

총의치 교합형태에 따른 3차원적 광탄성 응력분석

서울대학교 대학원 치의학과 보철학 전공

(지도교수 김 영 수)

조 인 호

— 목 차 —

- I. 서 론
- II. 실험방법 및 내용
- III. 실험결과
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도

제1장 서 론

인체에 있어서 치아 및 골격의 구조는 중요한 역학적 지주가 되며 기계적, 재료역학적 부담에 견딜 수 있는 구조로 되어있는 것은 사실이지만, 보다 중요한 것은 형상적으로 매우 합리적으로 되어있어 최소의 재료로 최대의 역학적 강도를 발휘할 수 있도록 되어 있다는 것이다.

이것은 몇만년이라는 긴 역사 속에서의 인간의 투쟁생활과 이와 함께 오는 자연도태에 의한 진화에 의해 달성된 것이지만 재료역학적으로 봐서 조화를 이루고 있으며 형상적, 재질적으로 거의 이상에 가깝게 이루어져 있다고 한다.

이러한 구조를 연구함으로써 기계 및 그의 인공적 구조의 재료 역학적 개선에 큰 시사를 줄 가능성도 높다.

일반적으로 응력분석 방법에는 electrical resistance strain gages¹⁾, brittle coatings²⁾, Moir'e fringe analysis³⁾, 및 photoelasticity 등이 있다. 광탄

성 현상은 1816년 영국의 David Brewster⁴⁾가 유리에 응력이 발생하도록 해서, 여기에 polarized light를 보내어 처음 발견한 것이며 근래에는 많은 분야에서 응용되고 있다. 근대 광탄성학의 개념은 2차원적 분석법과 3차원적 분석법 및 광탄성 물질도포 분석법에 근거를 두고 있다.

광탄성학과 치의학은 일견 양자간에 아무 관련이 없는 것 같이 생각된다. 그러나, 실제로 이제까지 치의학과 정형외과학에서 치아나 골격의 강도 혹은 응력분포에 관해 광탄성 실험이 행해졌으며 여러가지 흥미있는 결과⁵⁾가 보고되어져 왔다.

이것은 치의학 및 의학을 연구하는 사람들이 어느 물리현상을 보고 그 연구 목적에 이용하려고 하는 의욕의 표시이며 근년에 와서는 광탄성학 및 그 실험기술이 공학이 아닌 다른 분야의 연구자들에게도 특별한 어려움 없이 이용될 수 있게된 때문이다.

광탄성학을 처음 치의학에 응용한 사람은 Zak⁶⁾(1935년)이며, 그 후 inlay 및 치관 수복물에 대한 Craig 등의 연구를 비롯하여 치과보존학^{6, 7, 8, 9, 10)}, 보철학^{11, 12, 13, 14, 15, 16, 17)} 분야에 꾸준히 이용되어 왔고, 1970년대 들어와서는 치근경사, 견치견인 등 교정학^{18, 19, 20)} 분야에도 이용되고 있으며, modified photoelastic coating method로 인상체 변형²¹⁾도 측정하고 있다.

한국에서는 윤²²⁾의 치관 수복물에서 발생하는 응력에 관한 2차원적 응력분석 외에 수 편의 논문^{23, 24, 25)}이 나와 있다.

교합, 악관절 장애, 교합에 관련된 치주질환, 치아 형태의 수복은 치과의학에서 중요한 부분을 차지하고 있으며 이들에 관하여 충분한 지식을 갖추는 것이 필수적이라 하겠다.

특히 총의치 교합에 관하여는 의치의 유지 및 안정성의 문제와 관련하여 예로부터 많은 연구^{26,27,28,29,30,31,32}가 이루어져서 왔으며 근년에 와서는 생체조직에 미치는 영향에 관해서도 많은 관심을 보이고 있다.

의치는 잔존 치조골에 응력을 분산시키며, 이는 지지골의 변성과 흡수를 초래하게 된다.^{33,34,35,36,37,38} 응력의 문제와 관련하여 치과의사들은 치아 형태, 치아재료, 치아배열에 관하여도 많은 이론을 개발해 내기도 했다.^{39,40,41,46}

이에 저자는 총의치 여러 교합형태에서 응력분산이 지지조직에 미치는 영향이 크다고 사료되어, 정적인 가력상태에서 3차원적 광탄성 응력동결법에 의해 slice 해석을 통하여, 총의치 교합형태에 따른 응력분포 상태를 구명하여 흥미있는 결과를 얻었기에 다음과 같이 보고하는 바이다.

제 2 장 실험방법 및 내용

2 - 1. 실험대상

본 실험에서는 무치악 rubber mold(H3-402, Nissin dental products Inc.)를 사용하여 epoxy resin(Araldite CT 200, CIBA-GEIGY Ltd., Stress optical constant; 1.8psi/fringe/inch)모형을 제작하였으며 4개의 복제 상하악 총의치를 제작하여 중심교합, 측방교합 및 전방교합 상태에서 하중을 가했을 때의 응력분포 상태를 분석하였으며, 측방교합에서는 교합기의 upper jaw member의 중심부위에 하중을 가해 좌우측에 동일하중이 가해지도록 하는 방법과 좌우측에 편하중을 주는 방법으로 하중조건을 달리하여 측정하였다. 교합기는 #8500 Whip-Mix Articulator, Hanau Model H-2 Articulator 2 종류를 사용하였다.

2 - 2. 총의치 제작

(1) 무치악 rubber mold (H3-402, Nissin dental products Inc.)에 경석고를 부어서 상하악 무치악 모형을 제작한 후 통법으로 총의치를 제작하였으며 인공치는 30° porcelain anatomic teeth (Shofu Inc.)를 사용하였고 전치부는 1mm.의 overjet와 overbite를 주었다.

(2) 동일한 인공치를 사용하여 동일한 상태의 의치를 3개 더 복제하였다.

(3) 의치의 내면과 변연부위를 일률적으로 1mm.삭

제하였으며, 상악의 후방 경계부는 1.5mm. 삭제하였고, 고무 인상재를 깔아 2~2.5mm.의 두께가 되도록 하였다.

2 - 3. 광탄성 무치악 모형제작

본 실험에 사용된 광탄성 무치악 모형을 만드는 방법과 순서는 다음과 같다.

(1) 무치악 rubber mold와 silicone rubber를 사용하여 H3-402와 같은 mold를 복제하여 2개의 rubber mold를 사용하였다.

(2) Epoxy resin 무치악 모형을 만들기 위하여 소량의 epoxy resin을 120°C에서 완전 용해시킨 다음 epoxy resin과 중량비 3:1이 되는 양의 경화제를 첨가하여 잘 저어서 기포를 완전히 제거하였다.

(3) Epoxy resin은 접착력이 상당히 강하기 때문에 분리제 Mar-V-0II(COE.)을 rubber mold내면에 도포하였다.

(4) 기포가 완전히 제거된 용융 epoxy resin을 분리제가 도포된 rubber mold에 주입하였다.

(5) Epoxy resin을 주입한 rubber mold를 고온동결로 안에 넣고 상온에서 시작하여 100°C까지 시간당 5°C로 서서히 올린 다음 30시간 고온경화시켜 응력동결로 안에서 상온까지 시간당 5°C로 서 냉시켰다.

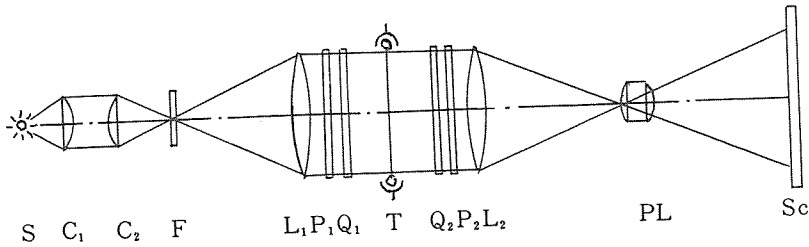
(6) 상온까지 자연냉각시켜서 응력동결로 안에서 rubber mold를 꺼낸 후 epoxy resin 모형과 rubber mold를 분리하여 제거하였다.

2 - 4. 실험장치

본 실험에서는 그림 1과 같은 원리의 circular polariscope(Model 061, Measurements Group)를 사용하여 응력이 동결된 모형에서 얻은 slice의 광탄성 무늬 모양을 측정하여 분석하였다.

광원(S)에서 나온 광파는 진행방향에 수직인 면 내에서 모든 방향으로 진동하는 횡파이다. 이 광파가 편광판(P₁)을 지나게 되면 광파의 진동중 단일 방향의 진동만을 통과시키게 되고 더 나아가서 1/4 파장판(Q₁)을 지나게 되면 축주위를 회전하면서 나아가는 원편광이 된다.

시편(T)를 지나면서 원편광은 이중 굴절 현상에 의해 속도가 서로 달라지면서 위상차를 일으키게 된다. 다시 1/4파장판(Q₂), 분석판(P₂)을 통과한 광파는 이 위상차에 의해서 무늬를 나타내게 되는 것이다.



- | | |
|--|--|
| S, ; 광 원 | P ₂ ; 분석 판 |
| C ₁ , C ₂ ; 집광렌즈 | Q ₁ , Q ₂ ; 1/4파장판 |
| F ; 단색필터 | T ; 시 편 |
| L ₁ , L ₂ ; 시야렌즈 | PL ; 투영렌즈 |
| P ₁ ; ; 편 광 판 | Sc ; 스크 린 |

그림 1. Circular Polariscop.

2 - 5. 하중조건 및 응력동결

(1) 중심교합

Whip-Mix교합기에 미리 indentation을 채득한 remounting jig을 사용하여 상악의치 및 epoxy resin 모형을 부착한 후 하악의치 및 epoxy resin 모형을 중심교합 상태로 부착했다. 이 때 과두간 거리는 medium(100mm.), 수평과로 각도는 30°, 측방과로 각도는 15°로 고정하였다.

모형을 부착한 후 incisal guide pin을 제거하고 교합기를 응력동결로에 넣은 다음 upper jaw member의 상방 중심부에 12kg.의 하중을 가했으며, 시간당 5°C의 온도로 서서히 상승시켜 100°C에서 12시간 유지한 후 상온까지 서냉시켜(시간당 5°C) 응력을 동결하였다.

