

Size와 Taper가 ProFile과 Hyflex CM Ni-Ti 파일의 기계적 물성 변화에 미치는 효과

이형우, 이창하, 이인복*

서울대학교 치의학대학원 치학연구소, 치과보존학교실 치과용 복합재료 및 생역학 연구실

Effect of size and taper on the mechanical properties of profile and Hyflex CM Ni-Ti endodontic files

*Hyungwoo Lee, Chang-ha Lee, In-bog Lee**

*Department of Conservative Dentistry and Dental Research Institute, School of Dentistry,
Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*

The purpose of this study was to investigate the effect of size and taper on the mechanical properties of two Ni-Ti files. A controlled memory Ni-Ti file, Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland) and a conventional Ni-Ti file, ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) were used. The size and taper (sizer/taper values) were 20/.04, 25/.04, 25/.06 and 30/.04. The U-Mechanics Analyser (IB Systems, Seoul, Korea) was used to measure the bending, torsional, and fatigue fracture resistance of the files (n=5). ProFile showed elastic deformation, but Hyflex CM showed higher hysteresis with plastic deformation in bending resistance test. The bending and torsional resistance of ProFile increased with increasing size and taper, though the #25 and #30 files of Hyflex CM did not result in any change. Hyflex CM showed greater fatigue fracture resistance than ProFile in all sizes and tapers. Without considering root canal excavation efficiency, it is considered that Hyflex CM has better root canal trackability and fewer fatigue fractures than ProFile.

Keywords : Ni-Ti file, Bending resistance, Torsional resistance, Fatigue fracture resistance

Hyungwoo Lee (ORCID: 0000-0002-0547-7102)

Chang-ha Lee (ORCID: 0000-0002-4623-1475)

*Correspondence: In-Bog Lee (ORCID: 0000-0001-8083-1530)

101 Daehak-ro, Jongro-gu, Seoul 03080, Republic of Korea

Affiliation: Department of Conservative Dentistry and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

Tel: (82)-2-2072-3953, Fax: (82)-2-2072-3859

E-mail: inboglee@snu.ac.kr

Received: Mar. 15, 2022; Revised: Mar. 22, 2022; Accepted: Mar. 23, 2022

서론

30여년 동안 치과용 Ni-Ti 파일은 근관 치료를 위해 사용되어왔다. Ni-Ti 파일은 기존의 스테인리스스틸 파일과 비교하면, 초탄성(super-elasticity)과 형상 기억 효과(shape memory effect)가 있다. 이는 모터를 이용한 회전을 가능하게 하였고, 근관의 성형 효율을 비약적으로 높였다. 이러한 장점에도 불구하고, 회전을 하기 때문에 기존의 핸드파일에 비해 파절 위험이 존재한다(1).

Ni-Ti 파일의 삭제 효율과 파절 저항성을 증가시키기 위해 다양한 방법이 시도되었다. 파일의 기하학적인 형태의 변형은 절삭력을 증가시킬 수 있으며, 파일에 누적되는 응력을 감소시켜 파절 저항성을 높일 수 있다. 파일 taper의 증가는 근관 내 치수 잔사의 제거를 용이하게 했다(2). 그 외 측면날의 디자인, flute의 수, 선단의 형태, 횡단면 디자인의 다양한 변화가 이루어졌다(3). 유사한 효과를 Ni-Ti 파일의 제조 방법의 변화를 통해 얻으려는 시도도 있었다. 코어가 되는 Ni-Ti 합금을 꼬거나(twisting) 혹은 갈아서(grinding/machining) 파일의 형태를 제작하는 방법도 삭제 효율과 연관이 있다는 연구가 존재한다(4). Ni-Ti 파일의 표면처리 역시 파절 저항성에 영향을 준다고 알려져 있으며, 대표적으로 전해 연마(electropolishing) 등이 있다(5). 파절 저항성을 증가시키기 위해 Ni-Ti 합금 자체의 화학적 조성 및 미세 구조를 변화시킬 수도 있다. Ni-Ti 합금은 오스테나이트, 마르텐사이트 및 R상과 같은 3가지 미세 구조 상을 포함하며, 이들의 특성과 상대적 비율로 금속의 기계적 특성이 결정된다(6). 열 처리는 Ni-Ti 합금의 여러 상 사이의 전이 온도를 조정하고, Ni-Ti 파일의 피로 저항에 영향을 미치는 접근 방식 중 하나이다(4, 7).

Controlled Memory Wire (CM Wire, DS Dental, Johnson City, TN, USA)는 2010년에 도입된 유연한 특성을 가진 새로운 Ni-Ti 합금으로 특수한 열기계적 공정을 사용하여 제조되었다. 그 결과 금속 자체가 매우 유연해 마르텐사이트 상태에서 쉽게 변형될 수 있게 되어 내피로성을 높였다(6). Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland)이 대표적으로 CM Wire를 사용하는 Ni-Ti 파일이다. Hyflex CM은 M-Wire로 제작된 ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)와 비교 시 근관 성형 시간이 빨랐으

며(8) 피로 파절 저항성이 높았다(9). 또한 M-Wire로 제작된 ProFile Vortex (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA)와 비교하여 더 유연하다는 것이 밝혀졌다(10).

