

## 만곡 근관 형성시 화일의 응력 및 근관 전이 양상에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

박한수 · 윤수한

Abstract

### A STUDY ON THE STRESS OF FILES AND CANAL TRANSPORTATION IN A CURVED CANAL

Hansoo Park, D.D.S., M.S.D., Soo-Han Yoon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

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

The purpose of this study was to evaluate the effect of materials and sizes of files on canal transportation in a curved canal. The stress and the strain energy of files of two kinds of materials (stainless steel and NiTi) and five sizes (No. 20, 25, 30, 35 and 40) in a curved canal were analyzed by a finite element program, NASTRAN. Curved canals in transparent resin blocks were instrumented with the 10 kinds of files, and the degree of canal transportation obtained by double exposure technique of photography was compared with the analysis by the finite element method.

The results were as follows :

1. The stress of a file in a curved canal increased from the file body to the file tip.
2. The stress of a stainless steel file was about 2.5 times greater than that of a same-sized NiTi file.
3. The stress distributions of files of an identical material were the same, and the strain energies of files of an identical material increased as the size of files increased.
4. The strain energy of a No. 35 NiTi file was about the same as that of a No. 20 stainless steel file.
5. The degree of canal transportation by a stainless steel file was greater than that by a same-sized NiTi file. The degree of canal transportation generally increased as the size of a file increased.
6. The degree of canal transportation of a No. 35 NiTi file was about the same as that

본 논문은 1997년도 서울대학교병원 임상연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

of a No. 20 stainless steel file.

**Key words :** Canal Transportation, Stress Analysis, Finite Element Method, Double Exposure, Nickel-Titanium File, Curved Canal

## I. 서 론

성공적인 근관치료를 위해서는 적절한 근관 형성 및 소독, 치밀한 근관충전이 이루어져야 하며, 이 중에서 근관형성 과정은 기계적 및 화학적 형성에 의해 근관 내의 감염원을 제거하고 근관충전이 용이하도록 근관 형태를 만들어 주는 근관치료의 중요한 단계이다<sup>1-3)</sup>.

만곡 근관의 경우에는 근관형성시 근관이 전이(transportation)되면서 ledge, zip, 천공(perforation) 등의 가능성이 커져서 이상적인 근관형성을 하는데 많은 어려움이 따르게 된다<sup>4)</sup>. 만곡 근관 형성시 근관의 전이에 관계되는 요인으로는 근관의 만곡도, 근관형성 방법, 근관형성 기구의 형태 및 재질 등을 들 수 있다. 근관의 만곡도에 관한 연구로 Greene과 Krell<sup>5)</sup>에 의하면 근관의 만곡도가 10 도 이하에서는 ledge가 거의 발생되지 않았으며 20 도 이상이 되면서 ledge의 빈도가 유의하게 증가하였고, 30 도를 초과하게 되면 50 % 이상에서 ledge가 발생하였으며, 여러 요인중에서 일관성있게 ledge와 연관된 요인은 근관의 만곡도라고 보고하였다.

근관형성 방법에 관하여는 많은 연구가 있어 왔는 바, 만곡 근관 형성시 수동기구를 사용하는 방법으로는 step-back방법<sup>6)</sup>, balanced-force방법<sup>7)</sup>, step-down방법<sup>8)</sup> 등을 들 수 있고, 엔진 구동용 기구에 의한 방법으로는 rotary방식, reciprocating방식, vertical stroke방식 등을 들 수 있다. Stainless steel 화일을 엔진 구동용 기구에 사용한 경우의 근관형성 결과는 수동으로 사용한 경우에 비해 유의한 차이가 없거나<sup>9)</sup> 오히려 근관이 더 많이 전이되었다<sup>10,11)</sup>. 그러나 nickel-titanium(NiTi) 화일을 엔진 구동용 기구에 사용시 수동기구와 유의한 차이가 없다는 보고<sup>12)</sup>도

있으나, 여러 연구<sup>13-16)</sup>에서 수동기구를 사용한 경우보다 근관을 직선화시키는 경향이 적었다고 보고되었다.

근관형성 기구에 관한 연구중에서 화일의 단면형태에 관해서 Roane등<sup>7)</sup>은 동일한 40번 화일의 경우에 삼각형 단면의 화일이 사각형 단면의 화일보다 단면적이 37.5% 감소하기 때문에 유연성이 증가하였다고 주장하였다.

근관형성 기구의 크기에 관한 연구로 Aloedeh등<sup>17)</sup>은 25번 화일로 근관형성한 모든 만곡 근관에서 모래시계(hourglass) 모양을 만든다고 보고하였으며, Walton<sup>18)</sup>은 만곡 근관에서 25번 크기의 기구도 근관을 전이시키므로 좁고 만곡된 근관에서 20번 크기를 초과한 화일을 사용하면 안된다고 하였고, ElDeeb와 Boraas<sup>19)</sup>는 사용된 화일의 종류에 관계없이 화일의 크기가 증가함에 따라 zipping의 빈도가 유의하게 증가한다고 하였다.

근관형성 기구의 tip모양에 관한 연구로 Sabala등<sup>20)</sup>, Schafer등<sup>21)</sup>은 수정형(modified type)의 화일에서 근관전이 현상이 유의하게 적다고 하였다.

근관형성 기구의 재질에 관한 연구로 Walia등<sup>22)</sup>에 의하면 15번 NiTi 화일은 같은 크기의 stainless steel 화일보다 굽힘(bending)과 비틀림(torsion)에서 탄성적 유연성(elastic flexibility)이 두 배에서 세 배에 이르는 것으로 보고하였으며, 최근 여러 연구에서 NiTi 화일들이 stainless steel 화일보다 근관형성후 원래의 근관 만곡을 더 잘 유지하는 것으로 보고되고 있다.<sup>13-16, 23-25)</sup>

기계적 근관형성 과정은 화일에 의해 근관 벽에 가해지는 절삭력에 기인하게 되는데, 만곡 근관에서는 원래의 근관 만곡도를 따르는 근관확대 외에 화일의 퍼지려는 힘에 의한 근관의

전이이 야기된다. 따라서 만곡 근관 내에 화일을 위치시켰을 때 화일의 찌지려는 힘을 적절히 분석하게 되면 근관 전이 양상을 예측할 수 있게 된다.

구조물의 이러한 응력을 관찰하는 분석법으로 Bonded electrical strain gauge법, Brittle lacquer coating technique, Moire fringe analysis, Holography법, 광탄성 분석법(Photoelastic stress analysis), 유한요소법 등이 있다. 이 중에서 유한요소법은 동일한 크기와 성분의 구조물로 실험이 가능하고, 변수와 하중의 크기나 방향을 용이하게 변경시킬 수 있으며, 구조물 전 영역에서 응력분포의 측정이 가능하고, 변위 전과 후의 상태를 동시에 관찰할 수 있으며, 모든 응력 성분을 계산할 수 있고, 분석과 결과의 산출이 빠른 장점이 있다<sup>26-28)</sup>.

