편과 249A/dm²와 20°C, 249A/dm²와 25°C, 332A/dm²와 20°C 및 332A/dm²와 25°C의 4가지 조건에서 전해연마 시간이 120초인 stainless steel 선재와 Elgiloy® 선재의 시편을 선택하여 5.0 mm 길이로 자른 다음 sputtering처리후 주사전자현미경(Scanning electron microscopes)으로 표면상태를 관찰하였다.

III. 실험성적

가. 선재의 폭의 변화

전해연마시 선재의 폭(wire width)은 전해연마 시간의 경과에 따라 stainless steel 선재의 경우 249A/dm²와 20°C에서는 0.0168"부터 0.0155"까지, 249A/dm²와 25°C에서는 0.0167"부터 0.0152"까지, 332A/dm²와 20°C에서는 0.0165"부터 0.0145", 332A/dm²와 25°C에서는 0.0164"부터 0.0142"까지의 수치감소를 나타냈으며, 전해연마 조건에 따른 선재폭의 평균치 및 표준편차를 구하였다(Table 3). Elgiloy® 선재의 경우는 249A/dm²와 20°C에서 0.0167"부터 0.0153"까지, 249A/dm²와 25°C에서 0.0166"부터 0.0151"까지, 332A/dm²와 20°C에서 0.0164"부터 0.0144"까지, 332A/dm²와 25°C에서 0.0163"부터 0.0141"까지의 수치감소를 나타냈으며, 전해연마 조건에 따른 선재폭의 평균치 및 표준편차를 구하였다(Table 4).

Stainless steel 선재와 Elgiloy® 선재 모두 전해연마 시간이 경과함에 따라 선재폭이 거의 정비례의 관계를 보이면서 더욱 감소하였다(Fig. 3 & 4).

선재의 폭(wire width)은 249A/dm²와 20°C, 249A/dm²와 25°C, 332A/dm²와 20°C 및 332A/dm²와 25°C의 조건에서 1초 변화에 대해 stainless steel 선재의 경우 각각 0.

Table 3. Wire width after electropolishing of stainless steel
(Mean±S.D. in 10⁻² inches)

Sec	249A/dm ²		332A/dm ²	
	20°C	25°C	20°C	25°C
10	1.68±0.010	1.67±0.010	1.65±0.008	1.64±0.010
20	1.67±0.014	1.65±0.010	1.63±0.007	1.61±0.010
30	1.64±0.009	1.64±0.010	1.61±0.010	1.60±0.008
40	1.64±0.011	1.63±0.010	1.60±0.010	1.59±0.010
50	1.63±0.008	1.61±0.008	1.59±0.008	1.58±0.013
60	1.61±0.010	1.59±0.008	1.58±0.009	1.57±0.008
70	1.60±0.010	1.57±0.010	1.56±0.010	1.54±0.010
80	1.59±0.008	1.55±0.009	1.53±0.008	1.52±0.010
90	1.58±0.008	1.54±0.010	1.51±0.008	1.50±0.013
100	1.56±0.009	1.53±0.008	1.48±0.010	1.47±0.012
110	1.56±0.008	1.53±0.009	1.46±0.008	1.44±0.010
120	1.55±0.007	1.52±0.010	1.45±0.010	1.42±0.013

Table 4. Wire width after electropolishing of Elgiloy® wire
(Mean±S.D. in 10⁻² inches)

Sec	249A/dm ²		332A/dm ²	
	20°C	25°C	20°C	25°C
10	1.67±0.010	1.66±0.013	1.64±0.010	1.63±0.010
20	1.66±0.012	1.65±0.013	1.62±0.010	1.61±0.015
30	1.64±0.012	1.63±0.010	1.61±0.010	1.59±0.012
40	1.63±0.008	1.61±0.010	1.59±0.510	1.57±0.012
50	1.61±0.010	1.60±0.010	1.57±0.013	1.56±0.013
60	1.60±0.010	1.59±0.012	1.56±0.009	1.55±0.014
70	1.59±0.008	1.56±0.013	1.54±0.012	1.53±0.008
80	1.57±0.012	1.55±0.008	1.52±0.008	1.51±0.008
90	1.56±0.015	1.54±0.008	1.50±0.008	1.49±0.013
100	1.55±0.015	1.53±0.008	1.47±0.010	1.46±0.012
110	1.54±0.008	1.52±0.008	1.44±0.015	1.43±0.010
120	1.53±0.009	1.51±0.010	1.44±0.009	1.41±0.007

0.00012", 0.000013", 0.000018", 0.000019"가 연마되고, Elgiloy® 선재의 경우는 각각 0.000013", 0.000014", 0.000019", 0.000019"가 연마되는 것으로 나타났다(Table 5 & 6).

