

만곡 근관 형성시 니켈-티타늄 파일의 만곡 유지 능력과 그에 대한 유한요소법적 분석

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

박한수 · 임성삼 · 배광식 · 윤수한

Abstract

ABILITY OF NICKEL-TITANIUM FILES IN MAINTAINING THE ORIGINAL CURVATURE OF A CURVED ROOT CANAL AND ITS ANALYSIS BY FINITE ELEMENT METHODS

Han-Soo Park, D.D.S., M.S.D., Sung-Sam Lim, D.D.S., Ph. D.,
Kwang-Shik Bae, D.D.S., Ph. D., Soo-Han Yoon, D.D.S., Ph. D.

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of our study is to evaluate the ability of nickel-titanium(NiTi) files in maintaining the original curvature of a curved root canal during canal preparation. Curved canals on translucent resin blocks were prepared with NiTi and stainless steel files, and they were placed at the platform which can reproduce the same position. The unprepared and prepared canal forms were accurately compared by double exposure technique of photography. By finite element methods we also analyzed stress distributions of NiTi and stainless steel files in a curved canal.

The results were as follows :

1. NiTi files were excellent in maintaining the original curvature of a curved canal than stainless steel files after canal preparation.
2. The results of canal preparation with these files were well verified by the analysis of stress distributions using finite element methods.

Keywords : nickel-titanium file, maintain, curvature, double exposure, finite element method

I. 서 론

성공적인 근관치료를 위해서는 정확한 근관형성 및 소독, 치밀한 근관충전을 행하여야 하며, 근관형성 과정은 근관세척과 더불어 근관내 감염원의 제거와 적절한 충전을 가능하게 하는 근관치료의 중요한 단계이다^{1,2)}. 불충분한 근관확대와 그로 인한 불완전한 근관충전은 근관치료 실패의 주된 원인이다³⁾. 이상적인 근관확대의 기준으로는 여러 가지 이론^{4,5)}(異論)이 있으나, 가늘고 만곡된 근관에서도 최소한 40번 크기까지는 확대되어야 적절한 debridement이 이루어지는 것으로 알려져 있다⁶⁻⁸⁾.

근관의 만곡도가 증가할수록 근관형성시 근관이 직선화되면서 생기는 ledge, zip, perforation, strip, canal transportation 등의 가능성이 커져서 이상적인 근관형성을 하는데 많은 어려움이 따르게 된다^{9,10)}. 만곡된 근관의 근관형성방법으로는 step-back방법, balanced-force방법¹¹⁾, step-down방법¹²⁾ 등이 있다. 그러나 Weine¹³⁾에 의하면 파일을 미리 구부린(precurved) 것이나 그렇지 않은 것이나 모두 만곡된 근관을 직선화시키는 경향이 있으며 근관형성기구나 방법과는 무관하게 근관형성이 완료된 근관은 원래의 형태나 방향을 유지할 수 없다고 하였고, 다른 많은 연구가들도 파일의 크기가 증가하게 되면 근관이 직선화되는 것을 피하기 어렵다고 하였다¹⁴⁻¹⁷⁾.

1975년 Civjan¹⁸⁾이 근관치료영역에 nickel-titanium(NiTi) 합금의 도입을 제안한 이래, 1988년 Walia¹⁹⁾에 의해 Nitinol, 즉 탄성률이 상당히 낮은 nickel-titanium 합금으로 근관형성용 파일을 제작하는 기술적 진보를 이루게 되었다. 15번 NiTi 파일은 같은 크기의 stainless steel 파일보다 bending과 torsion에서 탄성적 유연성(elastic flexibility)이 두 배에서 세 배에 이르는 것으로 알려져 있다. 근관치료용 파일의 유연성은 중요한 특성으로서, 유연한 파일일수록 만곡 근관에서 근침부까지 더 잘 도달하는 경향이 있으며, 만곡 근관을 직선화시키거나 ledge, zip, perforation 등을 유발할 가능성이 더 적은 것으로 나타났다²⁰⁾.

