

## 니켈티타늄 전동 파일의 기계적 특성 비교: Aurum Blue vs. Aurum Pro

<sup>1</sup>부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

<sup>2</sup>경북대학교 치과대학 치과보존학교실

곽상원<sup>1</sup>, 하정홍<sup>2</sup>, 안상미<sup>1</sup>, 김현철<sup>1\*</sup>

### ABSTRACT

#### Comparison of mechanical properties of nickel-titanium rotary files: Aurum Blue vs. Aurum Pro

<sup>1</sup>Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Dental Research Institute, Pusan National University, Yangsan, Korea

<sup>2</sup>Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Sang Won Kwak<sup>1</sup>, Jung-Hong Ha<sup>2</sup>, Sang Mi Ahn<sup>1</sup>, Hyeon-Cheol Kim<sup>1\*</sup>

**AIM:** The purpose of this study was to evaluate and compare the torsional fracture resistances, cyclic fatigue resistance, and bending stiffness of two nickel-titanium (NiTi) rotary instruments made of different heat-treated alloy: Aurum Blue (heat-treated) and Aurum Pro (conventional).

**Methods:** Forty-five Aurum Blue and Aurum Pro NiTi files were selected for the three mechanical tests (n=15). For the torsional resistance test, 3 mm file tip was fixed and the shaft was driven clockwise at 2 rpm until fracture occurred by using a customized device. Cyclic fatigue resistance was evaluated by rotating instruments in artificial canal with dynamic mode. Bending stiffness was tested by observation of the bending moment on attaining a 45° bend. The results were analyzed by student-t tests at a significance level of 95%. The fractured surface of each groups were examined under a scanning electron microscope (SEM).

**Results:** Aurum Blue showed significantly higher toughness, ultimate strength, distortion angle, and number of cycles to failure than those of Aurum Pro (p < 0.05). However, Aurum Blue and Aurum Pro did not differ significantly in terms of bending stiffness. SEM showed typical topographic appearances of the cyclic fatigue and torsional fracture.

**Conclusions:** Under the limitations of this study, heat-treated instruments showed higher flexibility and fracture resistances than conventional NiTi instruments.

**Keywords:** Endodontic treatment; Nickel-titanium file; Torsional resistance; Cyclic fatigue resistance; Bending stiffness; CM-wire

#### Corresponding Author

Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD, Professor

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University, Dental Research Institute Geumo-ro 20, Mulgeum, Yangsan, Gyeongnam, 50612, Korea (South) Tel; +82-55-360-5222, Fax; +82-55-360-5214, e-mail; golddent@pusan.ac.kr

**ACKNOWLEDGMENT** The authors deny any conflicts of interest. This study was supported by Clinical Research Grant, Pusan National University Dental Hospital (2018).

## I. 서론

Nickel-titanium (NiTi) 합금은 특유의 우수한 유연성과 초탄성으로 인하여 근관 치료용 기구를 제작하는데 널리 사용되고 있다<sup>1)</sup>. 전통 NiTi 파일은 이러한 성질로 인하여 전통적인 수동 기구를 이용한 근관 성형 방법에 비교하여 ledge, transportation, 또는 천공과 같은 임상적인 오류를 감소시켰다고 알려져 있지만<sup>2)</sup>, 사용 중 갑작스러운 기구의 파절이 일어날 수 있다. 이러한 기구의 파절은 두가지 메커니즘으로 일어난다; 반복 피로(cyclic fatigue) 또는 비틀림 힘(torsional force)<sup>3)</sup>. 피로 파절은 만곡된 근관에서 파일이 회전할 때 발생하며, 만곡점에서 파일의 외측면은 인장력을 받고 내측은 압축력을 받아 피로의 증가로 인해 파절이 일어난다. 반면, 비틀림 파절은 근관과의 마찰 저항의 결과, 근관 내에서 기구가 지속적으로 회전하며 일어나게 된다.

NiTi 파일의 파절 저항성에 영향을 미치는 요인으로, 파일의 디자인, 표면 처리, NiTi 합금의 열처리, 근관의 만곡과 같은 여러가지 요소들이 복합적으로 작용한다고 알려져 있다<sup>4)</sup>. 최근, NiTi 기구의 유연성과 피로 파절에 대한 저항성을 더욱 향상시키기 위하여 NiTi 합금에 열처리를 시행하는 방법이 소개되고 있다. 이러한 열처리 기법은 NiTi 합금의 미세 구조와 상변이 방식을 변화시킴으로써 기구의 물리적 성질을 변화시킨다<sup>5)</sup>. 이러한 열처리 과정은 유연성을 증가시키기는 하지만, 기구의 삭제 효율에는 부정적으로 작용할 수도 있다고 알려져 있다<sup>6)</sup>.

