

Multiloop Edgewise Arch Wire의 응력분포에 대한 광탄성학적 연구

이승호¹⁾ · 김정기²⁾

I. 서 론

교정의는 정확한 진단과 치료계획을 세우고, 사용하고자 하는 장치에 대한 역학적 특성을 잘 알아야만 교정치료를 효과적으로 수행할 수 있다. Burstone¹⁾, Graber²⁾는 효율적인 치아이동을 위해서는 탄성의 하중변형율을 감소시켜야 한다고 하였고^{3,4)}, wire의 폭경을 감소시키거나, 길이를 증가시키므로써 이상적인 탄성을 얻을 수 있다고 하였다^{5,6)}. 특히 Kim^{3,7)}은 MEAW(multiloop edgewise arch wire)가 plain arch wire에 비해 2.5배 길기 때문에 수직, 수평 만곡에서 1/10 정도의 낮은 하중 변형률(load/deflection ratio)을 가진다고 하였는데, 전⁴⁾의 연구에서는 수직방향(Z 축)의 경우 2.6배, 수평방향(X 축, Y 축)에서도 비슷한 변형률 증가가 있어 각 방향의 합력은 약 4 배의 변위증가가 있다고 하였다. 또한 MEAW는 거의 모든 증례의 마지막 마무리 단계에서 적용이 가능하고, 대구치의 교합관계, 상악 중절치와 상순의 위치관계, 교합면의 경사, 치축경사의 개선을 위해 효과적인 장치라고 알려져 있다^{8,9,10)}.

이런 힘이 전달되어 나타나는 내부의 응력분포 양상을 관찰하는 방법으로는 holography법¹¹⁾, strain-gauge법, 유한요소법^{4,12)}, 광탄성법^{3,13,14,15)}

^{16,17)} 등이 있는데, 광탄성법은 외력이 가해졌을 때 내부 응력을 가시광선 패턴으로 변형시키는 방법으로써 1816년 영국의 David Brewster가 유리에서 나타나는 strain의 복굴절 광탄성 효과를 발견한 이래 최근 많은 분야에서 응용되고 있다.

치의학 분야에서는 1935년 Zak¹⁸⁾가 최초로 도입한 이래, Noonan¹⁹⁾, Mahler & Deyton²⁰⁾, Hollinger²¹⁾, Glickman²²⁾, Tanner²³⁾, Caputo¹⁵⁾ 등의 연구가 있었으며, 치과보철 분야에서는 Khoaw²⁰⁾, Craig^{25,26)}, 조²⁷⁾, 윤²⁸⁾, 한²⁹⁾, 이³⁰⁾ 등의 연구가 있었고, 구강외과 분야에서는 이³¹⁾ 등의 연구가 있었다. 치과교정학 분야에서는 Zak¹⁸⁾, Brodsky³²⁾, Choconas^{15,33)}, de Alba¹³⁾, Schwalb¹⁶⁾, 김¹²⁾, 최³⁴⁾ 염³⁾ 등의 연구가 있었다.

저자는 자연치와 유사한 인공치아와 광탄성재료로 상악 입체모형을 제작하여, plain arch wire와 MEAW를 삽입하고 각종 악간고무를 장착하여 힘을 가하였을 때 나타나는 치아주위의 응력분포 양상을 2차원적 편광기를 통해 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구 재료 및 방법

광탄성 상악모형의 제작을 위해, PL-3 보다 더 경질이며 wheeler의 기준에 맞는 크기와 치근형태를 가진 상악 레진치아를 이용하였으며 straight bracket(0.018 slot)을 치관에 부착시키고 교정용 직선상 S.S wire(0.018×0.025 inch)에 치아를 단단히 결찰하여 배열시켜, 정상 치축과

접수일자 : 10월 1일

¹⁾ : 전북대학교 치과대학 치과교정학교실, 전공의

²⁾ : 전북대학교 치과대학 치과교정학교실, 전임강사

경사가 되도록 하였다. 치근부위가 melted wax 에 담기도록하여, 모형치아가 매식된 wax로 된 모형을 제작하였다. 치관에 부착되어 있는 straight bracket를 제거한 후, wax 모형에 공업용 Silicone (Shin tsu, KE-1300, Cat-1300)으로 음형을 형성하고, 만들어진 음형에 레진치아를 역으로 재식립하였다(그림 1). PL-3(Measurement Group, Inc)수지와 경화제를 125 ° F - 135 ° F (52 ° - 57 ° C)에서 50분간 예열하고 1:1.5의 비율로 혼합하여, 150 ° F에 도달할 때까지 천천히 30분간 저어(그림 2) 기포가 생기지 않도록 치아가 식립되어있는 silicone 음형에 부었다^{35,36,37,38,39,40} PL-3가 경화된 후(4 - 4시간 30분) 음형을 제거하여 광탄성 모형을 완성하였다(그림 3). 완성된 광탄성 모형치아에 standard edgewise bracket(0.018 slot)을 치관에 부착하였다. plain arch wire(0.016×0.022 inch)와 MEAW(0.016×0.022 inch), 견치후방 loop에서 부터 15 ° 의 tip back bend를 부여한 MEAW(0.016×0.022 inch)를 만들어 각각 900 ° F(475 ° C)에서 5분간 열처리 하였다.

