최후방 지대치가 근심 경사된 후방연장 국소의치에서 직접유지장치의 설계에 따른 광탄성 응력 분석

조선대학교 치과대학 치과보철학교실

김 민 정·이 선 아 ·계 기 성

A Photoelastic Stress Analysis of the Mesially Tilted Terminal Abutment Tooth on Distal Extension Removable Partial Denture According to the Direct Retainer Design

Min-Jeong Kim, D.D.S., M.S.D., Seon-A Lee, D.D.S., M.S.D.,
Kee-Sung Kay, D.D.S., M.S.D., Ph. D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University

The purpose of this study was to investigate the distribution of the stress on the supporting tissues of abutment tooth according to direct retainer design on mesially tilted terminal abutment by using a photoelastic model. The six different direct retainers used were RPI, RPA, Akers(mesial rest, distal rest), Combination and Back-action clasp.

A photoelastic model for mandible was made of epoxy resin(PL-2) and hardner(PHL-2) coated with silver colored spray at the lingual surface and used acrylic resin teeth, then six kinds of removable partial dentures were set.

A unilateral vertical load was applied at the weight of 3kg, 5kg, 7kg and 9kg on the second premolar, the first molar and second molar areas respectively and the stress patterns of the photoelastic model under the conditions were analyzed by reflective circular polariscope.

The results were as follows:

1. Generally, as the load applied on more anterior part of denture base, there noted variable and large number of stress concentration on the supporting tissue of abutment tooth.
2. The RPI clasp showed the highest stress concentration in all the loading points.
3. The RPA and Back-action clasp showed lesser stress concentration in mesial root surface and distal root surface of anterior tooth than other clasps did.
4. When the load was applied on the 2nd premolar area, Akers clasp with mesial rest showed the highest stress concentration on mesial root surface and the area inferior to mesial apical area of abutment tooth. But it showed the lowest stress concentration on the 1st and 2nd molar area.
5. Akers clasp with distal rest and Combination clasp showed similar patterns of stress distribution and was noted with higher number of stress concentration on the mesial root surface area than other clasps with mesial rests.

As above mentioned results, Akers clasp with distal rest and Combination clasp had lesser tendency to tilt abutment tooth mesiodistally and had favorable supporting and stabilizing effects that distribute the power to the anterior tooth.

Key words : distal extension removable partial denture, photoelastic stress analysis, clasp, abutment tooth

최후방 지대치가 근심 경사된 후방연장 국소의치에서 직접유지장치의 설계에 따른 광탄성 응력 분석

조선대학교 치과대학 치과보철학교실

김 민 정·이 선 아·계 기 성

Ⅰ. 서 론

후방연장 국소의치는 2개의 다른 조직, 즉 비교적 움직임이 없는 치아와 상대적으로 가동조직인 잔존 치조제에서 지지를 얻는다. 의치상에 교합압이 가해지면 지대치의 치근막과 잔존 치조점막의 탄력성 차이로 인하여 최후방 지대치의 교합면 레스트를 연결하는 가상의 축을 중심으로 의치는 회전하게 된다. 이 때 회전축 전방에 위치한 클래스프의 유지부는 지렛대 작용에 의하여 지대치에 과도한 응력을 유발할 수 있으므로 후방연장 국소의치 제작시 가능한 하중이 잔존 치조제에 수직으로 향하고 지대치 장축방향으로 향하도록 설계하여야 한다[1-6].

국소의치에 가해지는 힘을 지대치와 잔존 치조제에 효율적으로 분산시키고 지대치의 건강을 유지하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. Lee[7], Leupold[8], McCracken[9]은 인상재료와 인상채득 방법에 의하여 그 방안을 제시했고 Levin[12]은 완압장치를 이용한 응력 분산 방법을 소개했으며 Cecconi[13], Hirschtritt[14], Nally[15], Reitz[16]는 국소의치 설계시 주연결장치의 변화를 통해서 지대치를 보호하는 방법을 연구하였다. 또한 의치상의 연장[8-10], 의치상의 적합도[11,17], 국소의치 금속 구조물의 적합[18,19], 교합면의 설계[12,20], 대합치의 양상[22] 등이 지대치에 미치는 영향에 대해서도 연구되어 왔다. 이 중 직접유지장치가 국소의치 지대치에 미치는 운동 양상 및 응력에 관한 연구는 가장 활발하게 진행이 되어 왔으면서도 어떤 유지장치가 지대치 예후에 좋은 영향을 주는가 하는 것은 여전히 많은 논란의 대상이 되어오고 있는데 DeVan[23], McCracken[9], Kratochvil[24], Krol[25], Kotowicz[26] 등 많은 선학들은 어떤 클래스프 설계가 지대치 운동을 최소화하는지를 중점적으로 연구해 왔으며, Kaires[20], Shohet[27], Nally[15], Clayton[28], Cecconi[13], Thompson[29] 등은 직접유지장치 설계 및 그 효과에 대해 서로 상반된 견해들을 연구 보고한 바 있다.

국소의치의 응력 분석에 이용 가능한 응력 분석법으로는 brittle lacquer coating법, strain gauge법, 유한요소법 및 광탄성 분석법 등이 있는데 그중에서도 광탄성 분석법은 1935년 Zak에 의하여 처음으로 치의학적 분야에 응용된 이후 치과의학의 여러분야

에 이용되어 왔으며 Kratochvil[19,24,30], Thompson[29], Pezzoli[17] 등에 의해 유리단 국소의치 설계에 따른 응력 분포 양상을 분석하는데 이용되어 왔다.

대부분 임상에서는 후방연장 국소의치의 직접유지장치로 교합력이 의치상에 가해질 때 근심 레스트를 중심으로 일어나는 회전운동을 허용하여 클래스프의 유지부가 조직방향으로 빠져나갈 수 있는 RPI, RPA 클래스프를 흔히 선택하고 있다[31,32]. 특히 하악 제 1 소구치를 수복하지 않고 자연치아를 이용할 때 치아 형태 및 대합치아와 교합양상이 근심 레스트의 설정이 용이하게 되어 있어 잔존 치조제 및 치아의 경사도에 관계없이 RPI, RPA 등의 클래스프를 쉽게 선택하는 경향이 있다. 그러나 최후방 지대치가 근심 경사되어 있는 경우에는 근심 레스트를 설정하더라도 최후방 지대치의 원심면에 닿는 구조물이 회전축(fulcrum line)이 되므로 레스트 위치 및 클래스프 종류에 따른 지대치 주위조직의 응력 분포 양상은 기존의 연구와 다르게 나타날 것이라고 사료된다.

