2008년 2월 박사학위 논문

탄성 가철성 국소의치의 교합면 레스트 유무에 따른 광탄성 응력 분석

조선대학교 대학원

치의학과

황 영 필

탄성 가철성 국소의치의 교합면 레스트 유무에 따른 광탄성 응력 분석

Photoelastic stress analysis of the flexible removable partial denture with and without occlusal rest

2008 년 2 월 25 일

조선대학교 대학원

치의학과

황 영 필

탄성 가철성 국소의치의 교합면 레스트 유무에 따른 광탄성 응력 분석

지도교수 계 기 성

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함

2007 년 10 월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

황 영 필

황영필의 박사학위 논문을 인준함

- 위원장 원광대학교 교수 동진근
- 위 원 조선대학교 교수 강동완
- 위 원 조선대학교 조교수 최한철
- 위 원 조선대학교 교수 김병옥
- 위 원 조선대학교 교수 계기성
 - 2007 년 12월 일

조선대학교 대학원

ABS	TRACT ····································
Ι. ⁄	서 론1
Π. 9	연구재료 및 방법
Ш. (연구성적 ······13
IV. =	총괄 및 고안
V. 2	결 론

목 차

참고문헌	41
------	----

표 목 차

Table I. Black and white fringe order number and length of fringe	
order in CAD.	••••• 12
Table II. Color fringe order number and length of fringe order	
in CAD	•••••12
Table III. Fringe order number at each measuring point in the C-1,	
FX-1, FO-1 sliced ·····	••••• 31
Table IV. Fringe order number at each measuring point in the C-2,	
FX-2, FO-2 sliced specimen.	•••• 32
Table V. Fringe order number at each measuring point in the C-3,	
FX-3, FO-3sliced specimen.	•••• 33
Table VI. Fringe order number at each measuring point in the C-4,	
FX-4, FO-4 sliced specimen.	•••• 34

Fig.	1. Dental study model 3
Fig.	2. Duplicated orthodontic resin teeth
Fig.	3. Wax model with duplicated resin teeth
Fig.	4. Silicone mold 4
Fig.	5. Duplicated teeth simulated periodontal ligament
Fig.	6. Photoelastic epoxy resin model with resin teeth 4
Fig.	7. Preparation of abutment
Fig.	8. Metal framework on the epoxy resin model
Fig.	9. C-URPD on the epoxy resin model
Fig.	10. The 2nd premolar without rest seat
Fig.	11. impression taking
Fig.	12. FX-URPD on the epoxy resin model
Fig.	13. The 2nd premolar with rest seat
Fig.	14. impression taking
Fig.	15. FX-URPD on the epoxy resin model
Fig.	16. Vertical loading point as central fossa of the 1st molar7
Fig.	17. Vertical loading in the stress freezing furnace7
Fig.	18. Oblique loading point as buccal cusp tip of the 1st molar7
Fig.	19. Oblique loading in the stress freezing furnace7
Fig.	20. Stress freezing furnace
Fig.	21. Stress freezing cycle for the photoelastic epoxy resin model
	in the stress freezing furnace
Fig.	22. Photoelastic epoxy models were classified according to the
	type of the RPD and load condition
Fig.	23. Sectional direction for the sliced specimen
Fig.	24. Schematic of transparent photoelastic experiment device10
Fig.	25. Specimen was sliced mesio-distal direction(W&B)10

Fig. 26. Specimen was sliced bucco-lingual direction(color)10
Fig. 27. Measuring points of the fringe order number in the specimen
sliced to mesio-distal direction11
Fig. 28. Isochromatic fringe pattern of the C-1 photoelastic sliced
specimen13
Fig. 29. Photoelastic stress distribution chart of the C-1 sliced
specimen14
Fig. 30. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the C-1 sliced specimen14
Fig. 31. Isochromatic fringe pattern of the FX-1 photoelastic sliced
specimen15
Fig. 32. Photoelastic stress distribution chart of FX-1 sliced specimen15
Fig. 33. Fringe order number at each measuring point around
alveolar bone of the FX-1 sliced specimen16
Fig. 34. Isochromatic fringe pattern of the FO-1 photoelastic sliced
specimen16
Fig. 35. Photoelastic stress distribution chart of the FO-1 sliced
specimen
Fig. 36. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the FO-1 sliced specimen17
Fig. 37. Isochromatic fringe pattern of the C-2 photoelastic sliced
specimen 18
Fig. 38. Photoelastic stress distribution chart of C-2 sliced specimen. 18
Fig. 39. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the C-2 sliced specimen19
Fig. 40. Isochromatic fringe pattern of the FX-2 photoelastic sliced
specimen 19
Fig. 41. Photoelastic stress distribution chart of FX-2 sliced specimen20

Fig. 42. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the FX-2 sliced specimen
Fig. 43. Isochromatic fringe pattern of the FO-2 photoelastic sliced
specimen 21
Fig. 44. Photoelastic stress distribution chart of FO-2 sliced specimen21
Fig. 45. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the FO-2 sliced specimen22
Fig. 46. Isochromatic fringe pattern of the C-3 photoelastic sliced
specimen 22
Fig. 47. Photoelastic stress distribution chart of C-3 sliced specimen 23
Fig. 48. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the C-3 sliced specimen
Fig. 49. Isochromatic fringe pattern of the FX-3 photoelastic sliced
specimen 24
Fig. 50. Photoelastic stress distribution chart of FX-3 sliced specimen. \cdots 24
Fig. 51. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the FX-3 sliced specimen24
Fig. 52. Isochromatic fringe pattern of the FO-3 photoelastic sliced
specimen25
Fig. 53. Photoelastic stress distribution chart of FO-3 sliced specimen.····25
Fig. 54. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the FO-3 sliced specimen26
Fig. 55. Isochromatic fringe pattern of the C-4 photoelastic sliced
specimen26
Fig. 56. Photoelastic stress distribution chart of C-4 sliced specimen27
Fig. 57. Fringe order number at each measuring point around alveolar
bone of the C-4 sliced specimen27
Fig. 58. Isochromatic fringe pattern of the FX-4 photoelastic sliced
specimen 28

Fig. 59. Photoelastic stress distribution chart of FX-4 sliced specimen....28

- Fig. 62. Photoelastic stress distribution chart of FO-4 sliced specimen.....30

ABSTRACT

Photoelastic stress analysis of the flexible removable partial denture with and without occlusal rest

Hwang, Young-Phil, D.D.S., M.S.D. Advisor : Prof. Kay, Kee-Sung, D.D.S., M.S.D., Ph.D. Department of Dentistry, Graduate School of Chosun University.

The conventional clasp unilateral removable partial denture(URPD), the flexible URPD without occlusal rest, and the flexible URPD with occlusal rest were fabricated in the missing area of the lower right 1st and 2nd molar, and the stress distribution occuring at the alveolar bone around the abutment tooth and the residual alveolar ridge after applying the vertical load and the 15° oblique load of 60N was analyzed using the three dimensional photoelastic stress method.

The following results were obtained :

- 1. In case of vertical load, the flexible URPD without occlusal rest transmitted more stress to the alveolar bone around the terminal abutment and the residual alveolar ridge than the conventional clasp URPD, but the flexible URPD with occlusal rest transmitted less stress than the conventional clasp URPD.
- 2. In case of oblique load, the flexible URPD with and without occlusal rest transmitted more stress to the alveolar bone and the residual alveolar ridge than the conventional clasp URPD.

- 3. The flexible URPD with occlusal rest transmitted the stress totally not only to the alveolar bone around the terminal abutment and the residual alveolar ridge but also to the long axis of the abutment.
- 4. The flexible URPD with occlusal rest transmitted less stress totally to the alveolar bone around the terminal abutment and the residual alveolar ridge than the flexible URPD without occlusal rest.

As a result of this study, it is thought that the flexible URPD with occusal rest is clinically useful because it transmits less stress to the alveolar bone around the terminal abutment and residual alveolar ridge, and it must be considered to prepare the proper occlusal rest seat and to do the occlusal adjustment to remove the harmful occlusal interference during the lateral movement at the delivery to acquire better clinical results.

I. 서 론

치과 임상에서 제1,2 대구치가 상실되었거나 심한 치아우식증과 치주질환으로 인 하여 발치해야 하는 환자들을 어렵지 않게 만나게 된다. Battistuzzi 등¹⁾은 구치가 상실되면 근신경계의 불안정, 저작효율의 감소, 교합수직고경의 소실, 대합치의 정 출, 전치의 마모, 비심미적인 결과 등을 초래할 수 있으므로 기능적, 형태적 장애 회복과 잔존 구강 조직의 보존을 위해서 신속하게 적절한 보철물로 수복해 주어야 한다고 제안하였다.