(2) 측방교합 I (좌우측 동일하중)

중심교합 때와 같은 방법으로 Whip-Mix교합기에 부착한 후, 같은 조건을 가지도록 교합기를 조절하고, 측방교합이 이루어지도록 한 후 incisal guide pin이 incisal guide table에서 3mm. 정도 떨어지게 한 다음 그 상태를 유지하도록 wood stick으로 목각하여 맞추었다.

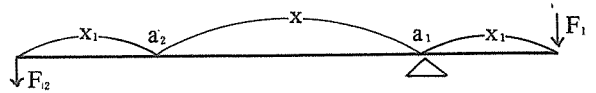
그 후 upper jaw member의 중심부에 12kg.의 하중을 가했으며 응력동결하는 방법은 중심교합 때와 동일하게 하였다.

(3) 측방교합 II (좌우측 편하중)

Hanau Model H-2 교합기에 측방교합 I 때와 같은 상태가 되도록 모든 조절을 한 후, 생체에서와 유사한 상태를 모방하여 작업측에 9kg., 평형측에 3kg.의 편하중을 가하고 같은 방법으로 응력을 동결하였다.

작업측과 평형측의 하중분배를 3:1로 정한 것은

저자가 유도한 다음과 같은 역학적 공식에 근거를 두고 있다.



a₁ : 작업측 상하악 접촉점의 중심

a₂ : 평형측 상하악 접촉점

x : 작업측 평형측 접촉점 간의 거리

x₁ : 접촉점과 저작압이 가해지는 곳과의 거리

F₁ : 작업측 하중

F₂ : 평형측 하중

F₁ + F₂ = F (12kg.)라 할 때,

작업측의 상하악 접촉점(a₁)을 받침점으로 생각하고 지렛대 원리를 적용하였다.

이 때 작업측의 X₁ 지점에서 F₁이 작용한다면 평형측은 작업측에 대응하는 힘 F₂가 존재하여야 moment에 대한 평형이 이루어지므로,

$$F_1 X_1 = F_2 (X + X_1)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{X + X_1}{X_1} \text{ 이 되어야 한다.}$$

이에 따라 F₁을 9kg., F₂를 3kg.으로 잡았다.

(4) 전방교합

Whip-Mix교합기에 중심교합 때와 같은 상태가 되도록 조절한 후 상하악 전치들이 절단교합을 이루는 상태가 되도록 하고, incisal guide pin이 incisal guide table에서 3mm. 떨어지게 하고 그 상태를 유지하도록 하였다. 그 후 upper jaw member에 12kg.의 하중을 가했으며 응력동결도 중심교합과 동일하게 하였다.

2 - 6. 응력 해석 방법

이상과 같이 응력이 동결된 상하악 무치악 모형

의 응력을 측정하기 위하여 그림 2 와 같이 하악은 15 개, 상악은 9개의 slice를 채취하여 3차원적 응력을 분석하였다.

Slice 채취는 될 수 있는 대로 치조정곡선에 수직이 되도록 하였으며, jeweler's saw를 사용하여 압축공기로 불면서 서서히 절단하였고, sand paper로 절단면을 연마하여 활면이 되도록 해서 그 두께는 6mm. 가 되도록 하였다.

상하악 무치악 모형의 번호에 해당하는 부위는 다음과 같다.

<하 악>

- 0 : 중절치 근심부
- 1 : 측절치 원심부 및 견치근심부
- 2 : 제 1 소구치 중심부
- 3 : 제 2 소구치 원심부 및 제 1 대구치 근심부
- 4 : 제 1 대구치 원심부
- 5 : 제 2 대구치 중심부
- 6 : retromolar pad 전방부
- 7 : retromolar pad 후방부

<상 악>

- 0 : 중절치 근심부

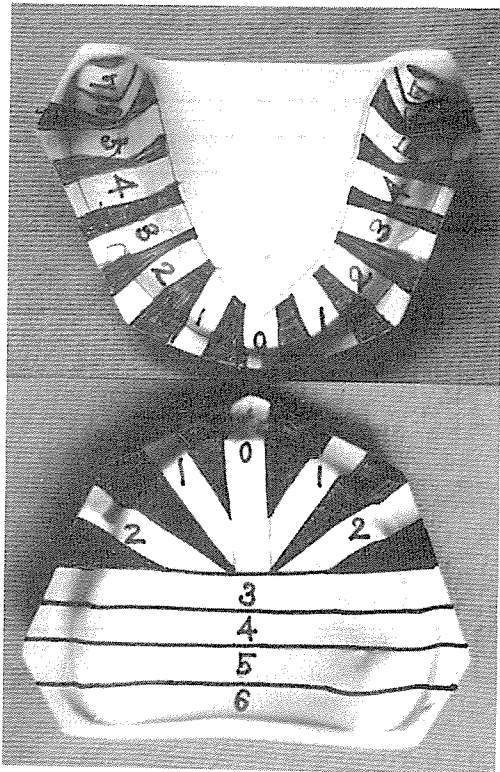


그림 2. 상하악 모형에서 slice를 채취한 부위

- 1 : 측절치 원심부 및 견치 근심부
- 2 : 제 1 소구치 원심부 및 제 2 소구치 근심부
- 3 : 제 1 대구치 중심부
- 4 : 제 2 대구치 중심부
- 5 : maxillary tuberosity부위
- 6 : maxillary tuberosity후방에서 hamular notch까지

자유표면에서는 tangential force만 존재하고 normal force는 존재하지 않기 때문에 이때 σ_1, σ_2 중 하나는 0 이 되고 $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \tau \max$ 의 공식에서 σ_2 가 0 이 된다면 $\frac{\sigma_1}{2} = \tau \max$ 가 된다. 또한 $\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{n}{\alpha t}$ 이 되어 α 와 t 는 일정한 고로 주응력 σ_1 과 무늬차수 n 은 정비례 하게 되는 것이다.

σ_1, σ_2 : 주응력, $\tau \max$: 최대 전단 응력
 α : 모형재료의 광탄성 감도계수, t : 두께
 n : 무늬차수

상하악 무치악의 응력분포는 내부보다 자유표면 응력이 중요시 된다. 그리하여 본 실험에서는 자유표면의 무늬차수를 측정하여 그의 분포상태를 구명하면 그것은 응력분포 상태와 선형적으로 대응되므로 무늬차수로 응력분석이 가능한 것이다.

응력이 증가함에 따라 나타나는 무늬차수를 구하는 방법은 그림 3 과 같다(사진부도 참조).

암시야에서 나타난 무늬는 black인 경우 0 차를 나타내고, red와 blue 사이가 1차, 2nd red와 2nd green 사이가 2차, 3rd red와 3rd green 사이가 3 차를 나타내게 된다.

제 3 장 실험 결과

각 slice의 측정부위는 치조정(0), 치조정 하방 2mm., 4mm., 6mm., 8mm. 및 전정부로 나누었으며 순협측 및 설(구개)측을 모두 측정하였다.

중심교합에서 하악의 무늬차수(표 1)와 그림 4를 보면 하악 설측에서는 좌우측이 어느 정도 대칭을 이루고 있으며 순협측에서는 좌측이 약간 더 높은 응력상태를 나타내는 듯 하나 별 다른 의의는 없는 것으로 생각된다. 순협측 및 설측을 종합한 각 부위 최대 무늬차수는 좌우측이 어느 정도 대칭을 이루고 있다.

설측, 순협측 모두 제 1, 2소구치 근심부에서 가장 높은 응력을 나타내었으며, 견치부도 어느 정도 높은 응력을 나타내었다.

설측이 순협측보다 대체로 더 높은 응력분포를

표 1. 중심교합시 하악 각 부위의 무늬치수

측정점 slice부위	순 협 측					설 측					
	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8	전정부
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0	0
5	0.7	1.0	0.6	1.0	1.2	1.2	1.0	1.6	1.5	1.3	1.7
4	0.6	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.0
3	1.3	1.5	1.8	2.2	2.0	3.0	4.3	4.2	3.7	3.3	1.0
2	0.5	0.9	1.4	2.0	3.0	3.5	4.1	3.3	2.8	2.4	0.8
1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.7	1.0	1.7	1.6	1.3	0.6
0	0.2	0.5	0.8	1.5	2.0	1.7	2.3	2.2	1.5	0.9	0.7
1	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.8	2.0	2.0	1.8	1.5	1.0
2	0.3	1.3	2.6	3.0	1.5	0.9	1.5	4.0	2.7	1.7	0.8
3	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	1.0	1.3	2.9	3.3	2.6	0.5
4	0.2	0.5	0.6	0.8	1.2	1.6	2.2	2.7	2.7	2.0	0.5
5	0.9	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0
6	0	0	0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

나타내고 있으며, 다른 교합형태에 비해 치조정 가까운 부위가 비교적 높은 응력 분포상태를 나타내고 있다. 제 2대구치에서 부터 retromolar pad부위로 갈수록 급격히 무늬치수가 줄었으며 retromolar pad부위에는 거의 응력을 받지 않았다.

중심교합 상악(표 2 및 그림 5)에서는 순협측, 구개측 및 각 부위 최대 무늬치수 모두 대략적인 좌우 대칭을 이루고 있으며 견치 및 소구치 부위가 높은 응력분포상태를 나타내고, 또한 순협측이 구개측보다 훨씬 더 높은 응력분포상태를 나타내었다.

순협측은 치조정에서 보다 전정부쪽으로 6mm., 8mm. 떨어진 부위가 훨씬 더 높은 응력분포 상태를 보여주었다.

측방교합 I (좌, 우측 동일하중)의 하악(표 3 및

그림 6)에 있어서는 평형측이 작업측보다 더 높은 응력분포 상태를 나타내고 있으며, 치조정 부근보다 전정부로 내려 갈수록 훨씬 더 높은 응력분포상태를 보여주고 있다.

평형측 전치부에서 제 1 대구치에 이르기까지 높은 응력분포상태를 나타내고 있다.

측방교합 I (좌, 우측 동일하중)의 상악(표 4 및 그림 7)에 있어서는 작업측과 평형측의 차이가 하악에서 보다 더 심했으며 평형측 견치 및 소구치 부위가 가장 높은 응력을 나타내었다.

또한 순협측은 구개측보다 2~6배 더 높은 응력 분포상태를 나타내었다.