이러한 장점을 가진 유한요소법은 공학의 제 문제를 해석하는데 널리 이용되고 있으며, 치의학 분야에서 교정학, 매식학, 보철학 및 보존학 등에서 활발히 이용되고 있다. 그러나 기계적 형성(mechanical preparation)이 이루어지는 근관치료 영역에서 유한요소법을 이용하여 만곡 근관 형성시의 응력을 분석하고 이를 실제 근관 전이 양상과 연관시켜서 실험한 연구는 아직 미흡하다.

이에 저자는 만곡 근관 형성시 동일한 형태의 화일에서 화일의 재질과 크기에 변화를 주었을 때 화일들의 상대적인 유연성 및 만곡 유지 능력을 평가하기 위하여, 유한요소법을 이용하여 만곡 상태의 화일에 작용되는 응력을 분석하였으며, 이를 투명한 레진블럭에서 사진의 이중노출기법을 이용하여 얻은 근관 전이 양상과 비교한 결과 다소의 지견을 얻었기로 이에 보고하는 바이다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 유한요소법에 의한 응력 및 변형에너지 분석

#### 1) 파일의 모델링

만곡된 근관 내에 위치한 화일의 응력 및 변형에너지를 유한요소법적으로 분석하기 위하

여, 유한요소 해석 프로그램인 NASTRAN(MacNeal-Schwendler Co. Los Angeles, CA, USA)을 사용하였다. 먼저 화일의 기하학적 형상을 이상화하여 원추형 모양의 입체로 가정하여 다음과 같은 모델을 생성하였다(Fig. 1).

원추형 입체의 유한요소 모델에서 element는 6개의 node를 가지는 CPENTA요소(Fig. 2, ㉓)를 사용하여 화일의 중앙 부분을 모델링하고, CTETRA요소(Fig. 2, ㉔)를 이용하여 화일의 끝부분을 모델링하였다(Fig. 2).

먼저 중심축 node들을 구하고 한쪽 끝의 node를 구한 뒤, 그 거리를 반지름으로 하고 중심축을 회전축으로 하여 45 도씩 회전시키는 프로그램을 만들어서 node들을 구하였다. 이때 동일한 형태의 화일에서 재질과 크기가 다른 여러 가지 화일들의 찌지려는 힘을 상대적으로 비교하기 위하여 화일에 작용되는 응력에 대한 전반적인 거동의 해석을 목적으로 하였으므로,

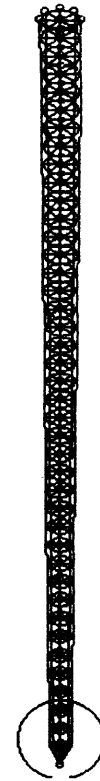


Fig. 1. Modeling of a straight file%

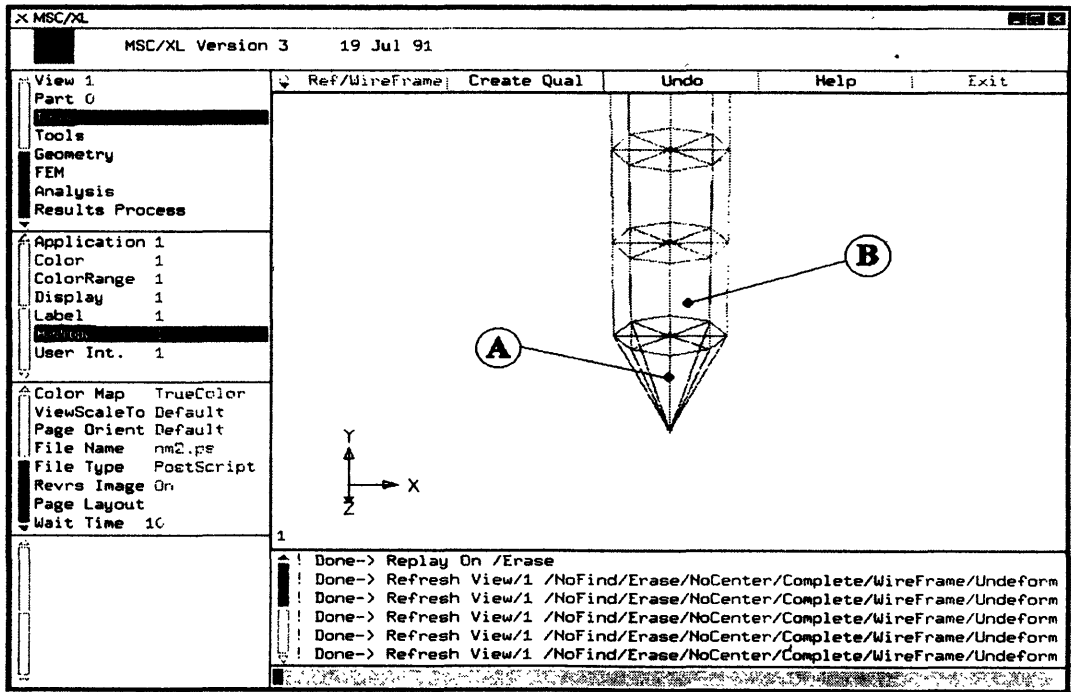


Fig. 2. Magnified view of a straight file ① : CTETRA element, ② : CPENTA element

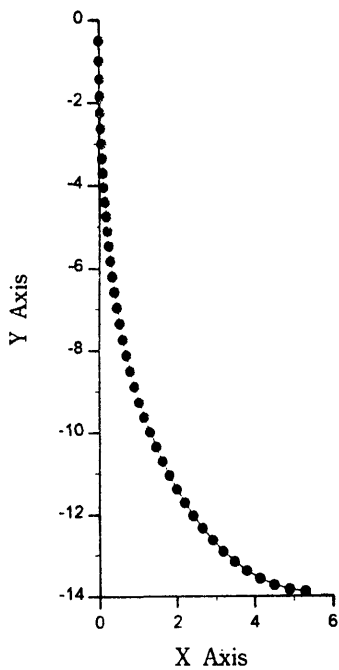


Fig. 3. Axis of a curved file

실제 화일의 몸체 표면에 있는 삼각형 모양의 돌출된 삭제날 부분은 모델링하지 않았다.

만곡 근관 내에 위치한 화일을 모델링하기 위해서, 먼저 화일을 만곡 근관을 가진 투명한 레진블럭 내에 위치시키고 만곡을 볼 수 있는 측면에서의 상을 얻은 후 이를 확대하였다. 위에서 확대한 그림을 다시 모눈종이에 tracing 하여 화일의 중심점들을 얻어내었다. 얻어낸 중심점들에 가장 근사한 모양을 갖는 곡선의 방정식을 Least-Square Method를 이용하여 구한 뒤 변형전의 중심축 node들이 변형후 이 곡선을 따라 위치한다는 가정에 의해서 이 곡선 상에 옮겨진 후의 node들의 위치를 모두 구하였다(Fig. 3).