편측으로 하악 대구치가 모두 상실된 환자에게 보철 수복하는 방법에는 임상적 으로 고정성 cantilever bridge, 가철성 국소의치, 임플란트를 이용한 보철 수복이 있다. 이 중에서 임플란트를 이용한 보철 수복이 우선적인 치료방법으로 인정되지 만 아직까지는 가철성 국소의치가 보편적인 치료방법으로 많이 쓰이고 있다²⁾. 가철 성 국소의치에는 클래스프를 이용한 국소의치, 어태치먼트를 이용한 국소의치³⁾, 코 너스 치관을 이용한 국소의치⁴⁾, 탄성 국소의치⁵⁾ 등이 있다. 일반적으로 국소의치⁵ 안정을 위해서 양측성으로 설계를 하게 되는데 이로 인해 반대측 치열까지 연결되 는 주연결장치의 금속 구조물로 인하여 환자가 불편감을 갖거나 국소의치를 위해 광범위하게 구강 형성을 하게 되므로 가능하면 편측성으로 설계한 여러 가지 가철

가철성 국소의치의 수복이 임상적으로 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 국소의 치에 가해지는 힘을 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제에 효율적으로 분산시키고 지대치를 건강한 상태로 유지해야 한다^{9,10)}. 가철성 국소의치의 교합력 분산에 대해 서는 인상재와 인상채득 방법, 의치상의 연장, 의치상의 위치와 적합도, 국소의치 금속구조물의 적합, 대합치의 양상, 지대치와 의치상의 연결 양식 등을 고려해야 하지만 국소의치의 설계와 재료의 특성도 영향을 미친다^{11,12)}.

가철성 국소의치에서 교합면 레스트는 국소의치의 수직적 지지를 부여하기 위해 치아 표면과 접촉하는 국소의치의 구성 요소로써 국소의치의 침강을 방지하여 설 정된 교합관계를 유지하고 연조직의 자극을 방지하며 교합압을 지대치 장축으로 전달하여 분산하는 기능을 한다¹³⁾. 일반적으로 유리단 국소의치의 교합면 레스트는 지대치의 교합면 근심측에 위치시키는데 그 이유는 레스트 방향으로 지대치가 회 전력을 받으므로 근심에 두어야 근심면 접촉 상태를 유지할 수 있고 전방부의 치 아에 의해 지대치가 지지를 받을 수 있기 때문이다. 또한 교합력이 국소의치에 가 해지면 레스트를 축으로 국소의치가 회전할 때 유지부 클래스프의 끝이 전하방으 로 이동하여 치아와 이개되므로 지대치에 torque를 가하지 않아 치아의 동요를 경 감시키기 때문이다¹⁴⁾.

이런 점을 고려해 볼 때, 임상에서 쉽게 적용할 수 있는 클래스프를 이용한 가철 성 국소의치와 교합면 레스트의 유무에 따라 설계된 탄성 국소의치에 대해서 교합 력이 어떻게 분산이 될 것인지 의문을 제기하게 되었다.

클래스프를 이용한 가철성 국소의치는 대부분 크롬-코발트 합금의 금속 구조물 과 아크릴 레진의 의치상으로 구성되어 있기 때문에 견고하고 구강내에 장착시 안 정적이지만 아크릴 레진의 단량체에 의한 알레르기 반응을 야기하거나 클래스프 부위가 파절될 가능성이 있으며 심미성이 좋지 못한 단점이 있다. 탄성 국소의치는 금속 구조물이 포함되지 않은 나일론 성분의 열가소성 레진으로 제작되기 때문에 견고하지는 않지만 심미적이고 알레르기 반응을 일으키지 않는 장점과 유연성이 좋아 충격에 잘 견디고 내재적 응력 분산 능력이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 탄성 국소의치로 결손 부위를 수복할 경우 클래스프를 이용한 국소의치에 비해 잔 존 지대치에 대하여 구강형성을 최소화할 수 있고 치료 술식이 간단하며 치료 기 간도 오래 걸리지 않는다¹⁵⁾.

최근에 가철성 탄성 국소의치가 부분적으로 결손된 부위, 특히 편측 구치부 유리 단 결손인 경우에 대한 보철 수복 방법으로 치과 임상에서 많이 적용되고 있다. 그 러나 그에 대한 실험적 연구가 이루어지지 않아 임상적 적용에 대한 근거가 부족 한 실정이다. 또한 탄성 국소의치가 심미적인 면에서는 클래스프를 이용한 국소의 치에 비해 우수하지만 유연성이 뛰어난 재료적 특성 때문에 안정성과 응력 분산에 대한 비교 연구가 필요하리라 생각되었다.

이에 본 연구는 하악 우측 제1,2 대구치가 결손된 부위에 수복할 수 있는 클래스 프를 이용한 편측 가철성 국소의치와 교합면 레스트의 유무에 따라 설계한 편측 탄성 국소의치를 3차원 광탄성 응력 분석법을 이용하여 비교함으로써 탄성 국소의 치에서의 교합면 레스트의 효과와 탄성 국소의치의 임상적 고려 사항을 알아보고 자 하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 왁스 연구모형 및 지대치의 제작

투명 실리콘 치은과 해부학적 형태의 치근을 가진 치아로 구성된 치과 연구모형 (dental study model, 121D-400G, Nissin Dental Products Inc., Japan)을 선택하고, 우측 견치, 제1,2 소구치를 실리콘 인상재인 Exafine putty(GC Co., Japan)와 Aquasil LV Ultra(Dentsply International Inc., U.S.A.)로 음형을 만든 후 교정용 레진(Orthodontic resin, Dentsply International Inc., U.S.A.)으로 복제하여 12 set를 만들었다(Figs. 1.2).

치과 연구모형의 우측 견치, 제1,2 소구치를 교정용 레진으로 복제한 치아(이하 레진치)로 교체하고 우측 제1.2 대구치를 제거한 후 그 부위를 왁스로 채워서 Kennedv 분류 Ⅱ급인 하악 편측 구치부 유리단 결손 모형을 준비하였다. 이 모형 을 가역성 수성콜로이드(Agar) 인상재로 인상을 채득하여 음형을 만들고 세 개의 레진치를 모형에서 제거하여 가역성 수성콜로이드 음형의 제자리에 잘 끼워 고정 한 후 왁스(Extra hard wax, Dae-dong Industry, Korea)를 녹여 부어서 왁스 모형 을 제작하였다. 그리고 제작될 광탄성 모형의 응력 분석을 위하여 모형의 기저부에 약 5cm 정도의 높이로 왁스를 첨가하여 왁스 모형을 완성하였다(Fig. 3).



Fig. 1. Dental study Fig. 2. Duplicated model.

Fig. 3. Wax model with orthodontic resin teeth. duplicated resin teeth.

2. 광탄성 연구모형의 제작

Kennedy 분류 Ⅱ급으로 제작된 하악 왁스 모형을 실리콘(Dublish 15, Dreve,

Germany)과 경화제(Dublish 15, Dreve, Germany)를 1:1로 혼합하여 인상을 채득한 상태로 20℃에서 12시간 동안 경화시켜서 음형을 만들었다(Fig. 4). 세 개의 레진치 의 치근면에 Rubber base adhesive(Kerr Co., U.S.A.)를 1-2회 도포하여 약 0.2mm 두께의 치주인대를 재현한 후 실리콘 음형의 제자리에 잘 끼워 고정하였다(Fig. 5). 에폭시 레진(CY 230, Nagase Chemtex Co., Japan)과 경화제(HY 956, Nagase Chemtex Co., Japan)를 5:1로 기포가 생기지 않도록 잘 혼합하여 실리콘 음형에 붓고 20℃에서 24시간을 유지하며 경화시킨 다음 실리콘 음형과 에폭시 레진을 분 리하였다. 위와 같은 방법으로 모두 열 두 개의 광탄성 에폭시 레진 모형을 제작하 였다(Fig. 6).



Fig. 4. Silicone mold.



with simulated perio-



Fig. 5. Duplicated teeth Fig. 6. Photoelastic epoxy resin model with resin teeth.

3. 가철성 국소의치의 제작

광탄성 응력 분석을 위해 클래스프를 이용한 편측 유리단 가철성 국소의치와 탄 성 국소의치를 각각의 설계에 맞도록 다음과 같이 제작하였다.

dontal ligament.