측방교합 II (좌, 우측 편하중)의 하악(표 5 및 그림 8)에 있어서는 측방교합 I 과는 반대로 작업측이 평형측보다 높은 응력분포상태를 나타내었으며, 순

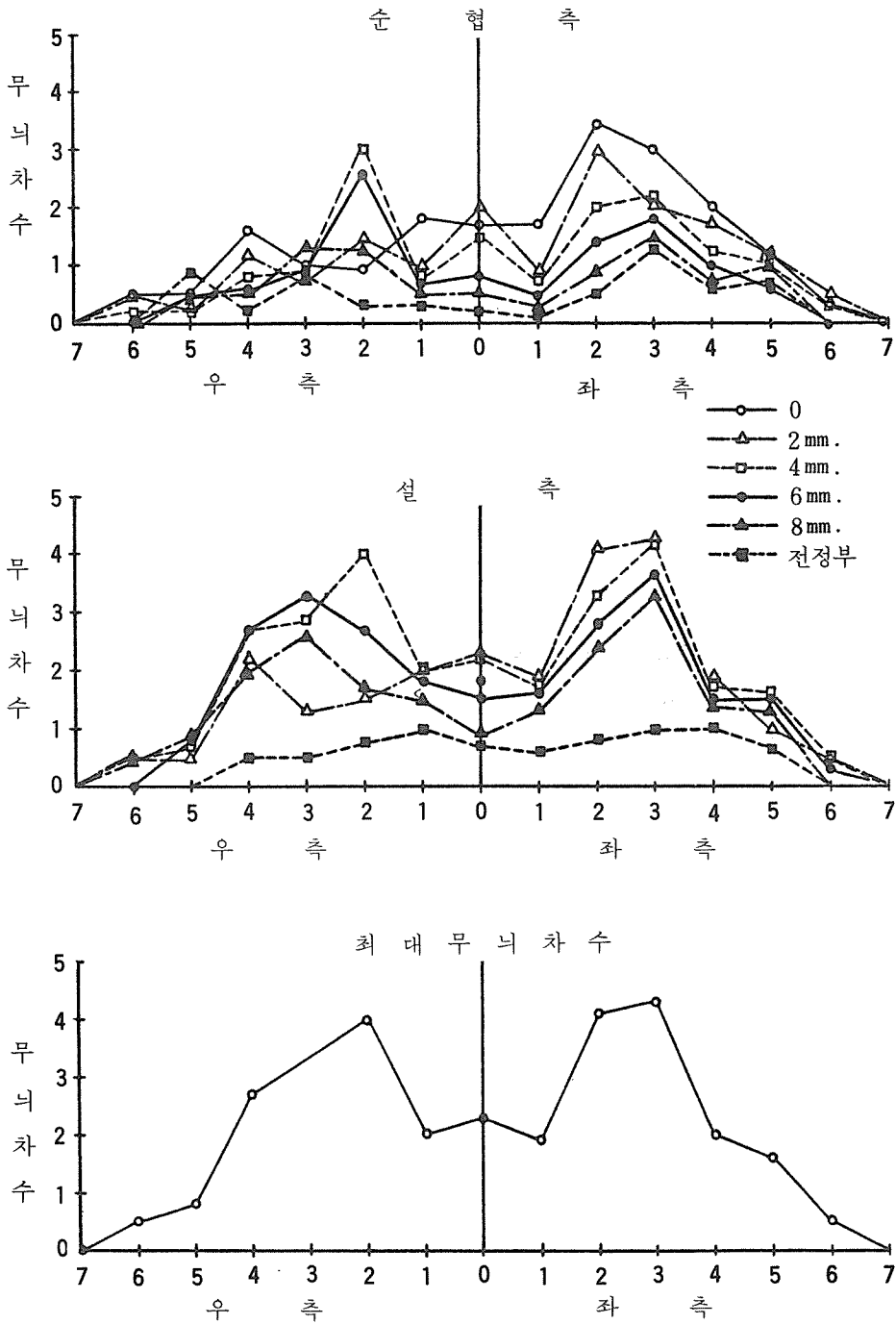


그림 4. 중심교합시 하악 각 부위에서 순협측, 설측 및 최대 무늬차수의 도표

표 2. 중심교합시 상악 각 부위의 무늬치수

		순 협 측					구 개 측				
측정점 slice부위	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8	
	좌 6	0	0	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0	0
5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.3	0.1	0.1	0.1	
4	1.5	1.0	1.3	1.5	2.0	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	
3	1.0	0.8	1.3	1.8	2.0	1.3	1.5	1.0	0.8	0.8	
2	1.7	3.1	3.3	2.8	1.8	1.0	0.9	0.3	0.3	0.3	
1	1.3	2.0	2.3	1.5	1.0	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	
0	2.2	3.0	2.0	1.5	1.0	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	
1	1.0	3.1	2.4	1.3	0.5	0.3	0.7	0.3	0.3	0.3	
2	0.7	2.2	3.5	3.3	3.0	2.5	1.3	0.7	0.3	0.3	
3	2.0	0.8	1.0	1.0	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	
4	1.9	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	
5	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	
우 6	0	0	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0	0	

표 3. 측방교합 I (좌, 우측동일하중)시 하악 각 부위 무늬치수

		순 협 측					설 측				
측정점 slice부위	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8	전정부
	좌 7 (평형측)	0	0	0	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0	0
6	0	0.3	0.5	1.0	0.7	0.5	0.3	1.0	0.8	0	0.3
5	0.3	1.0	0.8	0.3	0.5	1.0	2.0	1.8	0.8	0	0.3
4	2.0	2.8	2.0	1.3	1.0	0.8	1.5	2.0	1.3	1.5	1.3
3	2.1	2.3	1.7	1.0	0.8	0.8	1.2	2.2	2.8	3.0	0.8
2	1.5	3.2	2.8	2.0	1.2	1.0	2.1	3.0	1.8	1.6	0.8
1	2.5	3.0	2.0	1.3	1.0	0.8	1.3	1.8	2.0	1.0	0
0	2.3	2.3	2.5	1.5	1.0	0.8	1.8	2.2	3.1	1.2	0
1	2.0	2.0	1.8	1.3	0.5	0.8	2.3	1.0	0.5	0.3	1.0
2	0.8	1.3	1.5	1.1	0.8	0.6	1.1	1.7	2.2	2.0	1.5
3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.1	0.6	1.0	0.7	1.5	2.0	0.8
4	0.5	1.1	0.8	0.5	0.5	0.8	1.3	0.7	0.5	0.5	0.3
5	0.5	1.0	0.3	0.3	0.3	0.5	1.0	0.3	0.3	0.3	0
6 (작업측)	0.1	0	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0
우 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