NiTi 파일로 만곡된 근관을 근관형성시 근관을 직선화시키는 경향에 관하여 stainless steel 파일과 유의할 만한 차이가 없다는 보고^{21,22)}도 있으나 대부분의 연구가들²³⁻³¹⁾은 NiTi 파일이 근관의 직선화를 덜 초래한다고 보고하였다. 그러나 이들은 만곡된 근관내에 있는 파일의 각도²³⁻²⁶⁾ 또는 근관의 폭경²⁷⁾을 측정하거나 컴퓨터 프로그램^{28,29)}, computed tomography³⁰⁾등을 이용하여 근관형성 전후의 근관의 형태를 비교하였는데, 이러한 방법들은 측정하거나 근관형성 전후의 필름을 겹치는 과정에서 오차가 많으며, 근관형성된 모양을 정확히 비교할 수 없는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 오차를 없애고 근관형성된 모양을 정확히 비교하기 위하여 동일한 K형의 NiTi 파일과 stainless steel 파일로 40번 크기까지 근관형성을 시행하고, 근관형성 전후의 모양을 똑같은 위치가 재현가능한 고정틀에서 사진의 이중노출 기법을 이용하여 정확히 비교하였다. 또한 유한요소법을 이용하여 NiTi 파일과 stainless steel 파일이 만곡 근관에 사용될 때에 걸리는 스트레스 분포를 분석하였다.

이 결과에 의하면 만곡된 근관의 원래 만곡도를 유지하는데 있어서 NiTi 파일은 stainless steel 파일보다 탁월하게 우수한 결과를 보였으며, 이러한 결과는 유한요소법적 분석에 의해 잘 입증되었다.

II. 실험재료 및 방법

만곡근관의 근관형성을 비교하기 위한 실험재료로는 약 30 도의 만곡을 가지면서 근관모양을 잘 보여 주는 투명한 Endo-VU(model 001-curved, Richard W. Pecina & Associates, Inc., IL, USA) 레진블럭^{32,33)}을 사용하였다. 근관형성 기구로는 동일한 K형의 NiTi 파일과 stainless steel 파일을 사용하였고, KAVO giromatic engine(29A angle, 3LD head, Germany)을 이용하여 40번 크기까지 확대하였는데, 그 다음 크기의 파일이 작업장까지 도달하지 않으면 15번 파일부터 다시 순차적으로 확대해

올라가는 과정을 반복하여 최종적으로 작업장에 40번 파일이 도달하도록 하였다.

근관형성 전후의 모양을 정확히 비교하기 위하여 레진블럭을 고정하는 부분과 사진기(Nikon F801s, AF MICRO NIKKOR 105 mm, TOPAZ close up lens, Japan)를 재현성있게 위치시키는 부분이 한 몸으로 연결된 고정틀을 제작하여 사용하였고, 사진촬영술 중에서 이중노출기법을 이용하여 근관형성 전후의 모양을 동일한 슬라이드 필름상에 찍히게 함으로써 정확히 비교하였다.

이때 정확히 비교되었는지의 여부를 확인할 수 있도록 레진블럭에 동그란 원 모양의 레터링(lettering)표시를 하였고, 근관형성 전에는 불투명한 잉크를, 근관형성 후에는 색깔있는 투명한 잉크를 레진블럭의 근관내에 주입하여 근관형성 전후의 모양이 동일한 슬라이드 필름상에서 정확하게 비교되도록 하였다.

유한요소법적 분석을 수행함에 있어 Preprocessor로는 IDEAS(SDRG Inc., USA)를 사용하였고 Solver와 Postprocessor로는 NASTRAN(MSC Inc., USA) 프로그램을 사용하였으며, 파일의 모델링은 40번 크기의 파일을 기준으로 하였다. 파일을 이루고 있는 금속으로 된 몸체 부분의 중앙과 그 양쪽의 가장자리 부분을 사각형으로 모델링하였고, 파일의 끝부분은 삼각형으로 처리하였다.

이때 만곡된 파일에 걸리는 응력의 전반적인 거동을 해석하는 것을 목적으로 하였으므로 실제 파일의 몸체 표면에 있는 삼각형 모양의 돌출된 삭제날 부분은 모델링하지 않았다.

