

교정용 선재의 직경 증가를 위한 전기도금법과 무전해도금법의 비교연구

김재남^a · 조진형^b · 성영은^c · 이기현^d · 황현식^e

본 연구는 교정용 선재의 직경을 증가시키기 위한 방법으로 무전해도금법의 이용 가능성 여부를 전기도금법과의 비교를 통해 알아보고자 시행되었다. 0.016 인치 스테인레스 스틸 교정용 선재에 도금을 위한 전처리를 시행한 후, 시중에 판매되는 무전해니켈도금액(Hessonic-Gr[®], 신평금속, 한국)을 사용하여 90°C 온도에서 0.018 인치 직경이 될 때까지 도금을 시행하였다. 무전해도금 과정 중 시간에 따른 직경증가율을 구하는 한편, 도금 후 세 지점의 직경을 계측하여 균일성을 평가하였다. 도금 금속의 정성분석을 위하여 X-선 회절분석을 시행하는 한편, 물성검사를 시행한 후 전기도금한 경우와 각각 비교 분석하였다. 연구결과 무전해도금한 군이 전기도금을 시행한 군보다 강성, 항복강도, 극한강도 모두 높은 경향을 보였으며 강성과 극한강도에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$). 또한 무전해도금한 군의 직경증가율은 0.00461 ± 0.00003 mm/5 min (0.00092 mm/min)로, 전기도금한 군의 직경증가율 0.00821 ± 0.00015 mm/min와 차이를 보였다. 도금 후 세 지점의 직경을 계측하여 균일성을 평가한 결과, 두 가지 도금법 모두에서 균일한 양상을 보였다. 이상의 결과로 무전해도금법을 통해 직경이 증가된 선재가 전기도금법에 의해 직경이 증가된 선재보다 기존의 선재와 가까운 물성을 보임을 알 수 있었으며, 이의 임상적 적용을 위해서는 도금시간의 감소가 필요함을 알 수 있었다.

(주요 단어: 무전해도금, 전기도금, 물성변화, 직경증가)

서 론

교정치료 시 필수적 재료인 교정용 선재는 금 합금과 스테인레스 스틸 이후 TMA, NiTi 등 시술의 간단

함과 환자 및 술자의 편리함을 위해 계속 발전해오고 있다.^{1,2} 교정치료 시 여러 개의 교정용 선재가 교환 적용되는데 가는 호선에서 굵은 호선으로의 교환이 주를 이루고 있다. 이러한 선재의 교환 시 이전 단계의 호선과 동일한 형태의 호선제작이 불가능하며 이에 따라 치아의 불필요한 이동이 불가피하게 나타나고, 이는 치근 흡수나 치료기간 증가의 원인이 되고 있다. 초기 배열 시 사용했던 호선을 굵기나 강도만을 증가시켜 계속 사용하게 되면 이러한 부작용을 막을 수 있어 조 등³은 동일한 형태의 굵은 호선을 얻어내기 위해 기존의 가는 호선에 도금이라는 방법을 처음으로 적용하여 0.016 인치 원형선재를 0.018 인치로 증가시켰으며 이후 이 등⁴은 0.016 × 0.016 각형선재를 0.017 × 0.017로 증가시킬 수 있음을 발표하였다. 그러나 이

^a 대학원생, ^b 전임강사, 전남대학교 치과대학 교정학교실.

^c 부교수, 서울대학교 공과대학 화학생명공학부.

^d 부교수, ^e 교수, 전남대학교 치의학연구소, 전남대학교 치과대학 교정학교실

교신저자: 황현식

광주광역시 동구 학동 8번지

전남대학교 치과대학 교정학교실 / 062-220-5486

hhwang@chonnam.ac.kr

원고접수일: 2005년 10월 21일 / 원고최종수정일: 2006년 3월

14일 / 원고채택일: 2006년 3월 16일

들은 도금 방법으로 전기도금⁵을 이용하였는데, 전기도금은 과정이 간단한 장점이 있는 반면 복잡한 장비가 필요하고 물체의 표면이 불규칙한 경우 균일한 두께의 도금을 할 수 없다는 단점이 있다.⁶

