

# 하악 소구치용 post and core systems의 치근 내부 응력분산 효과에 대한 유한요소법적 연구

부산대학교 대학원 치의학과

홍현자, 전영찬, 정창모

## I. 서론

Post와 core 수복은 근관치료된 치아에서 치아를 강화시킬 목적과 치관부 손상이 심한 경우 최종 보철물에 적절한 유지력을 제공하기 위한 목적으로 널리 이용되어 왔다<sup>(1-20)</sup>. post와core 수복이 근관치료된 치아를 내부 응력 집중과 치근 파절로부터 보호할 수 있다는 주장에는 논란이 있어 왔는데 최근 유한요소법적 연구에 의하면Cailleateau 등<sup>(36)</sup>은 post와 core의 장착으로 응력이 균일하였고, Ko 등<sup>(35)</sup>과 Ho등<sup>(37)</sup>에 의해서도 전치부에서 post의 치아 강화효과는 제한적이어서 실제 그 효과는 분명치 않음을 밝힌바 있다.

또한 근관치료후 실제 치아를 약하게 만드는 주요소는 근관치료보다는 수복과정과 연관된 치질의 상실 때문이라는 견해도 제시되고 있으므로<sup>(21-24)</sup> 근관은 post와 core가 근관치료후의 통상적인 수복과정으로 고려되지는 않고 있으나 치관부 손상이 심한 치아에서 수복물에 적절한 유지력을 주기 위한 방법으로 post와 core가 널리 이용되고 있다. 그리고 post와 core로 수복된 치아의 응력분산 양상은 여러 가지 요인, 즉 post의 형태, 길이, 직경, 표면상의 특성<sup>(25, 28-34)</sup>, post의 적합정도<sup>(38)</sup>, post와core의 재료<sup>(7,</sup>

11, 49-53, 55) 그리고 최종 보철물의 장착<sup>(49, 53-61)</sup> 등에 영향을 받는다고 보고되었다.

Standlee 등<sup>(28)</sup>과, Mattison 등<sup>(25)</sup>은 광탄성 분석을 통해서 post의 형태, 길이, 직경, 삽입방법이 응력분산 양상에 영향을 미친다고 보고하였고, Davy 등<sup>(34)</sup>도 post의 형태가 응력분산 양상에 미치는 효과를 유한요소법으로 분석하였으며 그 외 post의 형태에 따른 치근내 응력분산 양상에 대한 다양한 유한요소법적 연구가 있었다<sup>(38-44)</sup>.

post와 core 재료의 종류에 따른 응력분산 양상에 대해서도 여러 광탄성 응력분산 연구<sup>(48, 51)</sup>와 파절 시험법<sup>(7, 11, 49, 50, 52, 53)</sup>이 시행되어 왔는데 결과에 있어서는 차이를 보이고 있다.

근관 치료된 치아의 수복에 있어서 post와 core의 제작과 더불어 금관의 장착에 의한 치아강화 효과도 주장되었는데<sup>(2, 48, 49, 50, 54, 55, 56, 62, 63, 64)</sup> 지대치의 ferrule design과 파절 저항성에 대한 연구가 관련되어 보고되었다. core나 금관의 일부분으로써 근관 치료된 치아의 강도를 증진 시키고 치근의 파절을 방지하는 ferrule 효과에 대해서는 이미 많은 선행들에 의해 그 중요성이 언급되었지만 치아의 파절 저항성을 증가시키기 위한 ferrule desing과 잔존 지대치의 형태에 대해서는 다소 이견이 있었다<sup>(57-64)</sup>.