모델링에 사용된 node 수는 370 개, element 수는 328 개였다. 경계조건으로 모델의 가장 상방에 위치하는 9 개의 절점들은 변위를 방지하기 위해 6자유도를 모두 고정하였다. 또한 변형 전의 node들과 변형 후의 node들의 차이를 유한요소 모델의 경계조건으로 사용하였다.

Table. 1. Physical properties of stainless steel and NiTi files

	stainless steel	NiTi
Modulus of elasticity (GPa)	200	83
Poisson's ratio	0.30	0.33

물성치는 다음과 같다. 탄성계수(Modulus of elasticity)<sup>29)</sup>는 stainless steel의 경우 200, NiTi의 경우 83 GPa를, 포아송 비(Poisson's ratio)<sup>30)</sup>는 stainless steel의 경우 0.30, NiTi의 경우 0.33을 사용하였다(Tab. 1).

## 2) 응력 및 변형 에너지 분석

응력 분포는 유한요소 프로그램에 의해 구하였다. 그리고 재질과 크기가 다른 여러 가지 화일들의 찌지려는 힘을 상대적으로 비교하기 위하여 변형에너지(strain energy)를 구하였다. 이때 변형에너지는 유한요소 프로그램을 이용하여 element당 변형에너지의 분포를 구하고, 이 값과 해당하는 element들의 체적을 곱한 후, 곱한 값들을 모두 합해서 구하였다.

## 2. 투명한 레진블럭에서의 근관 전이 양상

위의 유한요소애 의한 분석과 비교하기 위하여 투명한 레진블럭에서 화일의 재질과 크기를 변화시켜 가면서 근관형성을 시행하였다.

만곡 근관에서 근관형성을 비교하기 위한 실험재료로는 약 30 도의 만곡을 가지면서 근관모양을 잘 보여 주는 투명한 Endo-VU(model 001-curved, Richard W. Pecina & Associates. Inc., Waukegan, IL, USA) 레진블럭<sup>31)</sup>을 사용하였다.

근관형성 기구로는 순수하게 재질만의 차이를 비교하기 위하여 재질외의 모든 조건이 동일한 k형의 stainless steel 및 NiTi 화일(Brasseler USA, Savannah, Georgia, USA)을 사용하였으며, 각각 20, 25, 30, 35 및 40번 크기의 화일을 비교함으로써 총 10가지 종류의 화일에 대해 각 종류당 5 개씩의 레진블럭에서 근관형성을 시행하였다.

이때 근관형성은 KAVO giromatic engine(29 A angle, 3LD head, Biberach, Germany)을

이용하여 각 크기까지 확대하였는데, 그 다음 크기의 화일이 근침까지 도달하지 않으면 15번 화일부터 다시 순차적으로 확대해 올라가는 과정을 반복하여 최종적으로 근침에 각 크기의 화일이 도달하도록 하였다.

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

이때 움직이지 않고 정확히 비교되었는지의 여부를 확인할 수 있는 기준으로서 레진블럭에 레터링(lettering)표시를 하였고, 근관형성 전에는 불투명한 잉크를, 근관형성 후에는 색깔 있는 투명한 잉크를 레진블럭의 근관내에 주입하여 근관형성 전후의 모양이 동일한 슬라이드 필름상에서 정확하게 비교되도록 하였다.

근관전이 정도를 평가하기 위하여 슬라이드 필름을 수직의 벽면에 투사확대시켜서 근침으로부터 1mm 짧은 부위에서의 근관의 전이된 거리를 디지털 캘리퍼스(Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 구하였다. 동일한 재질내에서 파일 크기의 증가에 따른 근관 전이 양상의 비교는 one-way ANOVA test를, 그리고 재질이 다른 두 군간에는 T-test를 이용하여 유의성을 검정하였다(유의수준  $p=0.05$ ).

## III. 실험 성적

유한요소법에 의한 분석 및 투명한 레진블럭에서의 만곡 근관 형성을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 2. Strain energy of stainless steel and NiTi files( $\times 10^3$ J)

file size	# 20	# 25	# 30	# 35	# 40
stainless steel file	4.52	5.90	7.48	9.27	11.25
NiTi file	2.05	2.67	3.38	4.19	5.08

Table 3. Mean length of canal transportation after instrumentation (mm)

	# 20	# 25	# 30	# 35	# 40
Stainless steel file	0.028 ( $\pm 0.024$ )	0.104 ( $\pm 0.054$ )	0.138 ( $\pm 0.015$ )	0.220 ( $\pm 0.032$ )	0.359 ( $\pm 0.035$ )
NiTi file	0.021 ( $\pm 0.031$ )	0.033 ( $\pm 0.018$ )	0.040 ( $\pm 0.030$ )	0.043 ( $\pm 0.025$ )	0.168 ( $\pm 0.015$ )

※ > ) Standard Deviation

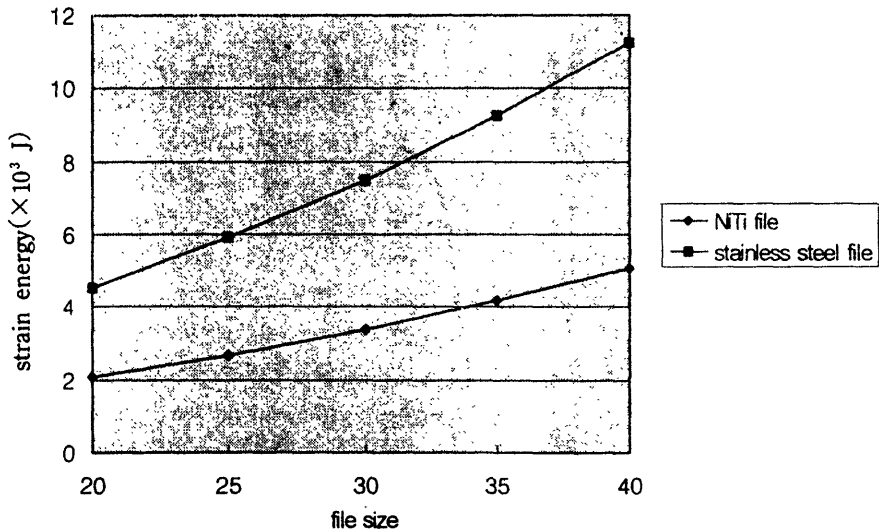


Fig. 8. Strain energy of stainless steel and NiTi files

### 1. 유한요소법에 의한 응력 및 변형에너지 분석

만곡된 근관내에 위치된 모든 화일에서 화일의 끝부분으로 갈수록 응력이 증가하는 양상을 보였다. Stainless steel 화일의 경우에 화일 끝부분에 작용되는 응력은  $1.6 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, NiTi 화일의 경우에는  $6.3 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> 으로서 stainless steel 화일에는 NiTi 화일에 비해 약 2.5 배의 응력이 작용되었고, 동일한 재질내에서는 화일의 크기에 관계없이 응력분포가 동일하였다

(Fig. 4, 5). 단위부피당 변형에너지의 분포 역시 응력의 경우와 비슷한 양상을 보였다(Fig. 6, 7).