어떠한 물체에 금속을 도금하는 방법에는 여러 가지가 있는데⁷ Wurtz⁸가 nickel hypophosphite의 수용액을 100°C로 가열할 때 부분적으로 니켈이온이 환원되어 금속니켈이 석출됨을 발표한 이후로, Brenner와 Riddell,⁹ West,¹⁰ Pearlstein¹¹ 등에 의해 무전해도금법^{6,12}에 대한 연구가 계속되어 왔다. 무전해도금은 많은 장점으로 인해 여러 분야¹³⁻¹⁵에 사용되고 있는데, 전기도금에 비해 비정질(amorphous) 합금으로 되기 때문에 두께가 두꺼워져도 결정입자의 성장이 생기지 않으며 균일한 표면을 얻을 수 있어 내마모성, 광택성과 심미성이 우수하고, 불규칙한 모양의 표면에도 균일한 도금두께를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 많은 양의 도금을 할 수 있고 무전해도금에 의해 형성된 피막은 전기도금에 비하여 기공(pin hole)이 적어 내식성도 우수하다는 결과가 보고된 바 있다.¹³

본 연구는 교정용 선재의 직경을 증가시키기 위한 방법으로 무전해도금법을 이용하여 도금을 시행한 후 전기도금법에 의해 직경이 증가된 선재 또는 기존의 선재와 그 물성과 균일성을 비교 분석하여 무전해도금법의 이용 가능성 여부를 알아보고자 시행되었다.

연구재료 및 방법

연구재료

본 실험의 재료로 임상에서 많이 사용되고 있는 스테인레스 스틸계(Tru-Chrome[®], Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colorado, USA)의 선재를 사용하였다 (Table 1). 도금을 통한 직경 증가를 위해 0.016 인치 원형 선재를 사용하였고, 도금 후 물성 비교를 위한 대조군으로 아무 처리도 하지 않은 0.016 인치, 0.018 인치의 원형 선재를 이용하였다.

연구방법

시편 제작

무전해도금

도금 전 전처리로 선재와 도금금속 사이의 기계적 결

Table 1. Composition of experimental wire

Stainless steel alloy	
Chromium	17.0 ~ 19.0%
Nickel	8.0 ~ 10.0%
Manganese	2.0%
Silicon	1.0%
Phosphorus	0.04%
Sulfur	0.03%
Carbon	0.08 ~ 0.20%
Iron	balance

합력을 증진시키기 위하여 sandblaster (Microetcher II, Danville Engineering Inc., San Ramon, California, USA)를 사용하여^{16,17} sandblasting을 시행한 후, 유기물 오염을 제거하기 위해 트리클로로에틸렌에, 산 활성화⁶를 위해 15% 염산에 20초간 각각 침적 수세하여 전처리를 시행하였다. 무전해도금액(Hessonic-Gr[®], 신흥금속, 인천, 한국)을 비이커에 담아 온도가 90°C로 일정하게 유지되는 항온수조에 넣고, 비이커의 중앙에 시편을 수직으로 위치시킨 후 직경이 0.018 인치로 0.002 인치(0.051 mm) 증가할 때까지 도금을 시행하였다.

전기도금

도금 전 전처리로 sandblasting후 n-헥산과 99.9% 에탄올에 각각 침적 수세한 다음 화학적 결합력 증진을 위하여 50 ~ 60°C의 PdCl₂ 용액(1 g/L PdCl₂ + 1 ml/L HCl)에 5초간 침적 수세하여 전처리를 마무리한 후 전처리한 시편을 조 등³의 방법을 이용하여 직경이 0.018 인치로 0.002 인치(0.051 mm) 증가할 때까지 전기도금을 시행하였다.

기존의 선재(0.016 인치, 0.018 인치)군과 전기도금을 이용하여 0.002 인치의 직경이 증가된 군, 그리고 무전해도금을 이용하여 0.002 인치의 직경이 증가된 군 등 모두 4군을 016, 018, 016EP, 016ELP로 명명하였으며, 각 군당 15개의 시편을 실험에 사용하였다 (Table 2).

탄성시험

각 시편의 강성(stiffness)과 항복강도(yield strength), 극한강도(ultimate strength)를 측정하기

Table 2. Grouping of samples

Classification	Group
Ready-made 0.016 inch stainless steel wire	016
Electroplated wire (0.016 to 0.018 inch)	016EP
Electroless-plated wire (0.016 to 0.018 inch)	016ELP
Ready-made 0.018 inch stainless steel wire	018

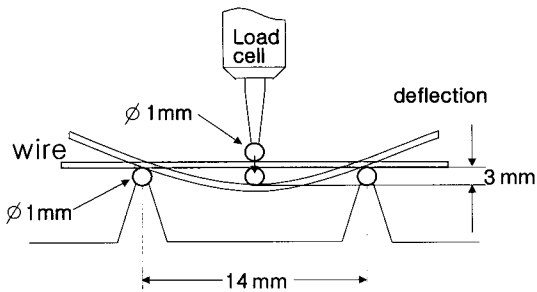


Fig 1. Schematic diagram of the three point bending test.

