

# Molar Uprighting Spring에 의해 발생하는 치조골내의 응력분포에 관한 광탄성학적 연구

전남대학교 치과대학 치과교정학교실

최진휴·김종철

= 목 차 =

- I. 서론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도 설명
- 사진부도

## I. 서론

제1대구치는 영구치중 구강내에 가장 먼저 출현하는 치아로서 치아우식증에 이환되어 아동기때 발거되기 쉬운 치아이다<sup>1)</sup>. 하악 제1대구치가 상실되면 하악 제2대구치는 보통 근심으로 경사지고 제2소구치는 원심으로 이동되며, 치조능선(alveolar ridge)은 협설측으로 폭이 좁아진다. 특히 제2대구치는 비정상적인 응력(stress)을 받기 쉽고 골 파괴가 쉽게 일어나며, 근심 경사된 구치의 근심에 치주낭이 형성되게 된다<sup>1-3)</sup>.

Kratochvil과 Caputo<sup>4)</sup>는 고정성 가공의치의 지대치에 미치는 힘의 방향이 치아의 장축으로 향해야 지대치의 치주조직에 미치는 해를 최소화 할 수 있다고 하였고, Glickman등<sup>5)</sup>은 측

방으로의 응력분포 없이 치근단쪽으로 응력이 집중되는 것이 치근막의 해부학적 구조에 대해 가장 좋다고 하였다. Reynolds<sup>6)</sup>는 지대치의 장축이 20°~30° 이상 경사되면 지대치로 부적절하다고 하였고, Tylman<sup>7)</sup>은 24°이상 경사되면 고정성 가공의치의 지대치로 사용하지 않아야 한다고 하였다. 또한 구치를 upright시키게 되면 치주낭의 깊이가 감소되고 치은은 매우 바람직한 변화를 하게 되며<sup>8,9)</sup>, 저작력이 치아의 장축을 따라 전달되기 때문에 정상적인 기능수행이 가능하게 된다<sup>10)</sup>. 그러므로 생리적으로 양호한 지대치를 얻기 위해서는 경사된 구치를 upright시켜야 한다.

근심으로 경사진 구치를 upright시키는데 Helical uprighting spring, Open coil spring, T-loop spring, Broussard uprighting spring 및 Burstone uprighting spring 등 많은 방법들이 여러 선학들에 의해 보고되었다<sup>8,10-15)</sup>.

치아에 교정력이 가해지게 되면 치근막과 치조골에 응력이 발생하게 되는데, 응력을 분석하는 방법으로는 응력도료법(brittle coating method), strain gauge법, 유한요소법 및 광탄성법 등이 있다. 광탄성법은 복잡한 구조물에 생기는 기계적인 내부응력을 가시광선 형태로 전환시켜 응력의 분포나 크기를 보는 방법으로서 편광판 사이에 실물과 같은 광탄성 모형틀을 위치시키고 하중을 가하여 발생된 공학적 복굴절 현상을 촬영하고 분석함으로써 모형내

부에 발생하는 응력분포의 양상을 전체적으로 파악할 수 있는 방법이다<sup>16)</sup>.

1935년 Zak<sup>17)</sup>가 교정력이 치조골에 미치는 영향에 관해 광탄성법을 이용한 이래, 광탄성법을 이용한 응력분포에 관한 많은 연구가 치의학, 특히 치과보철학분야에서 이루어져 왔다<sup>4,18-24)</sup>. 치과교정학 분야에서도 Chaconas<sup>25)</sup>가 canine retraction springs의 gabling 효과에 대해, Caputo<sup>26)</sup>는 견치 후방 이동시의 견치와 대구치에서 나타나는 응력분포에 대해, Brodsky<sup>27)</sup>는 치근경사시에 나타나는 응력분포에 대해, 그리고 Baeten<sup>28)</sup>이 17가지 canine retraction spring에 따른 retraction mechanism에 대해 광탄성법을 이용한 연구를 보고하였다. 국내에서도 김<sup>29)</sup>이 head gear를 사용한 정형력이 두개안면골에 미치는 영향에 대해, 염과 이<sup>30)</sup>는 MEAW가 야기하는 응력분포에 대한 광탄성학적 연구를 보고하였다.

본 연구는 하악 제1대구치가 상실되어 제2대구치가 근심으로 경사진 경우에 다양한 종류의 molar uprighting spring을 사용하였을 때 치조골에 나타나는 응력분포를 2차원 광탄성법으로 비교 분석하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

하악 좌측 견치, 제1,2소구치 및 제2대구치를 Wheeler<sup>31)</sup>에 의해 계측된 평균적인 치아크기로 광탄성물질인 PL-1 type의 epoxy resin (Measurements Group, INC., U.S.A.)으로 제작하였다. 하악 좌측 제1대구치가 결손되어 제2대구치가 근심으로 경사진 경우의 하악 좌측 4분원(quadrant)을 단순화된 모형으로 제작하였다(Fig. 1). 제2대구치는 소구치부 치축에 대해 35°의 전방 경사를 이루도록 하였고, 치아 결손부의 거리는 Hom과 Turley<sup>32)</sup>의 보고를 참고하여 7.0mm로 하였다. 이때 치근막은 silicone oil(Measurements Group, INC., U.S.A.)로 대체하였다. 치조골은 PL

-1 type의 epoxy resin보다 강도가 더 낮은 PL-3 type의 epoxy resin(Measurements Group, INC., U.S.A.)을 이용함으로써 적은 spring 하중에 의해서도 치조골에 분포되는 응력의 형상을 알아 볼 수 있게 하였다.

제작된 모형의 모든 치아에 대환(band)을 제작하여 견치와 제1,2소구치에는 0.018×0.025 inch slot의 bracket을, 제2대구치에는 buccal tube를 전기 용접한 후 zinc phosphate cement으로 접착하였다. 이상과 같이 제작된 하악 좌측 4분원의 광탄성 모형의 치조골 부위에는 잔류응력이 잔존하지 않았지만 4개의 치아의 치근부에 약간의 잔류응력이 존재하였는데(Fig. 8), 본 연구에서는 치조골의 응력상태를 관찰하는 것이 주목적이므로 잔류응력은 무시하였다.