(1) 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(C-URPD) 제작

클래스프를 이용한 국소의치 설계에 따라 하악 우측 견치와 제1.2 소구치 레진치 를 통상적인 방법으로 삭제한 후(Fig. 7), 실리콘 인상재인 Exafine light body(GC Co., Japan)와 Exafine putty(GC Co., Japan)로 잔존 치조제 부위를 포함하여 인상 채득하였다. 경석고를 부어 주모형을 제작하였다. 광탄성 모형에 치조제의 점막을

재현하기 위한 공간을 부여하기 위해서 주모형의 잔존 치조제 부위에 1.9mm의 왁스 로 균일하게 relief한 후, 주모형을 agar로 복제해서 매몰재(Ticonium[™] Investic investment, Ticonium Co., U.S.A.)를 부어 매몰재 모형을 제작하였다. 금속 구조물 은 Ni-Cr 합금(Talladium[™] Vi-Star, Talladium Inc., U.S.A.)을 사용하여 제작하였 다(Fig. 8). 인공치(Livera[™] Posterior, Shofu Inc., Japan)를 배열하고 매몰한 후 의치상 레진(ISO resin Q[®], High-dental Japan Co. Ltd., Japan)을 주입식 방식으로 중합하였고 연마하여 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(unilateral removable partial denture using the clasp, C-URPD)를 완성하였다. 치조제의 점 막을 재현하기 위해서 레진 의치상에 실리콘 이장재인 Fit-checker(GC Co., Japan) 를 도포하고 국소의치를 광탄성 모형에 장착하여 레진 의치상과 광탄성 모형 사이 에 미리 만들어 둔 1.9mm의 빈 공간을 실리콘 이장재로 채우고, 경화된 후 과도한 실리콘 이장재는 삭제하였다(Fig. 9).



abutment.

Fig. 7. Preparation of Fig. 8. Metal framework Fig. 9. C-URPD on the on the epoxy resin model. epoxy resin model.

(2) 교합면 레스트가 없는 편측 탄성 가철성 국소의치(FX-URPD) 제작

제1.2 소구치에 지대치 형성을 하지 않은 상태에서 인상을 채득하여 주모형을 제 작하였다(Figs. 10, 11). 잔존 치조제 부위에 1.9mm의 왁스로 균일하게 relief한 후 주모형을 agar로 복제해서 매몰재 모형을 제작하였다. 매몰재 모형 위에서 협측은 제2 소구치의 협측 치경부 언더컷 부위에 wrap-around 클래스프를 위치시키고 설 측은 제1,2 소구치의 설면을 모두 피개하도록 설계하여 조각한 후 매몰하였다. 생 체 적합하고 유연성이 뛰어난 나일론 성분의 열가소성 레진인 Valplast[®](Valplast International Co., U.S.A.)를 주입식 방식으로 중합하여 교합면 레스트가 없는 편측 탄성 가철성 국소의치(unilateral flexible removable partial denture without occlusal rest, FX-URPD)를 제작하였다(Fig. 12).



Fig. 10. The 2nd premolar Fig. 11. impression taking. Fig. 12. FX-URPD on the without rest seat. epoxy resin model.

(3) 교합면 레스트가 있는 편측 탄성 가철성 국소의치(FO-URPD) 제작 제2 소구치 교합면의 근심측에 레스트 시트를 형성한 후 인상을 채득하여 주모 형을 제작하였다(Figs. 13, 14). FX-URPD의 제작과정과 동일한 방법으로 교합면 레스트가 있는 편측 탄성 가철성 국소의치(unilateral flexible removable partial denture with occlusal rest, FO-URPD)를 제작하였다(Fig. 15).



Fig. 13. The 2nd premolar Fig. 14. impression taking. Fig. 15. FO-URPD on the with rest seat. epoxy resin model.

4. 하중 조건 및 응력 동결

하중량은 이전에 연구한 문헌을 참고하여 광탄성 에폭시 레진 모형에 관찰할

만한 무늬차수가 나타날 수 있는 60N으로 결정하였다. 하중은 수직하중과 경사하 중을 가하기로 결정하였는데 수직하중을 가할 경우에는 하중점을 하악 우측 제1 대구치의 중심와로 결정하였고(Figs. 16, 17), 경사하중을 가할 경우에는 하악 우측 제1 대구치의 협측 교두정을 하중점으로 하고 15°를 경사하기로 결정하였다(Figs. 18, 19). 응력 동결은 응력 동결로(PA-2S, Riken Keiki Fine Instrument Co., Japan)를 사용하여 동결 주기에 따라서 시행하였다(Figs. 20, 21). 응력이 동결된 열 두 개의 광탄성 에폭시 모형을 보철물의 종류와 하중 조건에 따라 분류하였다 (Fig. 22).



Fig. 16. Vertical loading point as central fossa of the 1st molar.



Fig. 17. Vertical loading in the stress freezing furnace.



Fig. 18. Oblique loading point as buccal cusp tip of the 1st molar.





Fig. 20. Stress freezing furnace.



Fig. 21. Stress freezing cycle for the photoelastic epoxy resin model in the stress freezing furnace.



Fig. 22. Photoelastic epoxy models were classified according to the type of the RPD and load condition.

5. 절단 시편 제작

응력 동결이 끝난 광탄성 에폭시 레진 모형에서 국소의치를 제거한 후, 금속 절 단용 톱을 이용하여 근원심 방향과 협설 방향으로 절단하였다. 근원심 방향으로 절 단할 경우에는 치조정을 중심으로 5.5~6.2mm의 두께가 되고 우측 견치, 제1,2 소구 치와 유리단이 포함되도록 절단하였고(Fig. 23 ④), 협설 방향으로 절단할 경우에는 치조정에 수직이 되도록 치아와 인공치 중심을 포함하여 1.5~3.0mm의 두께가 되도 록 절단하였다(Fig. 23 ⑧). 총 열 두 개의 광탄성 모형에서 얻어진 절단시편을 절 단면이 활택하게 되도록 연마기를 이용하여 연마한 후 광탄성 무늬차수를 선명하 게 관찰하기 위해 a-bromonaphthalene과 유동파라핀을 1: 0.585로 섞은 혼합액에 침전시켰다.



Fig. 23. Sectional direction for the sliced specimen(M2: 2nd molar, M1: 1st molar, P2: 2nd premolar, P1: 1st premolar, C: canine). A: mesio-distal section, B: bucco-lingual section.

6. 각 시편의 계측점 및 무늬차수 측정

열 두 개의 절단시편 중에 근원심 방향으로 절단한 여섯 개의 절단시편은 광탄 성 무늬가 잘 나타나 투과형 광탄성 실험장치를 이용하여 검은색의 등색선 (isochromatic line)만으로 관찰하였다(Figs. 24, 25). 반면에 협설 방향으로 절단한 여섯 개의 절단시편은 광탄성 무늬가 적게 나타나 그 차이를 보다 세분하여 측정 하기 위해서 칼라색의 등색선과 등경선(isoclinic line)으로 관찰하였다(Fig. 26). 각 절단시편의 광탄성 무늬를 180mm macro 렌즈가 장착된 디지털 카메라(EOS 20D, Canon, Japan)로 사진 촬영하였다. 촬영된 사진상에서 열 일곱 개의 계측점을 정한 후 무늬차수를 측정하여 광탄성 응력 분포도를 그리고 계측점에 따른 무늬차수를 표와 그래프로 나타내었다(Fig. 27, Tables Ⅰ, Ⅱ).



Fig. 24. Schematic of transparent photoelastic experiment device. ①: light source, ②: polarizer and quarter wave plate 1, ③: specimen, ④: loading device, ⑤: analyzer and quarter wave plate, ⑥: CCD camera.



Fig. 25. Specimen was sliced mesio-distal direction(B&W).



Fig. 26. Specimen was sliced bucco-lingual direction(color).



Fig. 27. Measuring points of the fringe order number in the specimen sliced to mesio-distal direction.

- C1: Distal side(cervical) of the root of the canine
- C2: Distal side(middle) of the root of the canine
- C3: Root apex of the canine
- C4: Mesial side(middle) of the root of the canine
- C5: Mesial side(cervical) of the root of the canine
- P11: Distal side(cervical) of the root of the 1st premolar
- P12: Distal side(middle) of the root of the 1st premolar
- P13: Root apex of the 1st premolar
- P14: Mesial side(middle) of the root of the 1st premolar
- P15: Mesial side(cervical) of the root of the 1st premolar
- P21: Distal side(cervical) of the root of the 2nd premolar
- P22: Distal side(middle) of the root of the 2nd premolar
- P23: Root apex of the 2nd premolar
- P24: Mesial side(middle) of the root of the 2nd premolar
- P25: Mesial side(cervical) of the root of the 2nd premolar
- M1: Central fossa just below the 1st molar artificial tooth(loading point)
- M2: Central fossa just below the 2nd molar artificial tooth

B&W	Fringe order(N)	Length of fringe order in CAD	B&W	Fringe order(N)	Length of fringe order in CAD
Black	0.0	0.0cm	Black	8.0	8.0cm
White	0.5	0.5cm	White	8.5	8.5cm
Black	1.0	1.0cm	Black	9.0	9.0cm
White	1.5	1.5cm	White	9.5	9.5cm
Black	2.0	2.0cm	Black	10.0	10.0cm
White	2.5	2.5cm	White	10.5	10.5cm
Black	3.0	3.0cm	Black	11.0	11.0cm
White	3.5	3.5cm	White	11.5	11.5cm
Black	4.0	4.0cm	Black	12.0	12.0cm
White	4.5	4.5cm	White	12.5	12.5cm
Black	5.0	5.0cm	Black	13.0	13.0cm
White	5.5	5.5cm	White	13.5	13.5cm
Black	6.0	6.0cm	Black	14.0	14.0cm
White	6.5	6.5cm	White	14.5	14.5cm
Black	7.0	7.0cm	Black	15.0	15.0cm
White	7.5	7.5cm			

Table I. Black and white fringe order number and length of fringe order in CAD.