위하여 만능물성시험기(Universal Testing Machine, STM-5, United Calibration Corporation, Huntington Beach, California, USA)를 이용하여 3점 굴곡 실험(3-point bending test)을 시행하였다.¹⁸⁻²⁰ 하악 측절치 브라켓에서 제1소구치 브라켓의 평균 거리인 14 mm를 실험 span으로 하고 load cell을 1 kg으로, cross head speed를 1 mm/min으로 조정한 후 3 mm가 변형되는 지점까지 하중을 가해 하중-변형 곡선을 구하였다. 구해진 하중-변형 곡선에서 직선부위로 나타나는 영역에서의 강성을 구하기 위하여 하중에 대한 변형률(g/mm)을 계산하였다. 또한 0.2%의 영구변형이 나타나는 지점의 항복강도와 곡선 상에서 최고의 하중을 보이는 극한강도를 각각 측정하였다 (Fig 1).

X-선 회절 분석

X-선 회절분석기(X-ray Diffractometer, Rigaku D/MAX-1200, Rigaku, Japan)를 이용하여 도금된 금속에 대한 정성분석을 시행하였다. 2θ-θ법(Hanawalt 법)에 따라 start angle을 30°, stop angle을 90°로 하였으며 40 kV의 전압과 copper target를 사용하였으며 scan speed는 5° θ/min 으로 하여 금속 고유의 성질인 세 개의 회절각 2θ값과 그 회절 강도를 측정하였다.²¹

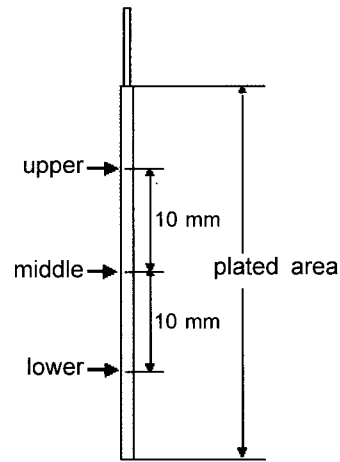


Fig 2. Measuring point for evaluation of uniformity.

시간 경과에 따른 직경 증가율 측정

0.016 인치에서 0.018 인치까지 0.002 인치가 증가하는 동안 전기도금은 매 1분 단위로, 무전해도금은 매 5분 단위로 0.001 mm까지 측정할 수 있는 디지털 마이크로미터(ABSOLUTE®, Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Kanagawa, Japan)를 이용하여 시편의 중앙 지점의 직경을 측정하여 시간에 따른 직경 증가율을 계산하였다.

균일성 평가

전기도금에 의해 직경이 증가된 시편은 중앙지점과 전극 접점쪽 및 반대쪽으로 각각 10 mm 되는 지점을, 무전해도금에 의해 직경이 증가된 시편은 중앙지점과 위쪽 및 아래쪽으로 10 mm 떨어진 지점을 디지털 마이크로미터로 각각 그 직경을 측정하여 0.018 인치에 대한 각 부위별 직경의 %를 계산하고 반복 측정 분산검정을 통하여 부위에 따른 균일성을 평가하였다 (Fig 2).

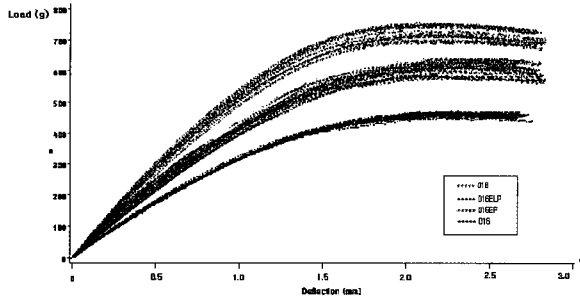


Fig 3. Comparison of the load-deflection curves of the experimental groups.

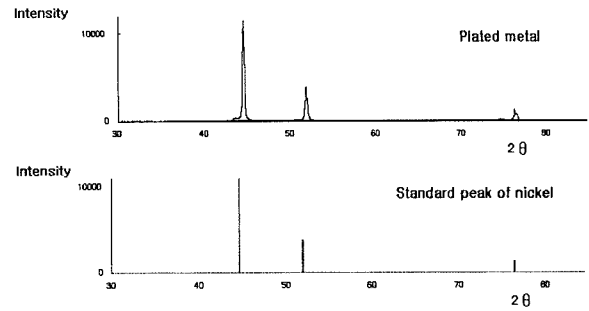


Fig 4. The results of X-ray diffraction analysis. Measured data for the plated metal are in agreement with the peaks of nickel provided by JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard).