Ni-Ti 파일의 파절 가능성과 관련된 물성을 비교하는 방법으로는 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성 측정이 있다(11). 현재까지 국내에서 Hyflex CM의 파절과 연관된 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성에 대한 연구는 전무하다.

이에 본 연구에서는 치과용 Ni-Ti 회전 파일 중, 전통적 Ni-Ti 파일인 ProFile (Dentsply Maillefer, conventional Ni-Ti alloy)과 controlled memory 금속을 사용한 파일인 Hyflex CM (Coltène-Whaledent, CM Wire alloy)을 대상으로 파일 삭제부위의 size와 taper의 변화가 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

Ni-Ti 파일의 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성 측정을 위해 U-Mechanics Analyser (IB Systems, Seoul, Korea)를 사용했고 그 구조는 Figure 1과 같다.

하부에는 수직힘(인장력 및 압축력)을 측정하는 load cell과, 회전을 측정하는 토크 센서가 설치되어 있다. 토크 센서 상부에 척과 jaw가 연결되어 있고, 여기에 Ni-Ti 파일의 선단을 고정할 수 있다. 상부에는 역시 파일이나 핸드피스를 고정할 수 있는 척이 고정되어 있고, step 모터와 screw에 의해 수직 상하운동이 가능하다. 상부의 척은 또 다른 step 모터에 의해 좌우 회전운동이 가능하고, 척을 떼어낸 후 핸드피스를 장착할 수 있다. 본 장비는 파일의 상하, 좌우 회전 운동을 GUI (Graphic User Interface)로 조절할 수 있으며, 그 움직임과 측정된 수직력 및 토크를 컴퓨터에 저장할 수 있다.

본 연구에 사용된 Ni-Ti 파일은 conventional Ni-Ti 합금으로 제조된 ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)과 CM Wire 합금으로 제작된 파일인 Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland)이었다. 모든 파일은 선단(tip)에서 핸들 하연까지 25 mm 이며,

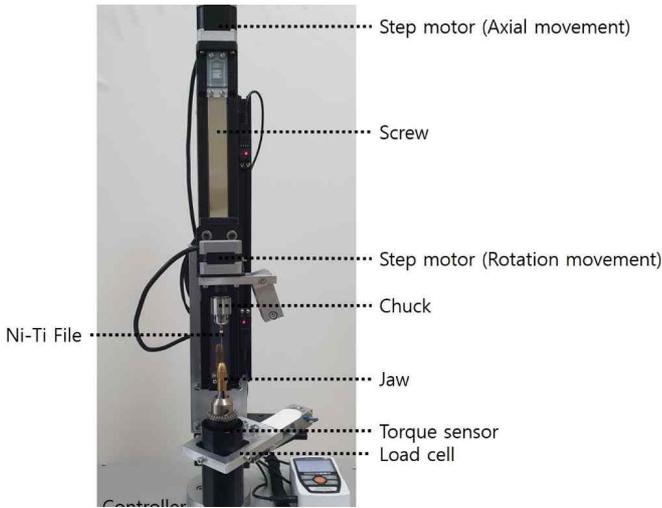


Figure 1. Components of the U-Mechanics Analyser.

각 파일 별로 20/.04, 25/.04, 25/.06, 30/.04 (size/taper)를 준비했다. 각 실험당 동일 size/taper에서 5개씩 측정하였다.

1. 굽힘 저항성 측정(bending resistance test)

굽힘 저항성 측정은 국제표준 ISO 3630-1에 따라 시행하였다(12). U-Mechanics Analyser의 상부 척에 bending resistance test 모듈을 장착하였다. Ni-Ti 파일의 선단 3 mm를 U-Mechanics Analyser 하부 척의 jaw에 수평으로 고정하였다. Bending resistance test 모듈의 회전팔(rotation

arm)을 파일에 접촉시킨 후, 시계방향으로 45° 회전시키며 파일의 굽힘 저항에 의해 발생하는 토크를 측정하였다. 이후 bending resistance test 모듈을 반시계방향으로 45° 돌려 원위치 시키면서 토크를 측정하였다. 회전각의 변화에 따른 최대 토크 값과 굽힘/원위치로 회귀 시 토크값의 차이는 이력(hysteresis)을 의미하며 최대 이력값을 구하였다(Figure 2).

2. 비틀림 저항성 측정(torsional resistance test)

비틀림 저항성 측정 실험 역시 국제표준 ISO 3630-1에 따라 시행하였다(12). Ni-Ti 파일의 선단 3 mm를 U-Mechanics Analyser 하부 척의 jaw에 수직으로 고정하였다. Ni-Ti 파일의 핸들 부위는 U-Mechanics Analyser 상부 척의 jaw에 수직으로 고정하였다. 시계방향으로 2 rpm의 속도로 회전시키면서 Ni-Ti 파일이 파절되는 순간까지의 회전수와 토크를 측정하였다(Figure 2).