Spring의 종류에 따른 효과를 관찰하기 위해 molar uprighting spring은 0.017×0.022 inch Elgiloy 교정용 선재로 제작하여 열처리하였다. Helical uprighting spring과 T-loop spring에는 Tuncay 등<sup>12)</sup>의 보고를 참고로 하여 30°의 tip back angle을 부여하였고, Modified T-loop의 원심 유리단에는 15°의 tip back angle을 부여하였으며<sup>33)</sup>, 한편 Open coil spring의 경우에는 0.018 inch Elgiloy 교정용 선재를 plain 상태에서 열처리하고 이 선재에 0.009×0.036 inch의 Elgiloy open coil spring을 14mm로 절단하여 삽입하였다(Fig. 2, Table 1).

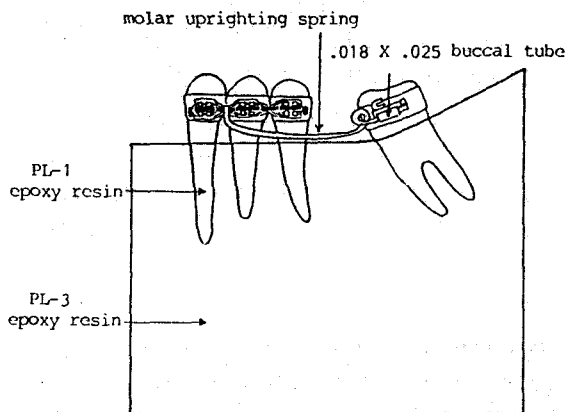
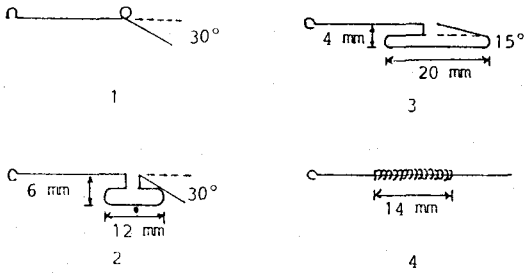


Fig. 1. Schematic illustration of test specimen.



**Fig. 2.** Schematic drawings of 4 molar uprighting springs

1. Helical uprighting spring,
2. T-loop spring,
3. Modified T-loop spring,
4. Open coil spring

**Table 1.** Molar uprighting springs used in this study

1.	Helical uprighting spring
2.	T-loop spring
3.	Modified T-loop spring
4.	Open coil spring

또한 activation에 따른 효과를 관찰하기 위해 30° tip back angle이 부여되어 있는 T-loop spring의 원심 유리단을 2mm 후방으로 당겨 cinch back을 시행하였다.

## 2. 실험방법

제작된 광탄성 모형에 각종의 molar uprighting spring을 삽입하고 결찰하여 광탄성 실험장치로서 Circular Transmission Polaroscope (Model PA-420, Riken Keiki Fine Instrument Co. Ltd., Japan)를 이용하여 응력분포 양상을 협측과 설측에서 관찰하였다.

응력분포의 양상은 최대 주응력과 최소 주응력의 차인 전단응력 성분의 크기에 따라 다색상의 반복무늬로 나타나는데, 등색선을 추적하여 무늬 차수를 분석하였다. 이러한 등색선은 black/yellow/red/blue-green/yellow/red/green/yellow/red/green 등의 반복된 순서로 나타난다. 무늬차수를 구하는 방법은 암시아에

서 black이 0차, red와 blue/green 사이가 1차, 두번째 red와 green 사이가 2차, 세번째 red와 green 사이가 3차로 점점 증가되는 응력상태를 나타낸다<sup>34)</sup>(Table 2).

**Table 2.** Dominant isochromatic fringe colors for fullfield interpretation

Color	Approximate Fringe Order
Black	0
Yellow	0.6
Red	0.9
Purple (Tint of Passage)	1.0
Blue-Green	1.2
Yellow	1.5
Red	1.75
Red/Green Transition	2.0
Green	2.2
Yellow	2.5
Red	2.8
Red/Green Transition	3.0
Green	3.2

## III. 실험성적

교정력과 moment의 방향을 설정하는 것이 중요하므로 실험결과에 대한 해석을 보다 용이하게 하기 위해 제2소구치의 장축을 기준으로 하여 수평축을 X축, 치아 장축을 Y축 그리고 협설축 방향을 나타내는 X, Y축에 대한 수직축을 Z축으로 정하였다(Fig. 3~7).

### 1. Helical uprighting spring(Fig. 3, 9).

협측에서 관찰된 fringe pattern에 의하면 제2대구치의 근심치조정에 2.2차의 응력집중이 관찰되었고 근심치근면을 따라서는 1.2차의 응력이 비교적 균일하게 관찰되었다. 반면에 설측에서는 제2대구치의 근심치조정에 3.0차의 응력집중이 나타나고 협측에서 관찰된 fringe pattern과 유사하나 제2대구치의 치근단(2.0차)과 제2소구치의 치근단(0.6차) 부위의 무늬가 더 선명하게 나타났는데, 이는 제2대구치가

원심으로 경사지려는 원심 moment ( $M_z$ )와 근심으로 회전되려는 근심 회전 moment ( $M_y$ )가 합성되어 최대 응력 집중부위가 설측으로 이동되어 있음을 보여주고 있다. 그러나 대부분 원심 moment의 영향이 지배적이어서 근심치근면 쪽의 fringe가 호(arc)를 이루는 등응력선을 형성하고 있고, 설측에서 제2대구치의 치조정과 치근단 사이의 치근단축 약 1/5-1/6에 흑색의 무늬가 관찰되었는데, 이는 제2대구치가 원심으로 경사지려는 회전중심의 위치임을 보여주고 있다.

## 2. T-loop spring (Fig. 4, 10)

Helical uprighting spring의 경우와 유사한 fringe pattern을 보이고 있으나 전반적으로 무늬차수가 더 증가한 것을 볼 수 있는데, 이는 T-loop spring의 강성(stiffness)이 더 크다는 것을 보여주고 있다. 실제로 협측에서 관찰된 무늬차수는 제2대구치의 근심치조정에 3.0차의 응력이 작용하였고 제2소구치의 원심치조정에도 3.0차의 응력집중이 작용하였다. 제2소구치의 원심치조정에 응력집중 부위가 나타나는 것은 제2대구치와 제2소구치 사이에 인장력

이 작용하고 있다는 증거이다.