파일 몸체를 제작하는데 사용된 각 재료들의 탄성적 유연성(elastic flexibility)은 해당 재료의 stress-strain curve³⁴⁾에서 기울기를 측정하여 구하였고, 기타 필요한 물성치들은 stainless steel 합금에 관한 자료³⁵⁾와 NiTi 합금의 분석표³⁴⁾를 참고하였다.

경계조건으로는 변형이 일어나기 전의 파일의 각 절점(node)들이 변형 후 이동한 변위를 기술하여 파일이 근관의 만곡을 따라 휘어졌을 때의 응력분포를 구할 수 있도록 하였다.

III. 실험결과

NiTi 파일은 작업장까지 40번 크기로 확대 하였을 때 근관 원래의 만곡도가 잘 유지되었으나(그림 2), stainless steel 파일에서는 근관의 직선화가 심각하게 초래되었다(그림 1).

이를 유한요소법적으로 분석한 결과 만곡된 근관내에 위치한 두 가지 파일 모두에서 파일의 끝부분으로 갈수록 스트레스가 증가하는 양상을 보였다. 이때 stainless steel 파일은 파일 끝부분에서 최대 $2.1 \times 10^8 \text{ kgf/mm}^2$ 의 스트레스가 걸렸으나(그림 3), NiTi 파일에서는 파일 끝부분에서 stainless steel 파일에 걸리는 스트레스의 1/3 정도에 해당하는 $6.9 \times 10^7 \text{ kgf/mm}^2$ 의 스트레스 밖에 작용되지 않는 것을 확인할 수 있었다(그림 4).

IV. 총괄 및 고안

상악 대구치의 협측 근관이나 하악 대구치의 근심측 근관에서는 일반적으로 작업장까지 25 내지 30번 크기의 기구로 근관을 확대 형성하는 것으로 알려져 있지만³⁶⁾, Southard⁶⁾에 의하면 이러한 크기의 확대로는 대구치 근관의 직경³⁷⁾을 고려해 볼 때 적절한 debridement이 이루어질 수 없다고 하였다. Kerekcs⁷⁾도 이러한 근관에서 최소한 40번 크기 이상 확대되어야 근점부 근관의 단면 모양이 원형에 이른다고 하였으며, Ram⁸⁾도 근관이 최소한 40번 크기까지 확대되지 못하면 근관세척(irrigation)이 효과적이지 못하다고 하였다.

만곡된 근관의 근관형성 방법으로는 step-back방법, balanced-force방법¹¹⁾, step-down방법¹²⁾ 등이 알려져 있으나 어느 방법을 사용하든지 근관형성 기구의 크기가 증가하게 될수록 만곡된 근관을 직선화시키는 경향이 있으며, 근관 원래의 형태나 방향을 유지하기 어렵다고 하였다¹³⁻¹⁷⁾.

Walia¹⁹⁾에 의해 NiTi 합금(Nitinol)으로 된 파일의 우수한 유연성에 대해 소개된 이후 NiTi 파일의 여러 가지 성질에 대해 연구들이 시도 되어 왔다. Machining효과에 관하여는 NiTi