본 연구에서는 post와 core의 응력분산 양상에 영향을 미치는 여러 요인들 중에서 치관부 잔존 치질의 양과 형태 그리고 post와 core 재료의 종류에 따른 효과를 관찰하기 위하여 post의 길이, 직경, 형태, 그리고 표면의 특성은 동일하게 설정하고 치관부 잔존 치질의 양과 형태, 그리고 post와 core 재료의 종류를 다르게 적용하였다. 이렇게 완성된 post와 core의 상부에는 전장금관을 장착하여 수직하중과 경사하중 시 post와 core 그리고 치근 내부에서의 응력분산 양상을 2차원 유효요소 분석법을 이용하여 von Mises equivalent stress로 비교한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 연구 방법

본 연구에서는 하악 제2구소치의 협설측 단면모형<sup>(65)</sup>에 0.2mm 두께의 치근막<sup>(66)</sup>과 해면골 및 피질골을 하악체형으로 부여하였으며 post의 길이는 치근 침단에서 5mm의 gutta percha를 남긴 상태로, 그리고 post의 직경은 1.5mm로 동일하게 설정하였다.

post와 core의 재료는 두가지 종류로, cast gold post와 core인 경우와 stainless steel post에 composite resin core인 경우로 구별되며 모든 모형은 3형 금합금으로 제작된 금관을 가진다(Fig. 1, 2).