이에 본 연구는 후방연장 국소의치의 지대치가 근심으로 경사된 경우, RPI, RPA, Akers, Combination, Back-action 클래스프를 사용하여 직접유지장치 설계 변화에 따른 지대치 주위조직의 응력 분포 양상을 광탄성 응력 분석법으로 비교한 결과 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하고자 한다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

(1) 광탄성 모형의 제작

광탄성 하악 모형을 제작하기 위해 우측 제 1, 2 대구치 및 제 2 소구치가 결손된 편측 유리단 증례를 재현하였다. 기존의 하악골 모형을 공업용 실리콘(Shin-Etsu chemical Co., Ltd., Japan) 인상재로 인상을 채득하고 끓여서 녹인 파라핀 왁스를 인상체내에 주입하여 하악골 모형을 만든 후, 하악 편측성 유리단 왁스 모형을 제작하였다. 이 때 잔존 치아는 Wheeler[33]가 기술한 평균 크기의 치관, 치근을 갖는 레진 치아를 사용하였고 우측 제 1 소구치는 20°의 근심 경사를 부여하여 식립하였다. 광탄성 모형의 음형을 위한 형틀을 만들기 위해 베이스플레이트 왁스를 사용하여 균일한 5-7mm 공간을 갖도록 박싱한 후, 공업용 실리콘을 부었다. 끓인 물로 왁스를 제거한 후 치아를 뽑아내어 치주인대를 모방하기 위하여 공업용 silicone을 치근면에 1-2회 도포한 후 다시 음형에 위치시켰다.

에폭시 레진(PL-2)과 경화제(PHL-2, Measurement group, photolastic division, U. S. A.)를 중량비 1:1로 계량한 다음 전기로에서 각각을 110°F 까지 예열한 후 혼합하여 고르게 휘저으면 중합 발열반응이 진행되면서 자체온도가 중합열에 의해 상승하는데 125°F 에 도달했을 때 만들어 놓은 형틀에 서서히 주입하였다. 초기 경화된 다음 형틀에서 모형을 조심스럽게 제거하여 공기중에서 약 24시간 경화시킴으로서 경화시 발생될 수 있는 잔류응력을 최소화

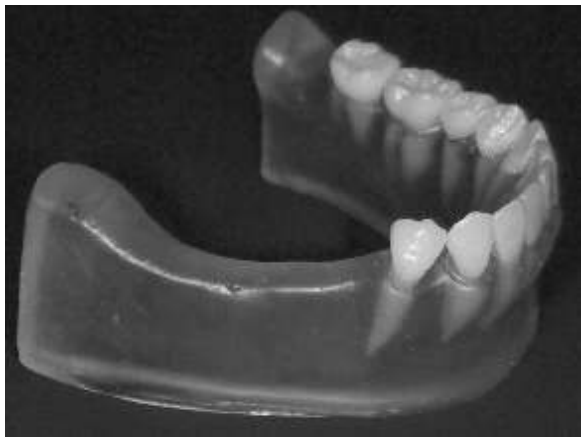


Fig. 1. Photoelastic mandible model.

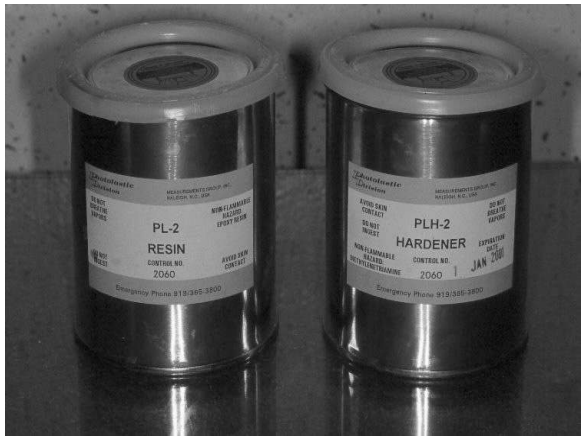


Fig. 2. PL-2, PHL-2(Measurement group, photoelastic division, U.S.A.)

시킨 광탄성 모형을 얻었다(Fig. 1, 2). 광탄성 모형을 완성한 후 반사형 광탄성 응력 측정법으로 관찰하기 위해 은색 칼라 스프레이(Dong-Seo chemical Co., Korea)를 모형의 설측부에 균일한 두께로 도포하였다.

(2) 국소의치의 제작

완성된 광탄성 모형은 수평경사에서 서베잉을 실시하여 지대치의 치경부 1/3에 언더컷이 존재하도록 지대치의 과도한 협측 최대 풍융부를 삭제하였고 레스트 시트와 유도면을 형성하였다. 우측 제 1 소구치는 교합면 근심과 원심에 스푼 형태의 레스트 시트를 형성하였으며 원심면의 교합면 1/3부분에 유도면을 형성하였는데 유도면은 놓일 수 있는 레스트 시트, 좌측 제 1 대구치는 근심 교합면 레스트를 가지는 치아 장축과 평행하도록 형성하였다. 좌측 제 1 소구치의 교합면 근심에 간접유지장치가 Akers 클래스프가 장착될 수 있도록 형성하였다.