비교적 최근 소개된 Aurum Blue(AB; Meta Biomed, Osong, Korea)는 이전의 Aurum Pro(AP; Meta Biomed)와 비교하여 유사한 기하학적 구조를 가지지만, 서로 다른 열처리된 합금으로 제조되었다. AP는 볼록한 삼각형 형태의 단면적과 progressive taper를 특징으로 하며, 이러한 형태의 단면을 가지는 기구들은 삭

제 효율이 우수한 것으로 나타났다<sup>7)</sup>. 반면, AB는 AP와 비교하여 유사한 단면을 가지지만, constant taper를 나타내고, 특수한 열처리를 통하여 유연성이 우수하다고 제조사에서 주장하고 있다. 일반적으로 열처리된 기구들은 전통적인 NiTi 합금에 비하여 더 높은 austenitic 변이 온도(Af)를 지니며, 특수한 2단계의 상변이를 나타내어 더 유연하다<sup>7)</sup>.

현재까지 AP와 AB 두 가지 NiTi 파일의 물리적 성질을 보고한 연구는 없었다. 따라서, 이번 연구의 목적은 AP와 AB 두가지 근관 치료용 파일의 피로 파절 및 비틀림 파절 저항성과 굽힘 강성을 비교하는 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 재료 선택:

각 45개의 AB T2(#25/.06)과 AP F2(#25/progressive taper) 두가지 NiTi 파일 시스템이 이 연구에 사용되었다(n=15). 각 파일은 25번으로 동일한 크기였으며, 25 mm 길이를 사용하였다. 모든 기구는 실험 전 치과용 현미경(Zeiss Pico; Carl Zeiss MeditE, Dublin, CA, USA) 하에서 변형이나 흠집이 없는지 관찰하였고, 결함에 의해 폐기된 파일은 없었다.

### 비틀림 파절 저항성(Torsional fracture resistance) 테스트:

특수 제작한 AEndoS(DMJ system, Busan, Korea; Figure 1A)를 이용하여 ultimate torsional strength와 distortion angle을 측정하였다<sup>8)</sup>. 각 파일의 tip 3 mm 를 polycarbonate block으로 고정시킨 후, 2 rpm의 속도로 파일의 파절이 일어날 때까지 시계방향으로 회전시켰다. 회전하는 동안 발생하는 torsional load(Ncm)와 distortion angle을 50 Hz 속도로 기록하였다. 연

어진 데이터를 기반으로 distortion angle (X축)과 torsional load (Y축)으로 하는 그래프를 Origin v6.0 Professional (Microcal Software Inc., Northampton, MA, USA) 프로그램을 이용하여 제작하였다. 파일의 파절이 일어날 때까지 그래프 아래측 전체 면적을 인성(toughness)으로, 최대의 비틀림하중(torsional load)을 극한비틀림강도(ultimate torsional strength)로 산출하였다.

#### 피로 파절 저항성(Cyclic fatigue fracture resistance) 테스트:

특수 제작된 EndoC(DMJ system; Figure 1B)를 이용하여 피로 파절 저항을 측정하였다. Tempered steel로 제작된, 6 mm 회전 반경 및 35도의 각도를 가지는, 만곡된 17 mm의 근관을 사용하였다. 인공 근관 벽과 NiTi 파일 사이의 마찰을 줄이기 위하여 합성 오일(WD-40; WD-40 Company, San Diego, CA, USA)을 근관 내에

도포하였다. 각 파일을 300 rpm으로 4 mm의 상하 반복 운동을 dynamic mode로 파일이 부러질 때까지 회전 시켰다. 이후 NCF(number of cycles to failure)값을 파일이 파절이 일어날 때까지 총 시간(sec)과 회전속도(5 revolution per second, 300 rpm)를 이용하여 산출하였다. 부러진 파일 팁의 길이는 치과용 현미경 10배율 하에서 디지털 캘리퍼(Mitutoyo, Kawasaki, Japan)로 측정하였다.