재질과 크기가 다른 화일들의 찌지려는 힘을 반영하는, 화일 내부에 축적된 변형에너지는 stainless steel 화일의 경우 20번부터 차례대로 4.52, 5.90, 7.48, 9.27, 11.25x10<sup>3</sup>J 이었고, NiTi 화일의 경우 20번부터 차례대로 2.05, 2.67, 3.38, 4.19, 5.08x10<sup>3</sup>J 이었다(Tab. 2, Fig. 8). 20번 stainless steel 화일의 변형에너지에 가장 큰

접한 변형에너지를 보인 NiTi 화일은 35번이었다.

## 2. 투명한 레진블럭에서의 근관 전이 양상

stainless steel 화일의 경우 근관이 전이된 거리는 20번 화일부터 순차적으로 0.028, 0.104, 0.138, 0.220, 0.359 mm이었고, NiTi 화일의 경우 근관이 전이된 거리는 20번 화일부터 0.021, 0.033, 0.040, 0.043, 0.168 mm이었다(Tab. 3, Fig. 9-18).

동일한 재질내에서 화일의 크기가 한 단계씩 증가할 때, stainless steel 화일의 경우에는 25~30번 사이를 제외한 모든 단계에서, 그리고 NiTi 화일의 경우에는 35~40번 사이에서만 근관의 전이가 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 동일한 크기간의 비교에서 NiTi 화일보다 stainless steel 화일에서 근관전이 유의하게 큰 경우는 #25~40번까지였다( $p < 0.05$ ). 20번 stainless steel 화일에 의한 근관의 전이 정도는 20~35번 NiTi 화일에 의한 근관의 전이 정도와 유의한 차이가 없었고, 25~40번 stainless steel 파일 및 40번 NiTi 파일은 이들보다 유의하게 큰 근관 전이 양상을 보였다( $p < 0.05$ ).

## IV. 총괄 및 고안

기계적 근관형성 과정은 화일에 의해 근관벽에 가해지는 절삭력에 기인한다. 만곡 근관형성시 원래의 근관 만곡도를 따르는 근관확대 외에 화일의 찌지려는 힘에 의한 근관의 전이가 야기된다. 따라서 만곡 근관 내에 화일을 위치시켰을 때 화일의 찌지려는 힘을 적절히 분석하게 되면 근관전이 양상을 예측할 수 있게 된다.

유한요소법은 Bonded electrical strain gauge법이나 광탄성 분석법에 비해 많은 장점을 가지고 있으므로 치의학 분야에서도 응력분석을 통한 생체역학적 연구에 많이 이용되었고, 특히 보존 영역에서는 치아 및 충전물에 대한 변위 및 응력분포에 대한 연구가 많이 이루어졌으며, 최근 근관치료 영역에서도 응력분포에 관한 연구가 이루어지고 있다. 근관치료 영역에서의 연구로는 수직가압 및 측방가압 충전시의 응

력분포<sup>32,33</sup>, post에 의한 응력분포<sup>34</sup>, 근관형성된 치아의 응력분석<sup>35</sup> 등이 보고된 바 있다. 그러나 아직 근관형성 과정과 관련하여 유한요소법을 이용한 연구는 보고된 바 없다. 이는 근관형성시 화일에 의해 근관벽에 가해지는 힘의 분석은 단순히 한 점에 힘이 가해지는 경우의 분석이 아니고, 화일의 몸체 표면에서 일어나는 복잡한 양상을 띠고 있으며, 만곡 전의 끝은 상태에서 화일에 힘을 가했을 때의 응력분포를 보는 것이 아니고 만곡 근관 내에 화일을 위치시켰을 때 화일에 의해 발휘되는 응력을 보는 점에서 기존의 연구들과 상이하며, 화일이 만곡되어 있는 경우 3차원으로 모델링하는 데 있어서 연속단층사진촬영법에 의해 단면사진을 얻기가 힘들고, 또한 다양한 근관형성 방법들에 의해 근관벽에 가해지는 힘을 모델링하기가 어려운 점들 때문에 아직까지는 근관형성 영역에서 응력분석이 이루어지지 못한 것으로 생각된다.

최근에 형태가 다양한 수종의 저속회전식 엔진구동용 NiTi 화일들이 사용되고 있는데, 이러한 회전식 엔진구동용 화일에 의해 근관벽에 가해지는 힘은 기존의 수동기구에 의해 복잡한 방식으로 가해지는 힘보다는 단순하다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 만곡된 3차원 물체가 회전할 때 몸체의 표면에서 일어나는 절삭력을 유한요소법으로 구하는 과정이 대단히 어려울 뿐만 아니라 실제로 근관의 전이에 작용하는 힘은 만곡된 화일이 원상태로 찌지려는 힘과 다음과 같은 밀접한 관계가 있다. 삭제기구를 물체에 대고 밀면서 회전시킬 때, 미는 힘(F)과 절삭력(T)과의 관계는,

$$T = f(\alpha, \beta) \times F$$

의 식으로 표현되는데, 이 때  $f(\alpha, \beta)$ 는  $\alpha, \beta$ 의 함수이고,  $\alpha, \beta$ 는 삭제날과 물체가 만나면서 이루는 각들이다.

만곡된 근관내에서 화일이 회전할 때 화일의 찌지려는 힘은 근관벽을 향해 미는 힘을 발휘하게 되므로, 상기한 식에 의해 근관전이를 일으키는 절삭력과 화일의 찌지려는 힘과는 비례 관계임을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 절삭력과 화일의 찌지려는 힘 사이에 비례한다는 사실과 또한 유한요소법에 의한 3차원

물체의 절삭력을 구하는 과정의 어려움 등을 고려하여 화일의 퍼지려는 힘을 구해서 근관 전이를 비교하는 지표로 삼았다.

3차원 물체를 유한요소로 모델링하는 과정은 일반적으로 연속단층사진촬영법에 의해 단면사진을 얻어서 이를 입력함으로 이루어지게 되는데, 화일의 경우에는 재료의 성질상 이러한 방법으로는 어려움이 있어서, 중심축 node들을 구하고 한쪽 끝의 node를 구한 뒤, 그 거리를 반지름으로 하고 중심축을 회전축으로 하여 45도씩 회전시키는 프로그램을 만들어서 node들을 구하였다. 이 때 화일의 실제 모양과 동일한 모양으로 모델링하는 것은 대단히 어렵고, 실제로 근관형성용 화일과 유사한 공업용 드릴이나 줄(file)의 응력이나 절삭력을 다루는 기계공학 분야에서도 유한요소에 의한 방법보다는 삭제기구의 단면상에서 물체와 만나는 각도들을 가지고 수화적인 계산을 통하여 구하고 있으므로, 이를 단순화시킨 axisymmetric한 모델을 만들었다.