전해연마시간이 120초인 선재의 폭은 stain-

less steel선재의 경우 249A/dm²군은 20°C와 25°C에서 각각 0.0155"와 0.0152"로 서로 유의한 차가 없었고, 332A/dm²군에서도 20°C와 25°C에서 각각 0.0145"와 0.0142"로 서로 유의한 차가 없었으나, 249A/dm²군과 332A/dm²

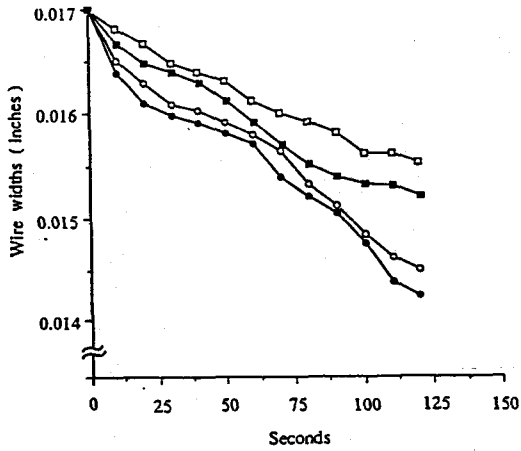


Fig. 3. Plots of wire width versus time for electropolishing of stainless steel. □, 249A/dm² & 20°C; ■, 249A/dm² & 25°C; ○, 332A/dm² & 20°C; ●, 332A/dm² & 25°C

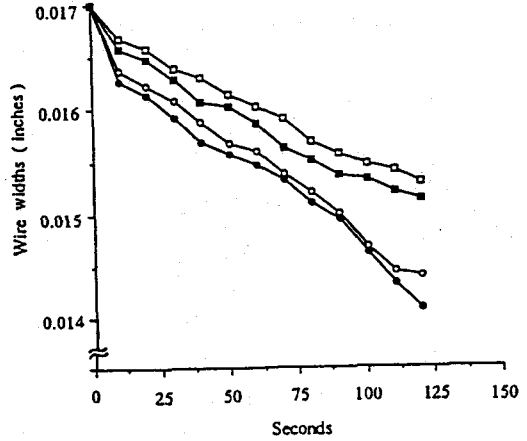


Fig. 4. Plots of wire width versus time for electropolishing of Elgiloy®. □, 249A/dm² & 20°C; ■, 249A/dm² & 25°C; ○, 332A/dm² & 20°C; ●, 332A/dm² & 25°C

Table 5. Stepwise multiple regression analysis of electropolishing of stainless steel (W means wire width/100 inches)

		multiple regression equations	r ²
249A/dm ²	20°C	W=1.70-0.0012α	0.95***
	25°C	W=1.70-0.0013α	0.93***
332A/dm ²	20°C	W=1.70-0.0018α	0.96***
	25°C	W=1.70-0.0019α	0.94***

r=regression coefficient, α : seconds

***p<0.001

Table 6. Stepwise multiple regression analysis of electropolishing of Elgiloy® wire (W means wire width/100 inches)

		multiple regression equations	r ²
249A/dm ²	20°C	W=1.70-0.0013α	0.95***
	25°C	W=1.70-0.0014α	0.95***
332A/dm ²	20°C	W=1.70-0.0019α	0.97***
	25°C	W=1.70-0.0019α	0.96***

r=regression coefficient, α : seconds

***p<0.001

Table 7. Comparison of wire width (Mean \pm SD in 10^{-2} inch) in relation to electropolishing for 120 seconds

Wire	Current	Temperature	Wire width
Stainless steel	249A/dm ²	20°C	1.55 \pm 0.007
		25°C	1.52 \pm 0.010
	332A/dm ²	20°C	1.45 \pm 0.010
		25°C	1.42 \pm 0.013
Elgiloy®	249A/dm ²	20°C	1.53 \pm 0.009
		25°C	1.51 \pm 0.010
	332A/dm ²	20°C	1.44 \pm 0.009
		25°C	1.41 \pm 0.007