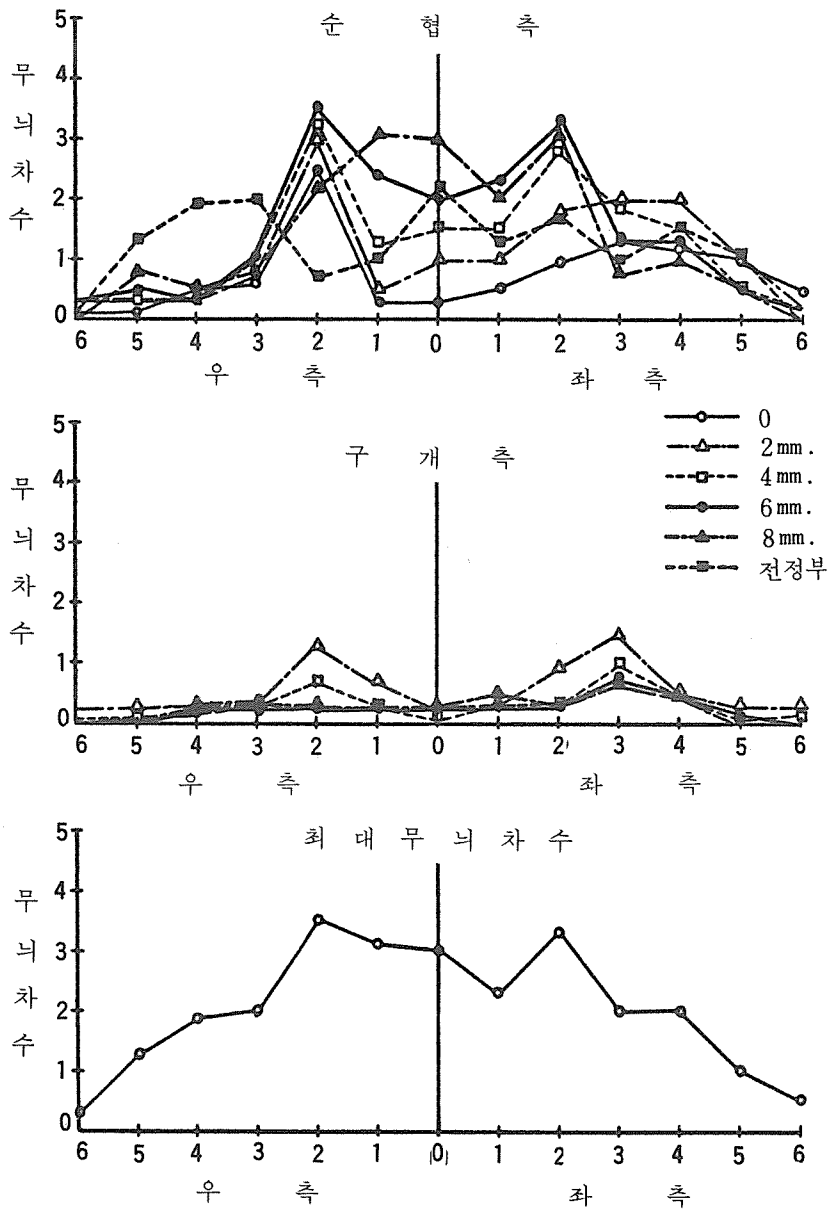


그림 5. 중심교합시 상악 각 부위에서 순협측, 구개측 및 최대 무니차수의 도표

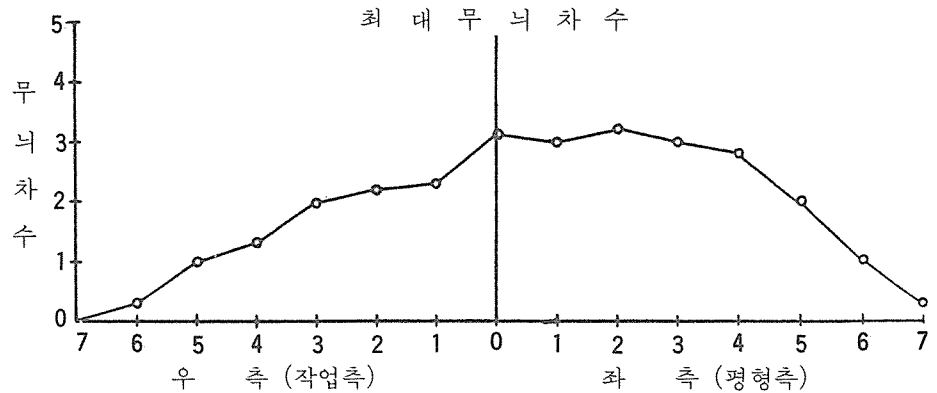
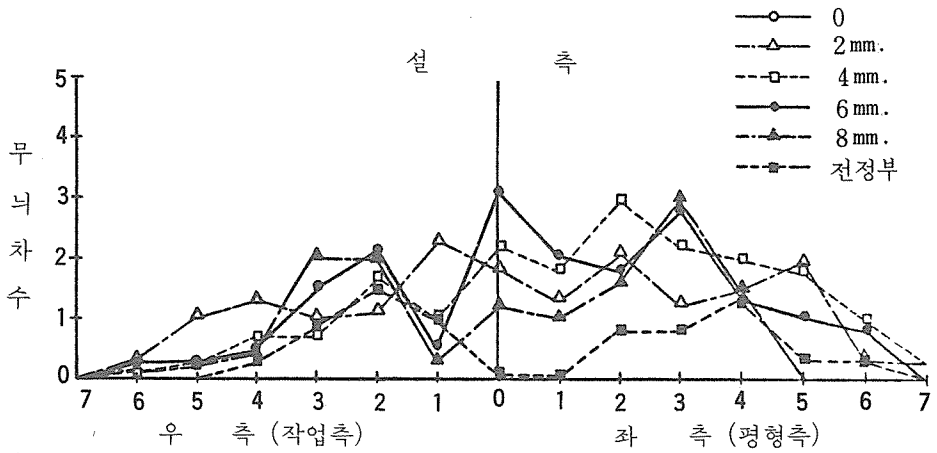
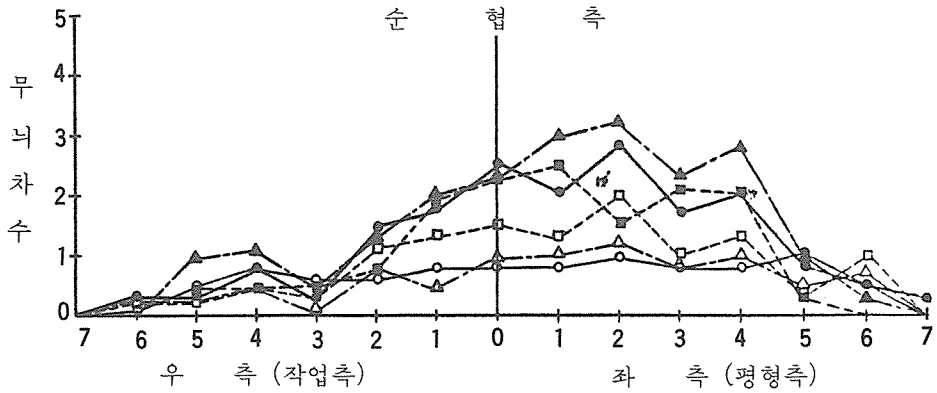


그림 6. 축방교합 I (좌, 우측 동일하중)시 하악 각 부위에서 순협축, 설축 및 최대 무늬차수의 도표

표 4. 측방교합 I (좌, 우측동일하중)시 상악 각 부위의 무늬차수

측정점 slice부위	순 협 측					구 개 측				
	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8
좌 6 (평형측) 5	0	0.3	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0	0	0
	1	1.0	1.5	1.3	1.3	0.8	0.3	0.3	0	0.1
	4	1.5	1.5	1.9	1.9	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1
	3	2.0	2.3	3.3	2.5	2.0	1.5	1.3	1.3	1.0
	2	2.3	4.5	5.0	4.2	3.0	1.7	1.7	1.5	1.8
	1	2.5	5.3	4.2	3.3	1.8	1.5	2.0	1.0	0.8
0	2.5	3.8	3.3	2.3	1.5	0.8	0.8	0.8	1.0	
1	2.1	3.3	3.0	2.2	1.3	0.8	0.5	0.3	0.1	0
2	1.0	2.0	2.3	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0
3	1.5	1.0	1.5	1.8	1.0	0.8	1.0	0.8	0.8	0.5
4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
5 (작업측) 우 6	0.3	0.5	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0

표 5. 측방교합 II (좌, 우측편하중)시 하악 각 부위의 무늬차수

측정점 slice부위	순 협 측					설 측					
	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8	전정부
좌 7 (평형측) 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0
	5	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3
	4	0	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.8	0.5
	3	0.2	0.8	0.8	1.0	1.3	1.0	0.5	0.5	0.8	0.8
	2	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.8	2.3	2.0
1	1.5	2.0	3.2	1.5	1.0	0.5	1.0	1.3	1.5	1.3	
0	2.2	3.5	3.0	2.2	1.0	0.5	1.3	2.0	2.2	1.5	
1	2.8	4.2	3.7	2.5	1.3	0.5	2.0	2.3	2.5	2.3	
2	1.8	2.3	2.5	3.8	2.9	2.0	1.7	1.8	2.7	3.0	
3	1.3	1.5	2.0	3.2	2.5	2.5	2.1	4.0	2.9	2.5	
4	0.8	1.5	1.3	1.3	1.7	1.0	1.8	2.3	2.5	2.3	
5	0.3	0.3	1.0	1.3	1.0	0	1.0	1.0	0.5	0.3	
6 (작업측) 우 7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

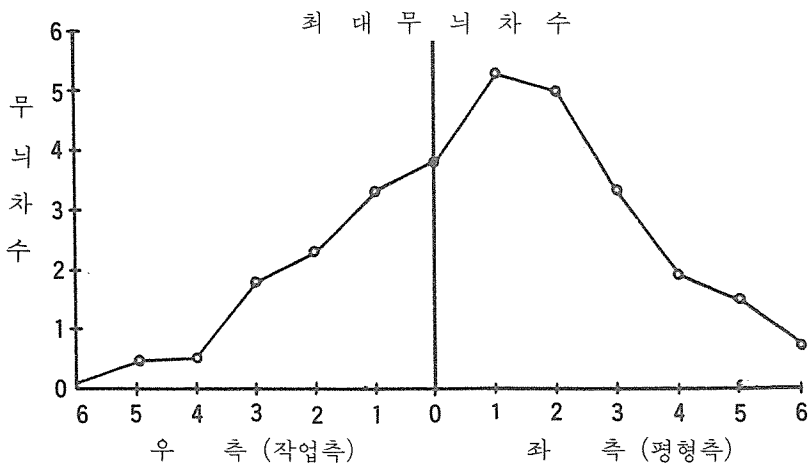
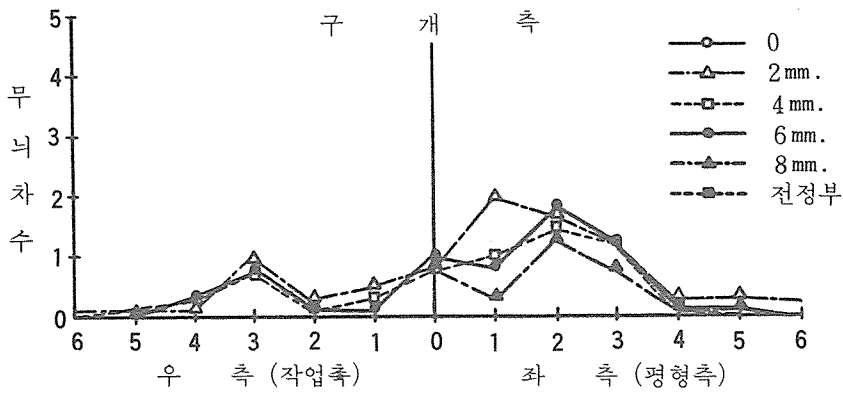
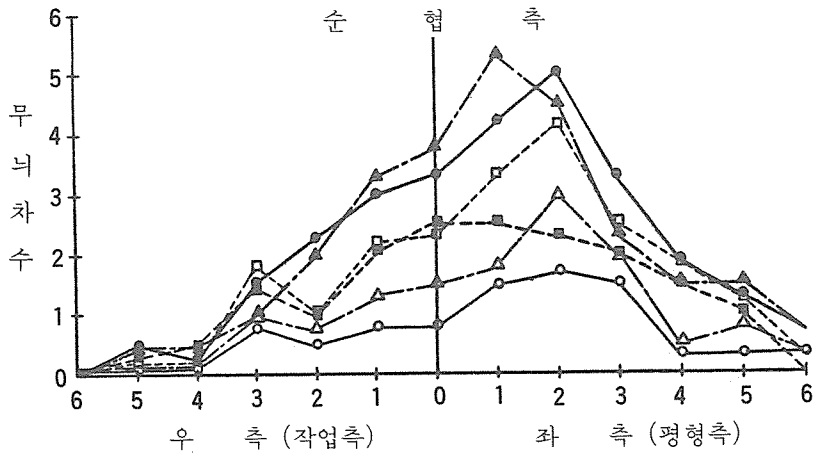