#### 굽힘 강성(Bending Stiffness) 테스트:

American National Standard/American Dental Association Specification No. 28 and ISO Specification 3630-1에 따라 AEndoS를 이용하여 각 파일의 굽힘 강성을 측정하였다. 파일의 tip 3 mm를 고정 후, 파일 축에 대해 45도로 힘을 가하여 발생하는 굽힘 모멘트를 기록하였고, 원래 위치에 대한 residual angle을 측정하였다(Figure 1; C1과 C2).

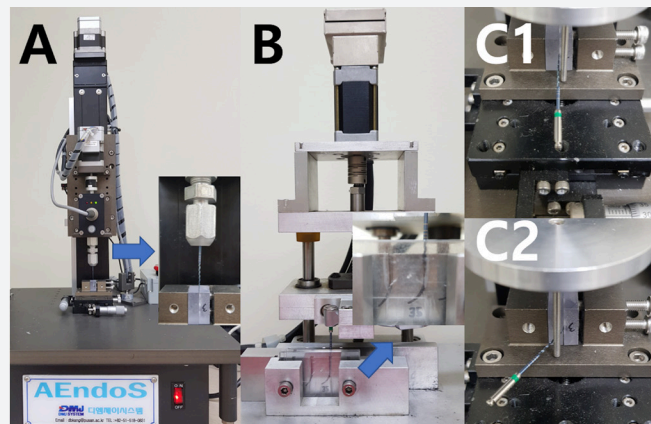


그림 1. 파일 파절 저항 측정을 위한 실험 장비 AEndoS. A. 비틀림 파절 저항성 측정을 위한 전용 기구, B. 피로파절 저항을 측정하기 위한 인공 근관, C1과 C2. 굽힘 강성 측정을 위한 기구와 실험 예.

**전자주사현미경(Scanning electron microscope) 관찰 :**

Scanning electron microscope(SEM; S-4800 II; Hitachi High Technologies, Pleasanton, CA, USA)를 이용하여 비틀림 파절 또는 피로 파절된 파일의 단면을 관찰하였다.

**통계 방법:**

먼저 Shapiro-Wilk test를 이용하여 등분산 검사를 시행하였다. 획득된 데이터의 분석을 위하여 Student t test를 SPSS 25.0(IBM-SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 프로그램으로 95%의 신뢰 구간에서 시행하였다.

**III. 결과**

AB와 AP의 비틀림 파절 저항, 피로 파절 저항, 및 굽힘 강성에 대한 결과를 표 1에 표시하였다. AB는 AP에 비하여 유의하게 큰 ultimate strength와 distortion angle 및 toughness을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 피로 파절 저항성 테스트 결과 역시 AB에서 AP보다 더 높은 NCF

값을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 피로 파절 결과 부러진 tip 부위의 파절편 길이는 두 파일 간에 차이가 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 굽힘 강성 실험에서 residual angle은 AB가 AP보다 유의하게 크게 나타났지만, 굽힘 강성은 두 파일 간 차이가 유의하게 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ).

전자 주사 현미경(SEM) 촬영 영상에서 각각의 파절된 단면은 전형적인 비틀림 또는 피로 파절의 양상을 나타내었다(그림 2).

**V. 고찰**

NiTi 파일의 파절을 감소시키기 위한 여러가지 노력에도 불구하고, 근관 치료 과정 중 NiTi 파일의 파절은 예고 없이 일어날 수 있다. 파절에 의해 NiTi 파일의 파절편이 근관 내에 잔존하여 제거할 수 없다면, 감염 치수나 세균을 효과적으로 제거할 수 없어 임상적 예후에 악영향을 미칠 수 있다<sup>9)</sup>. 현재 다양한 새로운 NiTi 파일들이 시장에 소개되고 있으며, 이러한 파일에 대한 물리적

Table 1. Torsional resistance, cyclic fatigue resistance, and bending stiffness of Aurum Blue and Aurum Pro (Mean  $\pm$  standard deviation)

	Aurum Blue	Aurum Pro	p-value
Toughness (Degree Ncm)	2456 $\pm$ 357	667 $\pm$ 380	$p < 0.05$
Ultimate strength (Ncm)	1.19 $\pm$ 0.18	0.99 $\pm$ 0.16	$p < 0.05$
Distortion angle (Degree)	2592 $\pm$ 259	865 $\pm$ 361	$p < 0.05$
Number of cycle to failure (NCF)	7887 $\pm$ 1797	2122 $\pm$ 358	$p < 0.05$
Fracture fragment length (mm)	3.27 $\pm$ 1.47	4.33 $\pm$ 0.24	$p > 0.05$
Residual angle (degree)	40.79 $\pm$ 1.06	17.67 $\pm$ 3.80	$p < 0.05$
Bending stiffness (Ncm)	0.46 $\pm$ 0.06	0.56 $\pm$ 0.17	$p > 0.05$

특성과 파절 저항성에 대한 이해는 매우 중요하다. 따라서, 이번 연구의 목적은 유사한 형태를 가지지만 열처리 기법이 다른 AB와 AP의 물리적 성질과 파절 저항성을 비교하는 것이었다.