또한 위에서 프로그램을 이용하여 node들을 구할 때에 화일의 손잡이 쪽에서 화일끝으로 가면서 node들을 꼬아가면서 연결하게 되면 실제 모양과 근접한 모델링을 얻을 수는 있으나 이러한 모델링의 경우 비틀린(distorted) 모양의 element들이 만들어지게 되어 유한요소 프로그램으로 계산하는데 어려움이 있기 때문에 좋은 모델링으로 보기 어렵다. 본 연구에서는 동일한 형태의 화일에서 재질과 크기가 다른 여러 가지 화일들의 퍼지려는 힘을 상대적으로 비교하고자 화일에 작용되는 응력의 전반적인 거동의 해석을 목적으로 하였으므로, 실제 화일의 몸체 표면에 있는 삼각형 모양의 돌출된 삭제날 부분은 모델링하지 않았다.

기존의 연구에서는 모델링한 물체에 특정한 하중을 가했을 때의 응력을 관찰하는 것에 비해 이 방법에서는 특정한 하중을 가하는 과정이 없다. 이를 살펴보면, 파일을 만곡 근관 내에 위치한 형태로 변형을 가하기 위해서, 화일을 만곡 근관을 가진 투명한 레진블럭 내에 위치시켜서 만곡 근관 내에 있는 화일의 중심축을 얻은 후 변형 전의 중심축 node들이 이 곡선을

따라 위치한다는 가정에 의해서 이 곡선 상에 옮겨진 후의 node들의 위치를 구함으로써 만곡 근관 내에 위치한 화일로 변형을 부여하였다. 이때 변형 전의 node들과 변형후의 node들의 차이를 유한요소 모델의 경계조건으로 사용하였고, 모델의 가장 상방에 위치하는 node들은 변위를 방지하기 위해 6자유도를 모두 고정하였다. 즉 기존의 연구에서처럼 물체에 하중을 가하지는 않았으나, 만곡 전의 node들과 만곡 근관 내에 위치시킨 후의 node들의 차이를 유한요소 모델의 경계조건으로 사용함으로써, 마치 하중과 같은 역할을 할 수 있게 고안한 것이다.

유한요소법에 의한 응력분포를 보면 화일의 끝부분으로 갈수록 응력이 많이 작용되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 실제의 만곡 근관 형성시 근접 부위에서 근관의 전이가 많이 일어나는 현상을 잘 설명해 준다. 응력분석 결과를 보면 stainless steel 화일에 작용하는 응력의 크기는 NiTi 화일에 작용하는 응력의 약 2.5 배에 해당하는 것을 알 수 있는데, 이는 NiTi 화일의 탄성적 유연성이 stainless steel 화일의 두 배내지 세 배에 해당한다는 Walia<sup>22)</sup>의 보고와 유사한 결과라고 볼 수 있다.

일반적으로 만곡의 내측에서는 압축력을 받게 되고, 만곡의 외측에서는 인장력을 받게 되기 때문에 내측과 외측의 응력 사이에는 차이가 예상되는데 불구하고 이 응력분포에서는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 근관치료용 화일과 같은 연성 재료(ductile material)의 응력을 다룰 때 보통 von Mises응력을 보게 되는데, 이러한 von Mises응력은 어떤 특정한 방향에서의 응력을 보는 것이 아니고 각 element내의 어떤 지점에서 작용하는 복합응력을 대변할 수 있는 응력으로 정의되기 때문인 것으로 사료된다.

동일한 재질 내에서 크기에 따라 응력분포가 다르게 나타날 것으로 예상하였으나 응력분석 결과 동일한 재질 내에서는 동일한 응력의 분포를 보여서 응력분석만으로는 화일의 크기에 따른 화일들의 퍼지려는 힘을 비교해 볼 수 없었다. 이는 응력이란 성분이 단위면적당 받게



되는 힘의 단위를 나타내기 때문에 화일의 크기가 달라져도 응력에는 차이가 없는 것으로 생각된다. 따라서 화일의 크기에 따른 화일들의 찌지려는 힘을 비교하는 지표로서 변형에너지를 사용하였다. 변형에너지는 탄성체를 변형시킬 때 탄성체 내에 축적되는 에너지로서, 일정한 만곡 근관 내에 위치한 경우에는 재질과 크기가 다른 화일들의 찌지려는 힘을 반영하게 되기 때문이다. 이 때 먼저 유한요소 프로그램에 의하여 element당 변형에너지의 분포(Fig. 6, 7)를 구하고, 이 값과 해당하는 element들의 체적을 곱한 다음 모두 합해서 구하였다(Fig. 8).

유한요소법을 이용하여 재질과 크기가 다른 화일들의 찌지려는 힘을 구하게 되면 동일한 재질 내에서도 크기에 따른 상대적인 비교가 가능해지고, 또한 재질과 크기가 다른 화일들 간에서도 상대적인 비교가 가능하게 되기 때문에 임상적으로 중요한 의미를 가지게 된다. 재질과 크기가 다른 화일들의 찌지려는 힘을 비교해 보았을 때, 20번 stainless steel 화일은 35번 NiTi 화일과 가장 근접하였다. 따라서 NiTi 화일은 동일한 크기의 stainless steel 화일보다 근관전이를 일으키는 힘이 작기 때문에, 만곡 근관에서 더 큰 화일을 작업장까지 사용할 수 있는 가능성을 제시해 주는 것으로 사료된다.

유한요소법에 의한 이러한 분석과 비교하기 위하여 투명한 레진블럭에서 화일의 재질과 크기를 변화시켜 가면서 근관형성을 시행하였다.

만곡 근관의 근관형성을 비교하기 위한 실험재료로는 약 30 도의 만곡을 가지면서 근관 모양을 잘 보여 주는 투명한 Endo-VU 레진블럭<sup>30)</sup>을 사용하였는데, 레진블럭을 사용하는 것은 근관형성 술식을 평가하는 방법으로서 적절한 것으로 알려져 있다<sup>36)</sup>.

근관형성 기구로는 순수하게 재질만의 차이를 비교하기 위하여 재질외에 단면형태, tip모양 등의 모든 조건이 동일한 k형의 stainless steel 및 NiTi 화일(Brasseler USA)을 사용하였다.

근관형성 전후의 모양을 정확히 비교하기 위하여 레진블럭을 고정하는 부분과 사진기를 재현성있게 위치시키는 부분이 한 몸으로 연

결된 고정틀을 제작하여 사용하였고, 사진촬영술 중에서 이중노출 기법을 이용하여 근관형성 전후의 모양을 동일한 슬라이드 필름상에 찍히게 하여 비교하였다.

근관형성에 관한 기존의 연구들은 대부분 근관전이 정도를 평가하기 위하여 근관형성 전후의 화일의 각도<sup>25, 37, 38)</sup>나 근관의 폭경<sup>39)</sup>을 측정하여 비교하였다. 그러나 이러한 방법들의 경우 측정하는 과정에서 많은 오차가 생길 수 있을 뿐 아니라, 이들은 근관형성 전후의 화일 위치의 비교일 뿐이지 근관형성 전후의 근관의 모양을 정확히 보여주지는 못하는 단점이 있다.