3. 피로 파절 저항성 측정(cyclic fatigue resistance test)

피로 파절 저항성 측정 실험을 위해 인공 근관을 제작하였다. Stainless-Steel 직육면체 블록 내면에 인공 근관을 만들었다. 인공 근관은 내경 1.5 mm, 가장 긴 직선 부분은 7 mm, 원호 위치의 외곽 곡률 반경은 6 mm, 원호는 90° 각도이며 가장 짧은 직선 부분 3 mm로 제작하였다(Figure 3).

U-Mechanics Analyser의 하부 척에 상기 블록을 고정하고, U-Mechanics Analyser 상부에 X-Smart Plus motor

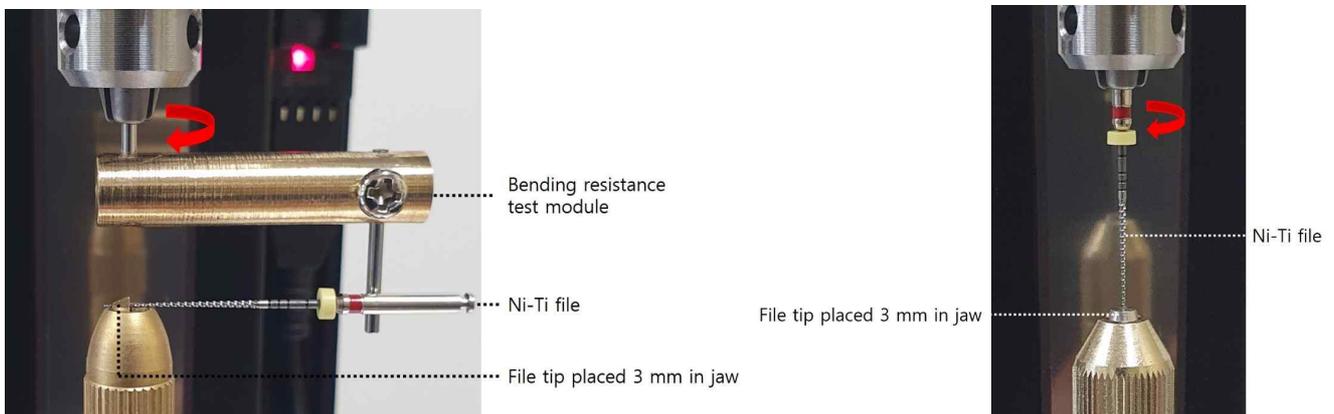


Figure 2. Apparatus for the bending resistance test (left) and the torsional resistance test (right).

결 과

1. 굽힘 저항성 측정(bending resistance test)

각 Ni-Ti 파일의 굽힘 저항성 측정 시 회전각 vs. 토크의 그래프는 Figure 4와 같다. 각 파일의 size/taper 별 최대 토크값과 최대 이력값은 Table 1과 같다. ProFile의 경우, 동일한 .04 taper에서 size가 커질수록 최대 토크값과 최대 이력값이 높아졌다. #25에서는 taper가 클수록 최대 토크값과 최대 이력값이 컸다. Hyflex CM의 경우, 동일한 .04 taper에서 size 변화를 보았을 때 #20이 최대 토크값 및 최대 이력값이 가장 작았으나, #25와 #30은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 동일한 #25에서는 taper가 변해도 최대 토크값과 최대 이력값은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 동일한 size/taper에서 ProFile과 Hyflex CM의 최대 토크값을 비교하면, 25/.06과 30/.04에서만 유의미한 차이를 보였으며 ProFile이 Hyflex CM보다 최대 토크값이 높았다. 동일한 size/taper에서 ProFile과 Hyflex CM의 최대 이력값을 비교하면, 모든 경우에서 ProFile이 Hyflex CM보다 최대 이력값이 작았다.

2. 비틀림 저항성 측정(torsional resistance test)

각 Ni-Ti 파일의 비틀림 저항성 측정 시 회전수 vs. 토크의 그래프는 Figure 5와 같다. 각 파일의 size/taper 별 최대 토크값과 회전수는 Table 2와 같다. ProFile의 경우, 동일한 .04 taper에서 size가 커질수록 최대 토크값이 높아졌다. 동일한 #25에서는 taper가 클수록 최대 토크값이 컸다. Hyflex CM의 경우, 동일한 .04 taper에서 size가 커질수록 최대 토크값이 높아지는 경향은 보이나, 25/.04와 30/.04의 경우 유의미한 차이는 보이지 않았다. 동일한 #25에서는 taper가 변해도 최대 토크값이 유의미한 차이를 보이지 않았다. 동일한 size/taper에서 ProFile과 Hyflex CM의 최대 토크값을 비교하면, 25/.04에서만 ProFile보다 Hyflex CM의 경우 최대 토크값이 유의미하게 높았다. ProFile, Hyflex CM 모두 size 혹은 taper의 변화에도 회전수에서는 특별한 경향성은 관찰되지 않았다.