한편 설측에서 관찰된 무늬차수가 제2대구치의 근심치조정에 4.0차, 치근단에서 2.2차 그리고 제2소구치 치근단 부위에서 약 1.9차의 응력이 분포하였다. 제2대구치의 근심치조정에 3.0차의 적색 무늬가 수직 방향으로 길게 늘어나 있는데, 이는 Helical uprighting spring의 경우에는 정출력이 거의 작용하지 않고 있는데 반해 T-loop spring에는 정출력( $F_y$ )이 상당량 작용하고 있음을 보여주고 있다.

그러나 T-loop spring의 경우도 전반적으로 원심 moment ( $M_z$ )의 영향이 지배적이어서 제2대구치의 근심치근면쪽에 등응력선이 호처럼 관찰되었고 약간의 원심력( $F_x$ )과 정출력( $F_y$ )이 존재하며 근심 회전 moment ( $M_y$ )에 의해 helical uprighting spring의 경우와 유사하게 최대 응력 집중 부위가 설측으로 이동하였으며, 원심 경사의 회전중심도 제2대구치의 치조정과 치근단사이의 치근단축 약 1/5-1/6에 존재하고 있음을 보여주고 있다.

## 3. Modified T-loop spring (Fig. 5, 11)

앞에서 설명한 두 spring에 비해 전반적인

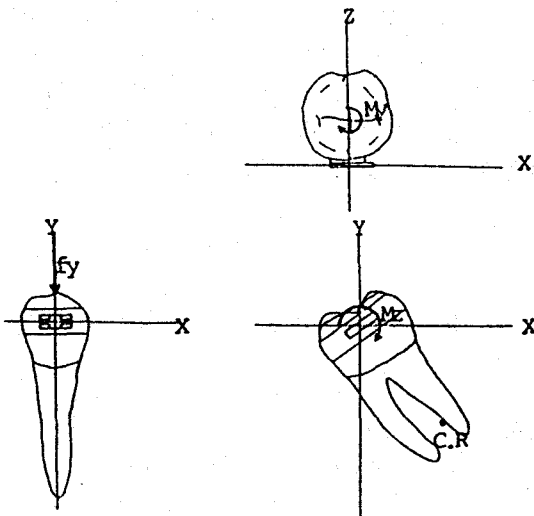


Fig. 3. Illustrating force system produced by helical uprighting spring. C.R.: Center of rotation.

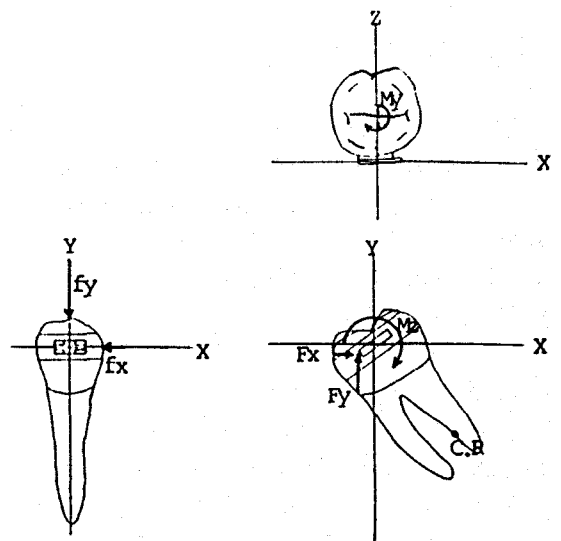


Fig. 4. Illustrating force system produced by T-loop spring C.R.: Center of rotation.

fringe pattern의 양상에 상당한 차이가 있다. 제2대구치의 근심측에 관찰된 응력분포 양상이 협측과 설측에서 거의 유사하나 설측에서 관찰된 경우가 더 선명하고 근심치조정에 나타난 응력집중 부위의 무늬차수도 3.0차로 뚜렷하게 관찰되고 있는데, 이 경우도 약간의 근심 회전 moment ( $M_y$ )가 작용하고 있음을 보여주고 있다.

그러나 2.0차이의 적색 무늬가 제2대구치의 근심치조정에서 치근단 방향으로 호를 그리면서 보여지고 있는데, 이는 T-loop spring의 경우와는 반대로 제2대구치에 압하력 (intrusive force,  $F_y$ )이 작용하고 있음을 보여주고 있다. 물론 이 경우에서도 원심 moment ( $M_z$ )에 의한 영향이 지배적이기 때문에 등응력선이 호를 이루고 있고 T-loop spring과 강성이 유사할 것으로 보이나 큰 차이점으로서 제2대구치의 근심치조정의 응력이 3.0차로 완화되어 있고 근심치근면을 따라서도 비교적 더 균일하게 응력이 분포하고 있음을 보여주고 있다.

#### 4. Open coil spring (Fig. 6, 12).

이전에 설명한 세 spring과는 달리 협측에서 관찰된 fringe pattern이 훨씬 선명하고 제2대구치의 근심치조정에 나타난 무늬차수는 4.0차

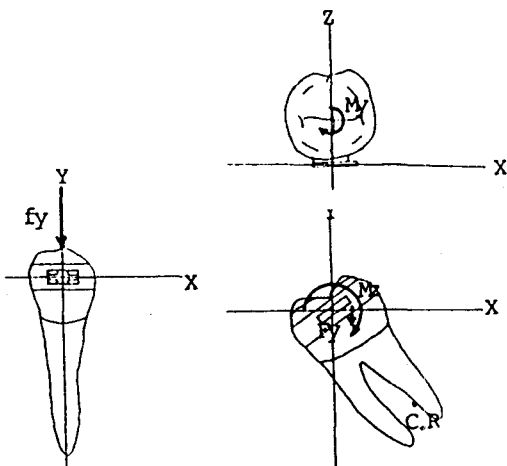


Fig. 5. Illustrating force system produced by Modified T-loop spring. C.R.: Center of rotation.