또 컴퓨터의 프로그램을 이용하여 근관형성 전후의 모양을 비교한 보고들<sup>13, 14)</sup>도 있으나 컴퓨터 화면 자체가 가지는 해상도의 한계로 인하여 정확성이 떨어지며, 컴퓨터가 근관의 모양을 읽는 과정과 겹치는 과정에서 오차가 생길 수 있다.

또한 컴퓨터 단층촬영술(computed tomography, CT)을 이용한 경우에서는<sup>24)</sup> 치관부에서부터 근침까지 근관길이 전체가 한 평면상에 있지 않아서 적절한 상을 얻는 데에 어려움이 있음을 지적하였다.

본 연구에서는 투명한 레진블럭에서 사진의 이중노출 기법을 이용하여 근관형성 전후의 모양이 한 장의 슬라이드 필름 상에서 정확히 비교되도록 고안하였다. 이러한 이중노출 기법을 이용하였을 때 근관형성 전후의 모양을 정확히 비교하기 위해서는 사진기와 레진블럭을 재현성있게 위치시킬 수 있어야 한다. 사진기를 재현성있게 위치시키기 위해서 사진기의 밑면을 인상을 떠서 고정틀을 제작하였고, 이 고정틀에 레진블럭을 위치시키는 투명한 플라스틱 상자를 한 몸으로 연결하였으며, 레진블럭을 플라스틱 상자 안의 좌측면과 하단쪽으로 밀착시킨 상태에서 근관형성 전과 후의 상을 얻었다. 이 때 움직이지 않고 정확히 비교되었는지의 여부를 확인할 수 있는 기준으로서 레진블럭에 레터링(lettering)표시를 하였는데, 근관형성 전의 상과 근관형성 후의 상이 정확히 일치되지 않은 경우에는 이중노출 상이 가지는 예민한 특성으로 인하여 필름 상에 레터링이 두 개로 나

타나고, 빛이 많이 들어간 필름처럼 전체적인 상이 흐려지게 된다. 이러한 방법과 유사한 연구로서 Briseno<sup>40)</sup>의 방법이 보고된 바 있다.

근관전이 양상에 관한 결과를 보면 20번 stainless steel 화일과 20~35번 NiTi 화일 사이에서는 유의할 만한 차이가 없이 근관전이가 거의 일어나지 않았고, 25번 stainless steel 화일은 이들과 유의한 차이의 근관전이가 일어나는 것을 알 수 있는데, 이러한 결과는 Alodeh<sup>17)</sup>의 결과와 유사하며, 만곡 근관에서 25번 stainless steel 화일은 근관을 전이시키므로 좁고 만곡된 근관에서 20번 크기를 초과한 화일을 사용하면 안된다고 하는 Walton<sup>18)</sup>의 주장과 일치하는 소견을 보였다.

NiTi 화일의 경우 탄성적 유연성으로 인하여 35번 크기의 화일을 근침까지 사용해도 근관전이 현상이 거의 나타나지 않은 것은 고무적인 결과이며, 이는 근침부위에 있는 근관내 감염원을 더 잘 제거할 수 있는 가능성을 제시한다고 볼 수 있다.

유한요소법에 의한 분석 및 근관전이 양상에 의한 본 실험의 결과를 요약해 보면 35번 NiTi 화일은 20번 stainless steel 화일과 근관전이를 일으키는 힘이 거의 비슷하였고, 실제로 근관의 전이를 거의 일으키지 않았다. 따라서 NiTi 파일은 stainless steel 파일보다 만곡된 근관에서 원래의 근관 만곡을 더 잘 유지하면서 근관내의 감염원을 제거할 수 있는 가능성을 제시하는 것으로 사료된다.

## V. 결 론

만곡 근관 형성시 동일한 형태의 화일에서 재질을 stainless steel 및 NiTi로, 크기를 20, 25, 30, 35, 40 번으로 하는 총 10 가지 종류의 화일에 대해서 유한요소 해석 프로그램인 NAS-TRAN을 이용하여 응력 및 변형에너지를 분석하였으며, 투명한 레진블럭에서 상기한 10 가지 종류의 화일로 근관형성을 시행하고 사진의 이종노출기법을 이용하여 얻은 근관전이 양상과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 만곡 근관 내에 위치한 화일에 작용되는 응력은 화일의 끝부분으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다.
2. 동일한 크기의 화일의 경우, NiTi 화일보다 stainless steel 화일에서 약 2.5 배 정도의 더 큰 응력이 작용되었다.
3. 동일한 재질의 화일의 경우, 화일의 크기에 관계없이 응력 분포는 동일하였고, 파일 내에 축적된 변형에너지는 화일의 크기가 커질수록 증가하였다.
4. 20번 stainless steel 화일 내에 축적된 변형에너지는 35번 NiTi 파일 내에 축적된 변형에너지와 유사하였다.
5. 근관 전이 양상은 NiTi 화일에서보다 stainless steel 화일에서 더 크게 나타났으며, 화일의 크기가 커질수록 증가하였다.
6. 20번 stainless steel 화일에 의한 근관의 전이 정도는 35번 NiTi 화일에 의한 근관의 전이 정도와 유사하였다.

## 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, 277-87, 1989.
3. 임성삼 : 임상근관치료학, 의치학사, 81-2, 1994.
4. Ingle, J.I. and Taintor, J.F. : *Endodontics*, ed 3, Philadelphia, Lea & Febiger, 200-14, 1985.
5. Greene, K.J. and Krell, K.V. : Clinical factors associated with ledged canals in maxillary and mandibular molars. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 70 : 490-97, 1990.
6. Mullaney, T.P. : Instrumentation of finely curved canals. *Dental Clinics of North America*, 23 : 575-92, 1979.
7. Roane, J., Sabala, C. and Duncanson, M. : The "balanced force" concept for inst-

- umentation of curved canals. *J. Endod.*, 11 : 203-11, 1985.
8. Goerig, A., Michelich, R. and Schultz, H. : Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J. Endod.*, 8 : 550-4, 1982.
  9. Harty, F.J., and Stock, C. : The giromatic system compared with hand instrumentation in endodontics. *Br. Dent. J.*, 6 : 239-44, 1974.
  10. Weine, F.S., Kelly, R.F. and Bray, K.E. : Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. *J. Endod.*, 2 : 298-303, 1976.
  11. Spyropoulos, S, ElDeeb, M. and Messer, H.H. : The effect of giromatic files on the preparation shape of severely curved canals. *Int. Endod. J.*, 20 : 133-42, 1987.
  12. 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.
  13. 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.
  14. Glosson, 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.
  15. 오현정, 홍찬의 : NiTi Rotary Instruments에 의한 근관형성이 치근단부 근관형태에 미치는 영향. *대한치과보존학회지*, 22 : 244-253, 1997.
  16. 허영주, 김성교 : 근관형성 기구 및 방법에 따른 근관형태의 변화. *대한치과보존학회지*, 22 : 291-304, 1997.
  17. 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 : 107-117, 1989.
  18. Walton, R.E. : Current concepts of canal preparation., *Dental Clinics of North America*, 36 : 309-26, 1992.
  19. 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.
  20. Sabala, C.L., Roane, J.B. and Southard, L.Z. : Instrumentation of curved canals using a modified tipped instrument. *J. Endod.*, 14 : 59, 1988.
  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. 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.
  23. Zmener, O. and Balbachan, L. : Effectiveness of nickel-titanium files for preparing curved root canal. *Endod. Dent. Traumatol.*, 11 : 121-3, 1995.
  24. 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.
  25. 신주희, 권오양, 윤수한 : 만곡근관에서 수종의 File을 이용한 근관형성시 만곡도 변화에 대한 비교연구. *대한치과보존학회지*, 22 : 388-395, 1997.
  26. deVree, J.H.P., Peters, M.C.R.B., and Plaschaert, A.J.M. : A comparison of photoelastic and finite element stress analysis in restored tooth structures. *J. Oral. Rehab.*, 10 : 505, 1983.
  27. Segerlind, L.J. : Applied finite element