표 1. 사용된 Elastics 와 Arch Wire

ELASTICS	ARCH WIRE
No elastic	plain Arch Wire
Vertical elastic	MEAW without tip back
C II elastic	
C II & Vertical elastic	MEAW with tip back
C III elastic	
C III & Vertical elastic	

표 2. Isochromatic Fringe Characteristics

Color	Approximate Fringe Order	Score
BLACK	0	1 *
YELLOW	0.6	2 **
RED	0.9	3 ***
PURPLE	1.0	4 ****
BLUE-GREEN	1.2	5 *****

광탄성 상악모형에 plain arch wire와 tip back 를 부여하지 않은 MEAW 그리고 tip back을 부여한 MEAW를 각각 삽입한 다음, 악간고무를 장착하지 않은 경우, 수직고무를 장착한 경우, II 급 고무를 장착한 경우, II급 고무와 수직고무를 장착한 경우, III급 고무를 장착한 경우, III급 고무와 수직고무를 장착한 경우를(표 1) 광탄성 응력해석 장치(PA-400, 1977년)를 이용하여 Nikon 120 mm 카메라로 ASA 100의 film에 8초의 노출로 촬영하였다. 여기에 사용된 II급 고무와 III급 고무는 5/16 inch(6oz)를, 수직고무는 3/16 inch(6oz)를 사용하였다. 편평경으로 관찰하기 위해, 상악 모형판을 고정시킬 수 있는 틀을 acrylic 판으로 제작하여 교정용 탄성고무를 장착할 경우 움직이지 않게 하였으며 수직고무 장착시 170g의 힘이, II급과 III급 악간고무 장착시 250g의 힘이 발휘되도록 하였다. 촬영된 사진상에서 광탄성 응력해석을 위해 fringe order의 정도에 따라 1-5 등급으로 나누어 표시하여 응력의 발생부위와 방향 등을 알아 보았다(표 2).

III. 연구 결과

1. 악간고무를 장착하지 않은 경우 (표 3, 그림 4a-c)
 plain A.W와 tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 전혀 응력이 나타나지 않았으며, tip back을 부여한 MEAW에서는 제 1-2 대구치 사이의 치조정과 견치에 중등도의 응력이 나타났지만, 나머지 부분에서는 미약한 응력이 나타났다.
2. 전치부 수직고무 장착 (표 4, 그림 5a-c)
 plain A.W.에서는 견치에 중등도의 응력이 나타났으며, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 측절치 치근 부위에 강한 응력이 나타났고, tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치와 견치 치근, 제 1, 2 대구치에서 중등도의 응력이 나타났다.
3. II급 악간고무 장착 (표 5, 그림 6a-c)
 plain A.W.에서는 견치-제 1 소구치 사이의 치조정에 강한 응력이 나타났고, tip back을

부여하지 않은 MEAW에서는 측절치-견치, 견치-제 1 소구치, 제 1-2 소구치, 제 2 소구치-제 1 대구치 사이의 치조정에 강한 응력이 나타났으며, tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치, 측절치-견치 사이의 치조정, 제 1, 2 대구치의 근심면에 강한 응력이 나타났다.

4. II급 악간고무와 수직고무 장착 (표 6, 그림 7a-c) plain A.W.에서는 견치에서 강한 응력이 나타났으며, 소구치에서 제 1 대구치로 갈수록 응력이 감소하였고, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 측절치에서 제 1 소

표 3. 교정용 탄성고무를 장착하지 않았을 때 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7
Plain arch wire						
MEAW without tip back						
MEAW with tip back	*	***	*	*	*	**

표 4. 수직고무 장착시 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7
Plain arch wire	**	***	***	**	**	*
MEAW without tip back	****	***	***	**	*	*
MEAW with tip back	***	**	***	**	*	***

표 5. II급 악간고무 장착시 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7
Plain arch wire	**	**	***	***	*****	**
MEAW without tip back	**	***	****	***	****	**
MEAW with tip back	***	****	*****	*	**	**

표 6. II급 악간고무와 수직고무 장착시 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7
Plain arch wire	***	***	****	*****	****	***
MEAW without tip back	*****	*****	*****	*****	****	**
MEAW with tip back	*****	*****	**	**	***	****

구치까지의 치조정에 상당량의 응력이 나타났으며, tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치 근심면과 제 1, 2 대구치에 강한 응력이 나타났다.

5. III급 약간고무 장착 (표 7, 그림 8a-c)

plain A.W.에서는 제 1, 2 대구치에 강한 응력이 나타났으며, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 제 1, 2 대구치 치근단 부위와 제 2 소구치에 강한 응력이 나타났고, 전방으로 중등도의 응력이 전달되는 양상을 보여주었다. tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치 원심면, 제 1-2 대구치 사이의 치조정에 중등도의, 그리고 제 2 대구치에는 강한 응력이 나타났다.

6. III급 약간고무와 수직고무 장착 (표 8, 그림 9a-c)

plain A.W.에서는 견치와 그의 원심면, 제 1, 2 대구치 치근에 강한 응력이 나타났으며, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 측절치, 견치, 제 1 소구치 원심면, 제 1, 2 대구치 치근에 강한 응력이 나타났고, tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치 원심면, 제 2 대구치 치근에 강한 응력이 나타났다.