로 크게 나타났다. 이는 주선재 (main wire)에 의해 발생하는 원심 moment ( $M_z$ )와 open coil spring에 의해 작용되는 원심력 ( $F_x$ )이 원심 회전 moment ( $M_y$ )를 발생시키므로 응력집중 부위가 협측으로 이동되어 있음을 보여주고 있다. 이 경우에는 helical uprighting spring의 경우에서처럼 정출력이나 압하력이 거의 존재하지 않기 때문에 제2대구치의 근심치조정에 나타난 등응력선의 무늬가 동심원을 그리며 나타나고 있고, 원심 moment ( $M_z$ )의 영향 보다는 원심력 ( $M_x$ )의 영향이 더 크기 때문에 녹색의 등차선이 호를 이루지 않고 있음을 보여주고 있다. 그러나 회전중심은 치조정과 치근단 사이의 치근단측 약 1/5-1/6에서 관찰되었다.

#### 5. T-loop spring with activation (Fig. 7, 13)

제2대구치의 치근단에서는 2.0차의 응력집중이 발생되었고 근심치근면을 따라 점차 증가하여 근심 치조정에 무늬차수 3.6차의 응력이 관찰되었다. 제2소구치에서는 치근단에서 2.0차의 응력이 관찰되었고 원심치근면을 따라 응력이 점차 증가하여 원심치조정에서는 5.2차의

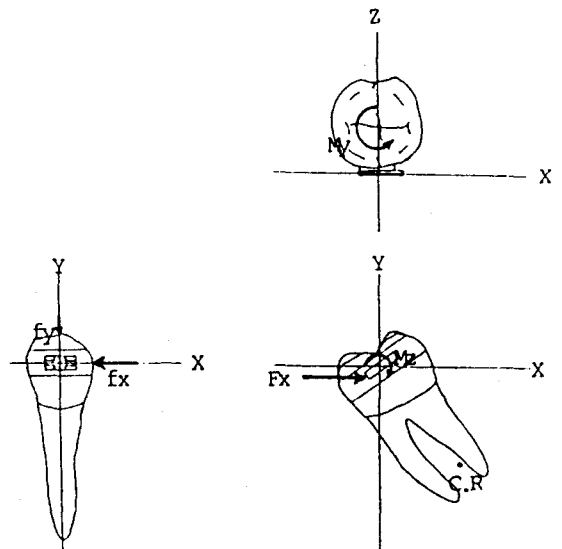


Fig. 6. Illustrating force system produced by Open coil spring. C.R.: Center of rotation.

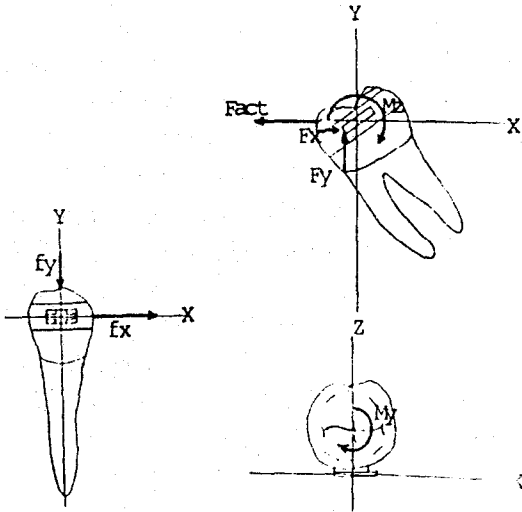


Fig. 7. Illustrating force system produced by T-loop spring with activation. C.R: Center of rotation.

높은 응력집중이 관찰되었다. 제2대구치가 원심으로 경사지려는 원심 moment ( $M_z$ )의 회전중심은 제2대구치의 치근단 하방으로 이동되어 있다. 이는 기존의 T-loop spring을 2mm 후방으로 당겨 activation 시켜 줌으로써 제2대구치에 근심력 (Fact)이 작용하고 있음을 보여주고 있다.

#### IV. 총괄 및 고찰

제2대구치의 근심경사는 제1대구치의 상실로 인해 야기되는데 성인에서 자주 접하게 되는 치과질환중의 하나이다. 제1대구치는 영구치중 가장 일찍 맹출하여 치아우식증이나 치주질환에 이환되어 가장 잘 결손되는 치아인데<sup>2,35</sup>, Ast 등<sup>36</sup>은 13~14세 아동에서 35.2%의 제1대구치의 상실율을 보였다고 하였다. 제1대구치가 결손되었을 때 제2대구치는 근심으로 전위되고 기울어지며 정출되게 한다.

경사진 구치를 upright시키는 목적은 치아를 정상적인 치축관계와 이상적인 위치로 수복함으로써 염증성 치주질환과 외상성 교합증 (occlusal traumatism)을 예방하는 것이다<sup>10,35,37</sup>. 근심 경사된 구치를 upright 시키면

지대치 형성시 치수조직이 노출되는 위험을 감소시켜 근관치료의 가능성을 줄이고, 보철물의 삽입경로가 치근의 장축과 평행하게 되므로 지대치의 삭제량을 최소화 할 수 있으며, 양호한 가공치 설계 (pontic design)을 얻을 수 있다<sup>10,37</sup>. 그리고 경사진 구치의 근심에 존재하고 있는 골내치주낭이 제거되고, 저작력이 치아의 장축을 따라 전달되기 때문에 정상적인 기능수행이 가능하여 건강한 치주조직을 유지하게 되는 장점이 있다<sup>8-10,12,14,38</sup>. 이에 본 연구에서는 근심으로 경사진 구치의 uprighting에 사용되고 있는 여러 종류의 molar uprighting spring에 의해 발생하는 치조골내의 응력 분포 양상을 비교 검토하여 치주조직에 유리한 spring을 선택할 수 있도록 함으로써 임상적 응용에 도움이 되고자 하였다.