치관부의 잔존 치질량에 따른 형태는 7가지로 나

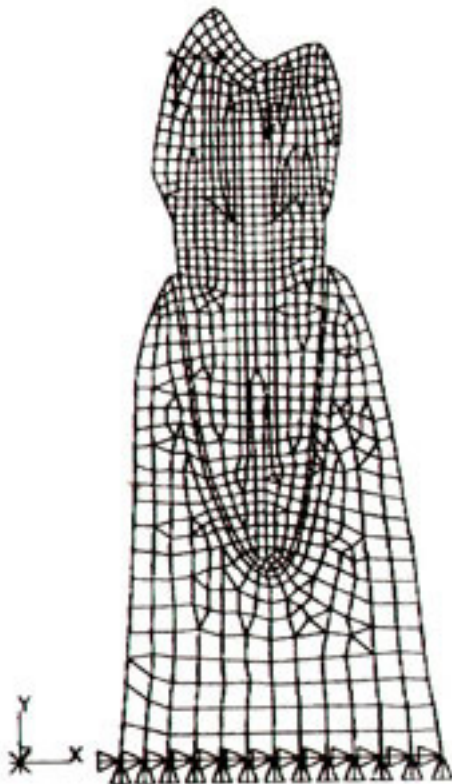


Fig. 1. Finite element model >node fixed in X and Y directions

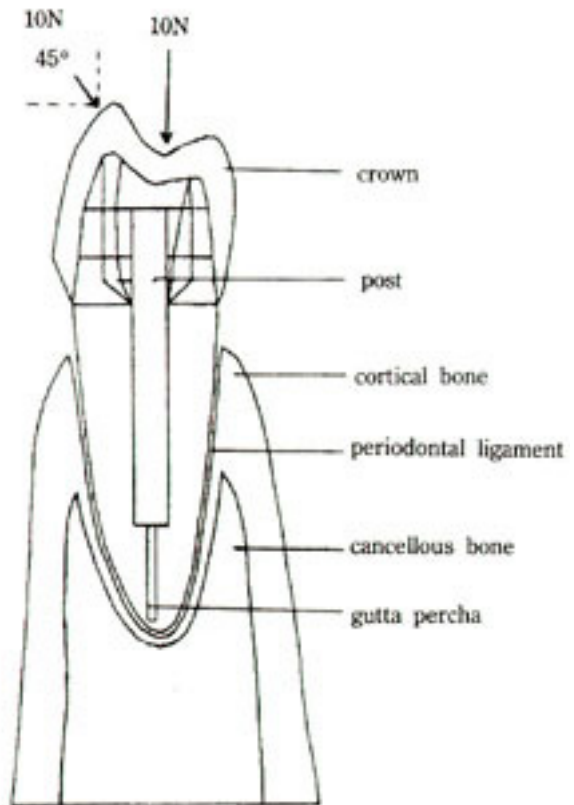


Fig. 2. Model compositions and directions of force

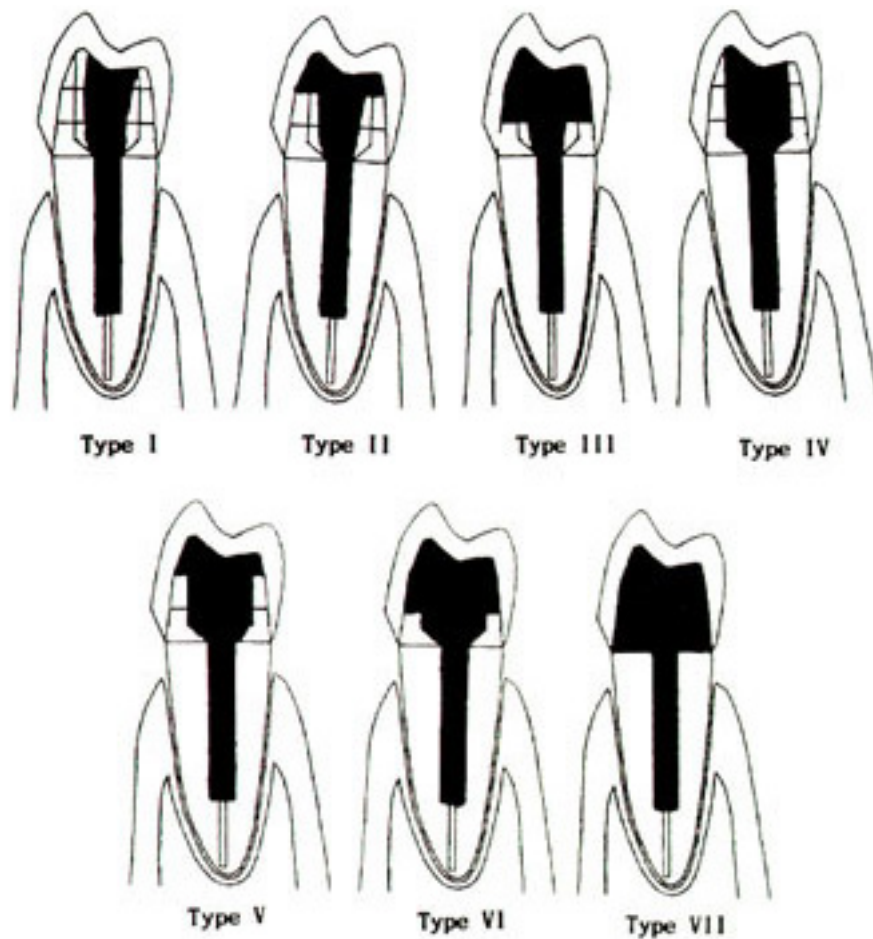


Fig. 3. Cross sectional views of post and core design. Black colored parts indicate locations of post and core materials.

뉘는데 금관 변연에서 상부로의 잔존 치질량을 길이와 폭경에서 각각3단계로 변화시켰다(Fig. 3).

유한요소 분석을 위해 필요한 구성성분의 물리적 특성은 선학들의 보고<sup>(34-41)</sup>를 참고하여 표1과 같이 설정하였고 이렇게 설계된 모형에 10N의 힘을 교합면 외의 중심부에 수직인 경우와 협측 교두의 협측 경사면에 45도 경사진 경우로 각각 적용하였다(Fig. 2).

post와 치질사이의 cement, 보철물과 상아질 혹은 core 사이의 cement는 무시할만한 두께이기 때문에 본 연구에서는 포함하지 않았다<sup>(41)</sup>.

위와 같이 모형 설계 과정을 완료후 유한요소 프로

Table 1. material properties used in finite element models

Materials	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Cortical bone	13,700.0	0.30
Cancellous bone	1,370.0	0.30
Periodontal ligament	68.9	0.45
Dentin	18,300.0	0.31
Type III gold alloy	100,000.0	0.33
Stainless steel	200,000.0	0.30
Composite resin	16,600.0	0.24
Gutta percha	0.0*	0.45

\* 0.00069

그림인 ANSYS(Swanson Analysis System, Inc, Houston, Pa, U.S.A)를 이용해서 그 결과를 von Mises equivalent로 분석하였다.