Mean outside brackets are significantly different at $p < 0.01$

군 사이에서 선재폭 사이에는 유의한 차를 보였다. 또한 Elgiloy® 선재의 경우도 249A/dm²군 사이에서 선재폭 사이에는 유의한 차를 보였다. 또한 Elgiloy® 선재의 경우도 249A/dm²군은 20°C와 25°C에서 각각 0.0153"와 0.0151"로 서로 유의한 차가 없었고, 332A/dm²군에서도 20°C와 25°C에서 각각 0.0144"와 0.0141"로 서로 유의한 차가 없었으나, 249A/dm²군과 332A/dm²군 사이에서 유의한 차를 보였다. 즉, stainless steel선재와 Elgiloy® 선재 모두 전해액 온도가 20°C인 실험군과 25°C인 실험군 사이에서는 연마량이 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 전류량이 249A/dm²인 실험군과 332A/dm²인 실험군 사이에서는 유의한 차이를 나타내었다 (Table 7).

나. 전해연마후 시편의 단면형태 관찰

전해연마전의 stainless steel선재와 Elgiloy® 선재의 단면은 모서리가 둥근형태의 직사각형의 형태를 보였다. 전해연마후 stainless steel 선재의 단면은 거의 형태변화가 없었으나 (Fig. 5), Elgiloy® 선재의 단면은 모서리 부분이 더욱 둥그러진 형태변화가 관찰되었다 (Fig. 6).

다. 전해연마후 시편이 표면상태 관찰

전해연마전의 stainless steel선재와 Elgiloy® 선재의 표면에서는 요철부분과 scratch가 관찰되었다. 전해연마후 선재의 표면은 stainless steel선재와 Elgiloy®선재에서 모두 연마전에 비해 scratch가 없어지고 더욱 매끄러운 상을 보였다 (Fig. 7 & 8).

IV. 총괄 및 고찰

전해연마에 의한 연마현상은 농도분극효과, 용해도효과 그리고 양극산화효과등으로 설명되고 있다²⁸⁾. 선재의 오목부분은 볼록부분에 비해 금속이온의 이동과 확산이 잘 되지 않아 금속이온농도가 커짐으로서 농도분극전압이 생기고, 그 결과 전류가 적게 흘러 오목부분의 용해가 억제되고 볼록부분의 선택적 용해가 원활하게 된다는 것이 농도분극 효과이다. 그리고, 용해도효과는 점성이 큰 전해액을 사용할 경우 농도분극효과가 커진다는 것이며, 양극산화효과란 전해연마시 양극처리가 된 시편은 산화를 받게되어 산화피막이 형성되는데 이 산화피막은 오목부분보다는 전류가 집중되는 볼록부분으로부터 파괴되어 볼록부분의 선택적 용해를 촉진해서 굽기의 감소와 함께 평활광택면을 얻게된다는 것이다. 본 실험에서도 전해연마시 연마전보다 선재의 폭이 감소된 것으로 나타났고, 연마전에 선재의 표면에 존재하는 요철부분 (concavoconvex portion)과 scratch가 연마에 의해서 제거되어 보다 매끄러운 상태의 표면을 관찰할 수 있었는데, 이 결과는 전해연마시 시편표면의 scratch가 없어지고, 금속 및 금속합금의 표면층이 제거되어 광택정도가 더 향상되고, 표면에 film이 생겨서 부식으로부터 금속을 보호할 수 있다는 Petzow¹⁹⁾와 Vander Voort²⁸⁾의 연구결과와 일치한다.

본 실험에서 249A/dm²와 20°C, 249A/dm²와 25°C, 332A/dm²와 20°C 및 332A/dm²와 25°C의 각 조건에서 stainless steel선재와 Elgiloy®선재 모두 10초의 연마시간에서 보다는 120초의 연마시간에서 선재의 폭(wire

width)은 더욱 감소하는 것으로 나타났고, 선재의 종류와 연마시의 전류, 전해액 온도등에 따라 연마비율(polishing rate)은 다를지라도 선재폭의 감소정도는 연마시간의 경과에 따라 거의 정비례의 관계를 보였다. 이는 전류, 전해액 온도등의 연마조건이 동일하다면 전해연마시간이 증가함에 따라 시편에서 연마되는 양이 증가한다는 Vander Voort²⁸⁾의 연구결과와 일치한다. 또한 동일한 연마조건하에서도 stainless steel선재에 비해서 Elgiloy®선재가 초당 연마되는 양이 높은 수치를 나타냈는데, 이는 Elgiloy®선재의 구성요소들의 stainless steel선재의 구성요소들보다 H₃PO₄에 더 잘 반응하여 결국 표면에서 금속이온이 이동과 확산이 잘 일어나 전류가 잘 통하기 때문이라고 생각되며 앞으로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

