

만곡 근관에서 삼각 혹은 장방형 단면 구조의 니켈-티타늄 파일 응력 분포에 관한 3차원 유한요소 연구

김현주¹ · 이찬주² · 김병민² · 박정길¹ · 허복¹ · 김현철^{1*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, ²부산대학교 공과대학 기계공학부

ABSTRACT

STRESS DISTRIBUTION FOR NITI FILES OF TRIANGULAR BASED AND RECTANGULAR BASED CROSS-SECTIONS USING 3-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT ANALYSIS

Hyun-Ju Kim¹, Chan-Joo Lee², Byung-Min Kim², Jeong-Kil Park¹, Bock Hur¹, Hyeon-Cheol Kim^{1*}

¹Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry,

²Division of Precision Manufacturing Systems, Pusan National University, Busan, Korea

The purpose of this study was to compare the stress distributions of NiTi rotary instruments based on their cross-sectional geometries of triangular shape-based cross-sectional design, S-shaped cross-sectional design and modified rectangular shape-based one using 3D FE models.

NiTi rotary files of S-shaped and modified rectangular design of cross-section such as Mtwo or NRT showed larger stress change while file rotation during simulated shaping.

The stress of files with rectangular cross-section design such as Mtwo, NRT was distributed as an intermittent pattern along the long axis of file. On the other hand, the stress of files with triangular cross-section design was distributed continuously.

When the residual stresses which could increase the risk of file fatigue fracture were analyzed after their withdrawal, the NRT and Mtwo model also presented higher residual stresses.

From this result, it can be inferred that S-shaped and modified rectangular shape-based files were more susceptible to file fracture than the files having triangular shape-based one. [J Kor Acad Cons Dent 34(1):1-7, 2009]

Key words: Nickel-titanium file, Stress distribution, Triangular, Rectangular, Cross-sectional geometry, Finite element

- Received 2008.6.13., revised 2008.7.3., accepted 2008.7.8-

I. 서 론

니켈티타늄(NiTi) 파일은 만곡 근관 성형에 있어 그 역할이 중요하다¹⁾. NiTi 파일을 사용함으로써 임상가들이 좀 더 쉽고 정확하게 만곡 근관을 균일하게 경사진 형태로 성형할 수 있게 되었다²⁾. 이러한 NiTi 파일들을 근관치료 전문의만

이 아니라 근관 성형과 세정을 용이하게 하기 위해 많은 임상 치과의사가 널리 사용하게 됨으로써 파절에 관한 문제도 함께 증가하고 있다³⁾. 이렇게 임상가들에 의한 선택이 늘어 가면서 다양한 단면 구조와 기울기 등을 가진 니켈티타늄 파일이 개발 및 시판되고 있다⁴⁾.

NiTi 파일의 파절은 눈에 보이는 손상이나 이전의 영구 변형이 없더라도 발생할 수 있다⁵⁾. 비틀림 파절은 파일의 끝이나 어느 한 부분이 근관에 끼이게 되었을 때 (Taper-Lock Effect)에도 샤프트가 지속적으로 회전하려 하므로 일어나게 된다. 금속의 탄성 한계를 초과하게 되면 영구 변형되어 파절이 일어나게 된다. 또 다른 NiTi 파일의 파절은 가공 경화(work hardening)와 금속 피로(metal fatigue)

* Corresponding Author: **Hyeon-Cheol Kim**
Department of Conservative Dentistry
School of Dentistry, Pusan National University
1-10 Ami-Dong, Seo-Gu, Busan, Korea
Tel: 82-51-240-7978
E-mail: golddent@pusan.ac.kr

에 의해서도 일어난다. 이러한 파절은 최대 만곡점에서 파절이 일어날 때까지 기구가 휘어진 후 나타난다⁵⁾. 또 NiTi 합금은 매우 좁은 변형 경화 영역(strain hardening zone)을 가지기 때문에 미리 예지할 수 없는 잔류 변형과 함께 파일의 파절이 일어날 수 있다⁶⁾.