### III. 연구 결과

각 모형에서 수직과 경사하중이 가해질 때 치근 내부 상아질과 post와 core에서 발생하는 von Mises equivalent stress 양상은 그림 4, 5에 도해하였고 그 최대값과 최소값은 표 2-5와 같다.

치관부 잔존 치질량과 형태에 따른 응력분산 양상과 크기는 분명한 차이를 보이지 않았다. 재료가 cast gold post와 core인 경우 각 모형에 상관없이 상아질에서는 수직 하중인 경우 금관의 설측 변역 직

하방 부위에 응력이 집중되었고(Fig. 4, a), 경사하중에서는 치조골의 정상부위에 인접한 설측 치근면에서 응력이 집중되는 양상을 보였다(Fig. 4, b). 그리고 post와 core에서는 상아질에서보다 큰 응력 집증을 보이는데 수직하중시 post의 첨단부위에서 힘이 가해진 반대측의 post 중앙부위에서 최대 응력이 나타났다(Fig. 4, b).

재료가 stainless steel post에 composite resin core인 경우도 각 모형에는 상관없이 상아질에서는 수직하중인 경우 금관의 설측 변역직하방 부위에 응력이 집중되었고(Fig. 5, a), 경사하중인 경우 치조골의 정상부위와 인접한 설측 치근면에서 응력이 집중되어 나타났는데 단 모형 VII에서는 최대 응력 집중 부위가 보다 금관 변역쪽으로 근접해서 발생했다(Fig. 5, b). 그리고 post와 core에서는 상아질에서

Table 2. Nodal von Mises equivalent stress values(Mpa) under vertical load in cast gold post and core

	Post and Core		Dentin	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Type I	5.76609	0.10079E-03	2.89735	0.48324E-01
Type II	5.76507	0.10078E-03	2.96692	0.20738E-01
Type III	5.76336	0.10077E-03	2.94083	0.19103E-01
Type IV	5.76488	0.10077E-03	2.61229	0.32803E-01
Type V	5.76440	0.10077E-03	2.66058	0.13480E-01
Type VI	5.76367	0.10076E-03	2.70208	0.23931E-01
Type VII	5.75778	0.10071E-03	2.22098	0.41129E-01

Table 3. Nodal von Mises equivalent stress values(Mpa) under oblique load in cast gold post and core

	Post and Core		Dentin	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Type I	10.43102	0.85584E-04	6.30521	0.13751
Type II	10.45371	0.85615E-04	6.26380	0.13792
Type III	10.46104	0.85629E-04	6.25111	0.13804
Type IV	10.43736	0.85601E-04	6.25086	0.13777
Type V	10.44617	0.85613E-04	6.23606	0.13791
Type VI	10.45283	0.85625E-04	6.22728	0.13800
Type VII	10.41002	0.85613E-04	6.24777	0.13766

보다 크기가 작은 응력 분포를 보였는데 수직하중시는 하중이 가해진 금관부위에 인접한 core 부위에서 응력의 집중을 보였고(Fig. 5, a), 경사하중시는 모형 I-V인 경우는 core가 시작되는 부위의 근관 입구에서 응력의 집중을 보였고 모형VII에서는 금관의 변역에 인접한 core 부위에 응력이 집중되어 상아질의 최대 응력 집중부위와 일치되는 양상을 보였다(Fig. 5, b).

두가지 재료의 경우에서 모두 하중의 각도가 응력 분산 양상과 크기에 영향을 미쳤는데 수직하중에서보다 경사하중시 상당히 큰 응력분포를 보였다.

이렇게 치근내 상아질에서의 응력분산 양상은 두가지 재료에서 모두 유사하게 나타났지만 그 응력의 크기는 상대적으로 차이를 보였는데 상아질에서 발생하는 응력값이 cast gold post와 core인 경우가

stainless steel post에 resin core인 경우보다도 더 낮게 나타났다. 즉 하중이 가해졌을 때 cast gold post와 core에서는 치근내 상아질에서 보다는 post와 core를 응력이 집중되었고, stainless steel post, 에 resin core인 경우는 post와 core에서보다 치근내 상아질로 응력이 집중되는 양상을 보였다(Table 2-5).