광탄성 모형의 무치악 부위는 국소의치의 금속구조물(metal framework)이 제작된 후 고무 인상재로 치조점막을 재현할 수 있도록 미리 2mm 두께의 베이스플레이트 왁스 1장으로 릴리프하였고 위의 모형을 고무 인상재(EXAFLEX®, GC, Japan)로 인상을 채득하여 6개의 주모형을 제작하였다. 아가 인상재로 복제하여 매몰제 모형을 제작하였으며 납형성을 실시하였다(Fig. 3). RPI 클래스프의 유도판은 유도면 전면에 닿도록 형성하였고 RPA 클래스프는 Eliason[34]의 설계에 따라 근심 절반부는 언더컷에 위치하고 원심 절반부는 상연부만이 최대 풍융부와 접촉하면서 풍융부 하방에 있도록 설계하였으며 근심 레스트를 가지는 Akers 클래스프는 유도판을 생략하였다. 5개의 RPI, RPA, Akers(mesial, distal), Back-action 주조 클래스프는 납형성시 기성품인 Rapid-Flex pattern(Degussa Co., Germany)을 사용하여 동일한 유지력(350-500g)을 가질 수 있도록 하였다. Rapid-Flex system을 이용하여 제작한 클래스프는 국소의치에 사용하는 금속과 언더컷 량, 클래스프의 길이가 결정되었을 때 미리 계산된 유지력표에 의해 원하는 유지력에 맞도록 pattern의 선단을 잘라내고 나머지 부위를 이용하여 납형성하는 방법으로 주조 후에 적절한 유지력이 부여된 금속 구조물을 얻을 수 있었다[1]. Combination 클래스프의 wrought wire는 18 gauge ticonium wire(Ticonium Co., U.S.A.)를 사용하였으며 주조 클래스프의 유지부는 협측의 0.01 inch 언더컷에, Combination 클래스프의 유지부는 협측의 0.02 inch 언더컷에 위치되었다. 금속 구조물은 코발트-크롬 합금인 Biosil®(Degussa Co., Germany)을 사용하여 주조하였다(Fig. 4). 무치악 부위에는 자가중합레진을 이용하여 레진의치상을 제작한 후 동일한 위치, 즉 제 2 소구치, 제 1 대구치, 제 2 대구치의 중심와 부위에 하중을 가할 수 있도록 하중점을 표시하였고 연조직 점막의 재현을 위하여 의치상 내면에 접착제를 도포한 후 2mm 빈 공간에 고무 인상재(EXAFLEX®, GC, Japan)를 주입하였다. 같은 조건의 국소의치를 제작하기 위해 전 제작과정에 저자와 한명의 기공사만이 참여하였다.

2. 연구방법

반사형 원편광기를 사용하기 위하여 Fig. 5와 같이 위치시킨 후 model 031 null-balance compensator로 검광자가 검정색(0차 무늬차수)이 나타나도록

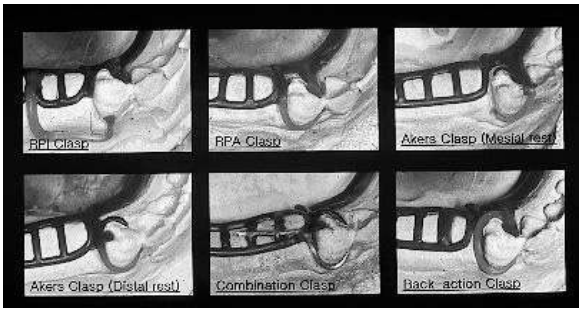


Fig. 3. Wax-up of clasp using Rapid Flex System (Degussa Co., Germany).

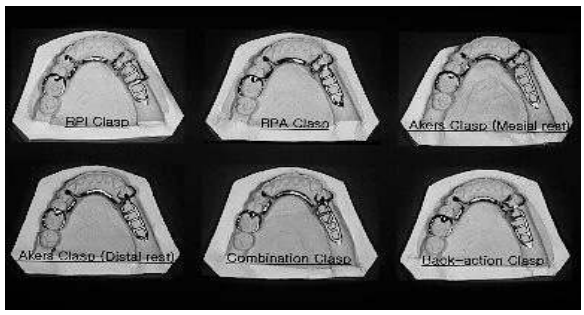


Fig. 4. Removable partial denture frameworks with six different types of the clasps.



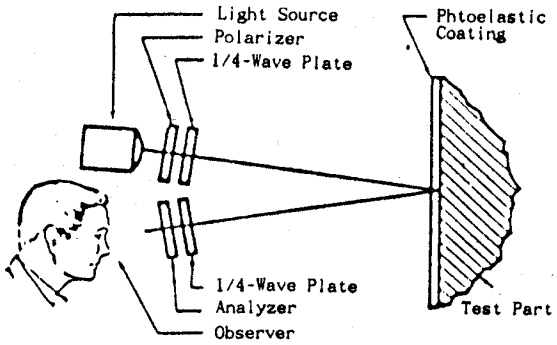


Fig. 5. Reflective circular polariscope.

조절하였다(Fig. 5). 광탄성 실험을 위해 받침대 위에 국소의치를 장착시킨 광탄성 모형을 고정하고 100kg load cell을 장착한 만능역학실험기계(AGS-1000D®, Shinadzu, Japan)를 이용하여 2mm/min의 cross head speed로 수직하중을 가하였다. 하중점 위치에 따라서 지대치 주위에 나타나는 응력 분포를 관찰하기 위하여 제 2 소구치, 제 1 대구치, 제 2 대구치 부위 의치상에 각각 하중을 가하였다. 또한 광탄성 모형의 색변화를 자세히 평가하기 위하여 의치상의 하중점에 각각 3kg, 5kg, 7kg, 9kg의 하중을 가하여 분석시 고려하였으며 보철물의 상호 비교를 위하여 이중 무늬차수가 비교적 확실히 구분되는 9kg때의 무늬차수를 중심으로 평가하였다. 광탄성 모형의 초기 상태는 Fig. 6 ~ Fig. 11의 좌측 상단에서 볼 수 있는 바와 같이 잔류 응력이 전혀 없는 양호한 상태였다.

Table 1. Isochromatic fringe characteristics.

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

6종류의 국소의치가 장착된 광탄성 모형에 하중을 가하면 무늬차수의 크기와 양상에 차이가 나타났다. 이 때 무늬차수의 크기는 PL-2 재료의 표준 무늬차수와 하중의 점진적 증가에 따른 색깔의 변화로 평가하였다(Table 1). 동일한 광원과 동일한 두께의 시편으로 실험을 시행했을 때 최대 전단응력은 무늬차수에 비례하므로 최대 전단응력 값을 구하지 않고 구해진 무늬차수를 이용하여 모형간을 비교하였다. 실험 모형이 실제 상태와 여러 조건이 다르므로 구해진 무늬차수는 상대적 비교를 위해서만 사용하였다[39].

Ⅲ. 연구성적

1. RPI 클래스프를 설계한 경우

하중점 1(제2 소구치 부위)에 9kg의 수직하중을 가한 경우, 전체 근심 치근면 부위에 1.0차 보라색 무늬차수가 발생하였고 치근단 전방에는 1.5차 노란색 무늬차수가 제 1 소구치 전방 치아의 치근부까지 영향을 미치고 있었으며 원심 치근단 후방으로 1.75차 빨간색 무늬차수가 응력집중의 형태로 길게 나타나는 현상을 볼 수 있었다. 수직하중 후방



Fig. 6. Stress distribution under vertical load at the second premolar, first and second molar respectively in case of RPI clasp.