Table 3. Comparison of results of the three-point bending test

Group	N	Stiffness (g/mm)		Yield strength (g)		Ultimate strength (g)	
		Mean	± SD	Mean	± SD	Mean	± SD
016	15	38.48	± 0.95	60.76	± 24.14	462.57	± 5.81
016EP	15	45.63	± 2.94	80.20	± 91.04	597.78	± 18.01
016ELP	15	56.51	± 1.35	91.54	± 40.82	626.04	± 10.55
018	15	59.93	± 2.76	148.27	± 93.68	728.50	± 21.45

016, ready-made 0.016 inch stainless steel wire; 016EP, electroplated 016; 016ELP, electroless-plated 016; 018, ready-made 0.018 inch stainless steel wire; Values connected by the same vertical line are not significantly different at the 5% level by *t*-test.

통계처리

SAS (Statistical Analysis System) 통계 처리용 프로그램을 이용하여 전기도금한 군, 무전해도금한 군, 기존 제품군 사이의 물성 차이를 보기 위해 분산분석을 시행하였고, 전기도금군과 무전해도금군간의 물성 차이를 보기 위해 *t*-test를 시행하였다. 시간경과에 따른 직경 증가율을 계산하기 위하여 회귀분석을 시행하였고, 도금층의 균일성 평가를 위해서 반복측정 분산검정을 시행하였다.

연구성적

도금에 의한 물성 변화

3점 굴곡 실험에 의한 각 군의 하중-변형 곡선을 보면 전반적으로 018군이 가장 높은 값을 보였으며, 가장 낮은 값의 곡선을 그리는 군은 016군이었다. 016EP군과 016ELP군은 모두 016군과 018군 사이에 존재하였다 (Fig 3).

도금을 시행하여 직경이 0.018 인치가 된 016EP군과 016ELP군 모두에서 강성, 항복강도, 극한강도 세 항목 모두 기존의 018군과 비교 시 통계적으로 유의한 차이를 보이며 낮게 나와 도금을 시행하여 직경을 증가시킨 선재가 원래부터 직경이 큰 선재에 비해 강성, 항복강도, 극한강도가 떨어짐을 나타내었다 ($p < 0.001$). 그러나 무전해 도금을 시행한 016ELP군의 강성과 항복강도, 극한강도 모두가 전기도금을 시행한 016EP군에 비하여 큰 경향을 보였으며 강성과 극한강도에서는 통계적 유의차를 나타내었다 ($p < 0.05$) (Table 3).

X-선 회절 분석

무전해도금과 전기도금 모두 2θ-θ법에 의한 도금층의 회절분석 결과 2θ값과 이에 해당하는 회절 강도 모두 JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) 카드의 니켈 값과 일치된 결과를 나타내어 도금된 금속이 니켈임을 확인하였다

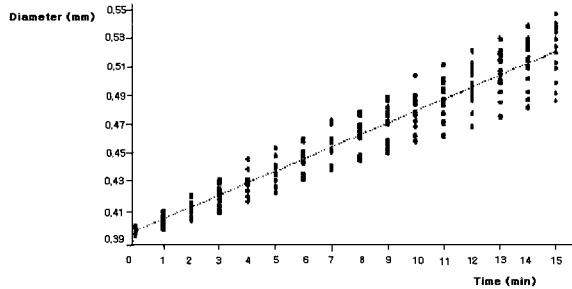


Fig 5. Increasing ratio of wire diameter by time in the electroplating procedure.

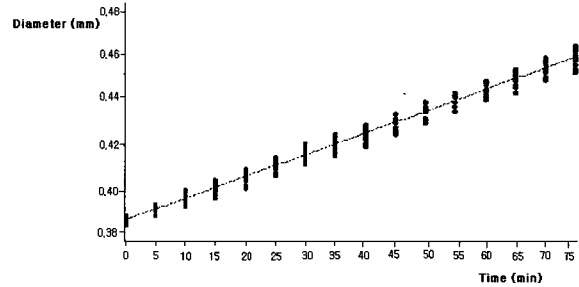


Fig 6. Increasing ratio of wire diameter by time in the electroless-plating procedure.