치아에 교정력이 가해지게 되면 치근막과 치조골에 응력 (stress)이 발생하게 된다. 이러한 응력은 다양한 교정장치에 의해 전달되는 비교적 복잡한 force system에 의해 치아 및 치주조직이 반응하게 된다. 치아가 이동할 때 생기는 가장 큰 저항점을 저항중심 (center of resistance)이라고 하는데, 힘이 치아의 저항중심을 통해 가해지면 치체이동 즉, translation이 일어나고 저항중심을 통과하지 않는 힘은 치체이동 뿐만 아니라 치아에 moment가 발생하여 회전이 일어난다. 저항중심은 치아내의 고정된 점이 아니고 치아의 형태와 크기, 치조골 및 치은의 상태에 의해 변화된다<sup>10,39,40</sup>. 단근치인 전치의 경우 치조정에서 치근단까지 거리의 치경축 1/3-1/4에 위치하고, 다근치를 지닌 구치의 경우는 치근이개부 (furcation area)에서 치근단측으로 1~2mm 하방 치근사이에 존재한다<sup>39</sup>. 치아의 형태가 길면 저항중심은 치근단쪽으로 이동하게 되고<sup>41</sup>, 치주질환으로 치조골이 상실되면 저항중심은 치근단쪽으로 내려가며, 두껍고 섬유성의 치은을 지닌 경우에는 저항중심이 치관쪽으로 이동한다<sup>10</sup>.

단일 힘이 치관에 가해지면 치아의 회전중심 (center of rotation)을 중심으로 경사이동 (tipping)을 하게 된다. 이때 회전중심은 치아

의 저항중심과 치근단 사이에 위치해 있다. 반면 치관에 교정력이 moment와 함께 작용한다면 회전중심은 치근단쪽으로 이동하게 되고, moment가 더욱 가해지면 치체이동을 하게 되는데 이때의 회전중심은 무한대로 이동하게 된다. 이것은 저항중심을 통해 효과적인 힘이 작용함으로써 얻어진다. 치체이동이 일어나게 할 수 있는 요소는 이러한 moment-to-force ratio(M/F ratio)의 증가와 관련이 있다<sup>42)</sup>.

본 연구에서 molar uprighting spring에 tip back angel을 부여한 것은 이러한 moment가 발생하도록 하여 치체이동을 얻기 위한 것이다. 본 연구에서는 제2대구치에 4종류의 molar uprighting spring을 장착한 결과 모두 회전중심은 치조정에서 치근단까지 거리의 치근단측 약 1/5-1/6에서 관찰되었고, 회전중심을 중심으로 원심으로 경사지려는 원심 moment가 발생되었다.

교정적 치아이동에는 경사이동(tipping)과 치체이동(bodily movement)등이 있다. 경사이동은 단일 교정력이 치관에 가해질 때 일어나는데, 치아가 회전중심을 중심으로 경사진다. 이때 힘이 적용되는 쪽의 치조정과 반대측 치근단의 치주인대가 집중적으로 압박을 받게 되는데, 치근단과 치조정에 최대의 응력이 작용하고 저항중심에 가까울수록 최소의 응력이 가해진다. 이러한 이유 때문에 교정적 치아이동의 부작용인 치근단 부위의 치근흡수의 가능성이 증가하고 치조정의 골파괴가 야기된다<sup>43-45)</sup>. 반면 치아가 치체이동할 때는 치근을 따라 비교적 균일하게 응력이 분포한다<sup>42)</sup>. 경사이동에 필요한 교정력보다 더 큰 교정력이 가해져도 균일하게 힘이 작용하여 한 부위로 집중되지 않으므로 치주조직에 유해한 영향을 미칠 가능성이 더 적다. 그러므로 치아이동의 형태에 있어서 경사이동보다 치체이동이 치주조직에 더 바람직한 치아이동이라고 할 수 있다.

본 연구에 사용된 4종류의 spring 모두에서 제2대구치의 근심치근면에 응력이 발생하였고 응력의 크기는 약간의 차이를 보였지만 비교적 균일하게 관찰되어 치근면과 치주조직에 큰 손

상없이 구치를 uprighting 시킬 수 있으리라고 생각된다.

경사된 구치의 치관을 원심이동에 의한 uprighting으로 보철공간을 확보해 줄 것인가 아니면 치근을 근심이동에 의한 uprighting으로 발치공간을 감소 또는 폐쇄시킬 것인가 하는 문제가 있다. 이에 대한 문제는 최종적으로 요구되는 교합상태, 치아이동에 따르는 고정원(anchorage) 그리고 치아결손부 치조능선(edentulous ridge)의 양상에 따라 선택되어야 한다<sup>34)</sup>. Graber<sup>1)</sup>는 결손된 하악 제1대구치를 치료하는 방법으로서 구치부의 공간폐쇄는 좀처럼 불가능하다고 하였고, Kessler<sup>46)</sup>도 무치악 치조능선(edentulous alveolar ridge)이 협설측으로 협착되어 있는 경우 치조골의 상실, 치은열개(gingival dehiscence) 및 불완전한 공간폐쇄가 야기되기 때문에 치관의 원심이동에 의한 molar uprighting을 주장한 반면, 제1대구치의 공간 폐쇄가 바람직하다고 주장<sup>32,47)</sup>하는 등 아직도 논란이 되어오고 있다.

본 연구에서는 T-loop spring의 activation 전후의 비교에서 activation 전에는 제2대구치의 근심치근면에 비교적 균일한 응력분포를 보였지만, 후에는 제2대구치의 근심치근면과 제2소구치의 원심치근면에 발생된 응력이 치근단에서 치조정으로 갈수록 점차 증가하여 치조정에서 큰 응력집중이 발생되었는데, 그러므로 치주조직에 무리한 손상이 가해질 수 있으므로 구치의 원심경사에 의한 uprighting이 더 바람직하다고 생각된다. Caputo<sup>26)</sup>는 canine retraction spring에서 gable angle의 크기에 관계없이 과도한 activation을 시행한 경우 경사이동이 야기되었다고 하였는데, 본 연구에서도 2mm의 cinch back이 과도한 activation으로 작용하여 제2대구치의 근심 경사이동이 야기된 것이라고 생각된다. 그러므로 향후 activation에 따른 효과에 대해 많은 연구가 필요하리라고 사료된다.