연마할 시편의 단면적당(dm²) 흐르는 전류 즉, 전류밀도(A/dm²)와 단위면적당 연마되는 양 사이에는 대략 직선적 관계를 가지고 있다. 전해연마할 시편의 단면적이 동일할경우 전류밀도를 증가시키면 시편의 단위면적당 연마되는 양은 증가하게 된다. 본 실험에서도 64.23 mm²의 단면적을 가지는 시편에 대해 249A/dm²보다는 332A/dm²의 경우에서 stainless steel선재와 Elgiloy®선재 모두 선재폭이 더 감소하였고 통계적으로 유의차가 관찰되었다. 또한 연마에 사용된 전체 전류는 동일할지라도 전해연마할 시편의 굵기 및 길이가 감소하면 결과적으로 단면적이 감소하여 전류밀도가 증가함으로써 단위면적당 연마되는 양은 증가하게 된다.

H₃PO₄계통의 전해액으로 전해연마시 stainless steel선재와 Elgiloy®선재 모두 전해 연마되었다. 실제 입상에서 선재의 종류에 따라 전해액을 바꾸는 것은 번거롭기 때문에 stainless steel 선재와 Elgiloy®선재를 전해연마시는 전해액은 H₃PO₄로 고정하고 전류량과 전해액 온도를 변화시켜 원하는 굵기의 선재를 얻을 수 있을 것이라고 사료된다. 그러나 titanium계통의 TMA alloy는 표면의 부동태 피막이 H₃PO₄와는 반응하지 않아 전해연마가 되지

않으므로, perchloric acid, acetic acid, ethanol등과 같은 전해액이 사용되어야 한다²⁸⁾. Petzow¹⁴⁾의 실험결과에 의하면 전해액의 온도가 상승하면 전해연마시 양극반응이 촉진되어 시편의 용해 속도가 커지므로 연마량이 증가된다고 하였다. 본 실험에서는 전해액의 온도가 20°C인 실험군과 25°C인 실험군 사이에서 선재폭은 25°C실험군에서 약간 더 감소된 수치를 보였으나 통계적으로는 유의차가 없었다. 이는 실험에 사용된 온도의 차이가 적었기 때문일것으로 사료된다.

음극과의 거리가 모든 부위에서 동일한 곳에 시편을 위치시킨다음 전해연마를 시행해야 시편의 각 부위에 흐르는 전류량이 동일해져 같은 양이 연마될 수 있다. 본 실험에서는 음극인 stainless steel원통의 중앙에 선재를 위치 시킴으로서 선재의 width와 depth가 같은 양으로 연마되도록 하였다. 그러나, 선재의 단면 형태가 원형이 아닌 각형인 경우 평면에서보다는 모서리 부근에서 연마가 더 잘되는데, 이는 평면에서 한 단면에서만 원자가 절단되어 연마시 표면에서 금속이온의 분리가 더 쉽게 일어나기 때문이다. 전해연마후 선재의 단면변화를 광학현미경으로 관찰한 결과 stainless steel선재의 단면은 거의 형태변화가 없었는데, 이는 본 실험에서 사용되는 전해연마조건하에서는 전해연마시 선재의 표면으로부터 연마되는 금속이온의 양이 적기 때문일 것으로 사료된다. 단, Elgiloy®선재의 경우는 모서리 부근이 더욱 둥그러진 형태변화가 관찰되었다. 이것으로 미루어보아 전해연마시의 전류증가와 전해액 온도등이 상승하여 연마량이 증가될 때는 stainless steel선재보다는 Elgiloy®선재가 단면 형태의 변화가 많아 본래의 각형이 없어질 것으로 사료된다.