Table	Π.	Color	fringe	order	number	and	length	of	fringe	order	in	CAD.
-------	----	-------	--------	-------	--------	-----	--------	----	--------	-------	----	------

Fringe Length Color order fring (N) order in		Length of fringe order in CAD	Color	Fringe order (N)	Length of fringe order in CAD
Black	0.00		Rose red	1.82	1.82cm
Gray	0.28	0.28cm	Purple(tint of passage no. 2)	2.00	2cm
White	0.45	0.45cm	Green	2.35	2.35cm
Pale yellow	0.60	0.60cm	Green-yellow	2.50	2.50cm
Orange	0.80	0.80cm	Red	2.65	2.65cm
Dull red	0.90	0.90cm	Red/green transition(tint of passage no. 3)	3.00	3.00cm
Purple(tint of passage no. 1)	1.00	1.00cm	Green	3.10	3.10cm
Deep blue	1.08	1.08cm	Pink	3.65	3.65cm
Blue-green	1.22	1.22cm	Pink/green transition(tint of passage no. 4)	4.00	4.00cm
Green-yellow	1.39	1.39cm	Green	4.15	4.15cm
Orange	1.63	1.63cm			

Ⅲ. 연구 성적

열 두 개의 절단시편을 a-bromonaphthalene과 유동파라핀을 1: 0.585로 섞은 혼 합액에 침전시키고 투과형 광탄성 실험장치를 사용하여 근원심 방향으로 절단한 시편은 흑백 무늬로, 협설 방향으로 절단한 시편은 칼라 무늬로 관찰하였다. 세 가 지 종류의 국소의치에 의해 지대치 주위 치조골 및 의치상 하부의 잔존 치조제에 발생한 응력 분포를 쉽게 비교할 수 있도록 정해진 계측점의 광탄성 무늬차수를 측정하여 응력 분포도 및 표와 그래프로 나타내었다.

1. 수직하중을 가한 후 근원심 방향으로 절단한 경우

(1) 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(C-1)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 중심와 직하방 근처에서 9.5차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차수가 각각 1.0차, 2.0차, 7.0차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조 제 부위에는 각각 8.5차, 4.5차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근단 부위, 치경부, 치근 중간 부위 순으로 무늬차수가 높게 나타났다. 제2 소구치에서는 치근단 부위 에서 가장 높게 나타났으며, 근심측에 비해 원심측에서 무늬차수가 더 높게 관찰되 었고 치경부와 치근 중간 부위에서 동일하게 나타났다(Figs. 28~30).



Fig. 28. Isochromatic fringe pattern of the C-1 photoelastic sliced specimen.



Fig. 29. Photoelastic stress distribution chart of the C-1 sliced specimen.



Fig. 30. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the C-1 sliced specimen.

(2) 교합면 레스트가 없는 탄성 국소의치(FX-1)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 중심와 직하방 근처에서 15.5차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차수가 각각 1.5차, 2.5차, 7.5차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조 제 부위에는 각각 11.0차, 4.0차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근단 부위의 무늬 차수가 치경부와 치근 중간 부위에 비해서 다소 높게 나타났으며 치경부와 치근 중간 부위 사이에는 큰 차이가 없게 나타났다. 제2 소구치에서는 근심측에 비해 치 근단 부위와 원심측에서 무늬차수가 현저하게 높게 나타났으며 원심측 치경부와 치근 중간 부위에 나타난 무늬차수는 동일하며 치근단 부위에서 보다 더 높게 나타났다(Figs. 31~33).



Fig. 31. Isochromatic fringe pattern of the FX-1 photoelastic sliced specimen.



Fig. 32. Photoelastic stress distribution chart of FX-1 sliced specimen.



Fig. 33. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FX-1 sliced specimen.

(3) 교합면 레스트가 있는 탄성 국소의치(FO-1)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 중심와 직하방 근처에서 8.0차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차수가 각각 1.0차, 1.0차, 5.5차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조 제 부위에는 각각 7.0차, 4.5차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치경부, 치근 중간 부 위, 치근단 부위에 나타난 무늬차수가 큰 차이 없게 나타났다. 제2 소구치에서는 근심측에 비해 치근단 부위와 원심측에서 무늬차수가 더 높게 나타났으며 원심측 치근 중간 부위, 치경부, 치근단 부위 순으로 높게 나타났다(Figs. 34~36).



Fig. 34. Isochromatic fringe pattern of the FO-1 photoelastic sliced specimen.



Fig. 35. Photoelastic stress distribution chart of the FO-1 sliced specimen.



Fig. 36. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FO-1 sliced specimen.

2. 수직하중을 가한 후 협설 방향으로 절단한 경우

(1) 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(C-2)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편 중에서 최대 무늬차수는 제2 대구치 중심와 직하방 에서 협설 방향으로 절단한 시편에서 2.7차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소 구치의 치근단을 중심으로 협설로 절단한 시편에서 최대 무늬차수가 각각 0.5차, 0.8차, 2.3차로 나타났다. 제1 대구치 중심와 직하방에서 협설로 절단한 시편에서 나타난 최고 무늬차수는 1.5차로 제2 소구치 주위 치조골과 제2 대구치 중심와 직 하방 잔존 치조제에 나타난 것보다 다소 낮게 관찰되었다. 제1 소구치에서는 치근 의 협측에 나타난 무늬차수가 치근단과 설측에서 보다 다소 높게 나타났으며 최대 무늬차수가 치근의 협측 중간 부위보다 약간 치경부쪽에서 관찰되었다. 제2 소구치 에서도 치근의 협측에 나타난 무늬차수가 치근단과 설측에서 보다 더 높게 나타났 으며 협측 치경부와 치근 중간 부위에 나타난 무늬차수는 2.3차로 동일하였다(Figs. 37~39).



Fig. 37. Isochromatic fringe pattern of the C-2 photoelastic sliced specimen.



Fig. 38. Photoelastic stress distribution chart of C-2 sliced specimen.



Fig. 39. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the C-2 sliced specimen.

(2) 교합면 레스트가 없는 탄성 국소의치(FX-2)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편 중에서 최대 무늬차수는 제2 대구치 중심와 직하방 과 제2 소구치에서 협설 방향으로 절단한 시편에서 2.0차로 나타났다. 견치, 제1 소 구치의 치근단을 중심으로 협설로 절단한 시편에서 최대 무늬차수가 각각 0.5차, 0.7차로 나타났다. 제1 대구치 중심와 직하방에서 협설로 절단한 시편에서 나타난 최고 무늬차수는 1.0차로 제2 소구치 주위 치조골과 제2 대구치 중심와 직하방 잔 존 치조제에 나타난 것보다 다소 낮게 관찰되었다. 제1 소구치에서는 치근 주위 치 조골에 나타난 무늬차수가 큰 차이 없게 관찰되었다. 제2 소구치에서는 최대 무늬 차수가 치근의 협측 중간 부위에서 관찰되었으며 반대로 설측 치경부에서 무늬 차 수가 가장 낮게 나타났다(Figs. 40~42).



Fig. 40. Isochromatic fringe pattern of the FX-2 photoelastic sliced specimen.



Fig. 41. Photoelastic stress distribution chart of FX-2 sliced specimen.



Fig. 42. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FX-2 sliced specimen.

(3) 교합면 레스트가 있는 탄성 국소의치(FO-2)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편 중에서 최대 무늬차수는 제2 소구치에서 협설 방향 으로 절단한 시편에서 2.0차로 나타났다. 견치, 제1 소구치의 치근단을 중심으로 협 설로 절단한 시편에서 최대 무늬차수가 각각 0.5차, 0.8차로 나타났다. 제1 대구치 중심와 직하방에서 협설 방향으로 절단한 시편에서 나타난 최고 무늬차수는 1.5차 로 제2 대구치 중심와 직하방 잔존 치조제에 나타난 것보다 다소 낮게 관찰되었다. 제1 소구치에서는 치근단 부위에 나타난 무늬차수가 치근의 협측과 설측 치조골에 서보다 다소 높게 나타났다. 제2 소구치에서는 최대 무늬차수가 치근단 부위에서 나타났으며 그 다음으로 치근의 협측과 설측 중간 부위, 치근의 협측과 설측 치경 부 순으로 높게 관찰되었다(Figs. 43~45).



Fig. 43. Isochromatic fringe pattern of the FO-2 photoelastic sliced specimen.