본 연구에서 구치를 upright시킬 때 modified T-loop spring을 제외한 모든 경우의 spring에서 제2대구치에 정출력이 발생되었다. 치아가 정출되면 치아의 조기접촉에 의한 교합성 외상

을 방지하기 위해 교합조정이 필요한 데<sup>8,10,14,48</sup>, 이로 인해 과민성이 야기될 뿐만 아니라 근관치료까지 필요할 수 있어 추후 보철적 수복을 요하므로 이러한 관점에서도 구치를 원심으로 경사시켜 보철 공간을 확보한 후 고정성 가공의치에 의한 보철치료가 바람직하다고 생각된다.

치의학 영역에서 생체역학적 연구를 위해 실험모델을 이용한 많은 연구가 있었다. 이러한 모델에서 고려해야할 사항은 모델의 상태가 실제 상태와 동일해야 인체에서와 같은 결과를 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 생체실험에는 한계가 있어 실험모델을 사용하지 않으면 안되는 경우도 있다. 본 연구에 사용된 광탄성모형도 생체와 동일한 조건에서 실험이 이루어지지 못하여 구강내의 결과와 다소 차이가 있으리라고 사료된다. 향후 보다 진보된 광탄성학적, 유한요소법적 및 생체계측학적 연구 등을 통하여 보다 이상적인 molar uprighting에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

근심 경사된 하악 제2대구치를 uprighting시킬 때 치조골에 나타나는 응력분포를 관찰하고자 하악 좌측부를 단순화시킨 광탄성 모형을 제작하고 Helical uprighting spring, T-loop spring, Modified T-loop spring 및 Open coil spring과 같은 4종의 molar uprighting spring을 제작하여 모형에 장착한 후 응력분포 양상을 2차원 광탄성법을 이용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. spring의 종류에 따른 효과에서, 4종류의 spring 모두 제2대구치의 회전중심(center of rotation)은 치조정과 치근단 사이의 치근단축 약 1/5-1/6에서 관찰되었다.

2. 4종류의 spring 모두 제2대구치의 근심치 근면에 발생된 응력은 힘의 크기에서 약간의 차이를 보였지만 비교적 균일하게 분포하였다.

3. spring의 종류에 있어서, 제2대구치에 작용되는 원심 moment는 Open coil spring,

Helical uprighting spring, T-loop spring 및 Modified T-loop spring의 순으로 점점 증가하여 발생하였다.

4. T-loop spring에서 정출력이 가장 크게 발생되었고 Modified T-loop spring에서는 압하력이 발생되었으며, 원심력은 Open coil spring에서 가장 크게 나타났다.

5. T-loop spring에 activation을 시행한 경우, 제2대구치의 근심치근면에 나타나는 응력은 치근단에서 치조정으로 갈수록 증가하여 치조정에서 높은 응력집중이 관찰되었다.

## 참 고 문 헌

1. Graber, T.M.: Orthodontics: Principles and Practice. 3rd ed., Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1972, pp. 866-876.
2. Marks, M.H., and Corn, H.: Atlas of adult orthodontics: Functional and Esthetic Enhancement, Lea & Febiger, 1989, pp. 391-412.
3. Vanarsdall, R.L.: Uprighting the inclined mandibular molar in preparation for restorative treatment. Continuing Education Series, Vol. 1, No. 2, University of Pennsylvania, School of Dental Medicine, 1977.
4. Kratochvil, F.J., and Caputo, A.A.: Photoelastic analysis of pressure on teeth and bone supporting removable partial dentures, J. Prosthet. Dent., 32:52-59, 1974.
5. Glickman, I., Roeber, F.W., Brion, M., and Pameijer, J.H.N.: Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces, J. Periodontol., 41:30-35, 1970.
6. Reynolds, J.M.: Abutment selection for fixed prosthodontics, J. Prosthet. Dent., 19: 483-488, 1968.
7. Tylman, S.: Crown and Bridge Prosthesis. The C.V. Mosby Co., St. Louis, 1974, p. 20.
8. Brown, I.S.: The effect of orthodontic



- therapy on certain types of periodontal defects, I. Clinical findings, *J. Periodontol.*, 44:742-756, 1973.
9. Kraal, J.H., Diglancinto, J.J., Dail, R.A., Lemmerman, K., and Peden, J.W.: Periodontal conditions in patients after molar uprighting, *J. Prosthet. Dent.*, 43:156-167, 1980.
  10. Roberts, W.W., Chacker, F.M., and Burstone, C.J.: A segmental approach to mandibular molar uprighting, *Am. J. Orthod.*, 81:177-184, 1982.
  11. Khuow, F.E., and Norton, L.A.: The mechanism of fixed molar uprighting. *J. Prosthet. Dent.*, 27:381-389, 1972.
  12. Tuncay, O.C., Biggerstaff, R.H., Cutcliffe, J.C., and Berkowitz, J.: Molar uprighting with T-loop springs. *J. Am. Dent. Assoc.*, 100:863-866, 1980.
  13. Newman, G.V., and Wagenberg, B.D.: Treatment of compromised teeth: a multidisciplinary approach. *Am. J. Orthod.*, 76:530-537, 1979.
  14. Wagenburg, B.D., Eskow, R.N., and Langer, B.: Orthodontic procedures that improve the periodontal prognosis, *J. Am. Dent. Assoc.*, 100:370-373, 1980.
  15. Orton, H.S., and Jones, S.P.: Correction of mesially impacted lower second and third molars, *J. Clin. Orthod.*, 21:176-181, 1987.
  16. Dally, J.W., and Riley, W.F.: Experimental stress analysis. Tokyo, McGraw-Hill, Kogakusha Ltd., 1978.
  17. Zak, B.: Photoelastic analysis in der Orthodontischen Mechanik, *Oesterr. Z. Stomatol.*, 33:22-37, 1935.
  18. 김동원, 김영수: 각종 형태의 풀내 임프란트와 해부학적 치형에 관한 광탄성 응력분석, *대한치과교합학회지*, 3:25~35, 1984.
  19. 윤성일, 장익태: 양측성 유리단 국소의치의 설계변화에 따른 광탄성 응력분석에 관한 연구, *대한치과의사협회지*, 23:45~59, 1985.
  20. 한동후, 이호응: 지대치 유지장치 설계에 따른 가철성 의치 하부조직에 가해지는 응력에 관한 광탄성학적 연구, *대한치과의사협회지*, 25:155~170, 1987.
  21. 이희철, 정현곤: 고정가공의치에 대한 하중이 2차 지대치 주위조직에 미치는 광탄성응력분석, *대한치과의사협회지*, 27:161~170, 1989.
  22. 유윤재, 정현곤, 조광현: 경사진 지대치를 가진 고정가공의치의 지대치 치근주위조직에 발생하는 응력, *대한치과의사협회지*, 27:49~60, 1989.
  23. 류선열, 양홍서, 조규종: Post 형태에 따른 치근내부와 지지조직의 응력분산에 관한 2차원적 연구, *대한치과의사협회지*, 26:737~753, 1988.
  24. Sutherland, J.K., Holland, G.A., Sluder, T.B. and White, J.T.: A photoelastic analysis of the stress distribution in bone supporting fixed partial dentures of rigid and nonrigid design, *J. Prosthet. Dent.*, 44:616-623, 1980.
  25. Chaconas, S.J.: Effects of wire size, loop-configuration and gabling on canine retraction springs, *Am. J. Orthod.*, 65:58-71, 1974.
  26. Caputo, A.A.: Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction, *Am. J. Orthod.*, 65:250-259, 1974.
  27. Brodsky, J.F.: Root tipping: A photoelastichistopathologic correlation, *Am. J. Orthod.*, 67:1-10, 1975.
  28. Baeten, L.R.: Canine retraction: A photoelastic study, *Am. J. Orthod.*, 67:11-23, 1975.
  29. 김광호: 각종의 head gear를 사용한 정형력이 두개안면골에 미치는 영향에 대한 광