그림 7. 축방교합I (좌, 우측 동일 하중)시 상악 각 부위에서 순협축, 구개축 및 최대 무늬차수의 도표

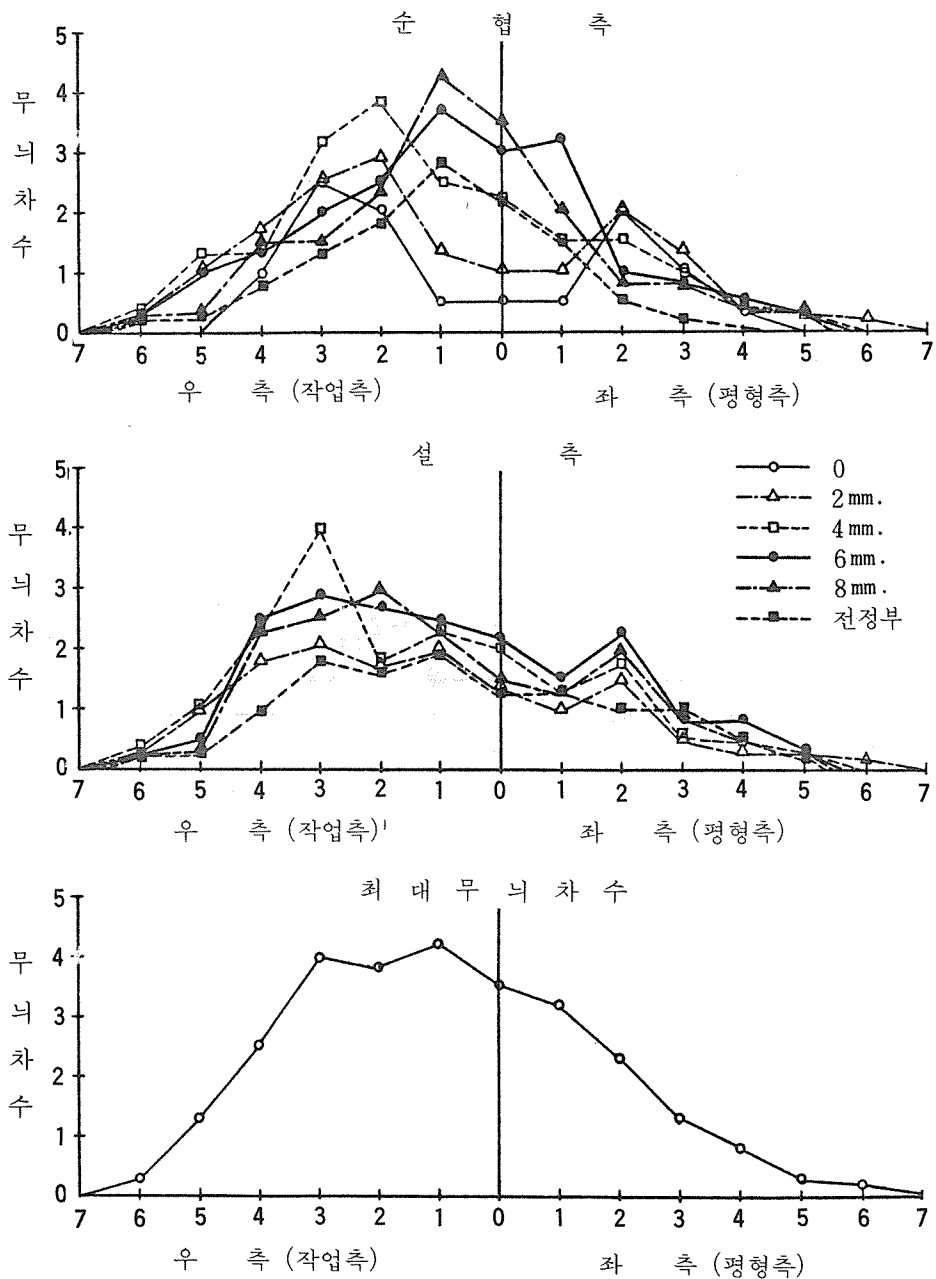


그림 8. 측방교합Ⅱ (좌, 우측 편하중)시 하악 각 부위에서 순협측, 설측 및 최대 무니차수 도표

표 6. 측방교합Ⅱ (좌, 우측편하중)시 상악 각 부위의 무늬치수

측정점 slice부위	순 협 측					구 개 측				
		8	6	4	2	0	2	4	6	8
좌 6 (평형측)	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
5	0.5	0.3	0.1	0.3	0.5	0.5	0.3	0.1	0.3	0.3
4	0.5	0.1	0.8	0.5	0.8	1.3	1.0	0.8	0.8	0.5
3	0.5	0.8	1.3	1.3	1.5	2.0	1.8	1.3	0.8	0.5
2	2.1	2.3	2.1	1.5	1.8	2.0	1.8	1.0	0.8	0.3
1	3.2	3.1	2.5	1.6	1.8	2.2	1.2	0.8	0.5	0.8
0	5.0	5.2	5.6	6.3	7.0	7.2	5.5	4.7	3.5	3.0
1	4.3	5.9	6.1	6.3	6.5	7.0	6.3	4.2	3.5	2.3
2	3.7	4.2	5.5	6.0	6.3	6.1	5.1	4.0	3.8	3.2
3	0.8	1.8	2.0	3.0	4.2	5.2	3.8	2.7	2.0	1.8
4	0.3	0.7	1.0	1.8	2.3	1.7	0.9	0.7	1.0	1.2
5 (작업측)	0.3	0.5	0.7	0.7	0.5	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1
우 6	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0

표 7. 전방교합시 하악 각 부위의 무늬치수

측정점 slice부위	순 협 측					설 측					전정부
		8	6	4	2	0	2	4	6	8	
좌 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
4	2.1	2.1	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	1.3	1.8	2.3	1.0
3	1.8	3.0	2.0	1.5	1.1	0.8	1.0	1.4	2.8	2.0	0.9
2	1.5	3.5	2.3	1.5	1.3	1.0	1.2	1.3	1.0	0.8	0.7
1	3.1	4.1	4.0	3.0	1.3	1.0	1.6	2.3	1.8	1.3	0.8
0	3.4	4.3	4.5	3.5	2.3	1.0	2.0	1.5	1.8	1.3	2.1
1	2.3	4.0	3.8	3.0	1.8	1.0	1.8	2.0	1.3	1.0	0.6
2	1.5	3.4	2.4	1.8	1.5	0.8	1.3	2.5	3.0	2.5	0.9
3	1.8	1.5	1.8	1.3	0.8	0.8	0.8	2.0	2.5	3.0	1.1
4	1.8	2.0	1.2	1.0	0.5	0.5	1.3	2.3	2.5	2.3	0.9
5	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.8	1.3	1.3	1.0	0
6	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
우 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

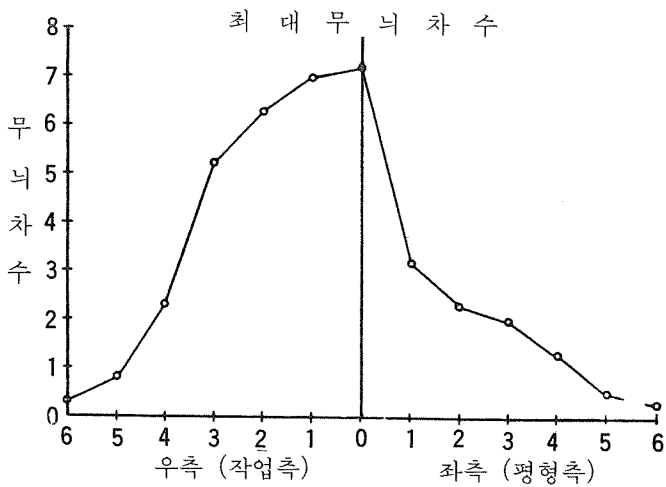
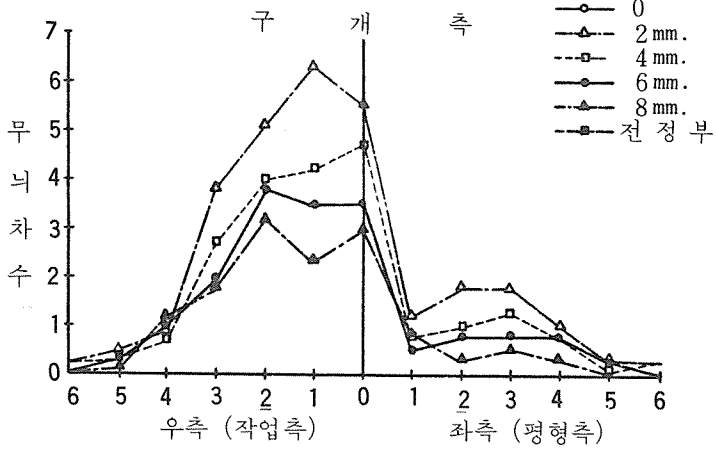
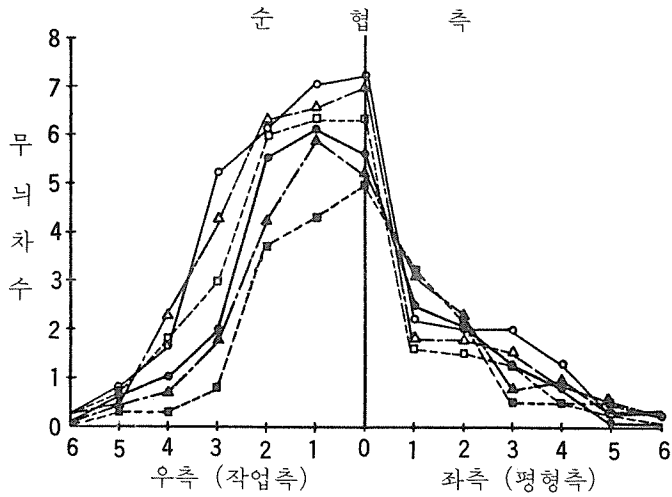