Fig. 7. Stress distribution under vertical load at the second premolar, first and second molar respectively in case of RPA clasp.



Fig. 8. Stress distribution under vertical load at the second premolar, the first and second molar respectively in case of Akers clasp(mesial rest).

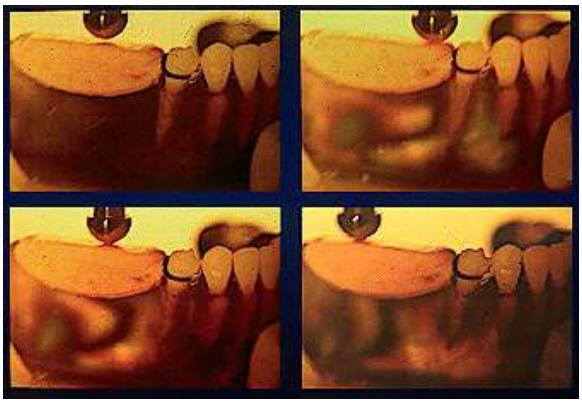


Fig. 9. Stress distribution under vertical load at the second premolar, the first and second molar respectively in case of Akers clasp(distal rest).



Fig. 10. Stress distribution under vertical load at the second premolar, the first and second molar respectively in case of Combination clasp.



Fig. 11. Stress distribution under vertical load at the second premolar, first and second molar respectively in case of Back-action clasp.

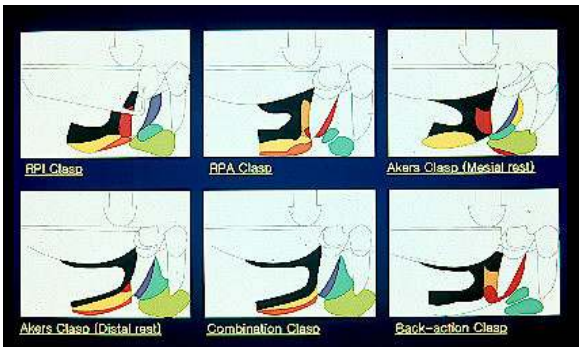


Fig. 12. Stress distribution illustration during unilateral vertical load was applied at the weight of 9kg on the second premolar area.

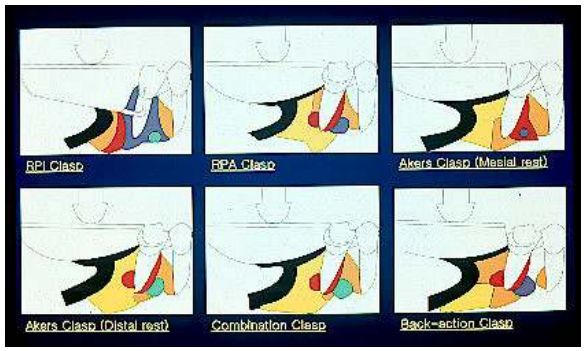


Fig. 13. Stress distribution illustration during unilateral vertical load was applied at the weight of 9kg on the first molar area.

의 응력분포는 1.2차 청녹색 무늬차수를 보였다. 하중점 2(제1 대구치 부위)에 9kg의 수직하중을 가한 경우, 전체적으로 치근면 주위에 1.0차 보라색 무늬차수가 관찰되었으며 하중작용선 후방으로 최고 1.2차 청녹색 무늬차수가 나타났다. 근심 치근면 하부 전방으로 국부적인 1.2차 청록색 무늬차수가 발생하였으나 하중점 1에 비하여 특히 근심 치근면 부위의 무늬차수는 낮아졌으며 가장 높은 차수인 녹색의 분포 면적 또한 감소하였다. 하중점 3(제2 대구치 부위)에 수직하중을 가한 경우, 치근면 주위에 0.9차 빨간색 무늬차수를 보였으며 치경부로 갈수록 넓게 퍼지는 양상이었는데 근심면에서 빨간색의 분포 면적이 약간 더 넓었다(Fig 6, 12, 13, 14).

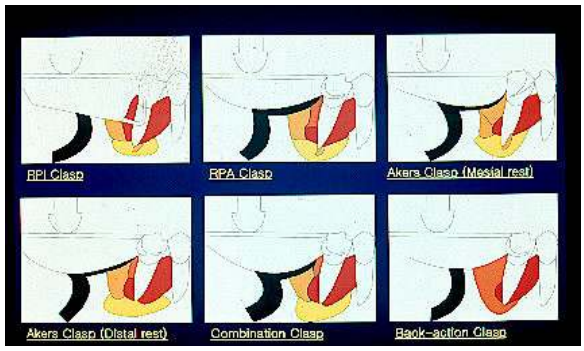


Fig. 14. Stress distribution illustration during unilateral vertical load was applied at the weight of 9kg on the second molar area.

2. RPA 클래스프를 설계한 경우

하중점 1에서 근심 치근면 상부에 0.9차 의 빨간색 무늬차수가 나타났으며 하부에는 인접치아까지 퍼지지 않은 원형의 1.2차 청록색 무늬차수를 볼 수 있었다. 치근단에는 1.75차 빨간색 무늬차수가 치근단에서 시작하여 하중작용점 후방으로 응력이 집중하는 부위가 발생하는 현상이 나타났으며, 수직하중 후방의 응력 분포 형태는 1.2차 청록색 무늬차수를 보였다. 하중점 2에서는 제 1 소구치 근심 치근면과 원심 치근단 부위를 따라 0.9차 빨간색 무늬차수가 보였고 근심 치근면 하부에서 1.0차 보라색 무늬차수가 나타났다. 하중작용선 후방으로 최고 1.2차 청록색 무늬차수가 나타났다. 하중점 3에서의 응력 분포 양상은 근심 치근면과 원심 치근단 부위는 0.9차 빨간색 무늬차수를 보였고 원심 치근면 상부는 약간 더 밝은 빨간색을 띄었다. 치경부로 갈수록 붉은 색이 넓게 퍼지는 양상이었는데 근심면에서 빨간색의 분포 면적이 넓었다(Fig. 7, 12, 13, 14).