- analysis, ed 2, N.Y., John Wiley & Sons Inc., 3-16, 1984.
28. 임상전, 광병만, 이주성 : 유한요소법 입문, 서울, 동명사, 1.-21, 1987.
  29. Davis, J.R. and Allen, P. : Metal handbook. vol 2. properties and selection; noninferrous alloys and special-purpose materials. ed 10, ASM International, 897-902, 1990.
  30. Gere, J.M. and Timoshenko, S.P. : Mechanics of Materials, ed 4, Boston, PWS Publing Co. 887-891, 1997.
  31. 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.
  32. Telli, C. and Goel, H. : A critical reevaluation of stresses generated during vertical and lateral condensation of gutta-percha in the root canal., Endod. Dent. Traumatol., 10 : 1-10, 1994.
  33. Yaman, S.D. and Yaman, Y. : Analysis of stress distribution in a vertically condensed maxillary central incisor root canal., J. Endod., 21 : 321-5, 1995.
  34. Cailleteau, J.F., Rieger, M.R. and Akin, J.E. : A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method., J. Endod., 18 : 540-4, 1992.
  35. Ricks-Williamson, L.J., Goel, V.K., Spivey, J.D. et al. : A three-dimensional finite-element stress analysis of an endodontically prepared maxillary central incisor., J. Endod., 21 : 362-7, 1995.
  36. 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.
  37. Bou Dagher, F.E. and Yared, G.M. : Comparison of three files to prepare curved root canals. J. Endod., 21 : 264-5, 1995.
  38. 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.
  39. 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.
  40. Briseno, B.M., Kremers, L. and Hamm, F. : Comparison by means of a computer-supported device of the enlarging characteristics of two different instruments. J. Endod., 19 : 281-7, 1993.

## EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 1. Modeling of a straight file
- Fig. 2. Magnified view of a straight file Ⓐ : CTETRA element, Ⓑ : CPENTA element
- Fig. 3. Axis of a curved file
- Fig. 4. Stress analysis of a stainless steel file
- Fig. 5. Stress analysis of a NiTi file
- Fig. 6. Element strain energy analysis of a stainless steel file
- Fig. 7. Element strain energy analysis of a NiTi file
- Fig. 8. Strain energy of stainless steel and NiTi files
- Fig. 9. Canal transportation by a No. 40 stainless steel file
- Fig. 10. Canal transportation by a No. 40 NiTi file
- Fig. 11. Canal transportation by a No. 35 stainless steel file
- Fig. 12. Canal transportation by a No. 35 NiTi file
- Fig. 13. Canal transportation by a No. 30 stainless steel file
- Fig. 14. Canal transportation by a No. 30 NiTi file
- Fig. 15. Canal transportation by a No. 25 stainless steel file
- Fig. 16. Canal transportation by a No. 25 NiTi file
- Fig. 17. Canal transportation by a No. 20 stainless steel file
- Fig. 18. Canal transportation by a No. 20 NiTi file