근관치료 기구의 휨에 대한 저항은 만곡 근관에서 기구 조작 결과에 영향을 미친다. 유연성이 높은 파일일수록 휨에 대한 저항성이 큰 파일보다 만곡 근관에서 부적절한 변형이 적게 발생한다. 이러한 파일의 유연성은 여러가지 다른 형태의 디자인에 따라 증가될 수 있다⁷⁻¹⁰⁾. 특히 단면 형태는 비틀림과 휨 성질에 매우 중요한 요소로 이러한 특성을 직접적으로 결정한다⁷⁾. 고유의 단면 형태를 가진 다양한 NiTi 파일 시스템이 소개되어 사용되고 있다. ProFile(Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)과 HeroShaper(Micromega, Besancon, France) 시스템은 삼각형 기초의 형태이며, Mtwo(VDW, Munich, Germany) 시스템은 S-형태, 그리고 NRT(MANI, Tochigi, Japan) 시스템은 변형된 사각형(modified rectangular shaped design)으로 장방형의 형태를 지니고 있다.

피로 파괴 테스트를 통하여 파일의 파절에 대한 여러가지 연구가 많이 행해져 왔으며, 이들 역시 NiTi 파일의 단면 형태에 초점을 맞추고 있다¹¹⁻¹³⁾. 또 NiTi 파일에 대한 유한요소 연구를 통해 근관 형성 과정 중 파일의 기계적 성질이 단면 형태에 의해 직접적으로 영향을 받는다는 사실이 밝혀진 바 있다¹⁴⁻¹⁶⁾. 그러나, 삼차원 유한요소 분석을 이용하여 삼각 단면 구조와 S-형태 혹은 변형된 사각형 등의 장방형 단면 구조를 가진 파일의 응력 분포를 비교 연구한 사례는 없다.

이 연구의 목적은 삼차원 유한요소 모델을 이용하여 삼각형 기초 단면을 가진 NiTi 파일과 S-형태 혹은 변형된 사각형 등 장방형의 단면을 가진 NiTi로 근관 성형 시 파일의 응력 분포를 비교하기 위함이다.

II. 재료 및 방법

1. NiTi 파일의 삼차원 유한요소 모델링

이 연구에서는 120° 마다 반복되는 삼각형 기초 단면 구조를 가진 ProFile과 HeroShaper, 그리고 180° 마다 반복되는 장방형 단면 구조로 S-형태 단면의 Mtwo와 변형된 사각형 단면의 NRT 시스템을 비교 평가하였다. ProFile과 HeroShaper, NRT 파일은 .06/#30을 사용하였고, Mtwo 파일은 .05/#30을 사용하였다.

각각의 유한요소 모델 제작을 위하여 마이크로 CT 스캐너(HMX, X-Tek Group, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 파일을 매 2 μm마다 스캔하여 실제 크기와 형태를

획득하였다. 3차원 모형 형성 프로그램(IDEAS11 NX: UGS, Plano, TX, USA)을 이용하여 앞서 얻은 자료의 잡음을 없애고 파일 끝이나 예리한 모서리 부위의 등을 미세 수정하였다(Figure 1).

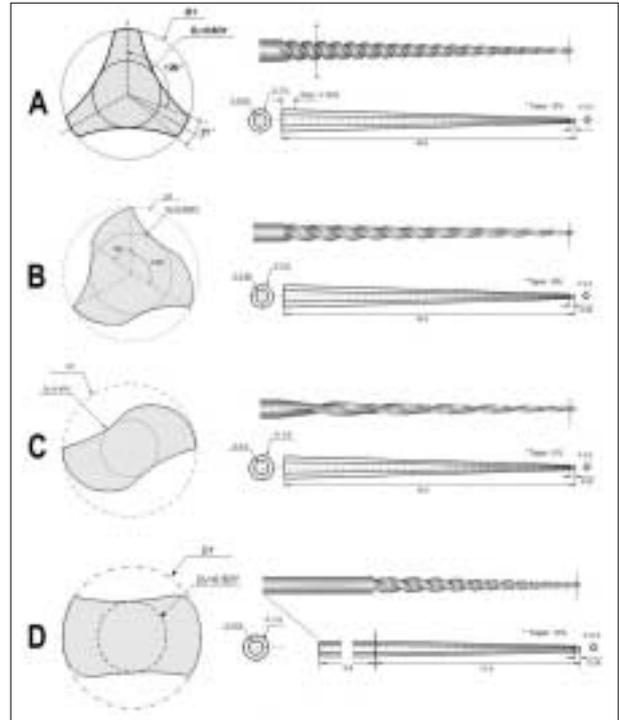


Figure 1. Cross-sectional and longitudinal geometries of four NiTi files: (A) ProFile .06 / #30, (B) HeroShaper .06 / #30, (C) Mtwo .05 / #30, (D) NRT .06 / #30.