3. 근심 레스트를 가진 Akers 클래스프를 설계한 경우

하중점 1에서 근심 치근면 상부의 무늬차수는 0.9차 보라색 무늬차수와 함께 0.6차 노란색 무늬차수를 보이며 근심 치근면 하부는 1.5차 노란색 무늬차수가 발생하였다. 치근단 하방에는 1.75차 빨간색 무늬차수가 관찰되었고 치근단 하방의 응력 분포 방향이 치근단의 수직방향에서 상향하는 현상이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 하중점 2에서는 치근면 부위의 무늬차수는 제 2 소구치 부위에서보다 감소

하여 0.6-0.9차 무늬차수가 관찰되었고 근심 치근면 전하방은 0.9-1.0차 무늬차수를 보였는데 다소 치근단을 대칭적으로 감싸는 듯한 응력 분포 양상을 보였다. 하중점 3에서의 응력 분포는 근심 치근면과 원심 치근단 부위는 넓게 퍼진 0.9차 빨간색 무늬차수를 보였고 치경부로 갈수록 색깔이 점점 연해지면서 넓어지는 양상을 보였다(Fig. 8, 12, 13, 14).

4. 원심 레스트를 가진 Akers 클래스프를 설계한 경우

하중점 1에서 제 1 소구치 근심 치근면 상부에 1.2차 청록색 무늬차수가 나타났으며 근심 치근면 하부 전방으로 1.5차 노란색 무늬차수가 발생하였다. 치근단 후방에는 1.75차 빨간색 무늬차수가 나타나는 현상을 볼 수 있었는데, 응력 분포의 방향이 치근단에 거의 수직방향으로 발생하는 것을 볼 수 있었다. 수직하중 후방의 응력 분포 형태는 다른 클래스프와 거의 유사한 양상이었고 1.2차 청록색 무늬차수가 나타났다. 하중점 2에서는 근심 치근면 상부와 원심 치근단에 0.9차 빨간색 무늬차수가 보였으며 근심 치근면 하부에는 1.2차 녹색 무늬차수가 관찰되었는데 근심 치근면 하부의 1.2차 녹색 무늬차수는 RPI, 원심 레스트를 가지는 Akers 그리고 Combination 클래스프에서만 관찰되었다. 하중점 3에서 응력 분포는 다른 클래스프에서와 마찬가지로 근심 치근면과 원심 치근단 부위는 넓게 퍼진 0.9차 빨간색 무늬차수를 보이고 원심 치근면은 치경부로 갈수록 색깔이 점점 연해지면서 넓어지는 양상을 보였는데 그 중에서도 특히 RPA, Combination 클래스프의 응력 분포와 유사하였다(Fig 9, 12, 13, 14).

5. Combination 클래스프를 설계한 경우

하중점 1에서 원심 레스트 가진 Akers 클래스프와 거의 유사한 양상의 응력 분포를 나타냈지만 Akers 클래스프를 장착한 치아보다 원심 치근단에 약간 더 연한 색깔의 무늬를 볼 수 있었다. 하중점 2와 3에서도 원심 레스트를 가진 Akers 클래스프와 거의 유사한 응력 분포를 나타냈다(Fig. 10, 12, 13, 14).

6. Back-action 클래스프를 설계한 경우

하중점 1에서 전체 근심 치근면 부위에 0.9차 빨간색 무늬차수가 발생하였으며 치근단 전방에는 1.2차에서 1.5차의 청록색과 노란색 무늬차수가 나타났다. 또한 치근단 후방 응력 집중 부위의 대부분이 1.75차 빨간색 무늬차수로 변화되는 현상을 볼 수 있었다. 응력 분포 양상은 RPA 클래스프와 유사하였으나 같은 색상 면적을 비교해 본 결과 Back-action 클래스프 경우에서 더욱 컸다. 하중점 2에서도 RPA 클래스프와 유사한 응력 분포 양상을 보이고 있었지만 원심 치근면 상부의 0.6-0.9차 무늬의 면적이 더 컸으며 치근단 직하방에 0.6-0.9차 무늬의 응력 집중 부위를 관찰할 수 있었다. 다른 5개의 클래스프들은 인접치아의 원심 치근면 부위에 응력이 집중되는 부위가 넓은 반면 Back-action 클래스프는 인접치아의 원심 치근단 부위에만 약간의 응력이 집중되고 있는 양상이었다. 하중점 3에서 응력 분포는 근심 치근면과 원심 치근단 부위에는 0.9차 빨간색 무늬가 관찰되었고 다른 클래스프들과 마찬가지로 원심 치근면 상부로 갈수록 넓어지는 양상이었다. 또한 원심 치근면 상부에 집중되는 응력이 다른 5가지 클래스프와 비교하였을 때 훨씬 넓게 퍼진 양상을 나타냈다(Fig 11, 12, 13, 14).

Ⅳ. 총괄 및 고안

가철성 국소의치는 고정성 국소의치나 임플란트로 치료할 수 없는 환자에게 많이 사용되어지는 보철술식으로 그 종류와 설계가 환자의 상태나 술자의 치료계획에 따라 다양하다. 가철성 국소의치 설계의 일반적인 순서는 지지를 담당하는 치아와 잔존 치조제의 지지 능력을 세심히 평가한 후 적절한 위치에 레스트를 설정하고, 레스트의 위치가 결정된 후 주연결장치와 부연결장치를 설계하며 마지막으로 유지장치를 선택하는 것이다[1,35]. 직접유지장치는 환자의 심미적 요구를 만족시키고 지대치에 경사응력이나 회전력을 가하지 않으면서 이탈력에 대해 충분한 유지를 가질 수 있는 클래스프를 선택하여야 한다. 특히 후방연장 국소의치에 하중이 가해지면 의치는 레스트를 기점으로 하여 회전운동을 하게 되고 이러한 운동으로 인하여 지대치의 손상

을 초래할 수 있다[36-38]. 국소의치의 직접유지장치에 관한 많은 연구들에서 후방연장 국소의치의 경우 지대치의 하중을 줄일 수 있는 RPA나 RPI 클래스프 등의 근심 레스트를 가진 클래스프를 선택하도록 추천하고 있다. 하지만 실제 임상에서는 지대치의 근심 경사로 인하여 기능압에 의해 유도판 자체가 지대치에 측방압을 가할 수 있으며 또한 잔존 치조제의 상태 및 흡수 정도에 따라서 잔존 치조제가 지대치의 장축과 수직이 되지 않는 경우가 많아 근심 레스트의 장점을 살릴 수 없는 경우가 많다[1-3]. 본 연구에서는 지대치가 근심 경사된 경우 직접유지장치에 따른 응력 분포 양상을 비교하고자 하였다.