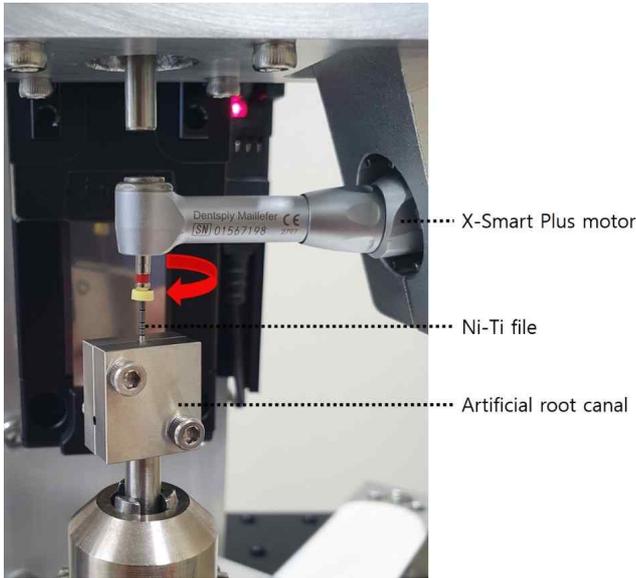


Figure 3. Apparatus for the cyclic fatigue resistance test.

(Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)를 연결하였다. 인공 근관 내부는 Ni-Ti 파일과의 마찰과 열 발생을 감소하기 위해 글리세린을 도포하였다. Ni-Ti 파일은 인공 근관 내부로 18 mm를 삽입한 후, 각 파일 별 권장되는 rpm으로 X-Smart Plus motor를 이용해 회전시켰다. 제조사의 지시에 따라 ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)은 300 rpm으로 회전시켰으며, Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland)은 500 rpm으로 회전시켰다(13, 14). Ni-Ti 파일이 파절되는 순간까지의 시간을 측정하여 파절 시 회전 수를 계산하였으며, 파절된 파일 조각의 길이를 측정하였다.

4. 통계 분석

통계처리는 Excel 2019 (Microsoft, Washington, USA)를 사용하여 분석하였다. 동일 브랜드 내에서 파일 size/taper의 변화에 따른 결과 값의 차이를 확인하기 위해 각 test에 대해 One-way ANOVA를 시행하였다, 동일한 size와 taper에 대해 파일 브랜드 사이의 차이를 비교하기 위해 독립 t-검정(Independent t-test)을 사용했다. 모든 통계는 95%의 유의수준에서 검정하였다.