NiTi 파일은 단면의 형태, 단면적, 제조 과정 중 열처리 방법, 합금의 화학적 조성 등에 의하여 물리적 성질에 영향을 받는다<sup>10-12</sup>. 이번 연구에서 사용된 AB는 현재 많이 주목받고 있는 controlled memory wire(CM-wire)로 제작된 file의 일종으로 매우 유연한 파일로 생각된다<sup>5</sup>. 이번 실험 결과, AB는 AP에 비해 유의하게 높은 distortion angle을 나타내었다. 이것은 비틀림 힘이 파일에 가해졌을 때, AB가 상대적으로 더 유연하여 파일의 나선꼬임(helix)이 풀리면서 끊어지지 않고 늘어나는 성질이 강함을 의미한다. 임상적으로 이러한 특징은 비틀림 파절을 미리 인지하는데 안전 요소로 작용할 수 있을

것이다<sup>5</sup>. 또한 AB는 AP보다 더 높은 ultimate strength를 나타내었으며, 이 두가지 특성을 고려해 볼 때 AB에서 더 높은 toughness를 나타내었다. 이것은 파일이 근관 내의 어느 부분에서라도 binding 되었을 때 비틀림 파절에 이르기 까지 파일에 가해지는 에너지의 수용 능력이 크다는 것을 의미한다<sup>13</sup>.

피로 파절 저항 실험 결과 역시 AB가 AP에 비해 유의하게 높은 NCF값을 나타내었다. 두 가지 파일이 거의 유사한 단면적과 taper를 tip에서 가진다고 생각했을 때, 열처리된 파일들이 피로 파절 저항에 매우 유리함을 알 수 있다. Santos 등<sup>14</sup>은 유한 요소 분석을 통하여 동일한 형태를 가지는 NiTi 파일의 물리적 성질에 대하여 비교하였으며, CM-wire 기구는 M-wire나 전통적인 NiTi 기구에 비하여 피로 파절에 대한 저항성이 우수한 것으로 보고되었다<sup>15</sup>. 즉, 이번 실험은 열처리된 파일들

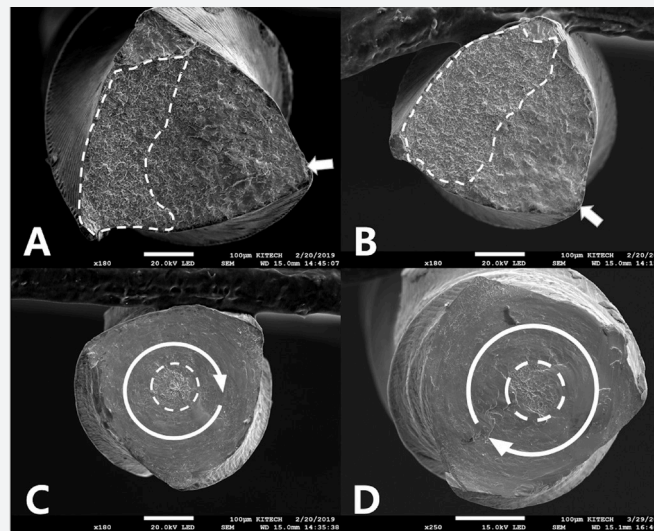


그림 2. Aurum Blue (A, C)와 Aurum Pro (B, D)의 파절 단면의 전자 주사 현미경 사진. A와 B는 피로 파절 단면으로 crack initiation area(화살표)와 fast fracture zone(점선)이 관찰된다. Fast fracture zone은 fibrous fatigue area의 특징을 보여준다. C와 D는 비틀림 파절의 결과로 회전 중심부 근처에 fibrous skewed dimple(점선)을 보이며 주변으로 동심원을 그리는 circular abrasion mark(원 화살표)를 나타낸다.