국소의치의 응력 분석에 이용되는 여러 방법중 본 연구에 사용된 광탄성 응력 측정법은 빛의 간섭현상을 이용하여 변형된 물체의 응력 분포를 관찰하는 방법으로 크게 두가지 방법이 이용되고 있는데 첫번째 방법은 투과형 방법으로서 해석 대상의 물체를 빛이 투과할 수 있는 투명한 광간섭 재료로 모델을 제작하여 편광판 사이에 위치시키면 광원으로부터 나온 빛이 첫번째 편광판(polarizer)을 통과함으로서 편광판의 방향과 일치하는 편광만 빠져나오게 되며, 이 편광이 모델에 입사하게 되면 모델에 작용하고 있는 주 변형율의 차에 비례하여 빛이 굴절하면서 위상지연(phase retardation)이 일어나게 되고, 주응력 방향으로 굴절된 빛이 두번째 놓인 편광판에 입사되면, 편광축 방향의 빛만 통과되면서 빛의 간섭을 일으키게 된다. 두번째 방법은 빛이 투과하지 못하는 물체의 표면 응력을 검토하는 반사형 광탄성 실험방법으로서 빛이 물체를 통과하지 못하므로, 물체의 표면에 투명한 광탄성 재료를 빛이 잘 반사될 수 있는 은빛 접착제를 도포하여 물체의 표면에서 생기는 간섭무늬를 반사시켜 관찰하는 방법인데 기본원리는 투과형 방법과 동일하나, 빛이 표면에 도포된 광탄성 재료에 입사되었다가 다시 반사되어 나오기 때문에 2회 위상지연이 발생된다[39].

3차원적인 하악골 광탄성 모형을 제작하여 투과형으로 응력 분포를 관찰하기 위해서는 모형의 내부에 점광원을 설치하고, 하악골 모형을 좌우로 회전시키면서 각부분의 응력 분포를 관찰해야 할 것이나, 이 방법은 장치 제작이 복잡하며, 응력 분포 양상을 국부적으로만 보기 때문에 한눈에 응력 분포 양상을 관찰하기 힘든 단점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 두번째 방법인 반사형 광탄성 응력 측정법을 이용하였는데 3차원적인 하악골 모형의 내면에 반사가 가능한 은색 분말 페인트를 도포하여, 모형내에서 발생한 응력 무늬가 손쉽게 반사될 수 있게 함으로써 전면의 응력 분포 양상을 한눈에 관찰할 수 있었다.

Kratochvil[19,24,30], Krol[25]은 RPI 클래스프의 장점을 강조하여 I-bar는 유리단 의치상에 수직력이 발생할 때 국소의치의 인접판 부위와 함께 지대치에서 이탈하므로 지대치에 가해지는 응력을 감소시키고 특히 근심 레스트는 원심 레스트에서 보이는 지대치를 들어올리는 힘을 방지한다고 주장하였는데 Thompson[29], McCartney 등[40]도 이런 주장을 지지하는 연구 결과를 보고하였다. 그러나 Cecconi[13]는 RPI 클래스프가 다른 클래스프 설계보다 오히려 더 큰 지대치 운동을 보였다고 주장하였다. 이러한 상반된 주장들 가운데 관심의 초점이 된 설계는 유지부 자체보다 교합면 레스트의 위치에 관한 것이다. Cecconi[13]는 국소의치에 부하를 가할 때 나타나는 외력은 주로 교합면 레스트를 통해 지대치에 가해진다고 하면서 교합면 레스트의 위치에 따른 지대치 운동의 차이가 없다고 보고했다. 본 연구에서는 하중을 가하는 지점에 따라 힘의 크기와 방향에 차이가 있을 것으로 생각되어 의치상의 제 2 소구치 부위, 제 1 대구치 부위, 제 2 대구치 부위에 각각 하중을 부여하였다. 위 3가지 지점에서 동일 하중에 대한 응력 분포 양상은 현저한 차이가 있었는데, 하중을 가하는 지점이 전방에 위치할수록 높은 차수의 다양한 응력 분포 양상을 관찰할 수 있었다. 제 2 소구치 부위에 하중을 가하였을 때, 6가지 클래스프의 유지암은 대체로 지대치에 많은 영향을 미치지 못했으며 주로 근심 교합면 레스트에 의하여 지대치를 더욱 근심으로 회전시키는 힘과 유도판에 의하여 지대치를 전방으로 미는 힘이 크게 작용하였다. 위 하중점에서 지대치 지지조직에 가장 낮은 차수를 보이는 클래스프는 RPA와 Back-action 클래스프였는데, RPA 클래스프의 유도판과 Back-action 클래스프의 보상암이 제 1 종 지렛대 작용의 받침점(fulcrum)으로 작용하여 지대치에 외력을 가한 결과 근심 레스트에 의해 지대치가 근심으

로 회전하려는 힘을 상쇄시킨 것으로 보인다. 또한 원심 교합면 레스트를 가진 Akers 클래스프 역시 의치상에 수직하중을 적용할 때 교합면 레스트 및 유도판이 받침점으로 작용했지만 하중점이 제 2 소구치 부위로 힘점(power)에서 받침점 사이의 거리, 즉 power arm이 너무 짧아서 클래스프의 유지부(작용점, resistance)가 힘을 발휘하지 못하였으며 또한 원심 교합면 레스트 및 유도판에 의하여 치아가 전방으로 크게 밀리는 힘을 받는 응력 분포 양상을 보여주었다. 반면 제 2 대구치 부위에 하중을 가하면 지대치 주위조직에 나타나는 응력 양상은 거의 비슷하였고 6가지 클래스프의 유지부가 모두 지대치에서 탈락하려는 방향으로 힘이 작용하였다. 특히 Back-action 클래스프는 하중점이 후방으로 갈수록 지대치의 원심 치근면 부위에 응력이 증가하였는데, Nally[15], Renner 등[35]이 언급한 것처럼 의치상에 하중이 작용할 때 지대치를 원심으로 당기면서 기울게 하는 경향이 있음을 본 실험에서 확인하였다.