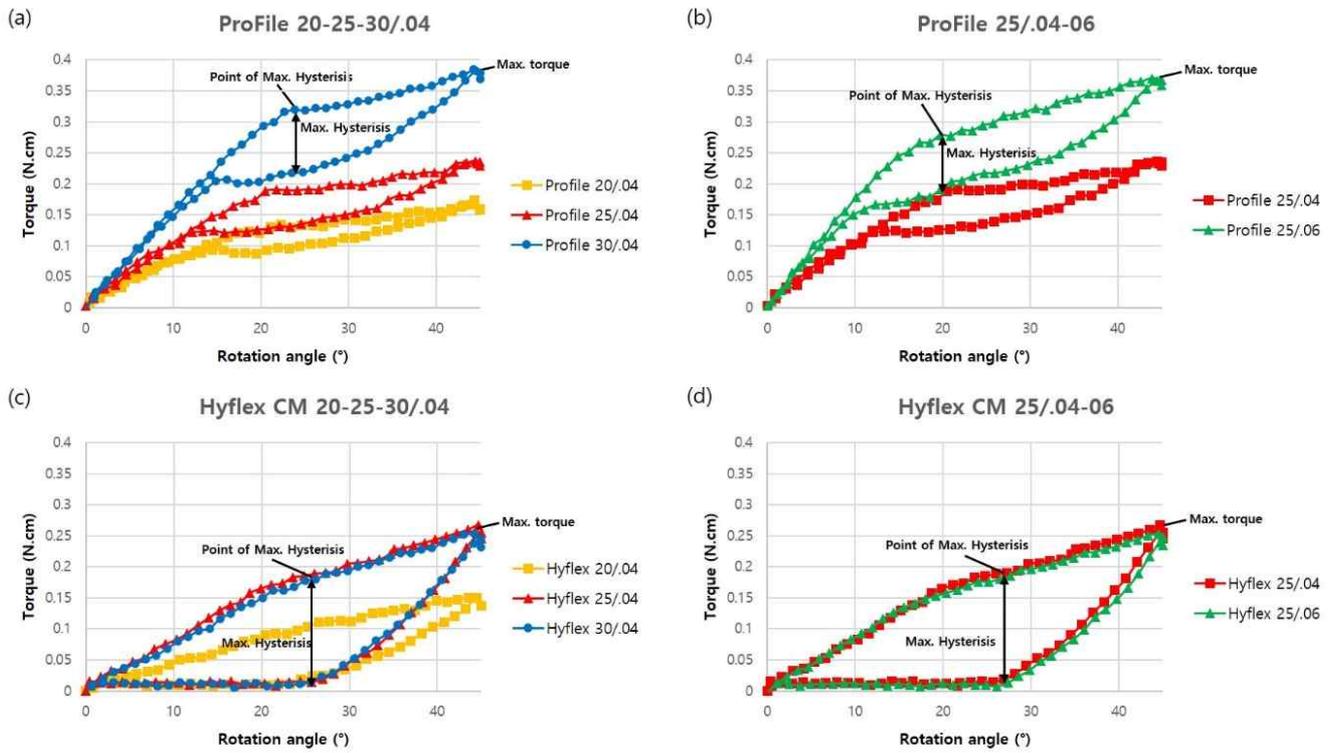


Figure 4. Bending resistance test, rotation angle vs. torque. (a) ProFile 20-25-30/.04, (b) ProFile 25/.04-06, (c) Hyflex CM 20-25-30/.04, (d) Hyflex CM 25/.04-06.

Table 1. Bending resistance test, Maximum torque and maximum hysteresis of two files with changing size and taper.

Instrument		Maximum Torque (N · cm)	Maximum Hysteresis (N · cm)
ProFile	20/.04	0.159 (0.02) ^c	0.037 (0.02) ^d
	25/.04	0.235 (0.03) ^b	0.061 (0.02) ^c
	25/.06	0.367 (0.05) ^{a*}	0.088 (0.04) ^b
	30/.04	0.379 (0.03) ^{a*}	0.102 (0.03) ^a
Hyflex CM	20/.04	0.137 (0.02) ^b	0.082 (0.01) ^{b*}
	25/.04	0.255 (0.02) ^a	0.175 (0.02) ^{a*}
	25/.06	0.248 (0.03) ^a	0.173 (0.02) ^{a*}
	30/.04	0.245 (0.02) ^a	0.165 (0.04) ^{a*}

Different superscript letters indicate significant differences between different size/taper in same brand ($p < 0.05$).

* indicates significant higher between Profile and Hyflex CM for identical size/taper ($p < 0.05$).