IV. 총괄 및 고안

교정력이 생체에 미치는 효과를 규명하기 위해, 생물학적 연구가 많이 시행되었으며 동시에 수학적, 물리학적 방법을 이용한 역학분석 등의 공학적 연구가 진행되어 왔다. 생물학적 연구는 직접 조직반응을 확인할 수 있는 장점이 있으나, 힘의 전달과정이나 그 힘의 응력분포를 정량화할 수는 없다. 따라서 끊임없이 변화하는 생체조직에 기계적 장치를 이용하여 계획된 치료 목표를 성취하기 위해서는 교정장치에 대한 공학적 연구를 필요로 한다. 이러한 공학적 연구에는 holography법, strain-gauge법, 유한요소법, 광탄성법 등이 있으며 특히 광탄성법은 구강조직과 같이 대단히 복잡한 조직도 모형화하여 응력을 분석하고, 사용기구에 따른 복잡한 하중조건 의 응력도 측정 가능하며, 모형전체에 퍼지는 응력을 관찰하여 응력이 집중되는 부위 및 양을 결정할 수 있는 잇점이 있으며, 단점으로는 응력의 크기보다 인접 부위와의 상대적 응력 차이만 관찰할 수 있고, 외력을 가한 전후 상태를 동시에 관찰이 불가능하며, 모형 제작 및 실험조작이 매우 어렵다는 것이다.

표 7. III급 약간고무 장착시 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7					
Plain arch wire		**	**	**	*	***	*****	***	*****		
MEAW without tip back	*	***	***	***	**	***	****	**	****	****	*****
MEAW with tip back		***	***	**	***	***	**	**	***	***	****

표 8. III급 약간고무와 수직고무 장착시 나타나는 응력분포

tooth	2	3	4	5	6	7						
Plain arch wire	***	***	***	*****	*****	***	***	**	***	***	*****	*****
MEAW without tip back	**	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
MEAW with tip back		*****	*****	***	**	***	***	***	**	*	*****	*****

MEAW는 모든 부정교합의 유형에 사용될 수 있는 다목적 기능을 가지고 있으며, 특히 교정치료 말기의 finishing mechanotherapy로 사용될 수 있다. 이러한 MEAW는 vertico-horizontal loop를 가진 edgewise ideal arch wire(0.016 × 0.022 inch)로서 loop는 치아간 breaker 역할을 하면서 낮은 하중-변형률과 치아 이동의 수직과 수평 조절을 제공한다^{7,8,9)}.

MEAW에 tip back을 부여하였을 때 치아의 uprighting 효과를 얻을 수 있는데, 임상에서 적용하는 양은 그 정도가 매우 다양하나, Kim은 3 - 5°, 장은 5 - 10°를 추천하고 있다⁸⁾. 본 연구에 부여한 tip back양은 염³⁾의 연구와 같이 15°로 하였다. 이는 실제 구강내 교합평면은 각 개인에 따라 차이가 있지만 Spee의 만곡이 있는 것이 보통이고 본 연구의 모형이 평탄한 교합평면임을 감안하였고, 실제 광탄성 재료에 나타나는 외부 응력에 대한 효과를 극대화 시키기 위하여 tip back을 크게 주었다.

MEAW에 tip back을 부여하고 악간고무를 장착하지 않았을 때 나타나는 효과를 보면, 염 등⁴⁹⁾은 상악 견치, 소구치의 정출이 크게 보이고, 상악 절치, 하악 절치의 합입이 보인다고 하였으나, 본 연구에서는 견치와 제 1-2 대구치 사이의 치조정, 제 1, 2 대구치에 중등도의 응력이 나타났으며, 나머지 부위는 미약한 응력이 나타났다. 이는 염 등⁴⁹⁾의 연구의 치아모형이 매식되어 있지 않은 plate상의 광탄성 모형을 이용하였기 때문에 소구치 부위에서 정출력이 관찰되었으나, 본 연구에서는 실제 모형과 같은 모형 치아를 매식한 입체구조를 가진 광탄성 모형을 이용함으로써, 소구치 부위의 tip back에 의한 정출력은 이웃한 치아에 결찰되면서 서로 상쇄 되기 때문에 미약하게 나타났고, 견치와 후방 치아 부위에서만 tip back 효과에 의해 보다 큰 응력이 나타난 것으로 생각된다.

plain A.W.에 수직고무를 장착하였을 때 고무줄이 걸리는 견치에 중등도의 응력이 집중되었고, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 측절치 치근 부위에 보다 강한 응력이 나타났는데 MEAW의 수평 loop에 의한 높은 탄성 변형률