유도면은 삽입 철거시에 지대치와 의치의 금속 구조물에 가해지는 위해한 응력을 제거하기 위하여 보철물이 한 개의 삽입 철거로를 가지도록 하고 보상부분, 안정부분, 그리고 유지부분이 의도한 역할을 수행할 수 있도록 하며 또한 지대치와 의치부분 사이에 음식물이 심하게 끼는 것을 방지하는 기능을 한다[1,2,25,33,41]. 그러나 본 연구에서 최후방 지대치가 근심 경사되어 있는 경우에는 유도판이 받침점이 되어 전방에 위치한 유지암과 더불어 치아에 위해한 응력을 야기하는 것을 볼 수 있었다. RPI 클래스프의 유도판에 생리적인 릴리프를 시행한다면 유도면과의 접촉상실로 위에서 열거한 유도판의 기능을 하지 못할 것이다. 본 실험에서는 6개의 클래스프 중에서도 Kratochvil[19,24,30]의 설계로 만들어진 RPI 클래스프가 지대치의 근원심 치근면에 가장 큰 응력을 미치는 것으로 나타났는데 이는 지대치가 근심 경사되어 유도판과 레스트가 치아를 더욱 근심으로 미는 힘과 더불어 유도판이 받침점되어 클래스프의 유지부가 지대치에 외력(torque)을 가하기 때문으로 사료된다.

후방연장 국소의치에서 클래스프의 탄력성과 지대치에 가해지는 외력과의 관계는 클래스프 선택에 있어서 중요한 사항 중의 하나였으며 Tebrock 등[42]은 RPI, Akers, Combination 클래스프를 설계한 국소의치를 환자에게 장착시켜 관찰한 결과 국소의치 장착에 의해 지대치 동요는 증가되지만 클래스프 설계 사이에는 차이가 없었다고 보고했다. 또한 Applegate[43], Kotowicz[26], McCracken 등[9]은 후방연장 국소의치에서 Combination 클래스프(협측 wrought wire 암과 설측 주조 암)는 유지부가 둥근 단면을 가지므로 모든 방향으로 탄력성을 나타내고 치아와의 접촉 단면을 작게 적용할 수 있어 지대치에 가해지는 외력을 가장 효과적으로 막을 수 있는 설계라고 주장하였으나 Fenner 등[44]은 위의 주장에 대해 의문을 제기했으며 Clayton 등[28]은 Combination 클래스프가 같은 길이의 주조 bar 클래스프보다 탄력성이 적고 지대치에 더 큰 응력을 발생시킨다고 하였다. 본 연구에서는 동일하게 원심 레스트를 가지는 Combination 클래스프와 Akers 클래스프를 비교하였을 때, 제 2 소구치에 하중을 가한 경우 Combination 클래스프를 사용한 근심 치근면 부위와 Akers 클래스프를 장착한 지대치의 원심 치근단 부위에 국소적으로 큰 응력 집중을 보였으나 유의할 만한 차이는 아니었다. 그러나 Combination 클래스프의 wrought wire가 귀금속 합금이었다면 Bate 등[45]이 주장한 것처럼 Combination 클래스프의 응력 분포 양상이 더 양호할 것이라고 추측할 수도 있다.

이상에서 보는 바와 같이 근심 경사된 지대치를 가진 후방연장 국소의치에서는 레스트의 위치, 유도판의 형태와 유무 등에 따라 지대치 주위조직의 응력 분포 양상이 다르게 나타났다. 또한 하중점의 위치에 따라서 의치상 전방에 하중을 가할수록 레스트와 유도판에 의하여 지대치 주위조직은 다양하고 높은 응력 분포를 보였으나, 하중이 의치상 후방에 가해질수록 지대치 주위조직의 응력은 감소하였다. 특히 본 연구에서 지대치가 근심 경사된 경우에는 교합압의 대부분이 교합면 레스트와 유도판을 통하여 지대치에 전달되었으며 원심 레스트에 의한 지렛대 작용은 유도판에 의한 지렛대 작용보다 상대적으로 적음을 확인할 수 있었다. 만일 근심 경사된 지대치에 교합 평면과 거의 수직이 되는 유도면의 형성을 위하여 서베이드 크라운을 장착하거나 지대치의 외력을 분산하기 위하여 전방 치아와 연결고정(splinting)을 한다면 지지 조직의 응력 분포 양상은 사뭇 다를 것이라고 추측되므로 향후 이에 대한 연구도 수반되면 좋을 것으로 사료된다.

V. 결 론

하악 편측 유리단 광탄성 모형을 만든 후 근심 경사된 제 1 소구치를 지대치로 하는 6개의 RPI, RPA, Akers(근심 레스트, 원심 레스트), Combination, Back-action 클래스프 국소의치를 제작하였다. 만능역학실험기계(AGS-1000D®, Shinadzu, Japan)를 이용하여 제 2 소구치, 제 1 대구치, 제 2 대구치 부위 의치상에 2mm/min의 cross head speed로 수직하중을 가하여 3kg, 5kg, 7kg, 9kg의 하중이 걸릴 때 지대치 주위 조직의 광탄성 응력 분포를 관찰 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 의치상 전방에 하중이 가해질수록 지대치 주위 조직의 응력 분포 양상은 다양하고 무늬차수도 높게 나타났다.
2. RPI 클래스프가 모든 하중점에서 지대치 주위조직에 가장 높은 응력 집중을 보였다.
3. RPA 클래스프와 Back-action 클래스프는 다른 클래스프에 비하여 근심 치근면 및 지대치 전방 치아의 원심 치근면 부위에 더 적은 응력 집중을 보였다.
4. 근심 레스트를 가진 Akers 클래스프는 하중점 1에 하중을 가하였을 때 지대치의 근심 치근면과 근심 치근단 하방에 가장 높은 응력 집중을 보였으나 하중점 2와 3에서는 가장 낮은 응력 집중을 보였다.
5. 원심 레스트를 가진 Akers 클래스프와 Combination 클래스프는 응력 분포 양상이 거의 유사하였으며 지대치의 근심 치근면 부위에 더 높은 응력 집중을 보였다.