Nmax=1.8 Nmax=1.5 Nmax=2 Nmax=0.8 Nmax=0.5



Fig. 44. Photoelastic stress distribution chart of FO-2 sliced specimen.



Fig. 45. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FO-2 sliced specimen.

3. 경사하중을 가한 후 근원심 방향으로 절단한 경우

(1) 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(C-3)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 협측 교두정 직하방 근처에서 7.0 차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차 수가 각각 2.0차, 3.0차, 6.0차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조제 부위에는 각각 6.0차, 5.5차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근단 부위에서 최대 무늬차수가 나타났으며 근심측에 비해 원심측에서 무늬차수가 더 높게 관찰 되었다. 제2 소구치에서는 치근단 부위와 원심측 치근의 중간 부위에서 동일한 차 수로 가장 높게 나타났다(Figs. 46~48).



Fig. 46. Isochromatic fringe pattern of the C-3 photoelastic sliced specimen.



Fig. 47. Photoelastic stress distribution chart of C-3 sliced specimen.



Fig. 48. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the C-3 sliced specimen.

(2) 교합면 레스트가 없는 탄성 국소의치(FX-3)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 협측 교두정 직하방 근처에서 14.0 차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차 수가 각각 2.0차, 3.0차, 9.0차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조제 부위에는 각각 11.0차, 5.5차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근단 부위에 서 최대 무늬차수가 나타났으며 근심측 치근의 중간 부위에서 다소 낮은 무늬차수 가 관찰되었다. 제2 소구치에서는 원심측 치경부에서 최대 무늬차수가 나타났으며 치근의 근심측에 비해 치근단 부위와 치근의 원심측에서 무늬차수가 현저히 높게 관찰되었다(Figs. 49~51).



Fig. 49. Isochromatic fringe pattern of the FX-3 photoelastic sliced specimen.



Fig. 50. Photoelastic stress distribution chart of FX-3 sliced specimen.



Fig. 51. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FX-3 sliced specimen.

(3) 교합면 레스트가 있는 탄성 국소의치(FO-3)의 시편

시편의 최대 무늬차수는 하중점인 제1 대구치 협측 교두정 직하방 근처에서 11.0 차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근 주위 치조골에는 최대 무늬차 수가 각각 2.0차, 4.0차, 9.0차로 나타났으며 제1 대구치, 제2 대구치 직하방의 잔존 치조제 부위에는 각각 9.0차, 6.0차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근단 부위에서 최대 무늬차수가 나타났으며 원심측 치경부에서 가장 낮은 무늬차수가 관찰되었다. 제2 소구치에서는 근심측에 비해 치근단 부위와 원심측에서 무늬차수가 현저히 높 게 나타났으며 원심측 치경부, 원심측 치근의 중간 부위, 치근단 부위 순으로 무늬 차수가 높게 나타났다(Figs. 52~54).



Fig. 52. Isochromatic fringe pattern of the FO-3 photoelastic sliced specimen.



Fig. 53. Photoelastic stress distribution chart of FO-3 sliced specimen.



Fig. 54. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FO-3 sliced specimen.

4. 경사하중을 가한 후 협설 방향으로 절단한 경우

(1) 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치(C-4)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편에 나타난 최대 무늬차수는 모두 0.8차로 동일하였 다. 견치, 제1 소구치, 제2 소구치의 치근단을 중심으로 협설로 잘단한 시편에서 무 늬차수가 0.8차 이하로 매우 낮게 관찰되었고 계측점에 따른 무늬차수의 차이도 거 의 없게 나타났다(Figs. 55~57).



Fig. 55. Isochromatic fringe pattern of the C-4 photoelastic sliced specimen.



Fig. 56. Photoelastic stress distribution chart of C-4 sliced specimen.



Fig. 57. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the C-4 sliced specimen.

(2) 교합면 레스트가 없는 탄성 국소의치(FX-4)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편 중에서 최대 무늬차수는 제2 소구치에서 협설 방향 으로 절단한 시편에서 2.5차로 나타났다. 견치, 제1 소구치의 치근단을 중심으로 협 설로 절단한 시편에서 최대 무늬차수가 각각 0.5차, 1.0차로 나타났다. 제1 대구치 중심와 직하방에서 협설 방향으로 절단한 시편에서 나타난 최고 무늬차수는 1.5차 로 제2 대구치 중심와 직하방 잔존 치조제에 나타난 것보다 다소 낮게 관찰되었다. 제1 소구치에서는 치근의 설측 치조골과 치근단 부위에 비해 치근의 협측 치경부 와 치근 중간 부위에서 무늬차수가 다소 높게 나타났다. 제2 소구치에서는 최대 무 의차수가 협측 치근의 중간 부위에서 나타났으며 그 다음으로 치근단 부위와 치근 의 설측 중간 부위, 치근의 협측과 설측 치경부 순으로 높게 관찰되었다(Figs. 58∼ 60).



Fig. 58. Isochromatic fringe pattern of the FX-4 photoelastic sliced specimen.



Fig. 59. Photoelastic stress distribution chart of FX-4 sliced specimen.



Fig. 60. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FX-4 sliced specimen.

(3) 교합면 레스트가 있는 탄성 국소의치(FO-4)의 시편

치아 위치별 다섯 개의 시편 중에서 최대 무늬차수는 제1 대구치 중심와 직하방 에서 협설 방향으로 절단한 시편에서 1.8차로 나타났다. 견치, 제1 소구치, 제2 소 구치의 치근단을 중심으로 협설로 절단한 시편에서 최대 무늬차수가 각각 0.5차, 0.8차, 1.5차로 나타났다. 제2 대구치 중심와 직하방에서 협설로 절단한 시편에서는 최고 무늬차수가 1.0차로 나타났다. 제1 소구치에서는 치근의 협측 중간 부위에서 무늬차수가 가장 높게 나타났으며 설측 치경부에서는 무늬차수가 나타나지 않았다. 제2 소구치에서도 치근의 협측 중간 부위에서 무늬차수가 가장 높게 나타났으며 설측 치경부에서 무늬차수가 가장 낮게 관찰되었다(Figs. 61~63).



Fig. 61. Isochromatic fringe pattern of the FO-4 photoelastic sliced specimen.



Fig. 62. Photoelastic stress distribution chart of FO-4 sliced specimen.



Fig. 63. Fringe order number at each measuring point around alveolar bone of the FO-4 sliced specimen.

5. 세 가지 가철성 국소의치에 대한 무늬차수의 비교 분석 결과

절단시편에 대하여 견치의 치근 주위 치조골에도 다섯 개의 계측점을 정하였으 나 절단시편의 무늬차수를 측정한 결과 세 가지 가철성 국소의치에 의해 견치의 주위 치조골에 발생하는 응력이 경미하고 세 가지 국소의치들 사이에 거의 차이가 없게 나타났기 때문에 비교, 분석할 때에는 견치의 치근 주위에 나타난 무늬차수는 제외하였고, 제1 소구치와 제2 소구치의 치근 주위 치조골에 각각 다섯 개의 계측 점과 제1 대구치 중심와 직하방과 제2 대구치 중심와 직하방의 잔존 치조제에 정 한 계측점을 포함하여 모두 열 두 개의 계측점에 대해서 무늬차수를 비교, 분석하 였다. 가철성 국소의치에 가해진 하중이 광탄성 에폭시 모형으로 전달되어 발생된 응력에 비례하여 광탄성 무늬차수로 나타나기 때문에 무늬차수가 높은 곳은 많은 응력이 가해졌음을 의미한다.

(1) 수직하중을 가한 후 근원심 방향으로 절단한 시편(C-1, FX-1, FO-1)

C-1, FX-1, FO-1에 나타난 최대 무늬차수 중 FX-1에 나타난 최대 무늬차수가 가장 높게 나타났다. 절단시편의 계측점에 대한 무늬차수도 전반적으로 C-1과 FO-1에 비해 FX-1에서 더 높게 나타났다. 특히 제1 대구치 중심와 직하방의 잔존 치조제에 나타난 무늬차수는 FX-1, C-1, FO-1 순으로 높게 나타났다. 제2 소구치 주위 치조골에 나타난 무늬차수를 비교해 보면, 치근단 부위에서는 C-1, FX-1, FO-1 순으로 높게 나타났으나 치근의 원심측에서는 C-1과 FO-1에 비해 FX-1에 서 더 높게 나타났다. 또한 C-1에서는 치근의 원심측에 비해 치근단 부위에 나타 난 무늬차수가 더 높았으나 FX-1과 FO-1에서는 C-1과 달리 치근의 원심측에 비 해 치근단 부위에서 더 낮은 무늬차수가 관찰되었다. FO-1에서 제2 소구치 주위 치조골에 나타난 무늬차수는 FX-1에서와 비슷한 양상을 보이지만 무늬차수가 더 낮게 관찰되었다(Table Ⅲ, Fig. 64).