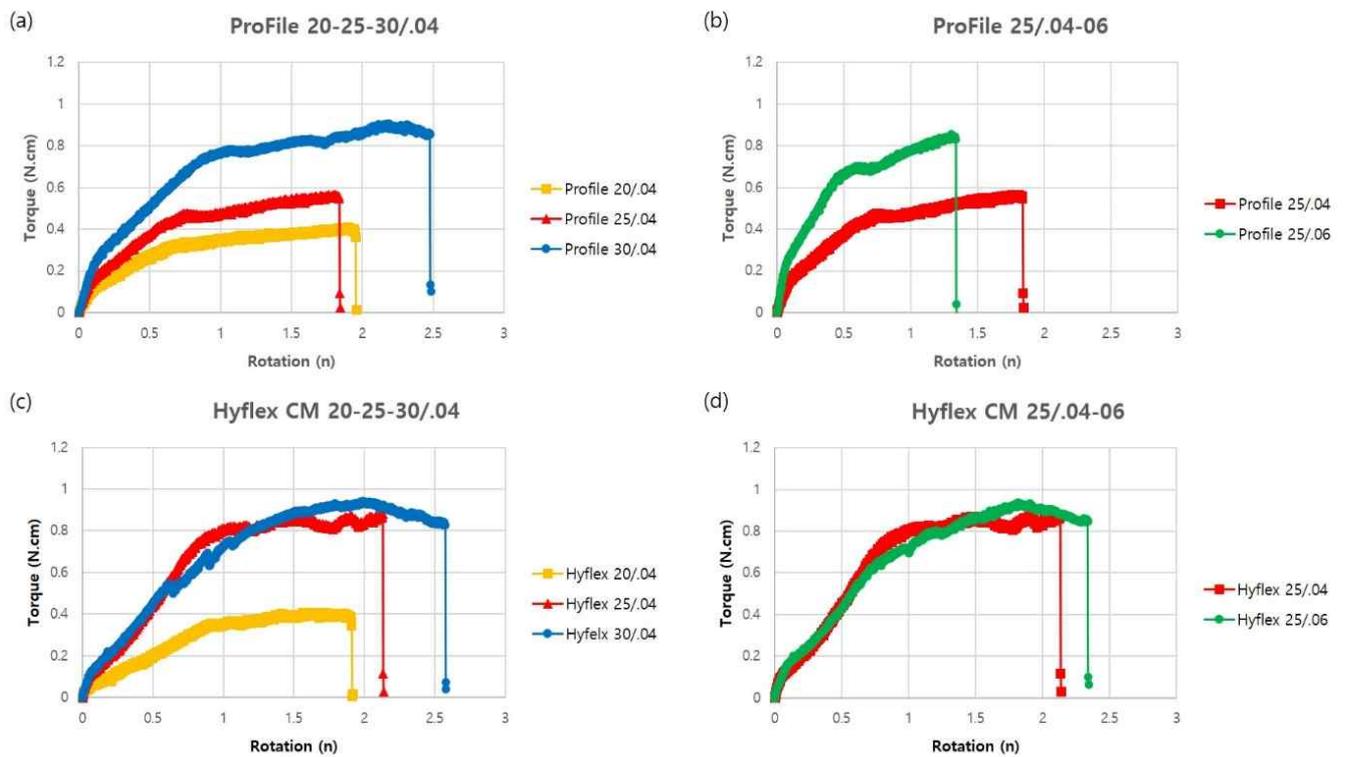


Figure 5. Torsional resistance test. (a) ProFile 20-25-30/.04, (b) ProFile 25/.04-06, (c) Hyflex CM 20-25-30/.04, (d) Hyflex CM 25/.04-06.

Table 2. Torsional resistance test. Maximum torque and rotations at fracture of two files with changing size and taper.

Instrument	Maximum Torque at Fracture (N · cm)	Rotations at Fracture (n)
ProFile	20/.04	0,398 (0,04) ^c
	25/.04	0,534 (0,06) ^b
	25/.06	0,847 (0,05) ^a
	30/.04	0,923 (0,05) ^a
Hyflex CM	20/.04	0,442 (0,09) ^b
	25/.04	0,825 (0,16) ^{a*}
	25/.06	0,934 (0,12) ^a
	30/.04	0,941 (0,12) ^a

Different superscript letters indicate significant differences between different size/taper in same brand ($p < 0,05$).

* indicates significant higher between Profile and Hyflex CM for identical size/taper ($p < 0,05$).

3. 피로 파절 저항성(cyclic fatigue resistance test)

Ni-Ti 파일의 피로 파절 저항성 측정 시 NCF (Number of Cycles to Failure, 파절까지의 회전수)와 파절된 조각의 길이는 Table 3과 같다. ProFile의 경우, 동일한 .04 taper에서 size에 따른 NCF는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 동일한 #25에서는 taper가 클수록 NCF가 작았다. Hyflex CM의 경우 동일한 .04 taper에서 #20, 25에서는 유의미한 차이가 없었으나 #30에서는 NCF가 작았다. 동일한 #25에서는 taper가 클수록 NCF가 작았다. 동일한 size/taper에서 ProFile과 Hyflex CM의 NCF를 비교하면, ProFile보다 Hyflex CM의 경우 NCF가 높았다. 부러진 파일 조각의 길이는 5.46 mm 에서 7.14 mm였다.

고 찰

본 연구는 자체 제작한 파일 물성분석기, U-Mechanics Analyser (IB Systems, Seoul, Korea)를 사용하여 Ni-Ti 파일의 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성을 측정하였다. U-Mechanics Analyser는 컴퓨터와 연결하여 실시간으로 측정값을 관찰 및 기록이 가능하다는 장점이 있다.

이를 통해 굽힘 저항성 측정 중에, 이력(hysteresis)을 계산할 수 있다. 피로 파절 저항성 측정 시에도 파일이 부러지는 것을 직접 육안으로 관측할 필요없이, 내장된 토크 센서에서 측정된 토크값의 변화를 통해 파일이 파절되었다는 것을 확인할 수 있다. 실험에 사용한 ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)은 최초의 Ni-Ti 파일 중 하나로 conventional Ni-Ti 합금을 사용한 대표적인 파일이다(15). 이후 특정 열처리 과정을 거쳐 제작된 Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland)은 기존의 Ni-Ti 파일과는 다르게 유연성이 높다고 알려져 있다(15).

굽힘 저항성 측정 결과, ProFile의 경우 동일 taper에서 파일 size가 커질수록 토크값이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 파일 size가 커질수록 단면이 두꺼워지기 때문으로, 구부림에 더 많은 힘이 필요하다는 것을 의미한다. ProFile의 경우 동일 size에서 파일 taper가 커질수록 토크값이 높다는 것 역시 같은 이유에 기인한다(16). 반면 Hyflex CM은 #25 이상부터는(25/.04, 25/.06, 30/.04) taper나 size가 커져도 토크값이 유사하였다($p > 0.05$). 이는 파일 단면의 기하학적인 형태와 관련이 있다고 사료된다. 추가 실험에서 주사전자 현미경으로 Hyflex CM 파일의 횡단면을 관찰한 결과, 20/.04와 25/.04는 사각형, 25/.06과 30/.04는 삼각형이었

Table 3. Cyclic fatigue resistance test. Number of Cycles to Failure (NCF) and length of fractured fragment of two files with changing size/taper.