이상의 결과로 보아 원심 레스트를 가진 Akers 클래스프와 Combination 클래스프는 지대치를 근원심으로 회전시키려는 경향이 작았고 전방치아로 힘을 분산하는 지지와 안정작용이 다른 클래스프보다 양호한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 계기성, 권혁신. 가철성 국소의치학, 제3판, 서울:나래출판사, 1999.
2. Demer WJ, An analysis of mesial rest-I-bar clasp designs. J Prosthet Dent 1976;36:243-253.
3. Mcgivney GP, Castleberry DJ, McCracken's Removable Partial Prosthodontics, The C.V. Mosby Co., 1995.
4. Renner RP, Boucher LJ, Removable partial dentures. Quintessence Publishing Co., 1987.
5. Stewart KL, et al., Clinical removable prosthodontics. St. Louis, C.V. Mosby Co. 1983.16. Eick JD, et al., Abutment tooth movement related to fit of a removable partial denture. J Prosthet Dent 1987;57:66-72.
6. Craig RG, Farah JW, Stress from loading distal extension removable partial denture. J Prosthet Dent 1978;39:274-277.
7. Lee RE, Mucostatics. Dent Clin N Am 1980;24:81-96.
8. Leupold RJ, et al., Comparison of vertical movement occurring during loading of distal-extension removable partial denture bases made by three impression techniques. J Prosthet Dent 1992;68:290-293.
9. McCracken WL, Partial Denture Construction. St. Louis. The C.V. Mosby Co., 1960.
10. Holmes JB, Influence of impression procedures and occlusal loading on partial denture movement. J Prosthet Dent 1965;15:474-481.
11. Hindels GW, Stress analysis in distal extension partial dentures. J Prosthet Dent 1957;7:197-205.
12. Levin B. Stressbreakers; A practical approach. Dent Clin N Am 1979;23:77-86.
13. Cecconi BT, et al., The effect of partial denture clasp design on abutment tooth movement. J Prosthet Dent 1971;25:44-56.
14. Hirschtritt E, Removable partial dentures with stress-broken extension bases. J Prosthet Dent 1957;7:318.
15. Nally JN, Methods of handing abutment teeth in Class I partial dentures. J Prosthet Dent 1973;30:561-566.
16. Reitz PV, Caputo AA, A Photoelastic study of stress distribution by a mandibular split major connector. J Prosthet Dent 1985;54:220-225.
17. Pezzoli M, et al., Evaluation of load transmission by distal-extension removable partial dentures by using reflection photoelasticity. J Prosthet Dent. 1986;56:329-337.
18. Eick JD, et al., Abutment tooth movement related to fit of a removable partial denture. J Prosthet Dent 1987;57:66-72.
19. Kratochvil FJ, Photoelastic analysis of pressure on teeth and bone supporting removable partial dentures. J

Prosthet Dent. 1974;32:52-62.
20. Kaires AK, A study of partial denture design and masticatory pressures in a mandibular bilateral distal extension case. J Prosthet Dent 1958;8:340-350.
21. Berg T, Caputo AA, Anterior rests for maxillary removable partial denture. J Prosthet Dent 1978;39:139-146.
22. Plotnick I. The effect of variations in the opposing dentition on changes in the partially edentulous mandible. Part Ⅲ: Tooth mobility and chewing efficiency with various maxillary dentitions. J Prosthet Dent 1975;33:529-534.
23. Devan MM, Preserving natural teeth through the use of clasps. J Prosthet Dent 1955;5:208-214.
24. Kratochvil FJ, Maintaining supporting structures with a removable partial prosthesis. J Prosthet Dent 1971;25;167-175.
25. Krol AJ, Clasp design for extention base RPD. J Prosthet Dent 1973;29:408-415.
26. Kotowicz WE, et al., The combination clasp and the distal extension removable partial denture. Dent Clin N Am 1973;17:651-660.
27. Shohet H, Relative magnitude of stress on abutment teeth with different retainers. J Prosthet Dent 1969;21:267-281.
28. Clayton JA, Jaslow C, A measurement of clasp forces on teeth with different clasp design on abutment tooth mevement. J Prosthet Dent 1971;25:21-43.
29. Thompson WD, et al., Evaluation of photoelastic stress patterns produced by various designs of bilateral distal extention removable partial denture. J Prosthet Dent 1977;34:261-273. .
30. Kratochvil FJ, Influence of occlusal rest position and clasp design on movement of abutment teeth. J Prosthet Dent 1963;13:114-124.
31. Aviv I, et al., An analysis of rotational movement of asymmetrical distal-extension removable partial dentures. J Prosthet Dent 1989;61:211-214.
32. Browning JD, et al., Abutment tooth movement measured in vivo by using stereophotogrammetry. J Prosthet Dent 1987;57:323-328.
33. Wheeler RC, Dental anatomy, Physiology and occlusion, 5th ed., W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1974.
34. Eliason CM, RPA clasp design for distal-extension removable partial dentures. J Prosthet Dent 1983;49:25-27.
35. Boucher LJ, Renner RP, Treatment of partial edentulous patients. St. Louis, The C.V. Mosby Co., 1982.
36. Goodkind RJ, The effect of removable partial denture on abutment tooth mobility; A clinical study. J Prosthet Dent 1973;30:139-146.
37. Ko SH, et al., Photoelastic stress analysis of mandibular removable partial dentures with mesial and distal occlusal rests. J Prosthet Dent 1986;56:454-460.
38. Maxfield JB, et al., The measurement of force transmitted to abutment teeth of removable partial dentures. J Prosthet Dent 1979;41:134-142.
39. 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;30:25-42.
40. MaCartney JW, Motion vector analysis of an abutment for a distal extension removable partial denture: A pilot study. J Prosthet Dent 1980;43:15-21.
41. Frechette AR, The influence of partial denture design on distribution of force to abutment teeth. J Prosthet Dent 1956;6:195-212.
42. Tebrock OC, et al., The effect of various clasping systems on the mobility of abutment teeth for distal extension removable partial dentures. J Prosthet Dent 1979;41:511-516.
43. Applegate OC, Essentials of RPD Prosthesis. 3rd ed. Philadelphia and London, W.B. Sounders Co., 1965.
44. Fenner W, et al., Tooth mobility changes during treatment with partial denture prosthesis. J Prosthet Dent 1956;6:520-525.
45. Bazirgan M, Bates JF, Preliminary study of a method of measuring RPD abutment tooth movement in vitro and in vivo. J Prosthet Dent 1986;56:204-207.