그러나, 본 실험에서는 전해연마를 시행하여 굵기가 감소된 선재와 bracket과의 마찰력에 관한 실험은 시행하지 않았는데, 교정용 선재의 굵기 감소가 실제로 교정용선재와 bracket 사이에서 발생하는 마찰력의 감소와 관련이 있는지에 대해서는 현재까지 논란이 많다. Echols⁷⁾, Gardner⁹⁾, 민³⁰⁾등은 선재의 굵기가

감소하게 되면 동일한 법선력이 작용했을 때 선재와 bracket사이의 접촉면적이 감소하고 bracket의 slot과 선재 사이의 play양이 증가하여 마찰력이 감소한다고 하였다. 반면 Baker³⁾는 0.022" slot의 bracket에서 0.020" round wire가 0.018" round wire보다 마찰력이 더 작았고 선재의 stiffness정도에 따라 가해진 법선력을 수용하는 능력이 다르므로 마찰력과 play의 양 사이에는 관계가 없다고 보고하였다. 이는 선재 굵기가 bracket slot의 크기와 근접할수록 선재와 bracket slot사이의 play양이 감소하여 선재의 변형이 적게되어 나타난 결과라고 하였다. 전해연마를 시행한 경우 선재의 굵기는 감소하였고 표면은 더 매끄러운 상태를 보이기 때문에 동일한 교정력이 작용할 경우 선재와 bracket사이에서 발생하는 마찰력은 감소될 것으로 생각되지만, 마찰력에 영향을 미치는 요소중의 하나인 교정선 굵기의 감소가 실제로 마찰력의 감소에 어느정도 영향을 미치는지에 관해서는 앞으로 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

교정용 선재, bracket 그리고 결찰재 사이에서 발생하는 마찰력에 영향을 미치는 여러가지 요소 중 교정선 굵기 감소의 영향에 대해 살펴보기 위해서 저자는 H₃PO₄ 420 ml, glycerin 470 ml, 이차중류수 150 ml 등으로 구성된 전해액상에서 0.017"×0.025" 굵기의 stainless steel선재와 Elgiloy® 선재를 249A/dm², 332A/dm², 20°C, 25°C의 조건을 조합하여 시간별로 전해연마를 시행한 다음 선재의 굵기, 단면형태 및 표면상태의 변화에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 249A/dm²와 20°C, 249A/dm²와 25°C, 332A/dm²와 20°C 및 332A/dm²와 25°C의 각 조건에서 stainless steel선재와 Elgiloy®선재를 전해연마후 연마시간의 경과에 따라 변화된 선재폭(wire width)의 크기에 대한 평균치와 표준편차를 구하였다.

2. 전해연마 시간의 경과에 따라 stainless steel선재와 Elgiloy®선재의 폭은 거의 직선적인 관계를 보이면서 감소하였다.

3. 전해액 온도가 20°C인 실험군과 25°C인 실험군 사이에서는 연마양이 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 전류양이 249A/dm²인 실험군과 332A/dm²인 실험군 사이에서는 유의한 차이를 나타내었다.

4. 전해연마후 stainless steel선재의 단면은 거의 형태변화가 없었으나, Elgiloy®선재의 단면은 모서리 부근이 더욱 둥그러진 형태변화가 관찰되었다.

5. 전해연마후 선재의 표면은 stainless steel선재와 Elgiloy®선재에서 모두 연마전에 비해 scratch가 없어지면서 더욱 매끄러운 상태를 보였다.

REFERENCES

1. Adams, D.M., Powers, J.M., and Asgar, K.: Effects of brackets and ties on stiffness of an arch wire, *Am. J. Orthod.* 91:131-136, 1987.
2. Andreasen, G.F., and Quevedo, F.R.: Evaluation of friction forces in the 0.022" x 0.028" edgewise bracket in vitro, *J. Biomechanics*, 3:151-158, 1970.
3. Baker, K.L.: Frictional changes in force values caused by saliva substitution, *Am. J. Orthod.* 91:316-320, 1987.
4. Burstone, C.J.: The rationale of the segmented arch. *Am. J. Orthod.* 48:805-821, 1962.
5. Creekmore, T.D.: The importance of inter-bracket width in orthodontic tooth movement, *J. Clin. Orthod.* 10:530-534, 1976.
6. Drescher, D.: Frictional forces between bracket and arch wire, *Am. J. Orthod.* 96:397-404, 1989.
7. Echols, M.: Elastic ligatures, binding force and anchorage taxation, *Am. J. Orthod.*