때문에 수직고무에 의한 정출력이 측절치에 집중된 현상이라고 생각된다. tip back을 부여한 MEAW에 수직고무를 장착하였을 때 측절치, 측절치-견치 사이의 치조정, 견치, 제 1, 2 대구치에 중등도의 응력이 나타났는데, 이는 전 등⁴⁾의 유한요소법에 의한 MEAW의 역학적 해석에서 수직고무를 걸었을 때 응력이 측절치와 견치의 치조정에 집중된다고 한 것과 일치된다. 또한 수직고무를 걸지 않았을 때에 비하여 구치부에 응력이 증가되는 양상을 보였는데, 이는 전치부에서의 정출력이 tip back 효과에 의해 구치부를 distal uprighting시키는 힘으로 발휘된 결과라고 생각된다. 이러한 역학적 현상을 이용하여 교합면을 개선시켜, 교합력의 전방 성분으로 인한 치아의 전방이동을 방지함으로써 교합의 안정과 유지를 위한 수직적 관계의 조절이 가능하다고 생각된다.

plain A.W.에 II급 악간고무를 장착하였을 때 견치-제 1 소구치 사이의 치조정에 강한 응력이 나타났고 구치부로 갈수록 응력이 거의 미약했는데, 이는 악간고무가 걸린 부위에 응력이 집중되고 II급 고무에 의한 원심방향의 힘이 구치부로 잘 전달되지 않음을 보여주는 것이라고 생각된다. 그러나 tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 전 치조정에 강한 응력이 고루 나타났는데 II급 악간고무의 효과가 원심부로 거의 균등하게 전달되어 나타난 현상이라고 생각된다. tip back을 부여한 MEAW에 II급 악간고무를 장착하였을 때 상악측절치, 측절치-견치 사이의 치조정, 제 1, 2 대구치의 근심면에 강한 응력이 나타났으며 악간고무를 장착하지 않았을 때보다 측절치 근심부위에 응력이 집중되는 현상은 II급 악간고무에 의한 측절치를 원심 경사시키는 힘의 vector가 MEAW에 의한 전치부를 근심 경사시키는 효과를 상쇄시키고 원심 경사와 정출력이 발휘된 결과라고 생각되며, 제 1, 2 대구치 부위에서 좀더 강한 응력이 나타났는데 이는 arch wire의 tipping 효과에 의한 전치부의 응력이 II급 악간고무에 의해 후방부위로 전이되면서 나타나는 현상이라고 사료된다.

II급 악간고무와 수직고무를 장착하였을 때

tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치 근심면과 제 1, 2 대구치에서 강한 응력이 관찰되었다. 측절치의 응력은 수직고무에 의한 정출력과 악간고무에 의한 distal tipping에 의해 나타나는 것으로 생각되며, 대구치부의 응력은 II급과 수직고무의 힘이 tip back에 의해 후방으로 전이된 것이라고 생각된다.

III급 악간고무를 장착하였을 때 plain A.W.에서는 고무줄이 걸리는 부위인 구치부에 강한 응력이 나타났고 전치부와 소구치부에서는 거의 응력이 미약하였다. 반면 tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 구치부에 강한 응력이 나타났고 전방으로 중등도의 응력이 전달되는 현상을 보였다. tip back을 부여한 MEAW에서는 악간고무를 장착하지 않았을 때보다 측절치와 견치 부위에서 응력이 증가된 것은 tip back 효과가 III급 악간고무에 의해 더 크게 발휘된 것이라고 생각된다.

III급 악간고무와 수직고무를 장착하였을 때 tip back을 부여한 MEAW에서는 측절치 원심면, 제 2 대구치의 치근에 강한 응력이 나타났는데 tip back을 부여하지 않은 MEAW에서 보다 소구치부위에서 응력이 감소된 현상은 MEAW의 tip back과 수직고무에 의한 원심 경사되려는 힘과 III급 악간고무에 의한 근심 경사되려는 힘이 합성되어 어느정도 상쇄되었기 때문이라고 생각된다.

이상의 결과로 부터 MEAW는 악간고무에 의해 발생하는 힘이 L-loop의 변형률에 의해 인접치아를 거쳐 전 치아에 잘 전달되는 경향을 보인다고 할 수 있으며, tip back에 의한 효과도 악간고무에 의해 뚜렷이 달라짐을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 MEAW의 역학적 효과를 어느정도 알 수 있었으며 이러한 광탄성 모형을 이용하여 교정치료에 사용되는 모든 형태의 힘 역학을 비교적 간단히 분석해 볼 수 있는 한 수단이라고 생각된다.