- 탄성학적 연구, 대한치과교정학회지, 16 : 71~84, 1986.
30. 염정배, 이병태 : Multiloop Edgewise Arch Wire가 야기하는 응력분포에 관한 광탄성학적 연구, 대한치과교정학회지, 20 : 357~372, 1990.
  31. Wheeler, R.C.: Dental anatomy, physiology and occlusion, 5th ed., Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1974, pp. 172-298.
  32. Hom, B.M., and Turley, P.K.: The effects of space closure of the mandibular first molar area in adults. *Am. J. Orthod.*, 85: 457-469, 1984.
  33. Proffit, W.R.: Contemporary orthodontics, C.V. Mosby, St. Louis, 1986, pp. 472-500.
  34. Tech Note: Introduction to stress analysis by the photostress method, Measurements Group, INC., North Carolina, 1981, pp. 1-12.
  35. Moyers, R.E.: Handbook of Orthodontics, 4th ed., Year Book Medical Publishers, INC., Chicago, 1988, pp. 480-485.
  36. Ast, D.B., Allaway, N., and Draker, H.: The prevalence of malocclusion, related to dental caries and lost first permanent molars, in a fluoridated city and a fluoride-deficient city, *Am. J. Orthod.*, 48:106-113, 1962.
  37. 강신애, 유영규 : Tip-back mechanics를 이용해 구치를 uprighting시킨 치험례, 치과교정학 전공의 학술발표집, 2 : 23~28, 1988.
  38. Hatasaka, H.H.: A radiographic study of roots extraction sites, *Angle Orthod.*, 46:64-68, 1976.
  39. Burstone, C.J., and Pryputniewicz, R.J.: Holographic determination of center of rotation produced by orthodontic forces, *Am. J. Orthod.*, 77:396-409, 1980.
  40. Gjessing, P.: Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine retraction spring, *Am. J. Orthod.*, 87:353-362, 1985.
  41. Kusy, R.P., and Tulloch, J.F.: Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement, *Am. J. Orthod.*, 90:127-131, 1986.
  42. Burstone, C.J.: Application of bioengineering to clinical orthodontics. In Graber, T.M., and Swain, B.F.: Orthodontic: current principles and techniques, St. Louis, The C.V. Mosby Co., 1985, pp. 193-228.
  43. Gianelly, A.A., and Goldman, H.M.: Biologic basis of orthodontics, Philadelphia, Lea & Febiger, 1971, pp. 124-159.
  44. Sleichter, C.G.: A clinical assessment of light and heavy forces in the closure of extraction cases. *Angle Orthod.*, 41:66-75, 1971.
  45. Hixon, E.H., Atikian, H., Callow, G.E., McDonald, H.W., and Tacy, R.J.: Optimal force, differential force and anchorage, *Am. J. Orthod.*, 55:437-457, 1969.
  46. Kessler, M.: Interrelationships between orthodontics and periodontics, *Am. J. Orthod.*, 70:154-172, 1976.
  47. Stepovich, M.L.: A clinical study on closing edentulous spaces in the mandible, *Angle Orthod.*, 49:227-233, 1979.
  48. Newman, G.V.: Treatment of migrating teeth with removable appliances, *J. Am. Dent. Assoc.*, 73:870-873, 1966.

— ABSTRACT —

**A PHOTOELASTIC STUDY OF THE STRESS DISTRIBUTION  
IN THE ALVEOLAR BONE BY VARIOUS MOLAR  
UPRIGHTING SPRINGS**

**Jin-Hugh Choi, D.D.S., Jong-Chul Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.**

*Dept. of Orthodontics, College of Dentistry, Chonnam National University*

This study was performed to analyze the effects of forces to the alveolar bone by various molar uprighting spring such as helical uprighting spring, T-loop spring, Modified T-loop spring and open coil spring. The simplified two-dimensional photoelastic model was constructed with a lower left posterior quadrant containing the second molar, the first and second premolars and the canine, with the first molar missing. Several molar uprighting springs were fabricated from 0.017 by 0.022 inch blue Elgiloy and applied to the photoelastic model. Two-dimensional photoelastic stress analysis was performed, and the stress distribution was recorded by photography.