# 사진부도 1

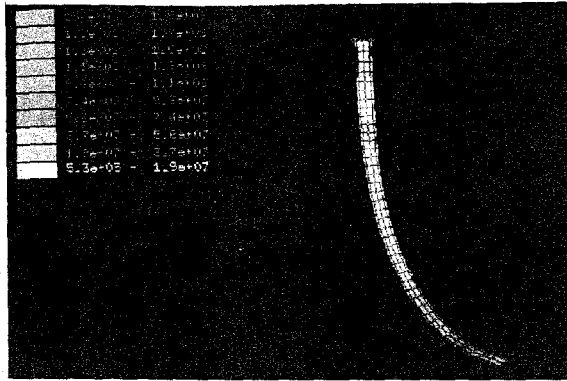


Fig. 4

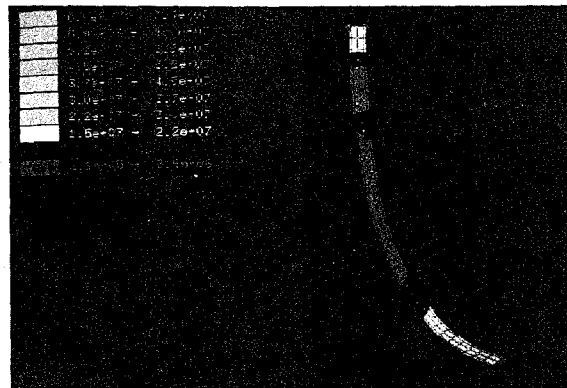


Fig. 5

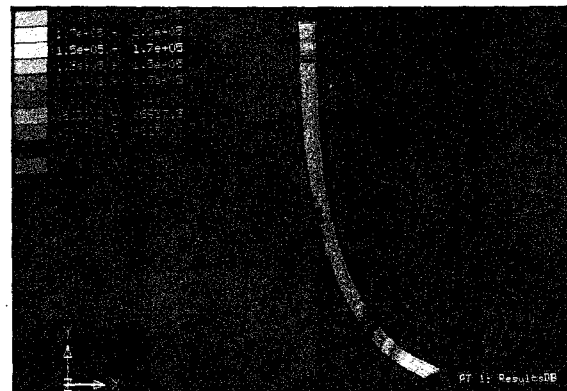


Fig. 6

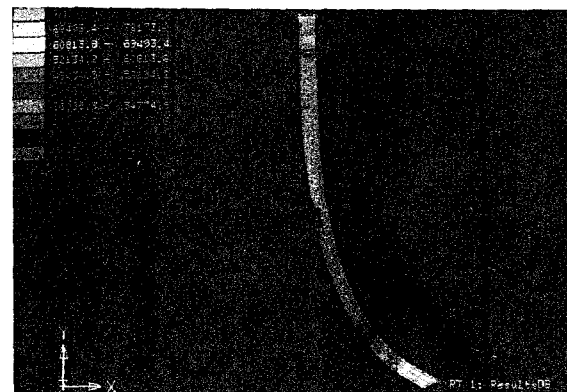


Fig. 7

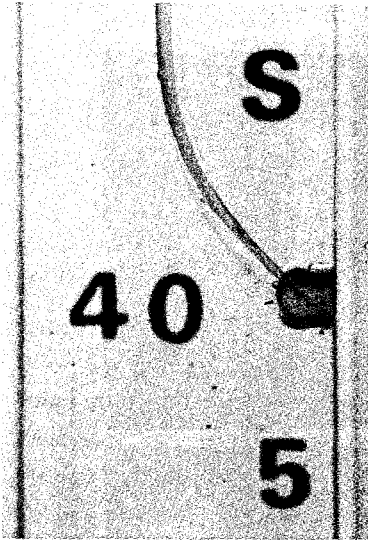


Fig. 9

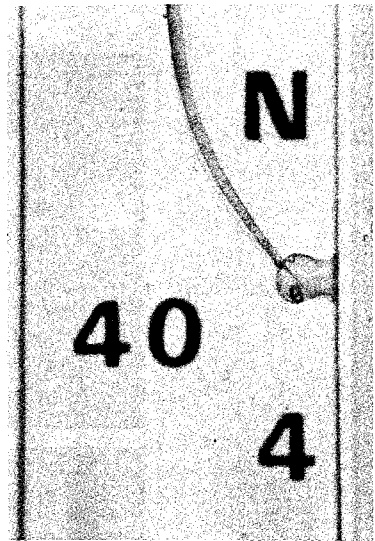


Fig. 10

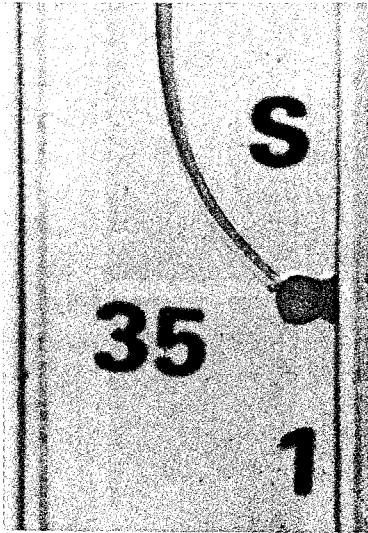


Fig. 11

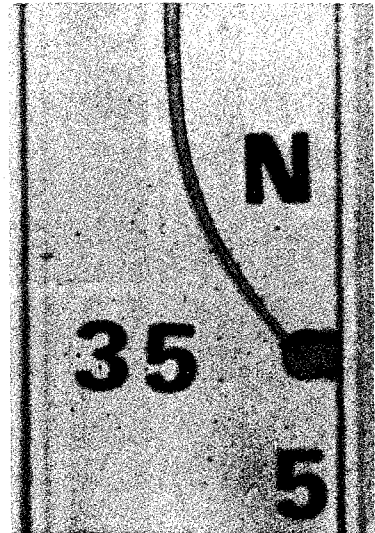


Fig. 12

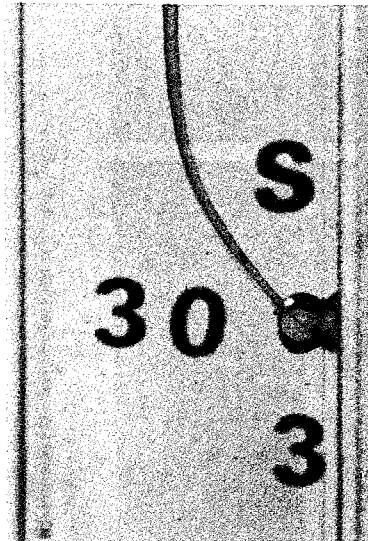


Fig. 13

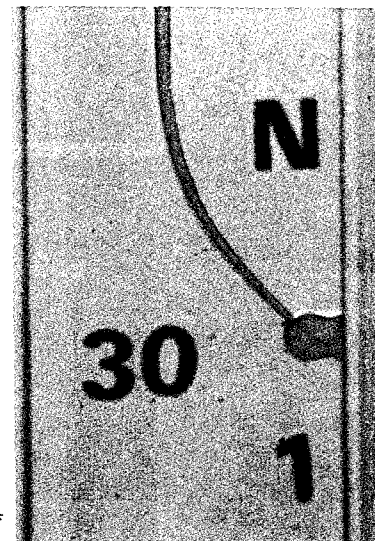


Fig. 14

사진부도 3

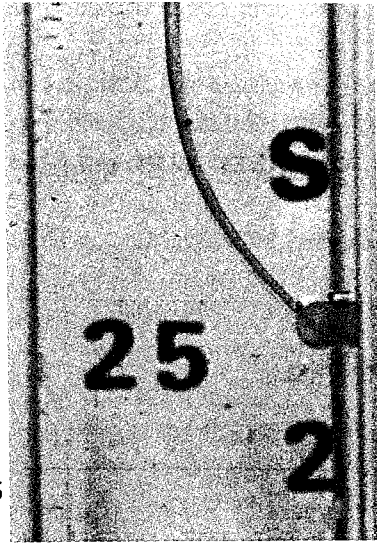


Fig. 15

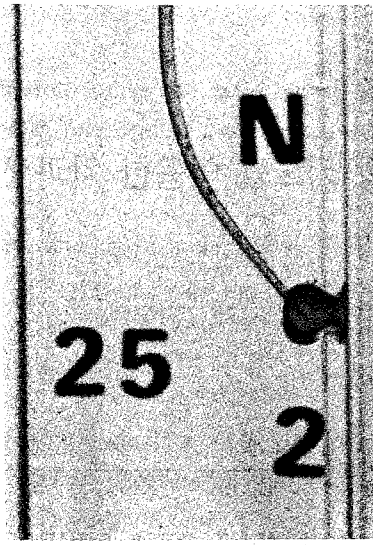


Fig. 16

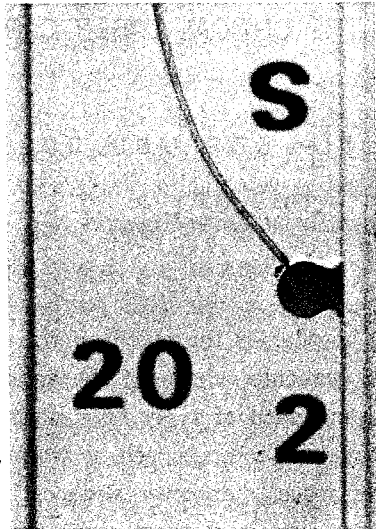


Fig. 17

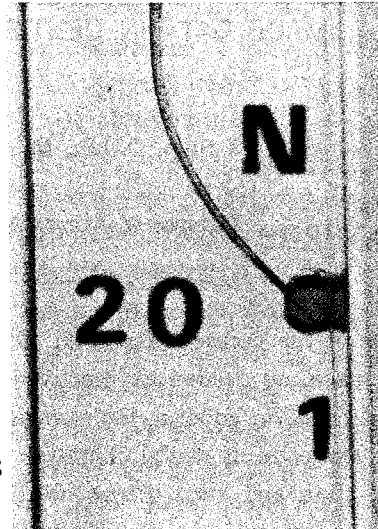


Fig. 18