V. 결 론

MEAW에 의해 발생하는 응력분포와 MEAW

에 수직고무와 악간고무를 장착하였을 때 나타나는 응력분포를 파악하기 위하여 광탄성 물질인 PL-3 epoxy resin과 치근 형태를 갖춘 상악용 레진치아를 이용하여 직선배열된 광탄성 모형을 제작하고 각 치아에 0.018 inch slot standard bracket을 접착하였다. 0.016 × 0.022 inch의 교정용 S.S Wire로 plain Arch wire, tip back을 부여하지 않은 MEAW와 15° tip back을 부여한 MEAW를 제작하여 광탄성 모형에 결찰하여 고정된 다음 교정용 고무를 장착하지 않거나, 수직고무(3/16 inch 6 oz), II급 악간고무 및 III급 악간고무(5/16inch, 6 oz)를 다양하게 장착하여 나타나는 응력의 발생과 변화를 광탄성 응력해석 장치로 관찰 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MEAW의 tip back 효과는 광탄성 상악 모형에서 제 1-2 대구치 사이의 치조정과 견치에 중등도의 응력이, 나머지 부위에서는 미약한 응력이 나타났다.
2. 수직고무를 장착하였을 때 plain A.W와 tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 전방부에 응력이 집중되어 나타난 반면, tip back을 부여한 MEAW에서는 정출력을 받고 있는 측절치와 견치에 중등도의 응력이 나타났고, 대구치 부위에서도 중등도의 응력이 나타났다.
3. II급 악간고무를 장착하였을 때 plain A.W.에서는 악간고무가 걸리는 견치부위에 응력이 집중되었으나, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 전치부에서 원심부로 응력이 비교적 균등하게 전달되는 양상을 보여주었다. tip back을 부여한 MEAW에서는 tip back 효과가 II급 악간고무에 의해 더욱 증가되어 전치부와 구치부에 강한 응력이 나타났다.
4. III급 악간고무를 장착하였을 때 plain A.W.에서는 악간고무가 걸리는 구치부위에 응력이 집중되어 있으나, tip back을 부여하지 않은 MEAW에서는 구치부에서 전치부로 응력이 비교적 균등하게 전달되는 양상을 보였고, tip back을 부여한 MEAW에서는 구치부에 강한 응력이 나타났을 뿐만 아니라 III급 악간고무

의 힘에 의해 tip back 효과가 전치부에 나타나 중등도의 응력을 보였다.

REFERENCES

1. Burstone CJ, Baldwin JJ, Lawless DT. The application of continuous forces to orthodontics. *Angle Orthod* 1961 ; 31(1) : 1-14.
2. Graber TM, Swain BF. Orthodontics current principles & technique application of bioengineering to clinical orthodontic. ST Louis : CV Mosby Co, 1985.
3. 염정배, 이병태. Multiloop edgewise arch wire가 야기하는 응력분포에 관한 광탄성학적 연구. *대치교정지* 1990 ; 20(2) : 267-282.
4. 전경민, 남동석. Multiloop edgewise arch wire의 역학적 해석. *대치교정지* 1991 ; 21(1) : 31-52.
5. Proffit WR. Contemporary orthodontics : Orthodontic implications of the photoelastic method of stress analysis. ST louis : CV Mosby Co, 1986.
6. Steiner CC. Force control in orthodontia. *Angle Orthod* 1932 : 252-259.
7. Kim YH. Anterior openbite and its treatment with multiloop edgewise archwire, Etiology and diagnosis of anterior openbite malocclusion, with a detailed presentation of a treatment approach using multiloop edgewise archwires. *Angle Orthod* 1987 : 290-321.
8. Kim YH, Jang YI. Orthodontic differential diagnosis on premolar extraction versus maxillary second molar extraction treatment. *대치협회지*. 1984 ; 22 : 129-140.
9. 김영호. 피개교합 심도지수 : 피개 교합 심도지수의 의미. *Am J Orthod* 1974 ; 65 : 586-661.
10. 사또 사도오. 부정교합의 치료를 위한 새로운 접근. 한국 MEAW 연구회 1991 : 125-134.
11. Burstone CJ, Byszard J. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod* 1980 ; 77(4) : 396-409.
12. 김현순, 남동석. 경부고정 headgear 사용시 안면 두개골의 변위에 관한 장력 계측법 및 유한요소법적 연구. *대치교정지* 1987 ; 17(2) : 185-198.
13. Alfredo De Alba Y, Levy J, Caputo AA, Chaconas SJ. Effects of orthodontic intermaxillary class III mechanics on craniofacial structures : Part I -

- Photoelastic analysis. *Angle Orthod* 1979 ; 49(1) : 21-28.
14. Baeten LR. Canine retraction : A photoelastic study. *Am J Orthod* 1975 ; 67(1) : 11-23.
15. Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod* 1974 ; 65(3) : 250-259.
16. Schwalb RA, Alfred Rechter, Brooklyn NY. Application of the photoelastic method of stress analysis to orthodontic tooth movement in bone. *Am J Orthod* 1950 ; 36 : 192-197.
17. 김광호. 각종의 headgear를 사용한 정형력이 두개안 면골에 미치는 영향에 대한 광탄성학적연구. *대치교정지* 1986 ; 16(1) : 71-81.
18. Zak B. Photoelastic analysis in der orthodontischen mechanik. *Oesterr Z Stomatol* 1935 ; 33 : 22-37.
19. Noonan MA. The use of photoelasticity in a study of cavity preparation. *J Dent Child* 1949 ; 16 : 24-28.
20. Mahler DB, Deyton FA. Photoelasticity as a research technique for analyzing stresses in dental structures. *J Dent Res* 1955 ; 34(6) : 831-838
21. Holliger HH. Photography in the photoelastic stress analysis of restorations. *dental radiography and photography*. 1958 ; 131(2) : 31-35.
22. Glickman I, Roeber FW, Brion M, Pameijer JHN. Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces. *J Periodontol* 1970 ; 41 : 30-35.
23. Tanner AN. Factors affecting the design of photoelastic models for two-dimensional analysis. *J Prosthet Dent* 1972 ; 27(1) : 48-62.
24. Khouw FE, Norton LA. Fixed partial dentures and operative dentistry the mechanism of fixed molar uprighting appliances. *J Prosthet Dent* 1972 ; 27(4) : 381-389.
25. Craig RG, EL-Ebrashi MK, Deyton FA. Experimental stress analysis of dental restorations part II. Two dimensional photoelastic stress analysis of crowns. *J prosthet Dent* 1987 ; 17 : 293.
26. Craig RG, Farah JW, EL-Tahaw HM. Three dimensional photoelastic stress analysis of Maxillary complete dentures. *J prosthet Dent* 1974 ; 31 : 122.
27. 조인호. 총의치 교합 형태에 따른 3차원적 광탄성 응력분석. *대치협회지* 1982 ; 20(11) : 945.
28. 윤성일, 장익태. 양측성 유리단 국소의치의 설계변화