여덟 개의 결절 및 선형으로 구성된 육면체 요소를 이용하여 3D 유한요소 모형을 제작하였다. ProFile의 최종 유한요소 모형은 11940개의 결절 및 7920의 요소로 구성되었고 HeroShaper는 11299개의 결절 및 6192개의 요소, Mtwo는 7018개의 결절 및 5300개의 요소, 그리고 NRT는 18214개의 결절과 9440개의 요소로 구성되었다. 네 종류 NiTi 파일의 최종의 유한요소 모델은 Figure 2에 나타나 있다.

2. 가상 근관 및 시뮬레이션 조건

약 45도의 근관 만곡도를 가지고 있으며 13mm의 길이를 가진 유한요소 근관 모델을 굽힘과 비틀림 조건을 동시에 재현하기 위해 사용하였다(Figure 2). 이와 함께 NiTi 합금의 기계적 성질의 비선형적 특성을 유한 요소 모형 해석에 반영하였다. 특징적으로, 하중에 의한 탄성 및 상변화 변형은 회복이 가능하지만 소성 변형은 회복이 불가능하다¹⁷⁾. 초기 Young's modulus는 36GPa로, Poisson's ratio는

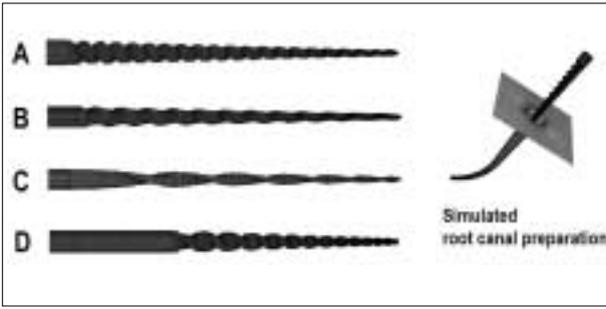


Figure 2. Final FE models of four NiTi files and simulated root canal; (A) ProFile .06 / #30, (B) HeroShaper .06 / #30, (C) Mtwo .05 / #30, (D) NRT .06 / #30.

0.3으로 유지하였으며, 첫 번째 상 변화의 시작과 끝 임계치는 각각 504MPa과 755MPa으로 하였다.

3. 근관 형성 시뮬레이션 동안의 응력 분포

삼각 기초 단면의 파일과 장방형 기초 단면의 파일의 근관 내 성형 시 응력 분포 양상을 비교하기 위해 ABAQUS V6.5-1 (SIMULIA, Providence, RI, USA)을 이용하여 모형 근관 내 파일 삽입 및 회전 조건으로 수학적 분석을 하였다.

근관 형성 시뮬레이션 동안의 응력 분포 양상을 평가하기 위하여, 파일을 가상 근관의 근단 방향으로 삽입하고 (Figure 2), 회전 시뮬레이션 동안 응력 분포를 3차원적으로 관찰하였으며, 최고의 응력이 가해지는 점의 응력 변화를 추적해 보았다. 응력의 값은 압축력 혹은 인장력의 절대치인 equivalent von Mises 값으로 비교하였다.

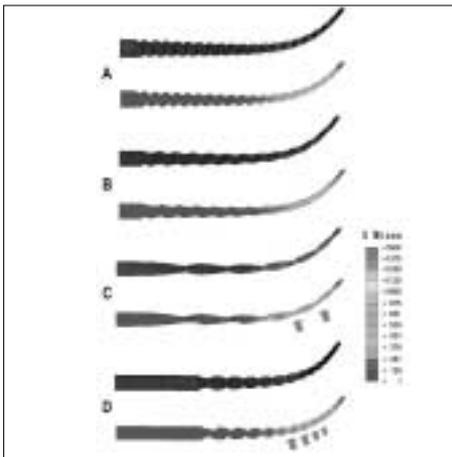


Figure 3. External surface and internal sectional view of stress distribution during simulated root canal shaping; (A) ProFile .06 / #30, (B) HeroShaper .06 / #30, (C) Mtwo .05 / #30, (D) NRT .06 / #30.

근관 내 시뮬레이션 후 피로에 의한 기구 파절에 영향을 미칠 수 있는 잔류 응력을 평가하기 위하여, 가상 근관으로부터 파일이 제거된 후, 탄성회복을 거친 이후에 잔류 응력의 분포를 조사하였다.