- 67:219, 1975.
8. Frank, C.A., and Nikolai, R.J.: A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire, *Am. J. Orthod.* 78:593-609, 1980.
 9. Gardner, L.D.: A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire, *Am. J. Orthod.* 90:199-203, 1986.
 10. Graber, T.M., and Swain, B.F.: *Current orthodontic concepts and techniques*, 2nd ed., W.B. Saunders Co., 1975, p. 453.
 11. Greenberg, A.R., and Kusy, R.P.: A survey of specialty coatings for orthodontic wires (abst.), *J. Dent. Res.* 58: (special issue A) 98, 1979.
 12. Huffman, D.J., and Way, D.C.: A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes, *Am. J. Orthod.* 83:453-459, 1983.
 13. Jarabak, J.R., and Fizzel, J.A.: *Technique and treatment with light wire appliance*, 1963, The C.V. Mosby Company, pp. 48-91.
 14. Kapila, S., and Angolkar, P.V.: Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys, *Am. J. Orthod.* 98:117-126, 1990.
 15. Kusy, R.P., and Whitley, J.Q.: Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots, *Am. J. Orthod.* 98:300-312, 1990.
 16. Majjer, R., and Smith, D.C.: Corrosion of orthodontic bracket bases, *Am. J. Orthod.* 81:43-48, 1982.
 17. Parkhouse, R.C.: Interchange of brackets in the treatment of root transposition, *Br. J. Orthod.* 2:103-104, 1975.
 18. Peterson, L.A.: A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets, *Quintessence International* 5:563-571, 1982.
 19. Petzow, G.: *Metallographic Etching*, pp. 16-21, 37-89, Metals Park Co., Ohio, 1978.
 20. Pratten, D.H.: Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets, *Am. J. Orthod.* 98:398-403, 1990.
 21. Reitan, K.: Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics, *Am. J. Orthod.* 43(1):32-45, 1957.
 22. Riley, J.L., Garret, S.G.: Frictional forces of ligated plastic and metal brackets, *J. Dent. Res.* 58:A21, 1979.
 23. Schudy, F.F.: The bimetric system, *Am. J. Orthod.* 67:57-91, 1975.
 24. Stannard, J.G.: Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions, *Am. J. Ortho.* 89:485-491, 1986.
 25. Stoner, M.M.: Force control in clinical practice, *Am. J. Orthod.* 46:163-168, 1960.
 26. Strang, R.H.: Orthodontic anchorage, *Angle Orthodontist* 11:173-186, 1941.
 27. Tidy, D.C.: Frictional forces in fixed appliances, *Am. J. Orthod.* 96:249-254, 1989.
 28. Vander Voort, G.F.: *Metallography Principles and Practice*, pp. 119-164, 562-598, McGraw-Hill Book Company, 1976.
 29. 고정석 : 인공타액하에서 교정선과 bracket간의 마찰력에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 18 : 55-63, 1988.
 30. 민정미 : 치아의 활주 이동시 교정용 bracket과 archwire사이에서 발생하는 마찰저항력에 관한 비교 연구, 대한치과교정학회지, 18 : 155-163, 1988.
 31. 박영준 : 생체 친화성 세라믹의 합성과 수중 임플란트 금속재료에의 코팅에 관한 실험적 연구, 전남치대 논문집, 2(1) : 31-65, 1990.
 32. 성백능 : 기초 물리학, 1981, 삼우출판사, pp. 60-63.

33. 성재현 : 국산스테인레스등선계 교정용선재의 개발과 물리적 성질에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 19 : 7-24, 1989. 499-507, 1990.
34. 조명숙 : 고정성 교정장치를 이용한 치아이동시 발생하는 마찰력, 대한치과교정학회지, 20 : 525-530, 1990.
35. 황현식 : 인공타액하에서 수중 교정선의 마찰력에 관한 실험적 연구, 대한치과교정학회지 1 : 245-256, 1989.

— ABSTRACT —

AN EXPERIMENTAL STUDY ON CHANGES OF ORTHODONTIC WIRES AFTER ELECTROPOLISHING

Jai-Chul Lee, Jong-Chul Kim

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chonnam National University.

Guiding a tooth along an arch wire results in a counteracting frictional force among arch wires, bracket and ligature. This frictional forces should be eliminated or minimized when orthodontic tooth movement is being planned.