- 에 따른 광탄성 응력분석에 관한 연구. 대치협회지 1985 ; 23(1) : 45-59.
29. 한동후, 이호용. 지대치 유지 장치 설계에 따른 가철성 의치 하부 조직에 가해지는 응력에 관한 광탄성학적 연구. 대치협회지 1987 ; 25(2) : 155-170.
 30. 이회철, 정현곤, 조광현. 고정 가공의치에 대한 하중이 2차 지대주위 조직에 미치는 광탄성 응력분석. 대치협회지 1989 ; 27(2) : 161-168.
 31. 이회원, 배태성, 신호근, 김오환. 하악골에 외력의 작용시 악골 및 악관절 부위에 미치는 영향에 관한 역학적 연구. 전북치대논문집 1993 ; 10(1) : 75-98
 32. Brodsky JJ, Caputo AA, Furstman LL. Root tipping : A photoelastic-histopathologic correlation. Am J Orthod 1975 ; 67(1) : 1-10.
 33. Chaconas SJ, Caputo AA, Hayashi RK. Effect of wire size, loop configuration, and gabling on canine-retraction springs. Am J. Orthod 1974 ; 65(1) : 58-66.
 34. 최진휴, 김종철. Molar uprighting spring에 의해 발생하는 치조골 응력분포에 관한 광탄성학적 연구. 전남치대논문집. 1990 ; 2(1) : 331-345.
 35. Photostress instrumentation : Full-Field Measurement systems for stress analysis testing. Measurements Group Inc. BULLETIN S-134. 1989.
 36. Materials for : photoelastic coatings & photoelastic models. Measurements Group Inc. BULLETIN S-116-E. 1983.
 37. Photoelastic stress analysis : A short-form catalog introducing (methods, products, services). Measurements Group Inc. BULLETIN SFC-300-A. 1987.
 38. THECH NOTE : How to select photoelastic coatings. Measurements Group Inc. TN-704. 1978.
 39. TECH NOTE : Introduction to stress analysis by the photostress method. Measurements Group Inc. TN-702-1. 1989.
 40. TECH NOTE : Introduction to stress analysis by the photostress method. Measurements Group Inc. TN-702. 1981

-ABSTRACT-

A PHOTOELASTIC STUDY OF THE STRESS DISTRIBUTION ON THE MULTILoop EDGEWISE ARCH WIRE

Sheung-Ho Lee · Jeong-Gee Kim

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chonbuk National University

This study was designed to investigate the stress distribution, intensity and force mechanism derived from the MEAW by photoelastic stress analysis of the artificial teeth and surrounding bone composed of photoelastic material(PL-3).

The findings of this study were as follows ;

1. In case of no elastic on the MEAW with tip back, the moderate stress was observed on the molar and canine area, and the light stress was observed on the other area.
2. In case of the vertical elastic on the plain A.W. and the MEAW without tip back, the great stress was observed on the lateral incisor area, but on the MEAW with tip back, the moderate stress was observed on the anterior area and molar area.
3. In case of the C II elastic on plain A.W., the stress was concentrated on the anterior area hanged by elastic but on the MEAW without tip back, the stress was transmitted equally from the anterior area to the posterior teeth area. On the MEAW with tip back, the great stress was observed on the anterior and molar area.
4. In case of the C III elastic on the plain A.W., the stress was concentrated on the posterior area hanged by elastic but on the MEAW without tip back, the stress was transmitted equally from the posterior area to the anterior area. On the MEAW with tip back, the great stress was observed on the posterior area and the moderate stress was observed on the anterior area.

KOREA J. ORTHOD. 1994 ; 24(4) : 969-982

Key words : MEAW, Photoelastic, Stress analysis

사진 부도 설명

그림 1. 형성된 Silicone음형에 인공치아를 재식립.

그림 2. PL-3(Measurement Group Inc)수지와 경화제를 125 °F - 135 °F (52 - 57 °C) 에서 50분간 열 후 1 : 1.5의 비율로 혼합하는 과정.

그림 3. PL-3가 경화된 후(4 - 4시간30분) 음형에서 제거하여 광탄성 모형을 완성 .

- 그림 4 a. 약간고무를 장착하지 않은 경우, Plain arch wire.
 b. 약간고무를 장착하지 않은 경우, MEAW without tip back.
 c. 약간고무를 장착하지 않은 경우, MEAW with tip back.