(Fig 4).²¹

시간경과에 따른 직경 증가율

시간경과에 따른 직경 증가율을 알아보기 위하여 단순회귀모형을 이용하여 검정한 결과(N = 240, R² = 0.93) 전기도금법을 시행한 군은 매 1분당 평균 0.00821 ± 0.00015 mm가 증가됨을 알 수 있었으며, 무전해도금을 시행한 군은 매 5분당 평균 0.00460 ± 0.00003 mm/5 min (0.00092 mm/min)가 증가됨을 알 수 있었다 (Figs 5 and 6).

균일성 평가

전기도금을 시행한 시편의 세 점을 각각 측정된 결과 평균 0.4609 ± 0.0025 mm, 0.4585 ± 0.0039 mm, 0.4591 ± 0.0027 mm로 나타나 도금 후 직경 0.018 인치에 대하여 100.82%, 100.23%, 100.42%로 0.23 ~ 0.82%의 범위 내에 존재하였으며, 무전해도금을 시행한 시편의 세 점을 각각 측정된 결과 평균 0.4573 ± 0.0024 mm, 0.4569 ± 0.0019 mm, 0.4577 ± 0.0016 mm로 나타나 도금 후 직경 0.018 인치에 대하여 100.07%, 99.97%, 100.16%로 -0.03 ~ 0.16%의 범위 내에 존재하였다. 두 도금법 모두에서 반복측정 분산 검정에 의한 통계적 차이는 나타나지 않았다 (p > 0.05).

총괄 및 고찰

교정치료 시 불규칙한 치아의 배열은 가는 선재에서 굵은 선재로의 호선교환을 통해 이루어진다. 교정 임상에서 호선교환은 한 환자에서 악궁 당 최소 4-5

개 정도가 필요하다. 호선교환 시 이전 호선과의 동일한 형태의 호선제작이 어려워 불필요한 치아이동과 치근흡수 등의 부작용이 발생할 수 있어 이러한 부작용을 막기 위한 많은 노력들이 있어 왔다. 스트레이트 와이어 시스템²²은 1차, 2차 및 3차 굴곡을 일일이 부여하여야 하는 일반 스탠다드 브라켓의 단점은 극복하였으나 경우에 따라 3차원적인 호선의 조절이 필요하며 환자 개개인의 다양한 악궁 형태를 재현해 줄 수 없어 환자에게 맞는 호선 형태로 조절이 필요하고 이는 호선교환 시 이전의 호선모양을 정확히 재현할 수 없으므로 불필요한 치아이동은 불가피한 실정이다. 최근 CAD/CAM을 이용한 호선제작기계²³가 개발되었으나 장비가 고가이며, 제작과정이 복잡하여 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 조 등³은 호선교환의 한 방법으로 전기도금을 이용하여 이전 단계의 호선에서 직경만 증가시킴으로써 이러한 부작용을 막고자 하였다. 그러나 전기도금은 전극을 이용한 도금으로서 전극과 멀리 떨어진 쪽에서 도금 층이 두껍게 되어 불규칙한 구조물의 균일한 도금이 불가능한 단점⁶이 있어, 선재의 직경을 증가시키는 한 방법으로 무전해도금법의 이용 가능성을 알아보하고자 본 연구를 시행하였다.

도금을 위한 전처리과정은 매우 중요한데 염과 이⁵는 불충분한 전처리는 도금밀착 불량원인의 50%가 됨을 보고하였고, 실제로 본 실험을 하는데 있어 가장 문제되었던 부분은 도금 층의 탈락이었다. 이는 전처리의 문제로 생각되며 실험결과 전처리 시 사용한 sandblasting은 기존 선재의 코팅 면을 벗겨 내기 위해 반드시 필요하였다.

무전해도금에 사용한 액은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 신평금속에서 제작한 무전해니켈도금액인 Hessonnic-Gr[®]을 사용하였다. 이 액은 니켈-인 석출물

을 얻을 수 있는 반 광택의 무전해 니켈 도금액으로 pH 4.5-4.8이고 도금 온도로 87-92°C를 제시하고 있어 90°C를 유지할 수 있는 항온수조를 이용하여 도금을 시행하였다. 스테인레스 스틸에 니켈전기도금을 시행하기 위하여 Yang과 Cheh,²⁴ Nagirnyi와 Chaikovskaya²⁵는 모두 와트액을 이용하였는데 75°C, 50-60°C의 액을 각각 사용하였다. 전기도금을 위한 예비실험에서 선학들의 연구방법을 이용하여 실험을 하려 하였으나 전기도금 속도가 온도에 민감하게 반응함을 알 수 있었고 또한 임상에서의 사용을 고려하여 실온(25-29°C)상태의 액을 이용하고 이에 맞추어 조성을 조정하였다. 본 연구에서 도금 금속으로 니켈을 사용하였는데 이는 니켈이 기계적 성질과 화학적 성질이 뛰어나 내마모성과 광택, 경도 등에서 우수한 특성을 보이기 때문이며 실제로 무전해도금 및 전기도금에서 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 것으로 알려져 있다.²⁶