그림 1. stainless steel 파일을 사용한 근관형성 전후의 형태 변화

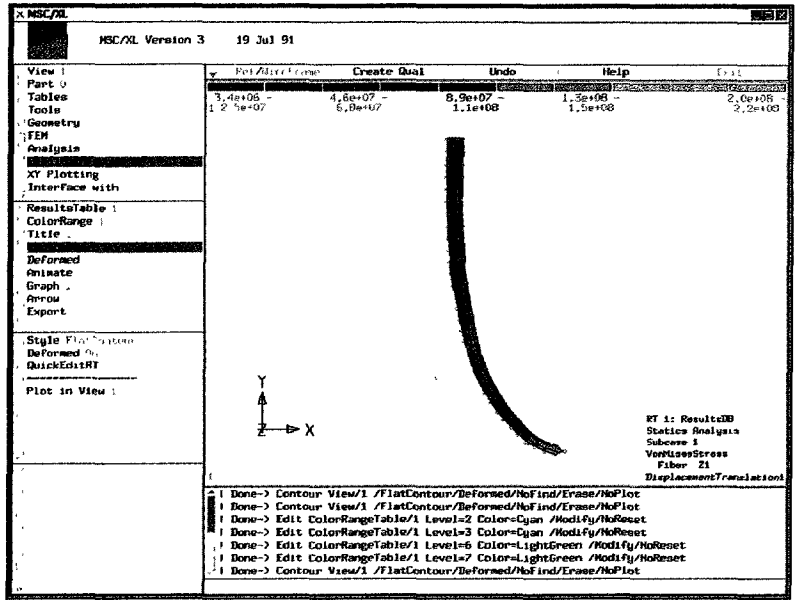


그림 3. stainless steel 파일에 걸리는 스트레스 분포

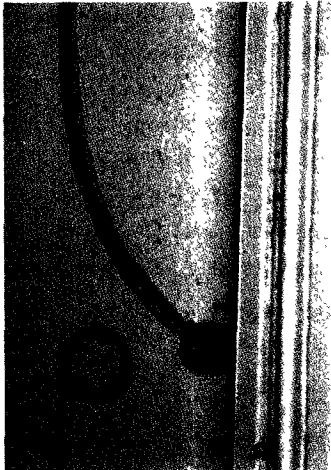


그림 2. NiTi 파일을 사용한 근관형성 전후의 형태 변화

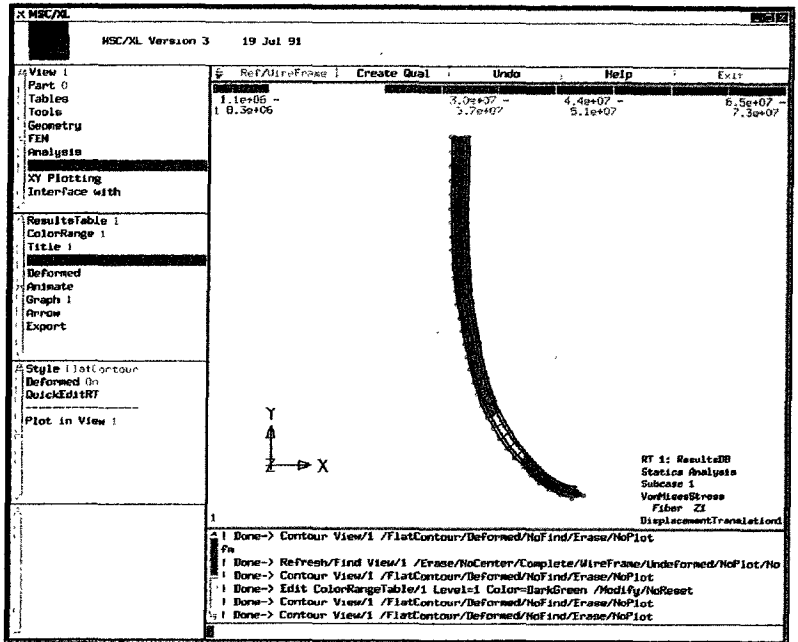


그림 4. NiTi 파일에 걸리는 스트레스 분포

파일이 stainless steel 파일보다 비슷하거나 더 우수하며 같은 크기의 stainless steel 파일보다 더 오래 쓸 수(durable) 있다고 하였으나^{38,39)}, Tepel⁴⁰⁾은 NiTi 파일에서 cutting 효과가 떨어진다고 보고하였다. Torsional fracture에 대한 저항성은 NiTi 파일이 stainless steel 파일보다 우수하거나^{19,41)} 비슷한⁴²⁾ 것으로 알려져 있다.