- 그림 5 a. 전치부 수직고무를 장착한 경우, Plain arch wire.
 b. 전치부 수직고무를 장착한 경우, MEAW without tip back.
 c. 전치부 수직고무를 장착한 경우, MEAW with tip back.

- 그림 6 a. II급 약간고무를 장착한 경우, Plain arch wire.
 b. II급 약간고무를 장착한 경우, MEAW without tip back.
 c. II급 약간고무를 장착한 경우, MEAW with tip back.

- 그림 7 a. II급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, Plain arch wire.
 b. II급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, MEAW without tip back.
 c. II급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, MEAW with tip back.

- 그림 8 a. III급 약간고무를 장착한 경우, Plain arch wire.
 b. III급 약간고무를 장착한 경우, MEAW without tip back.
 c. III급 약간고무를 장착한 경우, MEAW with tip back.

- 그림 9 a. III급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, Plain arch wire.
 b. III급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, MEAW without tip back.
 c. III급 약간고무와 수직고무를 장착한 경우, MEAW with tip back.

논문사진부도 ①

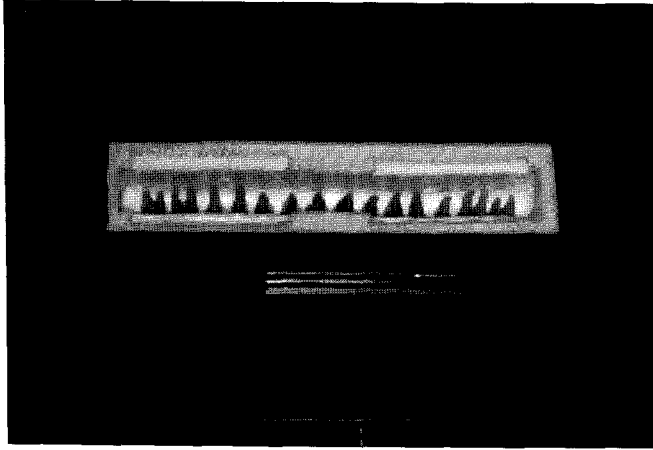


그림 1

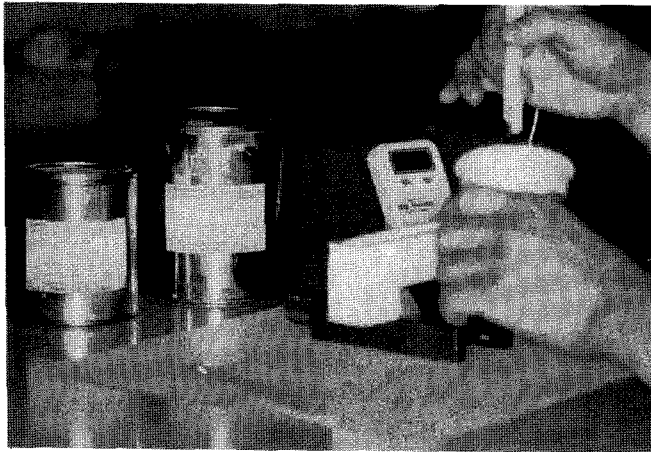


그림 2

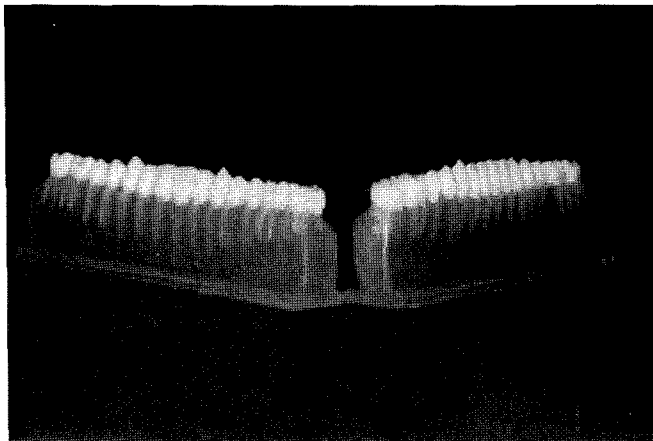
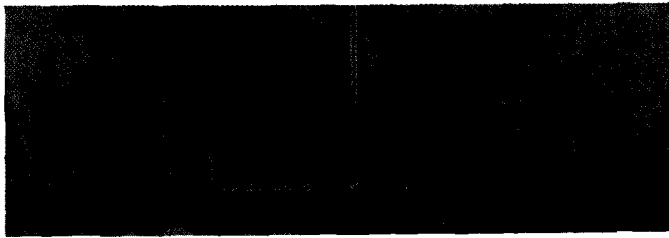