Ⅲ. 결 과

파일을 완전 삽입한 후 회전하는 동안의 파일 표면과 내부 종단면의 응력 분포 양상을 Figure 3에 나타냈다. NRT 파일이 1474MPa의 가장 높은 응력 집중 부위를 보였으며 Mtwo는 1298MPa, ProFile은 905MPa, HeroShaper는 810MPa의 최고 응력 집중을 나타냈다.

각 파일의 내부 응력 분포를 보여주는 종단면 절단 그림 (Figure 3)에서는 장방형 기초 단면의 파일들이 불연속적인 응력 분포(화살표)를 보이고 있다.

파일이 근관 내에서 회전할 때 최고 응력 집중을 보이는 유한요소 결절을 추적하여 최대 응력과 최소 응력의 반복 변화 사이클을 그래프로 나타냈다(Figure 4). 그 결과 최대 응력과 최소 응력의 변화 폭이 Mtwo 파일에서 가장 크게 나타났으며 다음으로 NRT가 높았다.

파일을 가상 근관 내에서 제거한 후, 파일에 존재하는 잔류 응력 분포 양상을 탄성회복 이후에 조사하였다. 잔류 응력은 NRT 파일 모형에서 상전이 응력을 초과하는 571MPa로 가장 높게 나타났으며, 448MPa의 Mtwo, 352MPa의 HeroShaper, 326MPa의 ProFile 순서로 높은 잔류 응력이 관찰되었다(Figure 5). NRT 파일의 경우 잔류 응력으로 인한 가시적인 영구 변형이 관찰되었다.

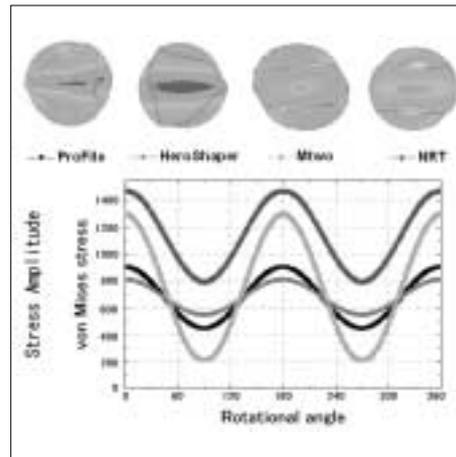


Figure 4. The stress changing cycles of the nodes (red point) where maximal von Mises stresses were concentrated.

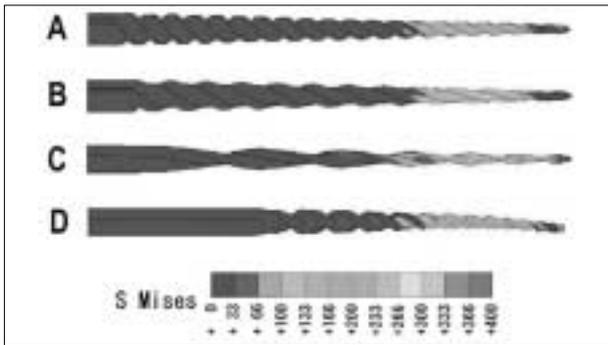


Figure 5. The residual stress distribution after elastic recovery of withdrawn file (A: ProFile 326 MPa, B: HeroShaper 352 MPa, C: Mtwo 448 MPa, D: NRT 571 MPa).

IV. 고 찰

스테인리스스틸 합금으로 만들어진 파일의 단점을 극복하기 위해 NiTi 합금으로 다양한 파일들이 개발되고 있다¹⁸⁾. 이들 NiTi 파일은 동일 사이즈의 기존 스테인리스스틸 기구에 비하여 2 - 3배 높은 elastic flexibility와 높은 비틀림 파절 저항성을 지니고 있다¹⁹⁻²²⁾. 그러나, NiTi 파일은 임상에서 사용하는 동안 근관 내에서의 잠재적인 파절 위험성이 있다. 이러한 근관 내에서 예상하지 못한 NiTi 파일의 파절은 근관치료에 있어서 심각한 문제 중의 한가지이다. 이러한 파절의 주된 원인인 응력 분포 양상과 함께 삼각 대칭 구조의 단면 형태와 S-형 혹은 변형 사각형의 장방형 구조를 기초로 한 단면 형태에 따른 관련성을 유한요소 모형을 이용한 연구로 알아보았다.