NiTi 파일을 만곡된 근관에서 사용할 때 NiTi 합금의 물리적 성질로 인하여 미리 구부러(pre-curved) 사용할 수 없고, 스스로 직선화되려는 경향이 있어서 만곡된 근관을 직선화시키지 않을까 하는 의문³⁰⁾ 및 stainless steel 파일과 만곡 유지 능력에 있어서 유의할 만한 차이가 없다는 보고도 있으나^{21,22)}, 대부분의 연구자들²³⁻³¹⁾은 NiTi 파일이 만곡된 근관을 덜 직선화시킨다고 보고하였다.

그러나 이들은 대부분 파일이 만곡된 근관을 직선화시키는 정도를 평가하기 위하여 근관형성 전후의 파일의 각도²³⁻²⁶⁾나 근관의 폭경²⁷⁾을 측정하여 비교하였다. 그러나 이 방법은 측정하는 과정에서 많은 오차가 생길 수 있을 뿐 아니라, 이 자체는 근관형성 전후의 파일 위치의 비교일 뿐이지 근관형성 전후의 근관의 모양을 정확히 비교해서 보여주지는 못하는 단점이 있다.

또 컴퓨터의 프로그램을 이용하여 근관형성 전후의 모양을 비교한 보고들^{28,29)}도 있으나 컴퓨터 화면 자체가 가지는 해상도의 한계로 인하여 정확성이 떨어지며, 컴퓨터가 근관의 모양을 읽는 과정과 겹치는 과정에서 오차가 생길 수 있다.

또한 computed tomography를 이용한 경우에서는³⁰⁾ 치관부에서부터 근침까지 근관길이 전체가 한 평면상에 있지 않아서 적절한 상을 얻는 데에 어려움이 있음을 지적하였다.

본 논문에서는 똑같은 위치가 재현가능하고 고정틀에서 사진의 이중노출 기법을 이용하여 근관형성 전후의 근관의 형태를 정확히 비교하였다. 이 때 만곡된 근관을 가진 투명한 레진블럭상에서 근관형성을 시행하였는데, 레진블럭을 사용하는 것은 근관형성 술식을 평가하는 방법으로서 적절한 것으로 알려져 있다^{16,43)}. 이 실험의 결과에 의하면 stainless steel

파일은 만곡된 근관을 심각하게 직선화시키는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 유한요소법적 분석을 통해서 잘 설명될 수 있다. 즉 스트레스 분석(그림 3)에서 보면 stainless steel 파일이 만곡된 상태로 있을 때 파일의 끝부분에서는 NiTi 파일에 걸리는 스트레스의 3배에 해당하는 상당히 큰 스트레스가 걸리는 것을 볼 수 있는데, 바로 이러한 사실 때문에 stainless steel 파일은 만곡된 근관의 끝부분에서 근관의 직선화를 심각하게 야기하게 되는 것이다.

그러나 NiTi 파일은 만곡된 상태로 있을 때, stainless steel 파일에 걸리는 스트레스의 1/3 정도의 훨씬 작은 스트레스가 파일의 끝부분에 걸리는 것을 볼 수 있다(그림 4). 바로 이러한 분석 결과는 만곡된 근관에서 근관장까지 40번 크기의 NiTi 파일로 근관형성을 시행했을 때 근관 원래의 만곡도를 그대로 유지하는 사실을 잘 설명해 준다. 이는 탁월하게 우수한 결과인데, 그 이유는 적절한 debridement을 위해서 최소한 40번 크기까지 근관확대가 이루어져야 한다는 주장⁶⁻⁸⁾을 잘 만족시키기 때문이다.

NiTi 파일의 등장과 그 성질에 대한 연구들, 그리고 이 연구의 결과를 통해서 볼 때 NiTi 파일이 만곡된 근관의 근관형성에 유용한 기구로서의 가능성을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 K형의 NiTi 파일이 사용되었으나, 현재 Profile Series 29(TULSA Dental Products, USA), Lightspeed(Lightspeed Technology Inc., USA), Quantec Series 2000(NT Co., USA), Shaping Hedstrom N.T.파일(KERR, USA)등 다양한 디자인의 NiTi 파일에 대한 평가도 필요하며, NiTi 파일의 만곡도 유지능력, machining효과, torsional fracture에 대한 저항성 등에 대해서 계속적인 발전이 이루어진다면 만곡된 근관에서 가장 이상적인 근관형성 기구로 자리잡게 되지 않을까 기대되는 바이다.