이 더 높은 피로 파절 저항값을 나타내는 이전의 연구들의 결과와 일치한다<sup>16,17</sup>). 이번 실험의 한계는, 실온에서 각 파절 저항의 수치가 측정되었다는 것이다. AB가 일종의 CM-wire로 제작된 file임을 고려하였을 때, 실온에서 더 유연한 성질을 보이므로, 피로 파절 저항에서 더 유리한 값을 나타낼 수 있었을 것이다.

굽힘 강성 실험에서 residual angle이 AB에서 높게 나오는 것은, AB가 CM-wire로 제작된 파일로서, 실온에서 NiTi 특유의 형상기억 특성을 소실하여 나타나는 결과이다<sup>5,13</sup>). 이례적으로(예상과는 달리), AP에서 residual angle이 높게 나타났다. AP가 conventional NiTi file이라는 점을 감안할 때, 45도로 굽힘 후 거의 원래의 위치로 정상 회복되어야 하지만, 여전히 높은 값의 residual angle을 나타내는 것으로 보아, 제조 과정에서 martensite phase의 증가를 생각할 수 있으며 전통적인 NiTi 합금과는 차이가 있는 것으로 추정된다. 따라서, 굽힘 강성 역시 두가지 파일에서 유의한 차이를 나타내지 않은 것으로 해석된다.

본 실험 결과, AP의 경우 residual angle이 일반적인

conventional NiTi 파일에서 예상되는 거의 0에 수렴하는 낮은 값을 나타내지 않고, 굽힘 강도 또한 열처리된 AB와 유사한 값을 나타내었다. 따라서, AP는 순수한 conventional NiTi 파일로 제작되었다고 추정할 수 없다. 또한, 여전히 높은 표준편차 값을 보이는 것은, 특히 AP 파일의 경우, 제품의 질 유지에 대한 개선이 필요할 것으로 생각된다.

### Conclusion

이번 실험의 한계에도 불구하고, 연구의 결과는 임상에서 유용하게 사용될 수 있다고 생각된다. CM-wire 기구나 유사하게 열처리된 합금을 사용한 기구의 사용이 전통적인 NiTi file의 사용에 비해 근관상아질의 보존이나 파절 방지와 함께 성형의 질을 높일 수 있을 것으로 판단할 수 있다<sup>18</sup>). AB는 특수한 열처리(CM-wire)로 인하여 연성이 우수하여 AP에 비하여 유연성이 우수하며 파절에 대한 저항성이 매우 뛰어난 것으로 밝혀졌다.

## 참고 문헌

1. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000;33:297-310.
2. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
3. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26:161-5.
4. Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod* 2004;30:722-5.
5. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013;39:163-72.
6. Shen Y, Haapasalo M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *J Endod* 2008;34:606-10.
7. Elnaghy AM, Elsaka SE. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2016;49:1073-8.
8. Yum J, Cheung GS, Park JK, Hur B, Kim HC. Torsional strength and toughness of nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2011;37:382-6.
9. Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, et al. SEM Observations of nickel-titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical use. *J Endod* 2005;31:40-3.
10. Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod* 2006;32:372-5.
11. Park SY, Cheung GS, Yum J, Hur B, Park JK, Kim HC. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2010;36:1200-4.
12. Wycoff RC, Berzins DW. An in vitro comparison of torsional stress properties of three different rotary nickel-titanium files with a similar cross-sectional design. *J Endod* 2012;38:1118-20.
13. Goo HJ, Kwak SW, Ha JH, Pedullà E, Kim HC. Mechanical properties of various heat-treated nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2017;43:1872-7.
14. Santos Lde A, Bahia MG, de Las Casas EB, Buono VT. Comparison of the mechanical behavior between controlled memory and superelastic nickel-titanium files via finite element analysis. *J Endod* 2013;39:1444-7.
15. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Kafdağ Ö, Balkaya H. Effect of two different temperatures on resistance to cyclic fatigue of one Curve, EdgeFile, HyFlex CM and ProTaper next files. *Aust Endod J*. 2019 Aug 13. doi: 10.1111/aej
16. Rubio J, Zarzosa JI, Pallarés A. A comparative study of cyclic fatigue of 10 different types of endodontic instruments: an in vitro study. *Acta Stomatol Croat* 2019;53:28-36.
17. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *Int Endod J* 2018;51:1088-103.
18. Pedullà E, Plotino G, Grande NM, et al. Shaping ability of two nickel-titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig*. 2016;20:2227-33.