그림 9. 측방교합Ⅱ(좌, 우측 편하중)시 상악 각 부위에서 순협측, 구개측 및 최대 무니차수의 도표

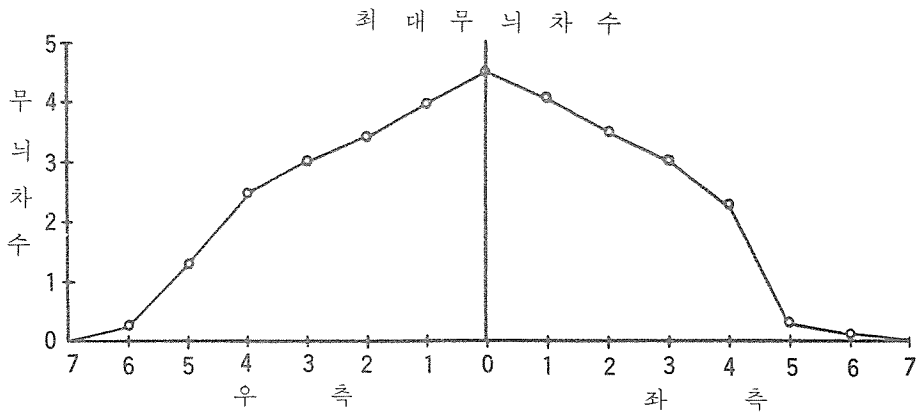
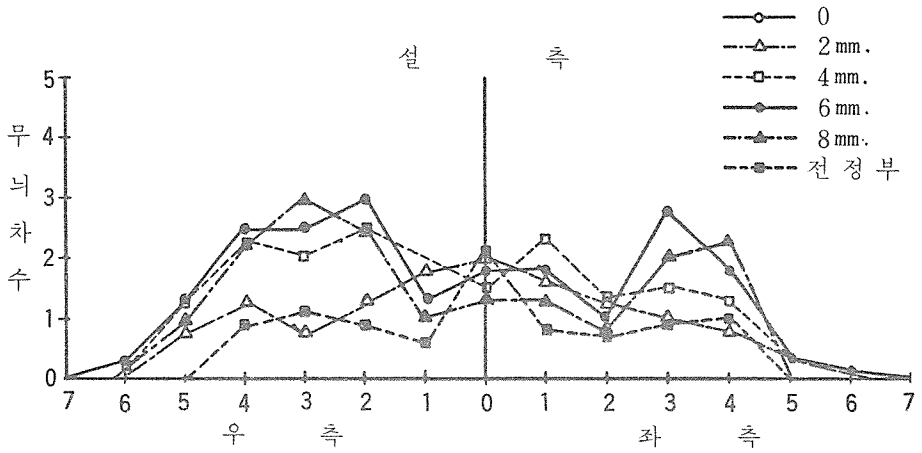
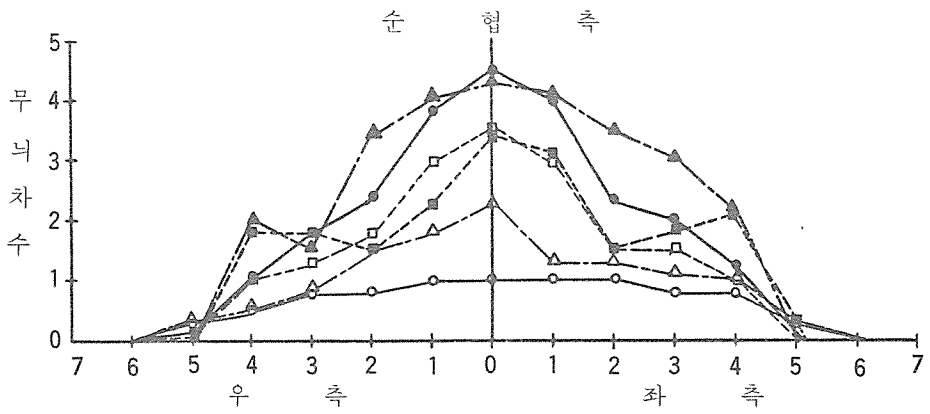


그림10. 전방교합시 하악 각 부위에서 순협축, 설축 및 최대 무늬차수의 도표

표 8. 전방교합시 상악 각 부위의 무늬치수

		순 협 측					구 개 측				
측정점 slice부위	전정부	8	6	4	2	0	2	4	6	8	
	좌 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.5	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	
4	0.8	1.0	1.0	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
3	0.8	1.0	1.3	1.0	0.5	0.5	0.1	0.8	1.3	1.0	
2	2.3	6.0	5.3	4.2	2.5	1.5	1.5	1.5	1.0	0.8	
1	2.9	5.2	5.0	4.2	3.0	2.0	2.3	2.0	1.5	1.0	
0	2.7	4.5	3.3	2.3	2.0	1.8	1.5	1.0	0.8	0.8	
1	3.0	5.0	4.5	3.2	2.7	1.5	1.5	1.5	1.3	1.0	
2	2.9	6.1	5.1	4.3	2.3	1.5	2.2	2.0	1.5	1.0	
3	0.8	2.0	1.8	1.3	1.0	0.5	1.0	1.5	1.3	1.0	
4	0.5	0.8	1.0	1.0	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	
5	0.5	1.0	1.0	0.8	0.8	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	
우 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

협측에서는 전치부, 작업측 소구치 및 제 1대구치 근심부가 높은 응력상태를 나타내었고, 설측에서는 제 1대구치 원심부까지 높은 상태를 보여주고 있다. 특히 중심교합 때와 비교해 볼 때 치조정에서 보다 전정부쪽으로 내려갈수록 훨씬 더 높은 응력분포상태를 나타내고 있다.

측방교합Ⅱ(좌, 우측 편하중)시 상악(표 6 및 그림 9)에 있어서 작업측 전치부, 소구치부위가 무늬차수 7.2차까지의 가장 높은 응력분포를 나타내었고, 이 부위는 작업측이 평형측 보다 2~4배의 응력상태를 나타내었다. 구개측도 순협측과 비슷한 양상을 나타내었으나 전체적으로 순협측 보다 낮은 응력분포상태를 나타내었다. 각 부위 최대 무늬차수 분포도 순협측의 분포와 거의 같은 양상을 나타내었다. 전방교합의 하악(표 7 및 그림 10) 순협

측에 있어서는 다른 교합형태와는 달리 전형적인 좌우 대칭형태를 나타내고 있으며 중절치 부위가 가장 높고 후방으로 갈수록 점차 낮아지는 분포를 나타내었다. 또한 전정부 부근의 응력분포가 치조정 부위보다 현저히 높았다. 그러나 설측에서는 순협측과는 달리 중절치 부위보다는 소구치 및 대구치 부위가 더 높은 응력분포상태를 나타내었다.

전방교합시 상악(표 8 및 그림 11)에 있어서는 하악과는 달리 중절치 부위보다 견치 및 제 1소구치 부위가 가장 높은 응력상태를 나타내었으며 좌, 우 대칭을 이루었고 구개측은 순협측보다 현저히 낮은 분포를 나타내었다.

상하악 모두에 있어 각 부위 최대 무늬차수도 좌우 대칭형태를 나타내었다.

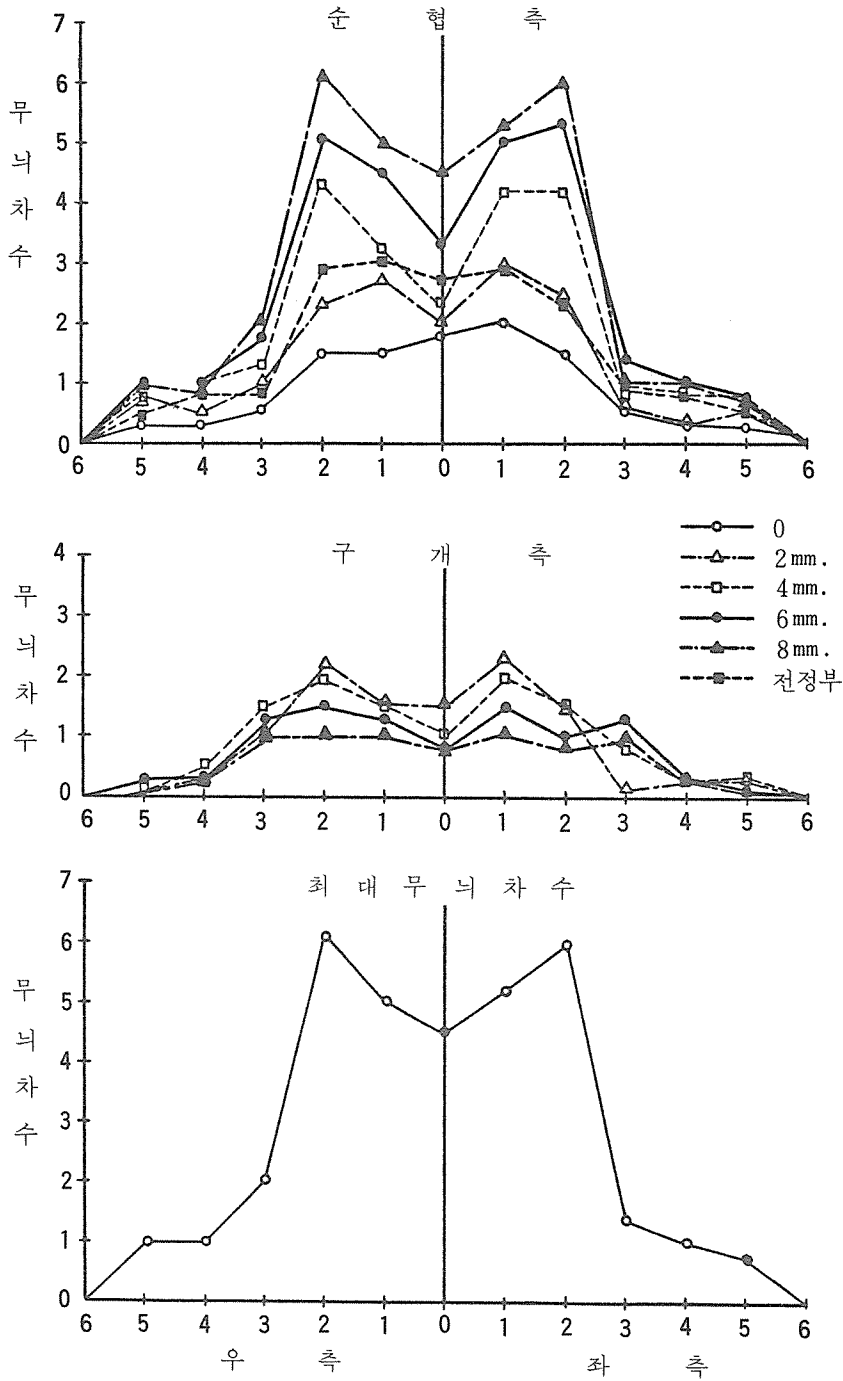


그림11. 전방교합시 상악 각 부위에서 순협축, 설축 및 최대 무늬차수의 도표

제 4 장 총괄 및 고안

무치악 환자 치료 술식에 대한 생물학적인 의의가 증대됨에 따라 의치 지지조직의 변화에 대한 관심이 점차 많아짐으로써, 인상 채득방법, 악골관계의 기록, 인공치의 선택과 배열의 문제에 있어서는 상당한 진보가 있었던 것은 사실이지만, 무치악 지지조직의 변화는 계속 일어나고 있는 것이다⁴³⁾

Basett⁴⁴⁾에 의하면 하중을 받은 골조직에서 압축을 받는 부위는 음전기를 띄게 되며, 이것이 골변형에 관계한다고 말했다. 압전현상(piezoelectric phenomena)으로 이와 같은 생물전기 반응이 하악의 흡수과정과 관계가 있다고 말하는 사람도⁴⁵⁾ 있다.