네 종류의 NiTi 파일이 이 연구에 사용되었다. ProFile은 라디알 랜드와 음각의 레이크 앵글을 지닌 파일이고, HeroShaper는 Hero642 시스템과 유사하며 라디알 랜드가 없이 음각의 레이크 앵글을 지니고 있다. 이 두 파일은 단면 구조가 120°로 반복되는 삼각형 기초 대칭 구조이다. Mtwo와 NRT는 비교적 근래에 소개된 파일들로 180°로 반복되는 대칭 구조를 가졌으며, 삼각 단면형의 파일들에 비하여 파절 위험성이 높을 것으로 추정하였던 장방형 단면의 파일이다. 즉, ProFile과 HeroShaper는 삼각 단면형 파일의 대표로, S-형의 단면인 Mtwo와 변형 사각형 단면 형태의 NRT는 장방형 단면 파일의 대표로 실험에 사용되었다.

이 연구에서는 유한요소 모형으로 구현한 모형 근관 내에서 파일들이 회전하면서 나타내는 응력의 분포 양상을 비교하였다. 일반적인 파괴실험에서 반복 피로 파괴 시험을 위한 인공 근관으로는 90°, 60°, 50° 등의 다양한 만곡 형태를 사용하였다^{11,23,24)}. 상악 대구치의 방사선 사진 평가 보고에 따르면 근관 만곡은 10° 미만부터 40°를 넘는 것까지 다

양하게 분포되어 있다고 한다²⁵⁾. 본 연구에서는 만곡 근관을 재현하기 위하여 45°의 만곡을 가진 유한 요소모형 근관을 구현하였다.

NiTi 파일의 피로 저항 및 파절에 영향을 주는 요소로서, 파일의 회전 속도, 근관 만곡도 및 직경, 기구의 사이즈 및 테이퍼 정도 혹은 기구 표면의 결함 등 많은 요소가 존재한다. 실제 응력분포에 영향을 주는 요소로는 cross-sectional inertia, 날의 깊이, 내부 코어의 넓이, 라디알 랜드, 그리고 peripheral surface ground 등이 있다^{1,26,27)}. Schäfer 등²⁸⁾과 Kim 등²⁹⁾의 연구에 의하면 파일 샤프트의 코어는 그 크기가 작을수록 유연성이 증가되고, 기구의 저항성 또한 증가된다고 하였으며, Yao 등⁴⁾은 직경이 작은 파일일수록 파절이 쉽게 일어난다고 결론지었다. Xu 등¹⁵⁾과 Kim 등²⁹⁾의 연구에 의하면, 단면 형태에서 내부코어의 면적이 증가할수록 실험 모델은 비틀림 저항성이 높았다. 이러한 결과는 단면형태가 NiTi 파일의 피로 저항도에 영향을 미치는 중요한 요소임을 나타낸다.

특히, NiTi 파일은 비틀림력을 받거나 반복 피로에 취약하며, 이것이 기구 파절의 주 원인이 된다. Turpin 등¹⁶⁾은 NiTi 파일의 휨 성질에 영향을 미치는 가장 주된 요소로 단면의 형태를 주장하였고, Hayashi³⁰⁾는 삼각 단면형의 NiTi 파일보다 장방형 단면의 NiTi 파일이 더 휨 하중 수치가 낮았다고 보고하였다.

본 실험의 결과로서, 가상 근관 형성 중에 파일에 분포하는 내부 응력 분포를 보았을 때, 놀라운 것은 장방형의 단면을 가진 Mtwo, NRT와 같은 파일의 응력이 파일의 장축을 따라 간헐적인(intermittent) 양상으로 분포되었다는 사실이다. 반면에, 삼각형 단면을 가진 파일의 응력은 연속적인(continuous) 양상으로 분포되었다. 파일의 응력 분포가 불연속적인 양상으로 분포한다면 파절 위험성도 더 높을 것임을 예측할 수 있다. 이러한 자료는 삼차원 유한요소 분석으로만 얻을 수가 있다.

파일의 모델에서 특정한 한 결절점은 파일의 회전 시에 sine 형태로 반복적인 압축력과 인장력의 영향을 받게 된다. 이러한 반복적인 응력은 최대 응력과 최소 응력의 차이가 크게 나타날 때 즉, 진폭의 강도가 증가할 때 피로 파절이 더 쉽게 야기된다. 즉, 180°마다 반복되는 단면 구조인 장방형 단면의 NRT와 Mtwo 파일 모델이 피로 파절의 위험이 더 큼을 의미한다. 이는 회전 중심으로부터의 최장경과 최단경 간의 길이 차이 비율이 클수록 더 높은 파절 위험이 있는 것으로 해석된다.