Instrument		NCF	Length of Fractured Fragment
ProFile	20/.04	628 (55) ^a	6.13 (0.26) ^b
	25/.04	614 (76) ^a	6.37 (0.31) ^b
	25/.06	452 (48) ^b	7.14 (0.27) ^{a*}
	30/.04	604 (107) ^a	6.22 (0.43) ^b
Hyflex CM	20/.04	1491 (205) ^{a*}	6.31 (0.16) ^a
	25/.04	1362 (123) ^{a*}	6.30 (0.19) ^a
	25/.06	902 (264) ^{b*}	5.46 (0.11) ^b
	30/.04	1070 (119) ^{b*}	5.81 (0.47) ^b

Different superscript letters indicate significant differences between different size/taper in same brand ($p < 0.05$).

* indicates significant higher between Profile and Hyflex CM for identical size/taper ($p < 0.05$).

다. 즉 size와 taper가 증가하였지만 파일의 유연성을 증가시키기 위해 사각형에서 삼각형으로 단면이 변화함으로써 파일의 실제 횡단면적은 증가하지 않았기 때문으로 사료된다. 굽힘 저항성 측정 실험에서는 두 파일의 이력 현상을 비교할 수 있는데, 여기서의 이력은 파일의 구부림 및 원위치로 회귀 과정 중에서의 비가역적 변형과 관련이 있다. ProFile은 bending resistance test 모듈을 원위치 할 때 파일도 원위치로 돌아왔지만(elastic deformation), Hyflex CM의 경우는 파일이 45° 미만으로 구부러진 채로 유지되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다(plastic deformation). 최대 이력값은 ProFile의 경우, 동일 taper에서 파일 size가 커질수록, 혹은 동일 size에서 파일 taper가 커질수록 높았다. 반면 Hyflex CM은 #25부터는(25/.04, 25/.06, 30/.04) 파일의 taper나 size가 커져도 매우 유사한 이력값을 보였는데 ($p < 0.05$), 이 역시 위에서 언급한 바와 같이 파일 횡단면의 기하학적 형태 변화에 기인한다고 볼 수 있다.

비틀림 저항성 측정 결과, ProFile은 동일 taper에서 파일 size가 커질수록, 동일 size에서 파일 taper가 커질수록 평균 토크값이 높았다. 굽힘 저항성 측정 결과와 마찬가지로 파일의 단면이 두꺼워질수록 비틀림에 대한 저항성이 높기 때문이다. 반면, Hyflex CM은 #25 이상부터는(25/.04, 25/.06, 30/.04) size가 커지거나, taper가 커져도 유사한 토크값을 나타냈다. 독립 t검정 분석 시 25/.04 에서 ProFile보다 Hyflex CM의 비틀림 파절 토크값이 유의미하게 높게 측정되는데($p < 0.05$), 이 또한 ProFile과 Hyflex CM의 횡단면 차이에서 기인한다고 생각된다. 비틀림 파절까지의 회전수는 특별한 경향성이 관찰되지는 않았다($p > 0.05$). 다만 모든 경우 3회전을 넘기지는 못했다.

피로 파절 저항성 측정 결과, ProFile은 동일 taper에서 size가 커져도 NCF는 유의미한 차이가 없었다. 동일 size에서 taper가 커진 경우는 NCF가 감소했다. Hyflex CM은 #25 이상부터는(25/.04, 25/.06, 30/.04) size나 taper가 커지면 NCF가 감소했다. 이는 파일의 size/taper뿐만 아니라 단면의 기하학적 형태에 따라 복합적인 영향을 받는다고 해석할 수 있다. 동일 taper 혹은 동일 size에서 ProFile과 Hyflex CM의 NCF를 비교하면 Hyflex CM의 수치가 높은 것을 확인할 수 있다($p < 0.05$). 이는 Hyflex CM이 유연성이 높음을 설명할 수 있을 뿐 아니라, 파절과 크게 관련된 crack

의 전이가 낮음을 의미한다. 굽힘 저항성 측정 실험에서 Hyflex CM의 이력이 더 컸고 plastic deformation 보였는 바, 이는 crack이 주변으로 전파되는 에너지를 부분적으로 흡수했기 때문으로 해석할 수 있다. 부러진 파일 조각의 길이는 특별한 경향성이 관찰되지 않았다.

본 연구를 통해, size 및 taper 그리고 합금의 미세 구조상의 조성 변화에 따른 Ni-Ti 파일의 상이한 기계적 물성을 확인할 수 있었다. 여기서는 파절 저항성에 집중하여 ISO 규격에 따라 선단 3 mm에서의 굽힘 및 비틀림 저항성을 측정했지만, 만곡된 근관 형태에 큰 영향을 미치는 파일 선단에서 5-10 mm 범위에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 실제 임상에서는 파일의 기계적 성질에 따라 삭제 효율 및 만곡 근관 추종성이 큰 영향을 받으므로, 서로 다른 Ni-Ti 파일의 종류에 따라 형성된 근관 형태에 대한 추가 연구도 필요하다고 사료된다.