중심교합에서는 상악악 모두에 있어서 전치부에서 다소 높은 응력의 분포를 나타내고 제 2 소구치 부위까지 증가하였다가 제 1 대구치 이후부터는 감소하여 retromolar pad 부위, 상악은 maxillary tuberosity 후방 부위에서는 거의 응력을 받지 않는 상태로 되어 있다. 이는 Craig⁴²⁾ 및 Lopuck⁴⁶⁾의 연구결과와 일치하는 경향을 보이고 있다.

전치 및 소구치부가 대구치부보다 높은 응력을 나타낸다는 것이 가공과정이나 교합에 오차가 발생한 것으로 보고 재차 실험하였으나 같은 결과를 얻게 되었다. 이들은 의치 교합 경사면이 조직경사면과 상호 작용해서 하악에 torquing을 야기함으로써 나타나는 현상으로 설명하고 있다.

하악에서 실측이 순협측보다, 상악에서는 순협측이 구개측보다 높은 응력분포상태를 나타낸 것으로 보아 무치악골 흡수에 있어서 상악골은 내측으로, 하악골은 외측으로 흡수가 일어난다는 이론⁴⁷⁾을 다소 뒷받침 해 줄 수도 있는 가능성이 있을 것으로 추정된다. 상악에서는 치조정에서 보다 전정부에서 더 높은 응력상태를 나타내었으며 이는 이 부위의 오목한 형태로 인해 bending의 효과가 나타나 응력을 더 증가시켜 준 때문인 것으로 생각된다. 상악에서, 순협측 특히 전정부에서 epulis fissuratum이 빈발하는 것도 전정부가 더 높은 응력을 받는다는 것과 관계가 있는 것으로 생각된다.

좌우측 동일하중(측방교합 I)에 있어서 작업측과 평형측의 무늬차수를 고찰해 보면 평형측이 작업측보다 더 높은 응력분포상태를 나타내었으며, 그 차이는 하악에서보다 상악이 더 심했다.

Craig 등⁴²⁾이 좌우측 동일하중을 가했을 때도 상악 평형측이 작업측보다 더 높은 응력분포상태를 나타내었으며, 전치와 소구치부에서 더 큰 차이가 난 것으로 보고되어져 있다. 이는 평형측의 치아가 치조정을 벗어난 부위에서 상악 설측교두와 하악 협측교두가 축위 위치로 편위접촉함으로써 작업측 치아에서 처럼 상하 협설 교두가 양측성으로 접촉되는 상태와는 달리 bending의 효과를 나타내기 때문인 것으로 해석된다.

그러나 측방교합시 작업측의 저작근들이 평형측 저작근들보다 더 많은 저작압을 발휘하기 때문에, 저자는 작업측과 평형측에 대한 역학적인 공식을 유도하여 작업측과 평형측의 하중을 3:1로 차이를 두어, 좌우측 편하중(측방교합 II)에서는 작업측에 9kg., 평형측에 3kg.의 힘을 주었으며 이 때 작업측은 평형측보다 높은 응력분포를 나타내었으며 상악에서는 2~4배 더 높은 응력상태를 나타내었다.

하악에서는 중심교합때 보다 전정부쪽으로 더 응력이 집중된 상태를 보여주고 있다. 전방교합에서는 상악 전형적인 대칭형태를 나타내었으며 하악 순협측에서는 전치부로 응력이 집중되는 반면 설측에는 소구치 및 대구치부위가 높은 응력상태를 나타낸다. 상악에서는 전방교합으로 인해 응력이 전방으로 더 집중됨으로 인해 전정부 오목한 부위에는 bending의 효과가 더 크게 나타나며 이로 인해 순협측과 구개측의 응력분포 상태는 더 현저한 차이를 보이게 된다.

제 5 장 결 론

저자는 광탄성 재료 epoxy resin을 사용하여 무치악 실험 모형틀을 제작하고, 통법에 따라 제작한 총의치를 그 위에 장착한 후, 교합기에 부착하여 정적인 일정 하중상태에서 중심교합, 측방교합 및 전방교합의 총의치 교합상태에 따른 응력분포상태를 구명하기 위하여 3차원적 광탄성 응력동결법에 따른 slice 분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 상악 전치 및 소구치부에 있어서는 모든 교합형태에서 치조정에서 보다 오목한 형태의 전정부 부근에서 더 높은 응력상태를 나타내었으며 또한 구개측보다 순협측이 더 높은 응력을 나타내었다.

2. 하악에 있어서는 중심교합의 경우를 제외하고는 거의 모두 치조정에서 보다 전정부 가까이에

서 더 큰 응력분포를 나타내었다.

3. 중심교합에 있어서는 전치부에 다소 높은 응력분포를 나타내고 제 2 소구치 부위까지 증가하였다가 제 1 대구치 이후 부터는 감소하여 하악의 retromolar pad 부위, 상악의 maxillary tuberosity 후방 부위에서는 거의 응력을 받지 않았으며, 설측이 순협측보다 좀 더 높은 응력분포를 나타내었다.

4. 측방교합시 좌우측 동일하중을 가하였을 때는 평형측이 작업측보다 더 높은 응력분포를 나타내었으며, 좌우측 편하중(작업측 9kg., 평형측 3kg.)을 주었을 때는 작업측이 더 높은 응력을 나타내었고 상악에서는 약 2~4배의 차이가 났다.

5. 전방교합시는 전형적인 좌우대칭 형태의 응력분포 상태를 나타내었으며 하악 순협측은 전치부로 응력이 집중된 양상을 보여 주었다.

(끝으로 본 논문을 작성함에 지도와 심려를 아끼지 않으신 은사 김영수 교수님께 깊이 감사드리며, 많은 조언을 해주신 보철학 교실 교수님들께도 감사드리며, 실험에 시종 지도편달 해주신 한양대학교 공과대학 윤갑영 교수님과 광탄성 연구실원들에게도 감사를 드립니다.)

REFERENCES

1. Bulletin 10-C: Strain gage instrumentation, photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
2. Bulletin S-109-A : Brittle coating for stress analysis testing, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
3. Bulletin TDG-2-A : Moiré method of stress analysis, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
4. Timoshenko, S.P., and Goodier, J.N.: Theory of elasticity. 3rd ed., McGraw-Hill, p. 150, 1970.
5. 辻二郎, 西田正孝, 河田幸三: 光弾性實驗法, 日刊工業新聞社. 384-392, 1965.
6. Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., Lepeak, P.J., and Peyton, F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part 1. Two-dimensional photoelastic stress analysis of inlays, J. Prosthet. Dent., 17:277-291, 1967.
7. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton,

F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations.

8. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part V. The concept of occlusal reduction and pins, J. Prosthet. Dent., 22:565-577, 1969.
9. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restoration. Part VI. The concept of proximal reduction in compound restorations, J. Prosthet. Dent., 22:663-670, 1969.
10. Fisher, D.W., Caputo A.A., Shillingburg, Jr. H.T., and Duncanson, Jr. M.G.: Photoelastic analysis of inlay and only preparations, J. Prosthet. Dent., 33:47-53, 1975.
11. Craig, R.G., El-Ebrashi M.K., and Peyton F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part II. Two-dimensional photoelastic stress analysis of crowns, J. Prosthet. Dent., 17:292-302, 1967.
12. El-Ebrashi, M.K., Craig R.G., and Peyton F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part IV. The concept of parallelism of axial walls, J. Prosthet. Dent., 22:346-353, 1969.
13. El-Ebrashi, M.K., Craig R.G., and Peton F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part VII. Structural design and stress analysis of fixed partial dentures, J. Prosthet. Dent., 23:177-186, 1970.
14. Tillitson, E.W., Craig R.G., Farah, J.W., and Peyton F.A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part VIII. Surface strains on gold and chromium fixed partial dentures, J. Prosthet. Dent., 24:174-180, 1970.
15. Nally, J.N., Farah J.W., and Craig R.G. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part IX. Two-dimensional photoelastic stress analysis of procelain bonded to gold crowns, J. Prosthet. Dent., 25:307-315, 1971.

16. Thayer, H.H., and Caputo, A.A.: Effects of overdentures upon remaining oral structures, *J. Prosthet. Dent.*, 37:374-381, 1977.
17. Rochus Eisenrich : Zahnarzt Siegfried spies ; 9-29, 1979.
18. Brodsky, J.F., Caputo, A.A., and Furstman, L.L. : Root tipping ; Photoelastic-histopathologic correlation, *Amer. J. Ortho.*, 67:1-10, 1975.
19. Baeten, L.R. : Canine retraction : Photoelastic study, *Amer. J. Ortho.*, 67:11-23, 1975.
20. Nikolai R.J., and Schweiker, J.W. : Investigation of Root-Periodontium interface stresses and Displacements for Orthodontic Application, *Experimental mechanics* : 406-413, 1972.
21. Grajower, R., and Stern, N.: Method for measuring impression deformations with a modified photoelastic coating technique, *J. Prosthet. Dent.*, 31:431-434, 1974.
22. 윤성일 : 치관보철물에 작용하는 stress에 대한 광탄성학적 분석, 대한치과의사협회지, 제17권 : 47-55, 1979.
23. 조원행 : 가공의치에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적 분석, 대한치과보철학회지, 제18권 : 15-33, 1980.
24. 임정규 : 치관보철물의 인접변연부위에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적 분석, 대한치과보철학회지, 제18권 : 37-47, 1980.
25. 김준연 : 구치부 inlay수복물에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적 분석, 대한치과의사협회지, 제19권 : 593-608, 1981.
26. Mehringer, E.J. : Physiologically generated occlusion, *J. Prosthet. Dent.*, 30:373-379, 1973.
27. Ortman, H.R. : The role of occlusion in preservation and prevention in complete denture prosthodontics, *J. Prosthet. Dent.*, 25:121-138, 1971.
28. Abdullah, M.A. : Surface tension in retention of complete dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 28:141-144, 1972.
29. Blahova, Z., and Neuman, M. : Physical factors in retention of complete dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 25:230-235, 1971.
30. Faber, B.L. : Retention and stability of mandibular dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 17: 210-218, 1967.
31. Giglio, J.J., Lace, W.P., and Anchen, H. : Factors affecting retention and stability of complete dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 12:848-856, 1962.
32. Landa, J.L. : Biologic significance of balanced articulation in complete denture service, *J. Am. Dent. Assoc.*, 65:489-494, 1962.
33. Atwood, D.A., and Coy, W.A. : Clinical cephalometric and densitometric study of reduction of residual ridges, *J. Prosthet. Dent.*, 26:280-295, 1971.
34. Kelsey, C.C.: Alveolar bone resorption under complete denture, *J. Prosthet. Dent.*, 25: 152-161, 1971.
35. Epker, B.N., and Frost, H.M. : Correlation of Bone Resorption and Formation with the physical Behavior of Loaded Bone, *J. Dent. Res.*, 44:33-41, 1965.
36. Tallgren, A.T. : The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: A mixed-longitudinal study covering 25 years, *J. Prosthet. Dent.*, 27: 120-132, 1972.
37. Atwood, D.A. : Reduction of residual ridges : A major oral disease entity, *J. Prosthet. Dent.*, 26:266-279, 1971.
38. Campbell, R.A. : A comparative study of the resorption of the alveolar ridges in denture-wearers and non-denture wearers, *J. Am. Dent. Assoc.*, 60:143-153, 1960.
39. Wright, C. : Evaluation of the factors necessary to develop stability in mandibular dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 16:414-430, 1964.
40. Sears, V. : Thirty years of non-anatomic teeth, *J. Prosthet. Dent.*, 3 : 596, 1953.