본 연구에서는 피로 파절의 위험도를 증가시킬 수 있는 잔존 응력의 양을 가상 근관으로부터 파일을 제거한 후 분석해 보았다. 실제 유한요소 분석 실험이 이를 평가할 수 있는 현재까지의 유일한 방법이다²⁹⁾. NiTi 합금에서, 잔류 응력이 소성 변형 이후에 남아있을 수 있으며, 외력에 의한 오스

테나이트(austenite) 상에서 마르텐사이트(martensite) 상으로의 미세구조의 변화가 나타나고 이 상은 견고하지만 취성이 높아지는 결과를 초래하게 된다. Kuhn 등³¹⁾은 피로 파절에 있어서는, 응력의 크기(load amplitude)가 재료의 항복 강도(yield strength)보다 훨씬 적더라도 파절이 발생할 수 있다고 설명하였다. 이러한 관점에서 볼 때, 높은 잔존 응력을 갖는 Mtwo와 NRT파일은 피로 파절을 막기 위하여 반복 사용을 더욱 줄이는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Di Fiore 등³²⁾은 과도한 응력이 NiTi파일에 가해지지 않도록 주의하여야 하며, 기구 사용법을 잘 따르고, 방사선 사진상으로 근관의 만족도를 평가하여 근관 접근을 위한 형성이 적절한지 확인해야 하고, 근관을 개통시키기 전에 근관 입구를 적절히 개방하여야 한다고 제안하였다. 어떤 시스템이 가장 안전한가 하는 문제는 주의 깊은 기구조작법을 배운 후 차후에 고민해야 할 문제이다. 부가적으로, 근관 형성 시 이러한 기구의 기능을 잘 이해하고, 비틀림이나 휨력에 의해 야기되는 금속 피로도를 경감시킬 수 있는 방법으로 적용한다면 임상가들은 더욱 안전하게 파일의 파절 위험을 줄이면서 진료를 할 수 있을 것이다.

유한요소 연구에 의한 결과에 대한 다양한 검증과 함께 파일의 파절을 감소시키고, 안전성을 향상시키기 위한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. Conclusions

S-형태 혹은 변형된 사각형 단면 등의 장방형 단면을 가진 NiTi 파일은 가상 근관 형성 시에 더 큰 응력 집중 및 변화를 보였으며, 이러한 180° 반복 대칭 구조의 파일들은 120° 반복 대칭의 삼각대칭 단면의 파일보다 파절에 더 취약할 것으로 추정된다.

References

1. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 26(3):161-165, 2000.
2. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 30(8):559-567, 2004.
3. Averbach RE, Kleier DJ. Endodontics in the 21st century: the rotary revolution. *Compend Contin Educ Dent* 22(1):27-34, 2001.
4. Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ. Cyclic fatigue of three types of rotary nickel-titanium files in a dynamic model. *J Endod* 32(1):55-57, 2006.
5. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod* 23(2):77-85, 1997.
6. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument mod-

- els. *J Endod* 26(7):414-417, 2000.
7. Camps JJ, Pertot WJ, Levallois B. Relationship between file size and stiffness of nickel titanium instruments. *Endod Dent Traumatol* 11(6):270-273, 1995.
8. Camps JJ, Pertot WJ. Relationship between file size and stiffness of stainless steel instruments. *Endod Dent Traumatol* 10(6):260-263, 1994.
9. Kazemi RB, Stenman E, Spångberg LS. A comparison of stainless steel and nickel-titanium H-type instruments of identical design: torsional and bending tests. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 90(4):500-506, 2000.
10. Schäfer E, Tepel J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod* 27(4):299-303, 2001.
11. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J* 39(10):755-763, 2006.
12. Shen Y, Bian Z, Cheung GS, Peng B. Analysis of defects in ProTaper hand-operated instruments after clinical use. *J Endod* 33(3):287-290, 2007.
13. Lopes HP, Moreira EJ, Elias CN, de Almeida RA, Neves MS. Cyclic fatigue of ProTaper instruments. *J Endod* 33(1):55-57, 2007.
14. Berutti E, Chiandussi G, Gaviglio I, Ibba A. Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *J Endod* 29(1):15-19, 2003.
15. 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* 32(4):372-375, 2006.
16. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* 26(7):414-417, 2000.
17. Wang GZ. A finite element analysis of evolution of stress-strain and martensite transformation in front of a notch in shape memory alloy NiTi. *Mater Sci Eng A* 460-461:383-391, 2007.
18. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 14(7):346-351, 1988.
19. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod* 21(3):146-151, 1995.
20. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 30(6):432-435, 2004.
21. Chen JL, Messer HH. A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J* 47(1):12-20, 2002.
22. Garip Y, Gunday M. The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J* 34(6):452-457, 2001.
23. Fife D, Gambarini G, Britto Lr L. Cyclic fatigue testing