결론

합금의 미세 구조상의 조성이 다른 Ni-Ti 파일에서 size/taper 변화에 따른 기계적 물성 변화에 대해 연구하였다. 굽힘 저항성의 경우 ProFile은 elastic deformation을 보였으나, Hyflex CM은 plastic deformation과 더 높은 이력(hysteresis)을 나타냈다. ProFile의 경우 size와 taper가 증가함에 따라 굽힘 저항성과 비틀림 저항성이 증가한 반면, Hyflex CM의 경우 #25와 #30 파일에서는 size 및 taper에 따른 변화가 없었다. Hyflex CM이 ProFile보다 모든 size 및 taper에서 피로 파절 저항성이 컸다. 근관의 삭제 효율을 고려하지 않는다면, Hyflex CM이 ProFile보다 만곡 근관 추종성 측면에서 유리하며 피로 파절이 더 적을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Parashos P, Messer HH. Rotary instrument fracture and its consequences. J Endod. 2006;32(11):1031-43.
2. Young GR, Parashos P, Messer HH. The principles

- of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J*. 2007;52(1):52-63.
3. Bergmans L, Cleynenbreugel JV, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. *Am J Dent*. 2001;14(5):324-33.
 4. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *Int Endod J*. 2012;45(2): 113-28.
 5. Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006;102(4):106-14.
 6. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. *Int Endod J*. 2018;51(10):1088-103.
 7. Yahata Y, Yoneyama T, Hayashi Y, Ebihara A, Doi H, Hanawa T, et al. Effect of heat treatment on transformation temperatures and bending properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J*. 2009;42(7):621-6.
 8. Saber SEDM, Nagy MM, Schäfer E. Comparative evaluation of the shaping ability of ProTaper Next, iRaCe and Hyflex CM rotary NiTi files in severely curved root canals. *Int Endod J*. 2015;48(2):131-6.
 9. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Akti A, Düzgün S. In Vitro Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper Next, HyFlex CM, OneShape, and ProTaper Universal Instruments in a Canal with a Double Curvature. *J Endod*. 2016;42(6):969-71.
 10. Ninan E, Berzins DW. Torsion and bending properties of shape memory and superelastic nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2013;39(1):101-4.
 11. Zhou H, Peng B, Zheng YF. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Endod Topics*. 2013;29(1):42-54.
 12. International Organization for Standardization. ISO 3630-1:2019. Dentistry-Endodontic Instruments-Part 1: General requirements. Geneva: ISO; 2019.
 13. ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) brochure.
 14. Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland) brochure.
 15. Gavini G, Santos M, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res*. 2018;32(suppl 1):e67.
 16. Bahia MGA, Melo MCC, Buono VTL. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006; 101(5):675-80.

Size와 Taper가 ProFile과 Hyflex CM Ni-Ti 파일의 기계적 물성 변화에 미치는 효과

이형우, 이창하, 이인복*

서울대학교 치의학대학원 치학연구소, 치과보존학교실 치과용 복합재료 및 생역학 연구실

본 연구의 목적은, 파일 삭제부위의 size와 taper의 변화가 Ni-Ti 파일의 기계적 성질에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. Controlled Memory Wire (CM Wire, DS Dental, Johnson City, TN, USA) Ni-Ti 합금을 사용한 파일인 Hyflex CM (Coltène-Whaledent, Altstätten, Switzerland)과 전통적 Ni-Ti 합금을 사용한 ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)을 대상으로, 20/.04, 25/.04, 30/.04를 통해 size 변화의 효과를 비교하였고, #25에서 .04와 .06 taper를 비교했다. U-Mechanics Analyser (IB Systems, Seoul, Republic of Korea)를 이용하여 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성을 측정하였다(n=5). 굽힘 저항성의 경우 ProFile은 elastic deformation을 보였으나, Hyflex CM은 plastic deformation과 더 높은 이력(hysteresis)을 나타냈다. ProFile의 경우 size와 taper가 증가함에 따라 굽힘 저항성과 비틀림 저항성이 증가한 반면, Hyflex CM의 경우 #25와 #30 파일에서는 size 및 taper에 따른 변화가 없었다. Hyflex CM이 ProFile보다 모든 size 및 taper에서 피로 파절 저항성이 컸다. 근관의 삭제 효율을 고려하지 않는다면, Hyflex CM이 ProFile보다 만곡 근관 추종성 측면에서 유리하며 피로 파절이 더 적을 것으로 사료된다.

색인단어 : Ni-Ti file, 굽힘 저항성, 비틀림 저항성, 피로 파절 저항성