The purpose of this study was to evaluate the changes of width, cross-sectional forms and surface morphologies of stainless steel wire and Elgiloy[®] wire after electropolishing. Experimental variables included in this experiment were arch wire materials, current, electrolyte temperature and polishing time. Wire widths were measured by micrometer and cross-sectional forms and surface morphologies were examined with optical microscope and scanning electron microscope. The results were as follows:

1. The mean and standard deviation of widths of stainless steel wire and Elgiloy[®] wire varying polishing time with condition of 249A/dm² and 20°C, 249A/dm² and 25°C, 332A/dm² and 20°C and 332A/dm² and 25°C were obtained.
2. With increasing polishing time, the widths of stainless steel wire and Elgiloy[®] wire became decreased proportionally.
3. The changes of widths of stainless steel wire and Elgiloy[®] wire were statistically insignificant between 20°C group and 25°C group, but significant between 249A/dm² group and 332A/dm² group.
4. The cross-sectional forms of wire after electropolishing were not changed in stainless steel wire, and while it were changed to rounded corners in Elgiloy[®] wire.
5. The surface morphologies of wire after electropolishing were scratch-absent and more smoothened both in stainless steel wire and Elgiloy[®] wire.

논문 사진부도 ①

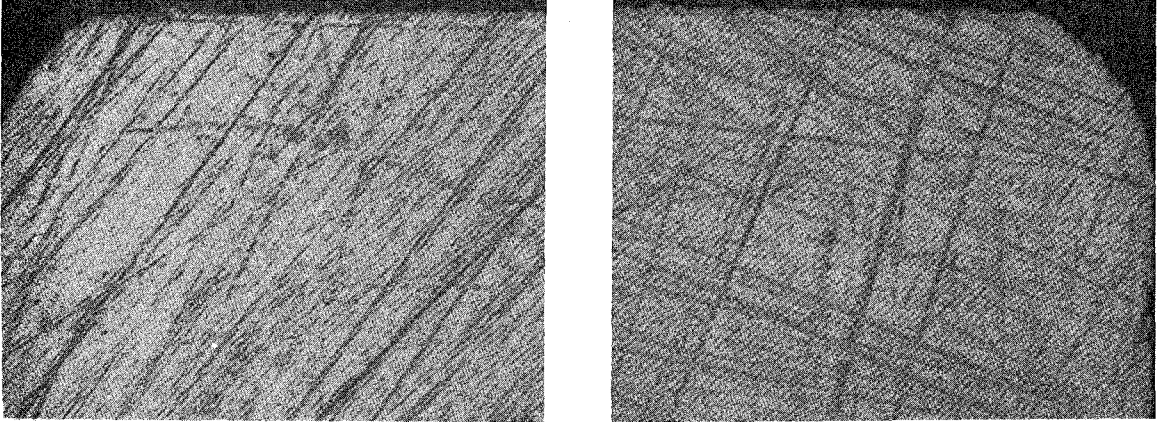


Fig. 5. Optical microscopes($\times 270$) of cross-sectional forms of stainless steel wire.
Left : before electropolishing
Right : after electropolishing on $342A/dm^2$, $25^{\circ}C$, 120sec

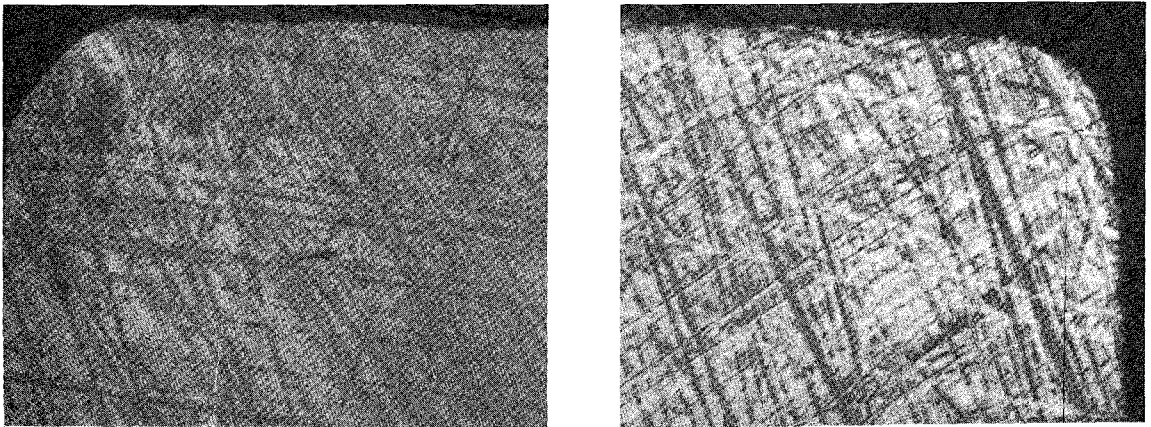


Fig. 6. Optical microscopes($\times 270$) of cross-sectional forms of Elgiloy[®] wire.
Left : before electropolishing
Right : after electropolishing on $342A/dm^2$, $25^{\circ}C$, 120sec