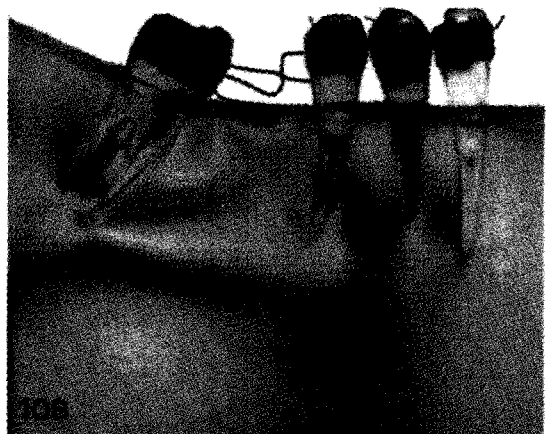
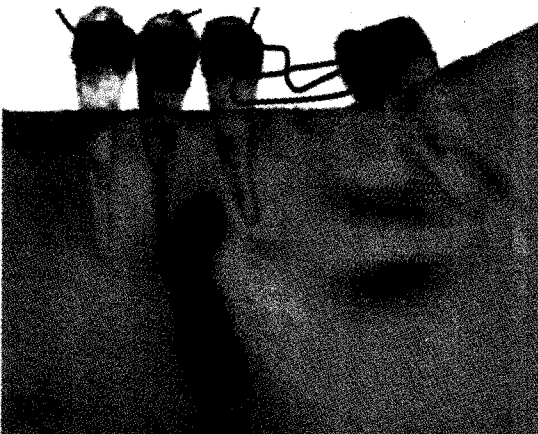
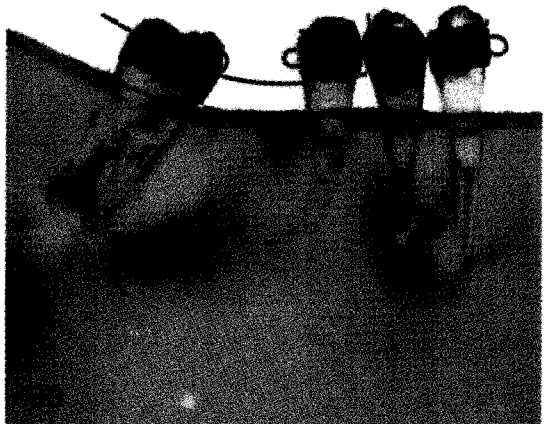
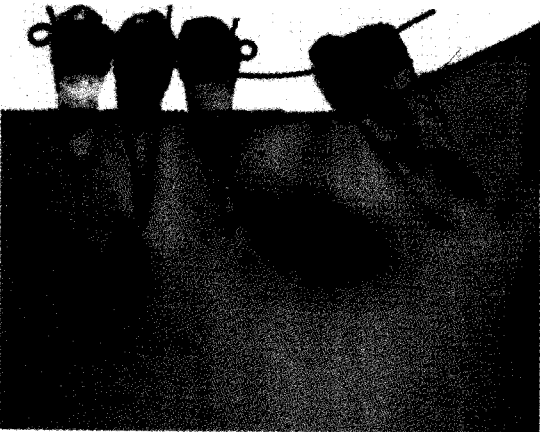
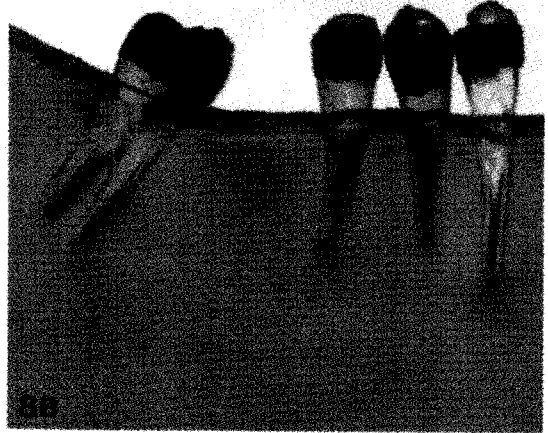
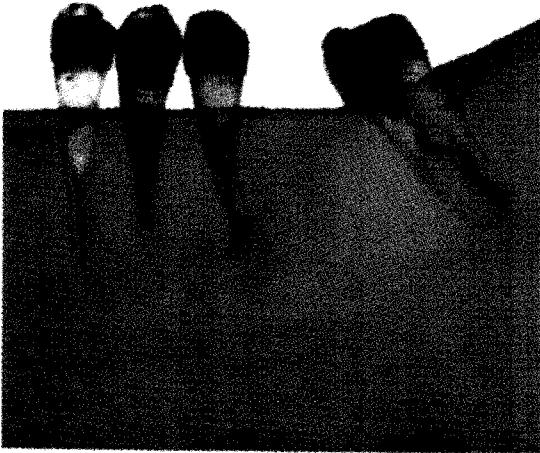
The results obtained were as follows;

1. In all the kinds of the springs, the center of rotation of the mandibular second molar was observed at the apical 1/5-1/6 between the alveolar crest and the root apex.
2. In all the kinds of the spring, the stress induced in the mesial root surface of the mandibular second molar was relatively homogeneous but there was some difference in the magnitude of the stress.
3. In the kinds of the springs, the distal crown tipping moment of the second molar was increased in turn as open coil spring, helical uprighting spring, T-loop spring, and modified T-loop spring.
4. The largest extrusive force was occurred in the T-loop spring, intrusive force was occurred in Modified T-loop spring only, and the largest distal tipping force was occurred in open coil spring.
5. In the T-loop spring with activation, the stress induced in the mesial root surface of the second molar was increased gradually from the root apex to the alveolar crest and highly concentrated in the alveolar crest.

## EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 8.** No molar uprighting spring. A) buccal, B) lingual
- Fig. 9.** Helical uprighting spring. A) buccal, B) lingual
- Fig. 10.** T-loop spring. A) buccal, B) lingual
- Fig. 11.** Modified T-loop spring. A) buccal, B) lingual
- Fig. 12.** Open coil spring. A) buccal, B) lingual
- Fig. 13.** T-loop spring with activation. A) buccal, B) lingual

최진휴 · 김종철 논문사진부도 [ I ]



최진휴 · 김종철 논문사진부도 [II]