물질의 회절 패턴은 물질을 확인할 수 있는 지문(finger print)과 같은 역할을 하는데 본 실험에서는 Hanawalt법, 즉 2θ-θ법을 이용하였다. 이는 회절강도가 가장 강한 세 개의 회절선의 d 값 d_1 , d_2 , d_3 와 이들의 상대적 회절 강도도 같이 표시하여 미지 시료의 패턴과 일치하는 표준 물질의 패턴을 찾아냄으로써 미지 시료의 성분을 알아내는 방법이다.²¹ 본 실험에서 나온 2θ값과 그 강도가 니켈의 2θ값 및 강도와 일치하여 순수한 니켈이 도금되었음을 알 수 있었다.

본 실험 결과 나온 무전해도금에서의 직경 증가율인 0.00092 mm/min를 통해 흔히 임상에서 선재교환 시 사용하는 0.014 인치 → 0.016 인치 → 0.018 인치 순서로의 0.002 인치 단위의 직경 증가는 무전해도금 시 약 60분 정도로 많은 시간이 걸려 실제 임상 사용에는 어려움이 있다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 무전해도금의 임상 사용을 위해서는 pH의 조절, 온도 증가, 첨가제의 사용 등의 방법을 사용하여 도금금속 석출속도에 영향을 줌으로써 도금시간을 줄이는 방향으로의 연구가 필요하리라 생각된다.

시중에 시판되고 있는 선재의 직경에 대한 연구에서 Waters 등²⁷은 제시된 직경의 $\pm 4.0\%$ 범위의 오차를 보인다고 하였으며 Williams 등²⁸은 그 범위가 $\pm 5.0\%$ 라 하였다. 최근의 Tonner 등²⁹의 연구에서도 직경의 오차 범위는 0.08%에서 1.44%로 나오고 있어 본 실험 결과에 나타난 전기도금의 0.23%에서 0.82%의 오차와 무전해도금의 0.03%에서 0.16%의 오차는 기존의 제품에서 보여지고 있는 오차 범위보다 작을

뿐만 아니라 부위별 직경 차이에 대한 통계적 유의차가 없어 균일성 면에서는 도금한 선재의 임상 적용이 가능함을 보였다.

0.016 인치에서 전기도금에 의해 직경을 0.002 인치 증가시킨 군과 무전해도금에 의해 0.002 인치 증가시킨 군을 비교해보면 무전해도금군에서 강성, 항복강도, 극한강도 모두 증가하는 경향을 보였고 강성과 극한강도에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 또한 전반적인 하중-변형 곡선을 보면 무전해도금군이 전기도금군에 비해 그 폭이 좁은 것을 알 수 있었다. 이는 값의 편차가 적음을 나타내며 이러한 편차의 원인으로 도금과정 중에 나타날 수 있는 기저금속원자의 배열변화나 도금 층과 기저금속간의 결합력의 차이 등을 고려해 볼 수 있다. 따라서 도금과정에 의해 기저 금속의 변화가 어떻게 발생하는지 그리고 도금 층의 결합력이 강도변화에 미치는 영향 등에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다. 물성 분석결과 무전해도금군이 전기도금군보다 기존의 0.018 인치 군과 좀더 가까운 물성을 보임을 알 수 있었다. 그러나 도금에 의해 직경이 0.002 인치 증가되어 0.018 인치가 된 군은 기존의 0.018 인치 군에 비해 모든 값들이 유의하게 낮게 나왔는데 이는 도금에 사용한 금속인 니켈의 항복강도와 최대인장강도가 20,000 psi, 65,000 psi로서 본 실험 선재의 성분인 스테인레스 스틸의 항복강도와 최대인장강도인 28,000 psi, 75,000 psi보다 낮아 이러한 기계적 성질이 최종 강도에 영향을 미쳐 낮은 강도를 나타낸 것으로 보인다.³⁰