V. 결 론

만곡된 근관을 가진 투명한 레진블럭상에서 NiTi 파일과 stainless steel 파일을 이용하여

근관형성을 시행하고 똑같은 위치가 재현가능한 고정틀에 위치시켜서 사진의 이중노출 기법을 사용하여 근관형성 전후의 근관의 형태를 정확히 비교하고 이를 유한요소법적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 만곡된 근관의 원래 만곡도를 유지하는데 있어서 NiTi 파일은 stainless steel 파일보다 탁월하게 우수하였다.
2. 만곡된 근관내에서 각 파일에 걸리는 스트레스는 두 가지 모두에서 파일의 끝부분으로 갈수록 증가하나, NiTi 파일의 끝부분에는 stainless steel 파일의 끝부분에 걸리는 스트레스의 1/3 정도에 해당하는 훨씬 작은 스트레스가 작용되었다.

참 고 문 헌

1. Schilder H. : Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18 : 269-96, 1974.
2. Weine, F.S. : *Endodontic therapy*, ed 4, St. Louis, Mosby, 277, 1989.
3. Ingle, J.I. and Taintor, J.F. : *Endodontics*, ed 3, Philadelphia, Lea & Febiger, 26-50, 1985.
4. Weine, F.S. : *Endodontic therapy*, ed 4, St. Louis, Mosby, 302-8, 198
5. Ingle, J.I. and Beveridge, E.E. : *Endodontics*, ed 2, Philadelphia, Lea & Febiger, 195-8, 1985.
6. Southard, D.W., Oswald, R.J., and Natkin, E. : Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. *J. Endod.*, 13 : 479-89, 1987.
7. Kerekes, K. and Tronstad, L. : Morphometric observations on the root canals of human molars. *J. Endod.* , 3 : 114-8, 1977.
8. Ram, Z. : Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 44 : 306-12, 1977.
9. Lim, K.C. and Webber, J. : The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal. *Int. Endod. J.*, 18 : 233-9, 1985.
10. Kesseler, J. R., Peters, D.D. and Lorton, L. : comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *J. Endod.* , 9 : 439-47, 1983.
11. Roane, J., Sabala, C. and Duncanson, M. : The 『balanced force』 concept for instrumentation of curved canals. *J. Endod.* , 11 : 203-11, 1985.
12. Goerig, A., Michelich, R. and Schultz, H. : Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J. Endod.* , 8 : 550-4, 1982.
13. Weine, F.S., Kelly, R. and Lio, P. : The effect of preparation procedures on the original canal shape and on apical foramen shape, *J. Endod.*, 1 : 255-62, 1975.
14. ElDeeb, M. and Boraas, J. : The effect of different files on the preparation shape of severely curved canals. *Int. Endod. J.*, 18 : 1-7, 1985.
15. Cimis, F.M., Boyer, T.J. and Pelleu, G.B. : Effect of three file types on the apical preparation of moderately curved canals. *J. Endod.* , 14 : 441-4, 1988.
16. Alodeh, M.H.A., Doller, R. and Dummer, P.M.H. : Shaping of simulated root canals in resin blocks using the step-back technique with K-files manipulated in a simple in/out filing motion. *Int. Endod. J.*, 22 : 107-17, 1989.
17. Leseberg, D.A. and Montgomery, S. : The effect of Canal Master, Flex-R, and K-Flex instrumentation on the root canal configuration. *J. Endod.*, 17 : 59-65, 1991.
18. Civjan, S., Huget, E.F. and DeSimon, L.B. : Potential applications of certain nickel-titanium(Nitinol)alloys. *J. Dent. Res.*, 54 :