Table Ⅲ. Fringe order number at each measuring point in the C-1, FX-1, FO-1 sliced specimen.

	M2	M1	P21	P22	P23	P24	P25	P11	P12	P13	P14	P15
C-1	4.5	8.5	5.0	5.0	7.0	1.0	1.0	1.0	0.5	2.0	0.5	1.0
FX-1	4.0	11.0	7.5	7.5	6.0	1.0	0.5	0.5	1.0	2.5	0.5	0.5
FO-1	4.5	7.0	5.0	5.5	4.0	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0

C-1: C-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after vertical loading FX-1: FX-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after vertical loading FO-1: FO-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after vertical loading



Fig. 64. Line diagram of the fringe order number at each measuring point in the C-1, FX-1, FO-1 sliced specimen.

(2) 수직하중을 가한 후 협설 방향으로 절단한 시편(C-2, FX-2, FO-2)

각각의 절단시편에 나타난 무늬차수가 근원심 방향으로 절단한 시편에 비해 낮 게 관찰되었다. 절단시편의 계측점에 대한 무늬차수는 전반적으로 C-2에 비해 FX-2와 FO-2에서 약간 더 낮게 나타났다. 특히 협측과 설측 치경부에 나타난 무 늬차수가 C-2에 비해 FX-2와 FO-2에서 더 낮게 나타났다. 잔존 치조제에 나타난 무늬차수를 비교해 보면, 세 개의 절단시편 모두가 제1 대구치 중심와 직하방에 비 해 제2 대구치 중심와 직하방에서 다소 높게 관찰되었다(Table IV, Fig. 65).

Table IV. Fringe order number at each measuring point in the C-2, FX-2, FO-2 sliced specimen.

	M2	M1	P21	P22	P23	P24	P25	P11	P12	P13	P14	P15
C-2	2.7	1.5	1.4	1.5	1.0	2.3	2.3	0.0	0.4	0.3	0.6	0.5
FX-2	2.0	1.0	0.5	1.4	1.0	2.0	1.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5
FO-2	1.8	1.5	0.8	1.5	2.0	1.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.5	0.6

C-2: C-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after vertical loading FX-2: FX-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after vertical loading FO-2: FO-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after vertical loading



Fig. 65. Line diagram of the fringe order number at each measuring point in the C-2, FX-2, FO-2 sliced specimen.

(3) 경사하중을 가한 후 근원심 방향으로 절단한 시편(C-3, FX-3, FO-3)

C-1, FX-1, FO-1에 나타난 최대 무늬차수 중 FX-1에 나타난 최대 무늬차수가 가장 높게 나타났다. 절단시편의 계측점에 대한 무늬차수도 전반적으로 C-3에 비 해 FX-3과 FO-3에서 더 높게 나타났다. 특히 제1 대구치 중심와 직하방의 잔존 치조제에 나타난 무늬차수는 FX-3, FO-3, C-3 순으로 높게 나타났다. 제2 소구치 주위 치조골에 나타난 무늬차수를 비교해 보면, C-3에 비해 FX-3과 FO-3이 다소 높게 나타났으나 원심측 치경부에서는 C-3에 배해 FX-3과 FO-3에서 현저히 높은 무늬차수가 관찰되었다. 그리고 FO-3에서치근의 원심측 중간 부위에 나타난 무늬 차수가 C-3과 FX-3에서 보다 더 높게 관찰되었다.(Table V, Fig. 66).

Table V. Fringe order number at each measuring point in the C-3, FX-3, FO-3 sliced specimen.

	M2	M1	P21	P22	P23	P24	P25	P11	P12	P13	P14	P15
C-3	5.5	6.0	4.0	6.0	6.0	4.0	4.0	1.0	2.0	3.0	0.8	0.5
FX-3	5.5	11.0	9.0	6.0	7.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
FO-3	6.0	9.0	9.0	8.0	7.0	4.0	2.0	1.5	2.0	4.0	2.0	2.0

C-3: C-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after oblique loading

FX-3: FX-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after oblique loading FO-3: FO-URPD specimen sliced to mesio-distal direction after oblique loading



Fig. 66. Line diagram of the fringe order number at each measuring point in the C-3, FX-3, FO-3 sliced specimen.

(4) 경사하중을 가한 후 협설 방향으로 절단한 시편(C-4, FX-4, FO-4)

각각의 절단시편에 나타난 무늬차수가 근원심 방향으로 절단한 시편에 비해 낮 게 관찰되었다. 절단시편의 계측점에 대한 무늬차수는 전반적으로 C-4에 비해 FX-4와 FO-4에서 다소 높게 나타났다(Table VI, Fig. 67).

Table VI. Fringe order number at each measuring point in the C-4, FX-4, FO-4 sliced specimen.

	M2	M1	P21	P22	P23	P24	P25	P11	P12	P13	P14	P15
C-4	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.5	0.3	0.8	0.5	0.8
FX-4	1.8	1.5	1.0	2.0	2.0	2.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
FO-4	1.0	1.8	0.5	0.8	1.0	1.5	1.0	0.0	0.5	0.5	0.8	0.5

C-4: C-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after oblique loading FX-4: FX-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after oblique loading FO-4: FO-URPD specimen sliced to bucco-lingual direction after oblique loading



Fig. 67. Line diagram of the fringe order number at each measuring point in the C-4, FX-4, FO-4 sliced specimen.

(5) 수직하중 및 경사하중을 가한 후 근원심 방향으로 절단한 시편 (C-1, FX-1, FO-1, C-3, FX-3, FO-3)

수직하중을 가한 절단시편에서는 지대치 중에서 주로 제2 소구치 주위 치조골에 높은 무늬차수가 나타났고 제1 소구치 주위 치조골에는 매우 낮게 관찰되었으나 경사하중을 가한 절단시편에서는 제2 소구치 주위 치조골에 나타난 무늬차수가 높 으며 제1 소구치 주위 치조골에도 수직하중을 가한 절단시편에 비해 다소 높게 관 찰되었다. 잔존 치조제에 나타난 무늬차수를 비교해 보면, 제1 대구치 중심와 직하 방에 나타난 무늬차수는 큰 변화가 없으나 제2 대구치 중심와 직하방에 나타난 무 늬차수는 수직하중을 가한 절단시편에 비해 경사하중을 가한 절단시편에서 더 높 게 나타났다.

Ⅳ. 총괄 및 고안

치과 임상에서 편측으로 하악 제1,2 대구치가 결손된 경우를 비교적 흔하게 볼 수 있는데 이에 대해서 여러 가지 보철수복 방법을 고려할 수 있다. 환자는 결손된 치아가 소수이고 반대쪽 대구치가 존재하기 때문에 기능적으로 불편함을 별로 느 끼지 않으며, 결손 부위가 심미적으로 중요한 부위가 아니므로 보철 수복에 대해서 소극적인 경우가 많다. 또한 편측 구치부 유리단 결손을 수복하기 위해서 가철성 국소의치는 주로 양측성으로 설계되는데, 이 때 국소의치의 주연결장치가 반대측 치열까지 연장되고 유지장치가 많아서 환자에게 불편함을 줄 수 있으며 환자가 의 치를 잘 사용하지 않을 가능성이 크다. 그러나 편측 구치부 결손을 보철수복하지 않으면 근신경계의 불안정, 저작효율의 감소, 교합수직고경의 소실, 대합치의 정출, 전치의 마모 등 많은 문제를 초래할 수 있다. 특히 대합치가 정출되면, 결손 부위 를 보철수복하기 위해서 정출된 대합치에 대한 교정치료, 근관치료, 보철치료 등 추가적인 치료가 요구되므로 기능적인 장애 회복뿐만 아니라 잔존 구강 조직의 보 존을 위해서 적절한 보철물로 신속하게 수복해 주어야 한다¹⁾.

최근 임플란트의 기술적인 발전, 임플란트에 관한 다양한 임상 적용 및 연구의 증가, 인접한 잔존 치아를 삭제하지 않고 보철수복하는 임플란트의 장점으로 인하 여 편측 구치부 유리단 결손을 수복할 때 임플란트를 이용한 보철 수복이 우선적 인 치료방법으로 인정되고 있다. 그러나 방사선 치료를 받은 경우, 정신적인 문제 가 있는 경우, 혈액학적 질환이 있는 경우 등 환자의 신체적인 조건이 임플란트의 성공을 보장할 수 없다고 판단되거나 환자의 경제적 조건, 환자의 수술에 대한 막 연한 거부 등으로 인하여 임플란트를 이용한 보철 수복을 할 수 없는 경우에는 적 절한 가철성 국소의치로 치료해 주어야 하며 그 수도 증가하고 있다¹⁶⁾.