본 연구에서는 스테인레스 스틸 선재를 무전해도금법과 전기도금법을 사용하여 직경 증가를 도모하였으나 스테인레스 스틸 뿐만 아니라 다양한 재질의 선재에 이러한 전기도금과 무전해도금을 적용한 후 그 물성 변화를 알아보는 것도 필요할 것이다. 또한 본 실험에 사용된 니켈의 금속 유리 정도 연구를 시행하여 인체 유독성을 평가해야 할 것이며 인체 유해성이 있다면 다른 금속으로의 도금이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 무전해도금법은 전기도금법에 비해 많은 장점을 가지고 있지만 임상에서 사용하는데 있어서 가장 큰 문제가 도금석출 속도이므로 이에 도금석출 속도에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 인자들의 조절을 통해 도금시간 감소에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

결 론

0.016 인치 스테인레스 스틸 교정용 선재에 도금을 위한 전처리를 시행한 후, 시중에 판매되는 무전해니켈도금액 Hessonnic-Gr®, 신평금속, 한국을 사용하여 90°C 온도에서 0.018 인치 직경이 될 때까지 도금을 시행하였다. 무전해도금 과정 중 시간에 따른 직경 증가율을 구하는 한편, 도금 후 세 지점의 직경을 측정하여 균일성을 평가하였다. 도금 금속의 정성분석을 위하여 X-선 회절분석을 시행하는 한편, 물성검사를 시행한 후 전기도금한 경우와 각각 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 무전해도금한 균이 전기도금을 시행한 균보다 강성, 항복강도, 극한강도 모두 높은 경향을 보였으며 강성과 극한강도에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$).
2. 무전해도금한 균은 0.00461 ± 0.00003 mm/5 min (0.00092 mm/min)의 직경증가율을 보였으며, 전기도금한 균은 0.00821 ± 0.00015 mm/min의 직경증가율을 보였다.
3. 도금 후 세 지점의 직경을 측정하여 균일성을 평가한 결과 두 가지 도금법 모두에서 균일한 양상을 보였다.

이상의 결과로 무전해도금법을 통해 직경이 증가된 선재가 전기도금법에 의해 직경이 증가된 선재보다 기존의 선재와 가까운 물성을 보임을 알 수 있었다. 그러나 이의 임상적 적용을 위해서는 도금시간을 감소시켜야 함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Burstone CJ. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall Jr RL, editors. Orthodontics: Current principles and techniques. St. Louis: Mosby; 2005. p. 293-330.
2. Matasa CG. Biomaterials in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall Jr RL, editors. Orthodontics: Current principles and techniques. St. Louis: Mosby; 2005. p. 345-89.
3. 조진형, 성영은, 이기현, 황현식. 전기도금을 이용한 스테인레스 스틸 선재의 직경 증가에 관한 실험적 연구. 대치교정지 2003;33:121-30.
4. 이정석, 이기현, 황현식. 전기도금을 이용한 스테인레스 스틸 각형 선재의 굵기 증가 후 물성 변화. 대치교정지 2003;33:131-40.
5. 엄희택, 이주성. 도금·표면처리. 서울: 문운당; 1989.
6. 김남일, 장시성. 무전해도금. 서울: 동화기술; 1996.