- of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97(2):251-256, 2004.
24. Schrader C, Peters OA. Analysis of torque and force with differently tapered rotary endodontic instruments in vitro. *J Endod* 31(2):120-123, 2005.
25. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* 28(3):211-216, 2002.
26. Martin B, Zelada G, Varela P. Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 36(4):262-266, 2003.
27. Lee JK, Kim ES, Kang MW, Kum KY. The effect of surface defects on the cyclic fatigue fracture of HERO shaper Ni-Ti rotary files in a dynamic model: A fractographic analysis. *J Kor Acad Cons Dent* 32:130-136, 2007.
28. Schöfer E, Dzepina A, Danesh G. Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96(6):757-763, 2003.
29. Kim HC, Cheung GS, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Kang SI. Comparison of forces generated during root canal shaping and residual stresses of three nickel-titanium rotary files by using a three-dimensional finite-element analysis. *J Endod* 34(6):743-747, 2008.
30. Hayashi Y. Phase transformation behaviour and bending properties of hybrid nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 40(4):247-253, 2007.
31. Kuhn G, Tavernier B, Jordan L. Influence of structure on nickel-titanium endodontic instruments failure. *J Endod* 27(8):516-520, 2001.
32. Di Fiore PM. A dozen ways to prevent nickel-titanium rotary instrument fracture. *J Am Dent Assoc* 138(2):196-201, 2007.

국문초록

만곡 근관에서 삼각 혹은 장방형 단면 구조의 니켈-티타늄 파일 응력 분포에 관한 3차원 유한요소 연구

김현주¹ · 이찬주² · 김병민² · 박정길¹ · 허복¹ · 김현철^{1*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, ²부산대학교 공과대학 기계공학부

이 연구의 목적은 3차원 유한요소 모형 분석을 이용하여 삼각 대칭형과 S형태의 단면 및 변형된 사각 형태인 장방형 단면으로 분류되는 네 종류의 니켈티타늄 파일이 만곡 근관 적용 시의 응력 분포를 비교하는 것이다.

삼각 대칭형 단면 구조의 ProFile #30 / .06과 HeroShaper #30 / .06, 장방형 단면구조의 Mtwo #30 / .05와 NRT #30 / .06 파일을 마이크로컴퓨터 단층촬영을 하고 reverse engineering을 통하여 파일의 구조를 얻고 삼차원 유한요소모형을 제작하였다. 모형 근관 내에서 파일이 근관장 끝까지 진입하여 회전할 때 발생하는 von Mises 응력 분포 및 파일의 제거후의 잔류 응력의 분포양상을 ABAQUS 프로그램을 이용하여 비교하였다.

근관 내 회전 시에 발생하는 응력을 관찰하였을 때 NRT 파일에서 가장 큰 응력을 나타냈으며, 각 파일에서의 최고 응력과 최저 응력을 비교하였을 때 Mtwo파일에서 가장 큰 차이가 나타났다. 응력의 내부 분포 경향을 보았을 때 장방형 구조의 단면을 가진 Mtwo 및 NRT 파일에서 불연속적인 응력의 집중 부위가 관찰되었으며, 근관 외부로 파일을 제거하여 탄성 회복이 일어난 후의 잔류 응력도 NRT 파일에서 가장 높게 나타났다.

이상의 결과로 유추할 때, 삼각대칭 단면 구조를 가진 파일보다 S-형태의 단면과 변형된 사각 형태의 단면 등의 장방형 단면 구조의 파일이 파절의 위험성이 더 클 것으로 사료된다.

주요단어 : 니켈티타늄 파일, 응력 분포, 삼각형, 장방형, 횡단면 구조, 유한요소