41. Trapozzano, V.R. : Tests of balanced and nonbalanced occlusions, *J. Prosthet. Dent.*, 10:476-487, 1960.
42. Craig, R.G., Farah, J.W., and El-Tahawi, H.M. : Three-dimensional photoelastic stress analysis of maxillary complete dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 31:122-129, 1974.
43. Pendleton, E.C. : Changes in the denture supporting tissues, *J. Am. Dent. Assoc.*, 42:1-15, 1951.
44. Bassett, C.A. : Generation of Electric Potentials by Bone in Response to Mechanical Stress, *Science* 137:1063-1064, 1962.
45. Anderson, J.C., and Eriksson, C.: Piezoelectric properties of Dry and Wet Bone, *Nature*, 227:491-492, 1970.
46. Lopuck, S., Smith, J., and Caputo, A. : Photoelastic comparison of posterior denture occlusions, *J. Prosthet. Dent.*, 40: 18-22, 1978.
47. Boucher, C.O., Hickey, J.C., and Zarb, G.A. : Prosthodontic treatment for edentulous patients. 8th ed., Mosby : p 180, 1980.

THREE-DIMENSIONAL PHOTOELASTIC STRESS ANALYSIS OF COMPLETE DENTURE OCCLUSIONS

In Ho Jo, D.D.S., M.S.D.

Dept. of Prosthodontics, Graduate School, Seoul National University

(Advised by Associate Professor Yung Soo Kim,

D.D.S., M.S.D., Ph.D., M.Sc. (O.S.U.))

..... » Abstract «

Photoelastic stress analysis is useful in dentistry for evaluating stress characteristics of some systems.

Photoelastic stress analysis is based on the phenomenon, exhibited by most transparent solids, of becoming birefringent, or doubly refracting when stressed.

Among the three methods of photoelastic stress analysis, two-dimensional photoelasticity, three-dimensional photoelasticity, and photoelastic coating, three dimensional photoelasticity was used in this study.

The purpose of this study was to investigate the stress distribution when complete denture occluded in centric relation, lateral functional position and protrusive relation.

In this study, a representative subject of edentulous maxillary and mandibular arches of medium ridge height and form was replicated in a photoelastic epoxy resin.

Four identical sets of dentures were fabricated with 30 degree porcelain teeth.

Photoelastic epoxy models and complete dentures were mounted on a Whip-Mix articulator or Hanau H-2 articulator using a remounting jig to maintain centric and vertical positions.

The mounted dentures were loaded in a pure vertical direction with 12kg. and the stresses were frozen into epoxy edentulous model at 100°C in the stress freezing furnace.

The stress-frozen epoxy models were sliced with jeweler's saws into 6mm. thick slices. The slices were examined with a circular polariscope.

The results were as follows;

1. At the maxillary anteriors and premolars of all the complete denture occlusions, the stresses on the vestibular area had higher value than those on the alveolar crest.

The labio-buccal side showed higher stresses than the palatal side.

2. In the mandible, almost all the vestibular area showed higher stresses than the alveolar crest except occluding in centric relation.
3. In centric relation, the stresses were high at the anteriors, and increase to the second premolar, and decrease gradually from the first molar and disappeared at the retromolar pad of the mandible and the posterior maxillary tuberosity of maxilla.

The lingual side showed higher stresses than labiobuccal side.

4. In lateral functional position, the balancing side showed higher stresses than working side when the both sides loaded equally. But the result was upset when the both sides loaded differently (working side 9kg. and balancing side 3kg.), and the stresses at the working side had two or four times higher than those at the balancing side in the maxilla.
 5. In protrusive relation, stress distribution was symmetrical and the stresses at the labio-buccal side concentrated on the anteriors.
-

조인호 논문 사진부도

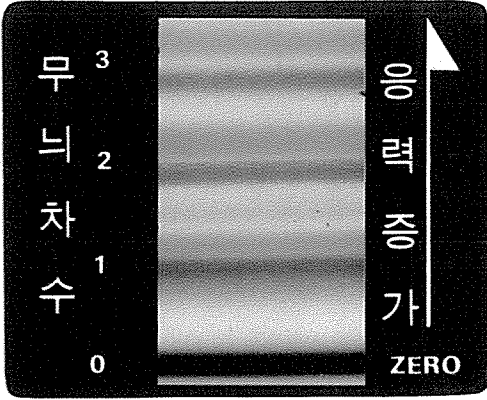
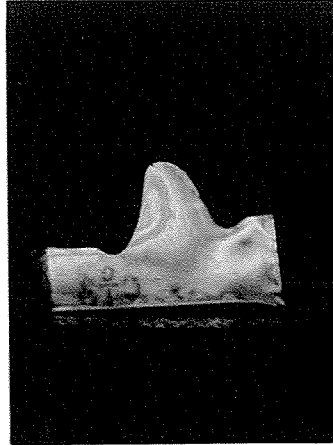
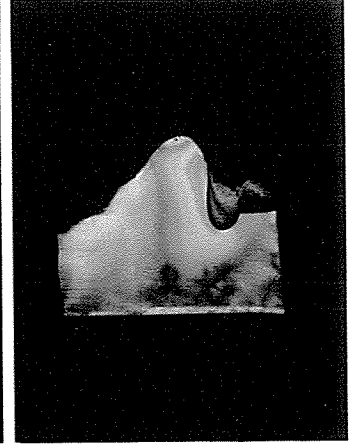


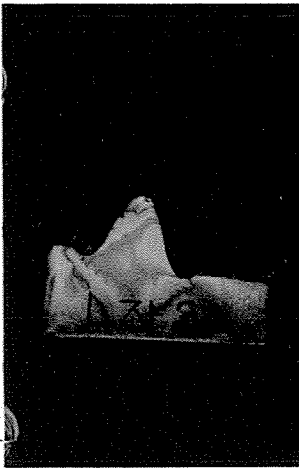
그림 3. 무늬차수



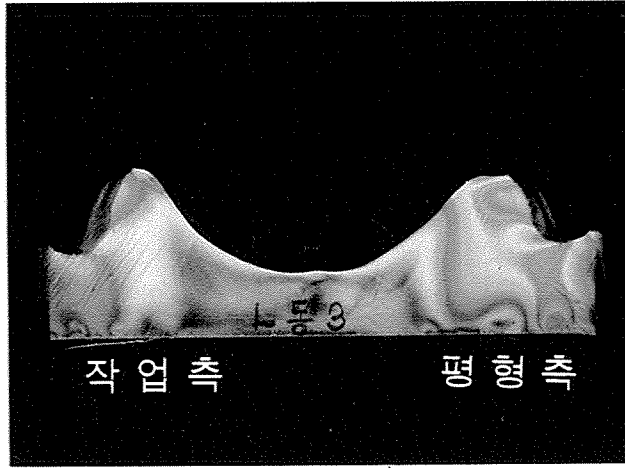
1-1 중심교합 하악우측 3



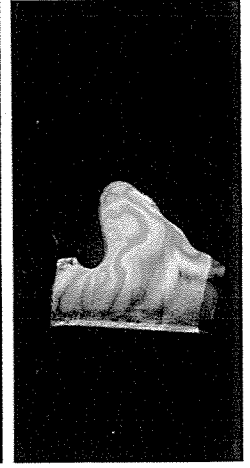
1-2 중심교합 상악좌측 2



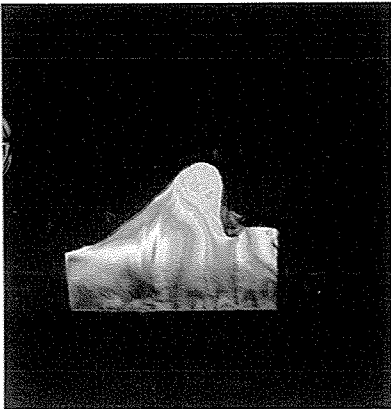
2-1 측방교합 I
(좌, 우측 동일하중)
하악평형측 3



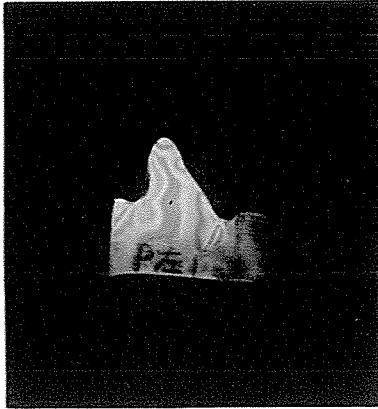
2-2 측방교합 I (좌, 우측 동일하중)
상악 3



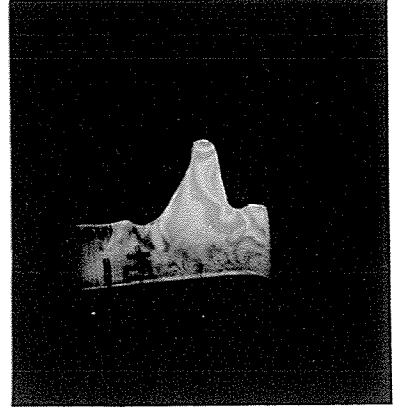
3-1 측방교합 II
(좌, 우측 편하중)
상악평형측 1



3-2 측방교합 II (좌, 우측 편하중)
상악작업측 1



4-1 전방교합 하악 좌측 1



4-2 전방교합 우측 1