7. Schwartz M, Bunshah RF. Deposition from aqueous solutions: an overview. Deposition technologies for films and coatings. New Jersey: Noyes Publications; 1982. p. 385-449.
8. Wurtz A. Electroless plating. Compt Rend Acad Sci 1845;21:145-51.
9. Brenner A, Riddell GE. Reminiscences of early electroless plating. Plat Surf Finish 1984;71:24-9.
10. West HJ. Studies on electroless nickel plating. Met Finish 1953;53:68-75.
11. Pearlstein F. Electroless plating of non-steel metal. Met Finish 1955;55:59-64.
12. Kim M, Kwon SC. Review on electroless plating(I). Met Finish Soc Korea 1986;19:121-7.
13. Kim M, Kwon SC. Review on electroless plating(II). Met Finish Soc Korea 1986;19:155-88.
14. Park HJ, Ohi EK, Kim SG, Yeu T. Electroless nickel plating on alumina powder. J Korea Chem Engin 1994;32:358-66.
15. Kim YD, Lee J. Studies on electroless nickel plating on alumina ceramics(I) on empirical deposition rate in electroless nickel plating. Met Finish Soc Korea 1986;19:109-22.
16. Mandich NV, Krulik GA. On the mechanisms of plating on plastics. Plat Surf Finish 1993;80:68-73.
17. Mimani T, Mayanna SM. Electroless nickel plating from an acidic tartrate bath. Plat Surf Finish 1991;78:66-9.
18. Nakano H, Satoh K, Norris R, Jin T, Kamegai T, Ishikaw F, et al. Mechanical properties of several nickel-titanium alloy wires in three-point bending tests. Am J Orthod Dentofacial Orthod 1999;115:390-5.
19. Oltjen JM, Duncanson MG Jr., Ghosh J, Nanda RS, Currier GF. Stiffness-deflection behavior of selected orthodontic wires. Angle Orthod 1997;67:209-18.
20. Kusy RP, Dilley GJ. Elastic modulus of a triple-stranded stainless steel archwire via three- and four-point bending. J Dent Res 1984;63:1232-40.
21. Cullity BD. Chemical analysis by X-ray diffraction. In: Elements of X-ray diffraction. California: Addison-Welsey Publishing Com. Inc; 1978. p. 397-420.
22. Andrews LF. The straight-wire appliance, origin, controversy, commentary. J Clin Orthod 1976;10:99-114.
23. Jost-Brinkmann PG, Cacciafesta V, Riemeier F. Lingual treatment with the bending art system. In: Romano R, editor. Lingual orthodontics. London: B. C. Decker; 1998. p. 185-93.
24. Yang CC, Cheh HY. Pulsed electrodeposition of copper/nickel multilayers on a rotating disk electrode. J Electrochem Soc 1995;142:3040-4.
25. Nagirnyi VM, Chaikovskaya VM. Effect of high-temperature annealing on the strength of adhesion between electroplated nickel coatings and stainless steel support. Russian J App Chem 1998;71:1663-5.
26. Henry J. Electroless plating. Met Finish 1984;84:45-7.
27. Waters NE, Stephens CD, Houston WJ. Physical characteristics of orthodontic wires and archwires. Part I. Br J Orthod 1975;2:15-24.
28. Williams DW, Fraunhofer JA, Davies EH. Metallurgical characterization of high resilience stainless steel orthodontic wires. J App Chem Biotech 1975;25:913-34.
29. Tonner RI, Waters NE. The characteristics of super-elastic Ni-Ti wires in three-point bending. Part II: intra-batch variation. Eur J Orthod 1994;16:421-5.
30. Barrett CR, Nix WD, Petelman AS. Introduction to the mechanical properties of solids: The principles of engineering materials. New Jersey: Prentice-Hall Inc; 1973. p. 193-224.

- ORIGINAL ARTICLE -

A comparative study of electroplating and electroless plating for diameter increase of orthodontic wire

Jae-Nam Kim, DDS, MSD,^a Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD,^b Young-Eun Sung, MA, PhD,^c
Ki-Heon Lee, DDS, MSD, PhD,^d Hyeon-Shik Hwang, DDS, MSD, PhD^e

The purpose of this study was to evaluate electroless plating as a method of increasing the diameter of an orthodontic wire in comparison with electroplating. After pretreatment plating of the 0.016 inch stainless steel orthodontic wire, electroless plating was performed at 90°C until the diameter of the wire was increased to 0.018 inch. During the process of electroless plating, the diameter of the wire was measured every 5 minutes to examine the increasing ratio of the wire's diameter per time unit. And to examine the uniformity, the diameter at 3 points on the electroless-plated orthodontic wire was measured. An X-ray diffraction test for analyzing the nature of the plated metal and a 3-point bending test for analyzing the physical property were performed. The electroless-plated wire group showed an increased tendency for stiffness, yield strength, and ultimate strength than the electroplated wire group. And there was a statistically significant difference between the two groups for stiffness and ultimate strength. In the electroless-plated wire group, the increasing ratio of the diameter was 0.00461 ± 0.00003 mm/5 min (0.00092 mm/min). In the electroplated wire group, it was 0.00821 ± 0.00015 mm/min. The results of the uniformity test showed a tendency for uniformity in both the plating methods. The results of this study suggest that electroless plating of the wire is closer to the ready-made wire than electroplating wire in terms of the physical property. However, the length of plating time needs further consideration for the clinical application of electroless plating.

Korean J Orthod 2006;36(2):145-52

✳ **Key words:** Electroless plating, Electroplating, Change of physical properties, Increase diameter

^a Graduate Student, ^b Full-time Lecturer, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University

^c Associate Professor, School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University

^d Associate Professor, ^e Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Dental Science Research Institute, Chonnam National University

Corresponding author: Hyeon-Shik Hwang

Department of Orthodontics, Chonnam National University Hospital, Hak-Dong 8, Dong-Gu, Gwangju 501-757, Korea
+82 62 220 5486

hhwang@chonnam.ac.kr

Received October 21, 2005; Last Revision March 14, 2006; Accepted March 16, 2006