- 89-96, 1975.
19. Walia, H., Brantley, W.A. and Gerstein, H. : An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J. Endod.* , 14 : 346-51, 1988.
 20. Mullaney, Y.P. : Instrumentation of finely curved canals. *Dental Clinics of North America*, 23 : 575-92, 1979.
 21. Schafer, E., Tepel, J. and Hoppe, W. : Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. instrumentation of curved canals. *J. Endod.* , 21 : 493-7, 1995.
 22. Luiten, D.J., Morgan, L.A., Baumgartner, J.C. and Marshall, J.G. : A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation. *J. Endod.* , 21 : 26-32, 1995.
 23. Bou Dagher, F.E. and Yared, G.M. : Comparison of three files to prepare curved root canals. *J. Endod.* , 21 : 264-5, 1995.
 24. Royal, J.R. and Donnelly, J.C. : A comparison of maintenance of canal curvature using balanced-force instrumentation with three different file types. *J. Endod.* , 21 : 300-4, 1995.
 25. 김현주, 오원만, 양규호 : 만곡근관에서 엔진 구동용 NiTi file과 초음파 기구에 의한 근관성형 능력의 비교. *대한치과보존학회지*, 20 : 758-67, 1995.
 26. 신주희, 권오양, 윤수한 : 만곡근관에서 수종의 File을 이용한 근관형성시 만곡도 변화에 대한 비교연구. *대한치과보존학회지* 게재 예정.
 27. Tharuni, S.L., Parameswaran, A. and Sukumaran, V.G. : A comparison of canal preparation using the k-file and Lightspeed in resin blocks. *J. Endod.* , 22 : 474-6, 1996.
 28. Glossen, C.r., Haller, R.H., Dove, S.B. and del Rio, C.E. : A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J. Endod.* , 21 : 146-51, 1995.
 29. Esposito, P.T. and Cunningham, C.J. : A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J. Endod.* , 21 : 173-6, 1995.
 30. Gambill, J.M., Alder, M. and del Rio, C.E. : comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J. Endod.* , 22 : 369-75, 1996.
 31. Zmener, O. and Balbachan, L. : Effectiveness of nickel-titanium files for preparing curved root canal. *Endod. Dent. Traumatol.*, 11 : 121-3, 1995.
 32. Baumgartner, J.C., Martin, H., Sabala, C.L., Strittmatter, E.J., Wildey, W.L. and Quigley, N.C. : Histomorphometric comparison of canals prepared by four techniques. *J. Endod.* , 18 : 530-4, 1992.
 33. 김진우 : 만곡근관에서 엔진구동형 니켈-티타늄 근관형성 기구와 balanced force방법을 이용한 근관형성후 근관형태의 변화에 관한 연구. *대한치과의사협회지*, 34 : 821-8, 1996.
 34. Serene, T.P., Adams, J.D. and Saxena, A : Nickel-titanium instrument-applications in endodontics. ed 2, St. Louis, Ishiyaku Euro America, 2-5, 1995.
 35. KS handbook. 한국공업표준협회, 1991.
 36. Grossman, L.I., Oliet, S. and del Rio, C.E. : Endodontic practice, ed 11, Philadelphia, Lea & Febiger, 203, 1988.
 37. Green, G.N. : Microscopic investigation of root canal diameters. *J. Am. Dent. Assoc.*, 57 : 636-44, 1958.
 38. Kazemi, R.B., Stenman, E. and Spangberg, L.S. : Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 81 : 596-602, 1996.
 39. Camp, J.J. and Pertot, W.J. : Machining ef-

- iciency of nickel-titanium K-type files in a linear motion. *Int. Endod. J.*, 28 : 279–84, 1995.
40. Tepel, J., Schafer, E. and Hoppe, W. : Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. part 1. cutting efficiency. *J. Endod.* , 21 : 418–21, 1995.
41. Camp, J.J. and Pertot, W.J. : Torsional and stiffness properties of nickel-titanium K-files. *Int. Endod. J.*, 28 : 239–43, 1995.
42. Rowan, M.B., Nicholls, J.I. and Steiner, J. : Torsional properties of stainless steel and nickel-titanium endodontic files. *J. Endod.* , 22 : 341–5, 1996.
43. Lim, K.C. and Webber, J. : The validity of simulated root canals for the investigation of the prepared root canal shape. *Int. Endod. J.*, 18 : 240–6, 1985.