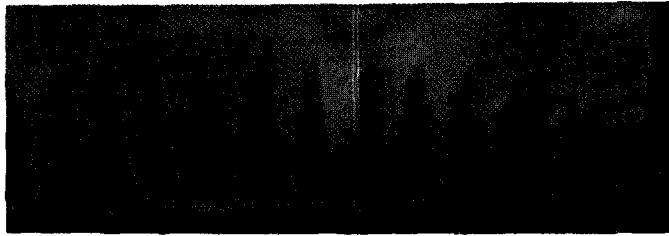
그림 3

논문사진부도 ②

그림 4 a



b



c

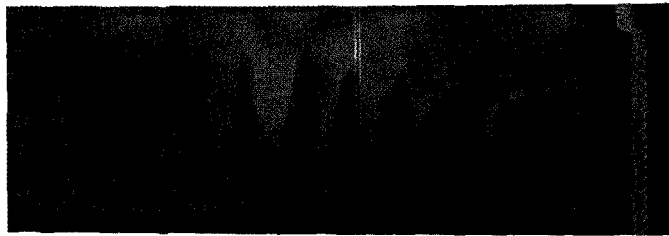
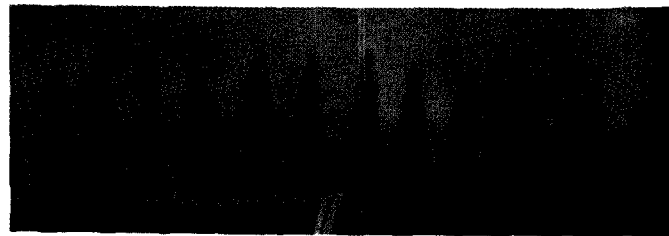


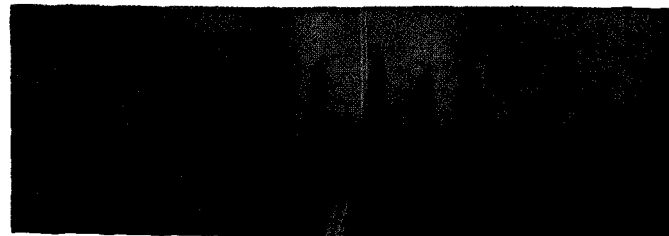
그림 5 a



b

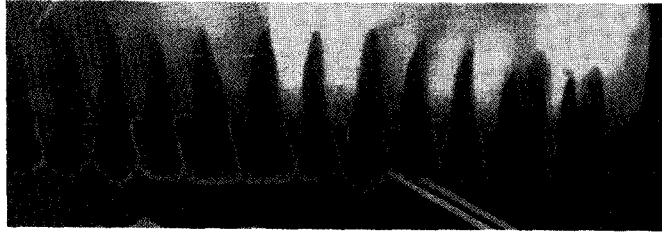


c



논문사진부도 ③

그림 6 a



b



c

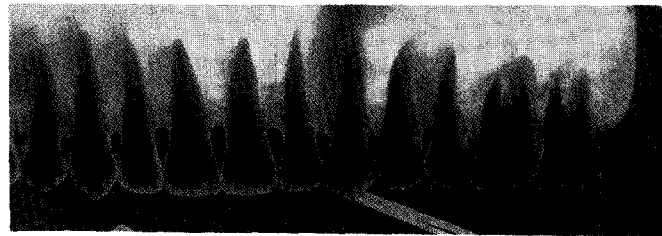


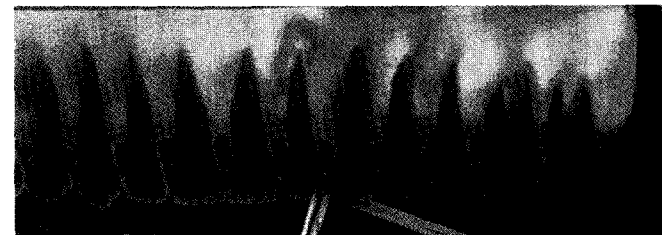
그림 7 a



b

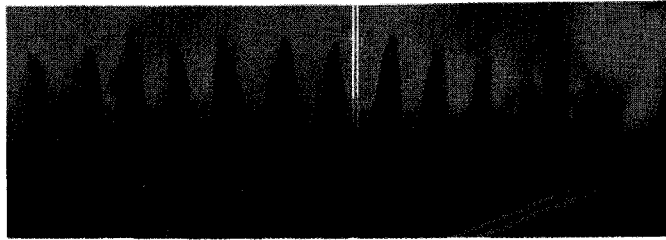


c



논문사진부도 ④

그림 8 a



b



c

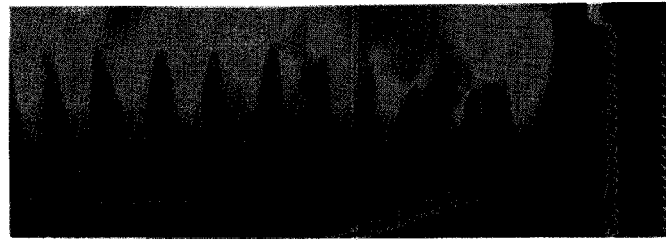
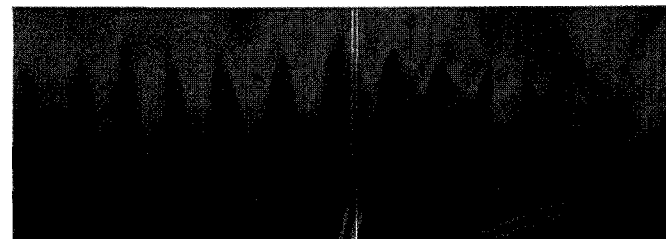


그림 9 a



b



c