가철성 국소의치는 고정성 국소의치나 임플란트로 치료할 수 없는 환자에서 많 이 사용되어지는 보철 술식으로 그 종류와 설계가 환자의 상태나 술자의 치료계획 에 따라 다양하다. 편측 구치부 유리단 결손을 수복하기 위해서 환자가 저작, 연하, 발음하는 동안 편하게 느낄 수 있는 다양한 편측 유리단 가철성 국소의치가 임상 에서 적용되고 있다.

본 연구에 사용된 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치는 제2 소구치의 교

합면 근심측에 레스트를 갖는 back-action 클래스프를 직접유지장치로, 견치와 제1 소구치 사이에 embrasure hook을 간접유지장치로 설계하였다. 이전의 연구에서 Park 등⁷¹은 하악 편측 유리단 국소의치를 제작하기 위해 모형을 협측으로 10°정 도 경사시킨 후 협측 근심 치경부에 back-action 클래스프의 유지부가 위치되도록 설계하여 국소의치의 유지력이 향상되었음을 보고하였다. Shohet¹⁷¹와 Pezzoli 등¹⁸⁾ 은 back-action 클래스프가 Akers 클래스프보다 응력분산에 더 유리하다고 보고하 였다. 김과 유¹⁹⁾는 back-action 클래스프에 의해 응력이 지대치에서 유리단 끝쪽으 로 점점 증가하는 것으로 나타났으며 유리단 끝 부위의 골이 흡수될 가능성이 있 다고 보고하였는데, 본 연구에서는 back-action 클래스프에 의한 최대 응력이 제2 소구치 후방 근처에 나타났으며 유리단 끝 부위의 응력이 제2 소구치 근처보다 더 낮게 관찰되어 이와 상의한 결과를 보였다. 또한 국소의치에 가해진 하중이 잔존 치조제 뿐만 아니라 유지장치에 의해 제1,2 소구치를 통해 주위 치조골에 전달되는 것으로 나타났다.

탄성 가철성 국소의치는 1950년대에 Nagy에 의해 발명된 나일론 성분의 열가소 성 레진인 Valplast[®]로 제조회사의 지시에 따라 제작하였다. 탄성 국소의치는 투명 하고 얇기 때문에 잇몸의 자연스런 색조가 비춰 보이고 쉽게 구별되지 않아 심미 적으로 우수하다고 알려져 있다¹⁵⁾. 또한 지대치에 대한 처치는 경우에 따라서 교합 면 레스트 시트를 형성하기도 하지만 최소한의 언더컷을 부여해 주는 법랑질 성형 술이나 레진 첨가를 주로 시행하게 된다. 탄성 국소의치에 의한 수복 방법은 간단 하고 치료 기간이 오래 걸리지 않는다. 그러나 이제까지 탄성 국소의치에 가해진 하중이 지대치와 잔존 치조제에 어떻게 전달되는지, 역학적인 관점에서 예후가 좋 은지 등 실험적 연구가 아직까지 보고되지 않았다.

치과 분야에서 많이 이용하는 응력 분석법에는 strain gauge법^{,20,21)}, 유한요소법 ^{22,23)}, 및 광탄성 분석법²⁴⁻²⁶⁾ 등이 있다. 이 중에서 광탄성 분석법은 생체와 유사하 게 재현한 광탄성 모형에서 굴절지수의 변화와 모형에 입사한 편광의 주변형율의 차이에 의해 비례적으로 빛이 굴절하여 위상지연이 일어남으로써 가시적으로 측정 할 수 있는 응력 분석법이다. 1935년 Zak²⁷⁾에 의해 처음으로 광탄성 분석법이 치의 학 분야에 응용된 이후 많은 연구에서 응력 분석을 위해 이용되고 있다. 본 연구에 서 응력을 분석하기 위해 사용한 3차원 광탄성 응력분석법은 치근막의 재현이 어 럽고 치조골과 동일한 응력분포를 볼 수 없는 한계가 있지만 구강 구조물과 같은 복잡한 구조물의 응력 분석이 가능하고, 복잡한 하중 조건에 따라 보철물에 의해 실제 내부에 발생한 전체적인 응력 분포를 잘 볼 수 있으며 주어진 어떤 지점에서 도 응력의 차이를 쉽게 비교 관찰하고 해석할 수 있는 장점이 있다^{28,29)}.

본 연구에서 가철성 국소의치의 인공치를 치조제의 중간에 배열하고 수직하중은 제1 대구치의 중심와에, 경사하중은 제1 대구치의 협측 교두정에서 15도 경사를 주 어 각각 60N의 하중을 가하고 응력을 협측에서 관찰하여 비교하였다. 하중량은 이 전에 연구한 문헌을 참고하여 광탄성 에폭시 레진 모형에 관찰할 만한 무늬차수가 나타날 수 있는 60N으로 결정하였다^{30,31)}. 수직하중 및 경사하중에 관계없이 근원심 방향으로 절단한 시편에서는 무늬차수가 최대 11차까지 나타났으나 협설 방향으로 절단한 시편에서는 최대 2.7차까지만 나타났다. 이는 응력의 분포 양상이 광탄성 무늬로 나타나는 광탄성 에폭시 모형의 근원심 및 협설 방향의 기하학적 형태와 두께가 다르고 절단시편의 두께가 다르기 때문이다.

Thompson 등³²⁾은 후방연장 국소의치에 근심 교합면 레스트를 설계하면 국소의 치에 가해지는 외력을 지대치에서 수직으로 치조골에 전달할 수 있으므로 워심 교 합면 레스트보다 더 좋은 결과를 얻는다고 보고하였다. 본 연구에서도 교합면 레스 트가 있는 견고한 금속 구조물로 제작된 클래스프를 이용한 국소의치의 응력 분포 양상을 살펴보면, 제2 소구치 치근의 원심측에 비해 치근단 부위에 무늬차수가 더 높게 나타난 것으로 보아 Thompson의 보고와 같이 하중이 근심 교합면 레스트에 의해 치아 장축을 따라 치근단에 전달되는 것을 확인하였다. Pezzoli 등³³⁾도 직접 유지장치에 관한 광탄성 실험에서 근심 교합면 레스트가 원심 교합면 레스트보다 응력분포 양상이 더 양호하다고 보고하였다. 또한 Ko 등³⁴⁾도 근심 및 원심 교합면 레스트를 설계한 하악 국소의치에 대한 연구에서 근심 교합면 레스트로 설계된 국 소의치가 잔존 치조제에 더욱 균형있게 응력을 분산시킨다고 보고하였다. 본 연구 에서 탄성 국소의치의 응력 분포 양상을 살펴보아도 교합면 레스트가 있는 탄성 국소의치는 교합면 레스트가 없는 탄성 국소의치에 비해 국소의치에 가해진 하중 을 치아 주위 치조골 및 잔존 치조제에 더욱 균형있게 분산시키며 더 적은 응력이 발생한 것을 알 수 있었다. 따라서 탄성 국소의치로 수복하고자 할 때, 지대치에 통상적인 레스트 시트 형태처럼 명확한 형태가 아니더라도 레스트 시트를 교합면

근심측에 적절한 크기로 형성한다면 탄성 국소의치에 가해지는 교합력을 교합면 레스트의 완충효과로 감소시킬 뿐만 아니라 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제에 보다 균형있게 분산시킬 것으로 사료된다.

Kydd 등³⁵⁾은 유리단 국소의치가 기능하는 동안에 측방으로 움직이는 경향이 있으며 가벼운 측방력의 경우에도 수직력보다 지지조직의 파괴를 더 많이 유발하 기 때문에 간과해서는 안 된다고 주장하였다. 본 연구에서 세 가지 가철성 국소의 치는 수직하중에 비해 경사하중을 가한 경우에 치아 주위 치조골과 잔존 치조제에 더 많은 응력이 발생하였고 경사하중을 가한 경우에는 견고한 금속으로 제작된 클 래스프를 이용한 가철성 국소의치에 비해 탄성 국소의치가 치아 주위 치조골과 잔 존 치조제에 더 많은 하중을 전달하는 것으로 관찰되어 Kydd 등³⁵⁾의 주장과 일치 하였다. 따라서 탄성 국소의치를 구강내에 장착할 때 측방운동시 과도한 교합접촉 에 의한 국소의치의 측방 운동이 발생하지 않도록 반드시 교합조정을 시행해야 할 것으로 사료된다.