논문 사진부도 ②

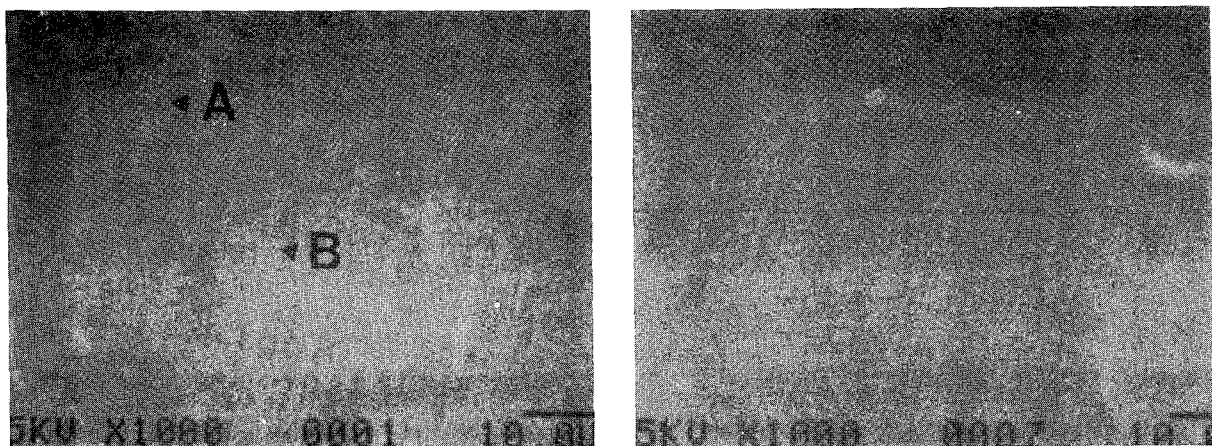


Fig. 7. Scanning electron micrographs($\times 1000$) of surface morphology of stainless steel wire.

Left : before electropolishing

A. concavoconvex portion

B. scratch

Right : after electropolishing on $342A/dm^2$, $25^{\circ}C$, 120sec

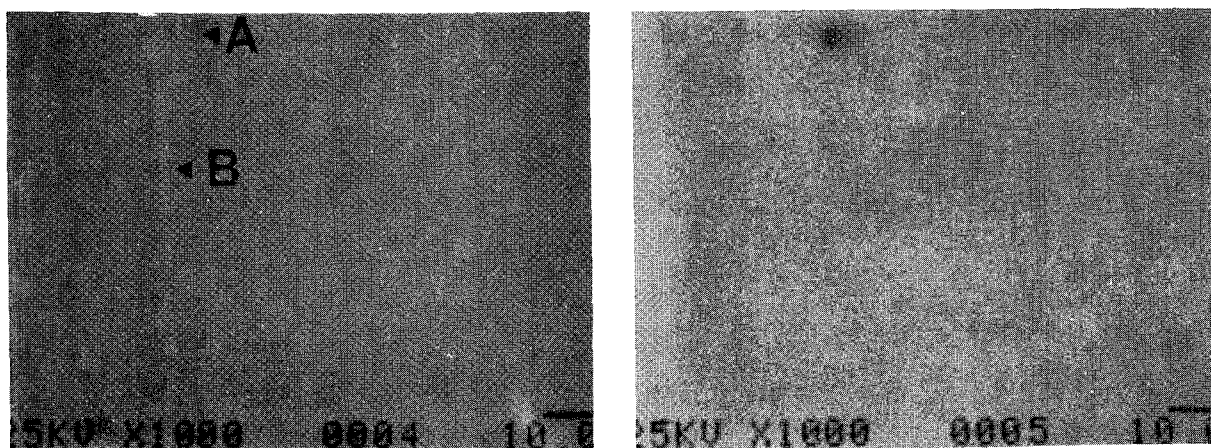


Fig. 8. Scanning electron micrographs($\times 1000$) of surface morphology of Elgiloy[®] wire.

Left : before electropolishing

A. concavoconvex portion

B. scratch

Right : after electropolishing on $342A/dm^2$, $25^{\circ}C$, 120sec