본 연구 결과 나타난 응력의 분포 양상은 치과임상에서 편측 유리단 결손에 대 해 탄성 국소의치로 수복하고자 할 때 필요한 임상술식의 지침을 제시한 것으로 사료된다. 탄성 국소의치를 선택할 때는 지대치와 잔존 치조제의 상태를 임상 및 방사선학적으로 정확히 평가하고 대합치의 상태, 환자의 식습관 등을 고려하여 설 계해야 한다. 한편 가철성 국소의치의 편측 설계는 지지 및 안정이 편측으로만 설 계되어 광범위하게 응력을 분산시킬 수 없는 한계가 있으므로 결손길이가 아주 짧 은 경우, 교합력이 약한 경우, 잔존 자연치에 의한 교합 지지가 확실한 경우, 지대 치의 잔존 골 지지 및 의치상의 지지가 양호한 경우에 사용하고 탄성 국소의치의 장착 후 주기적으로 구강내의 변화에 대한 검사를 철저하게 시행할 것을 제안한다. 앞으로 편측 탄성 국소의치에 대한 장기적인 임상 연구가 보고되고 더 나아가 양측성 설계 및 다양한 증례에 대한 더 깊은 연구가 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

하악 우측 제1,2 대구치가 결손된 부위에 수복할 수 있는 통상적인 클래스프를 이용한 편측 가철성 국소의치와 교합면 레스트의 유무에 따라 설계한 편측 탄성 가철성 국소의치를 제작하여 60N의 수직하중과 15°경사하중을 가한 후 지대치 주 위 치조골 및 의치상 하방의 잔존 치조제에 발생하는 응력 분포 양상을 3차원 광 탄성 분석법으로 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 수직하중을 가한 경우에는 교합면 레스트가 없는 탄성 가철성 국소의치는 클래 스프를 이용한 국소의치에 비해 최후방 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제에 많 은 하중을 전달하지만 교합면 레스트가 있는 탄성 가철성 국소의치는 클래스프 를 이용한 국소의치 보다도 더 적은 하중을 전달하였다.
- 경사하중을 가한 경우에는 클래스프를 이용한 국소 의치에 비해 탄성 가철성 국 소의치가 교합면 레스트의 유무에 관계없이 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제 에 더 많은 하중을 전달하였다.
- 탄성 가철성 국소의치의 교합면 레스트는 하중을 지대치의 장축으로 전달하기 보다는 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제에 전달하는 하중을 전체적으로 감소 시켰다.
- 4. 교합면 레스트가 있는 탄성 가철성 국소의치가 교합면 레스트가 없는 탄성 가철 성 국소의치에 비해 지대치 주위 치조골과 잔존 치조제에 전체적으로 더 적은 하중을 전달하였고 최후방 지대치에 미치는 영향도 더 적었다.

본 연구 결과, 탄성 가철성 국소의치로 수복할 때 교합면 레스트를 설계하는 것 이 최후방 지대치와 잔존 치조제에 더 적은 하중을 전달하게 되므로 임상적으로 유용하다고 사료된다. 또한 임상적으로 양호한 결과를 얻기 위해서는 적절한 교합 면 레스트 시트의 형성과 장착시 측방운동에 의한 과도한 접촉을 없애기 위한 교 합조정이 고려되어야 한다.

참고문헌

- 1. Battistuzzi P, Käyser AF, Kanters N. Partial edentulism, prosthetic treatment and oral function in a Dutch population. J Oral Rehabil 1987;14:549–555.
- Berg T, Caputo, AA. Maxillary distal-extension removable partial denture abutments with reduced periodontal support. J Prosthet Dent 1993;70:245-250.
- Bambara GE. Attachment dentistry-A rationale for reflection and treatment planning. NYSDJ. 2003;69(1):28–30.
- Körber KH. Konuskronen-ein physikalisch definiertes telescope system. Dtsch Zahnärztl Z 23; 619, 1968.
- Park CW, Hwang YP, Kay KS. Prosthetic restoration of partially edentulous patients using the Valplast[®] flexible partial denture system. Oral Biology Research 2006;30(2):55-73.
- Son HS, Kay KS. A photoelastic stress analysis in mandibular distal extension removable partial denture designed unilaterally with different direct retainers. J Korean Acad Prosthodont 1992;30(1):25–42.
- Park I, Eto M, Wakabayashi N, Hideshima M, Ohyama T. Dynamic retentive force of a mandibular unilateral removable partial denture framework with a back-action clasp. J Med Dent Sci 2001;48:105–111.
- Jin X, Sato M, Nishiyama A, Ohyama T. Influence of loading positions of mandibular unilateral distal extension removable partial dentures on movements of abutment tooth and denture base. J Med Dent Sci 2004;51:155–163.
- Frechette AR. The influence of partial denture design on distribution of force to abutment teeth. J Prosthet Dent 1956;6(2):195-212.
- Kydd WL, Daly CH. The biologic and mechanical effects of stress on oral mucosa. J Prosthet Dent 1982;47(3):317–329.
- 11. Demer WJ. An analysis of mesial rest-I-bar clasp designs. J Prosthet Dent 1976;36(3):243-253.

- Thompson WD, Kratochvil FJ, Caputo AA. Evaluation of photoelastic stress patterns produced by various design of bilateral distal-extension removable partial dentures. J Prosthet Dent 1977;38(3):261-273.
- 13. 계기성, 권혁신. 가철성 국소의치학 제3판 나래출판사, 2000.
- Demer WJ. An analysis of mesial rest-I-bar clasp designs. J Prosthet Dent 1976;36(3):243-253.
- Valplast[®] Processing Technique. Valplast International Corporation. 1998; 4-9.
- Berg T, Caputo, AA. Maxillary distal-extension removable partial denture abutments with reduced periodontal support. J Prosthet Dent 1993;70:245-250.
- 17. Shohet H. Relative magnitudes of stress on abutment teeth with different retainers. J Prosthet Dent 1969;21:267-282.
- Pezzoli M, Appendino P, Calcagno L, Celasco M, Modica R. Load transmission evaluation by removable distal-extension partial dentures using holographic interferometry. J Dent 1993;21(5):312-316.
- Kim BM, Yoo KH. Three-dimensional photoelastic stress analysis of clasp retainers influenced by various designs on unilateral free-end removable partial dentures. J Korean Acad Prosthodont 1994;32(4):526-552.
- Ogata K, Shimizu K. Longitudinal study on forces transmitted from denture base to retainers of lower free-end saddle dentures with Akers clasps. J Oral Rehabil 1991;18:471-478.
- Ahn HY, Jin TH. Effects of abutment splinting on stress distribution in unilateral distal extension RPD. J Korean Acad Prosthodont 2004;42(2):154-166.
- Craig RG, Farah JW. Stresses from loading distal-extension removable partial denture. J Prosthet Dent 1978;39(3):274-277.
- 23. Kim KS, Kim KN, Chang IT. A 3-dimensional finite element stress analysis on the supporting tissues of removable partial dentures with various retainer designs. J Korean Acad Prosthodont 1995;33(3):413-439.

- Ko SH, McDowell GC, Kotowicz WE. Photoelastic stress analysis of mandibular removable partial dentures with mesial and distal occlusal rests. J Prosthet Dent 1986;56(4):454-460.
- Itoh H, Caputo AA, Wylie R, Berg T. Effects of periodontal support and fixed splinting on load transfer by removable partial dentures. J Prosthet Dent 1998;79(4):465-471.
- Thompson WD, Kratochvil FJ, Caputo AA. Evaluation of photoelastic stress patterns produced by various designs of bilateral distal-extension removable partila dentures. J Prosthet Dent 2004;91(2):105-113.
- Zak B. Photoelastische analyse in der orthodonischenmechanick. A Stomatol 1935;33:22–37.
- Kim BM, Yoo KH. Three-dimensional photoelastic stress analysis of clasp retainers influenced by various designs on unilateral free-end removable partial dentures. J Korean Acad Prosthodont 1994;32(4):526-552.
- 29. Son JY, Lee CH, Jo KH. A photoelastic stress analysis in the surrounding tissues of teeth seated by indirect retainers when applied dislodging forces on unilateral distal extention partial dentures. J Korean Acad Prosthodont 1996;34(3):415-430.
- Charles H. Gibbs, Kenneth J. Anusavice, Henry M. Young, Jack S. Jones, Josephine F. Maximum clenching force of patients with moderate loss of posterior tooth support: A pilot study. J Prosthet Dent 2002;88(5):498–502.
- Hattori Y, Okugawa H, Watanabe M. Occlusal force measurement using dental prescale. J Jpn Prosthodont Soc 1994;38:835–841.
- 32. Thompson WD, Kratochvil FJ, Caputo AA. Evaluation of photoelastic stress patterns produced by various design of bilateral distal-extension removable partial dentures. J Prosthet Dent 1977;38(3):261–273.
- Pezzoli M, Rossetto M, Calderale PM. Evaluation of load transmission by distal-extension removable partial dentures by using reflection photoelasticity. J Prosthet Dent 1986;56(3):329–337.

- 34. Ko SH, McDowell GC, Kotowicz WE. Photoelastic stress analysis of mandibular removable partial dentures with mesial and distal occlusal rests. J Prosthet Dent 1986;56(4):454-460.
- 35. Kydd WL, Dutton DA, Smith DW. Lateral forces exerted on abutment teeth by partial dentures. J Am Dent Assoc 1964;68:859.