#### IV. 총괄 및 고찰

본 연구는 하악 소구치에서 근관치료후 치관부 잔존 치질의 양과 형태, 그리고 post와 core 재료의 종류가 치아에 하중이 가해질 때 치근내에서 발생하는 응력분산 양상에 어떻게 영향을 미치는가를 유한요

Table 4. Nodal von Mises equivalent stress values(Mpa) under vertical load in stainless steel post and resin core

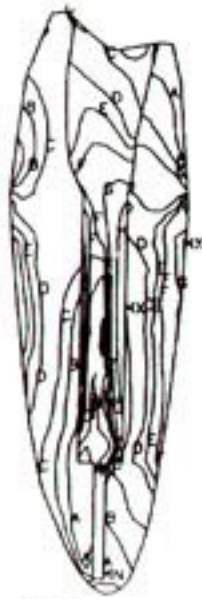
	Post and Core		Dentin	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Type I	3.39594	0.97293E-04	4.73873	0.26749
Type II	3.42383	0.97293E-04	4.73731	0.29147
Type III	3.41731	0.97293E-04	4.75406	0.32006
Type IV	3.39909	0.97295E-04	4.79885	0.29176
Type V	3.41669	0.97295E-04	4.79708	0.30377
Type VI	3.41666	0.97295E-04	4.80055	0.32491
Type VII	3.41543	0.97296E-04	5.03475	0.46987

Table 5. Nodal von Mises equivalent stress value(Mpa) under oblique load in stainless steel post resin core

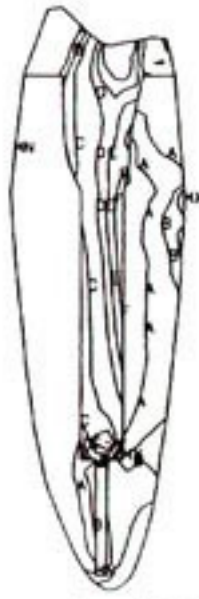
	Post and Core		Dentin	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Type I	3.66403	0.66801E-03	7.65044	0.26954
Type II	3.66073	0.66801E-04	7.65079	0.26966
Type III	3.65629	0.66802E-04	7.65166	0.26955
Type IV	3.68139	0.66802E-04	7.65410	0.26955
Type V	3.67971	0.66803E-04	7.65425	0.26955
Type VI	3.67711	0.66803E-04	7.65457	0.26955
Type VII	4.02476	0.66804E-04	7.90741	0.26955



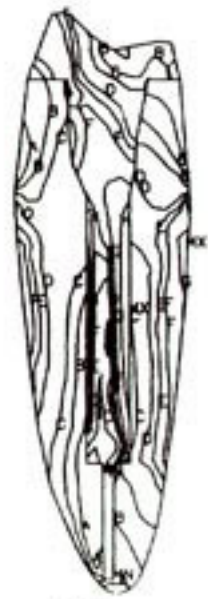
Type I (a)



(b)



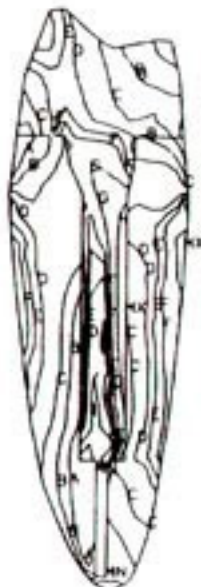
Type II (a)



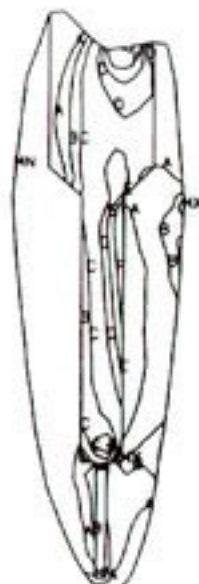
(b)



Type III (a)



(b)



Type IV (a)



(b)

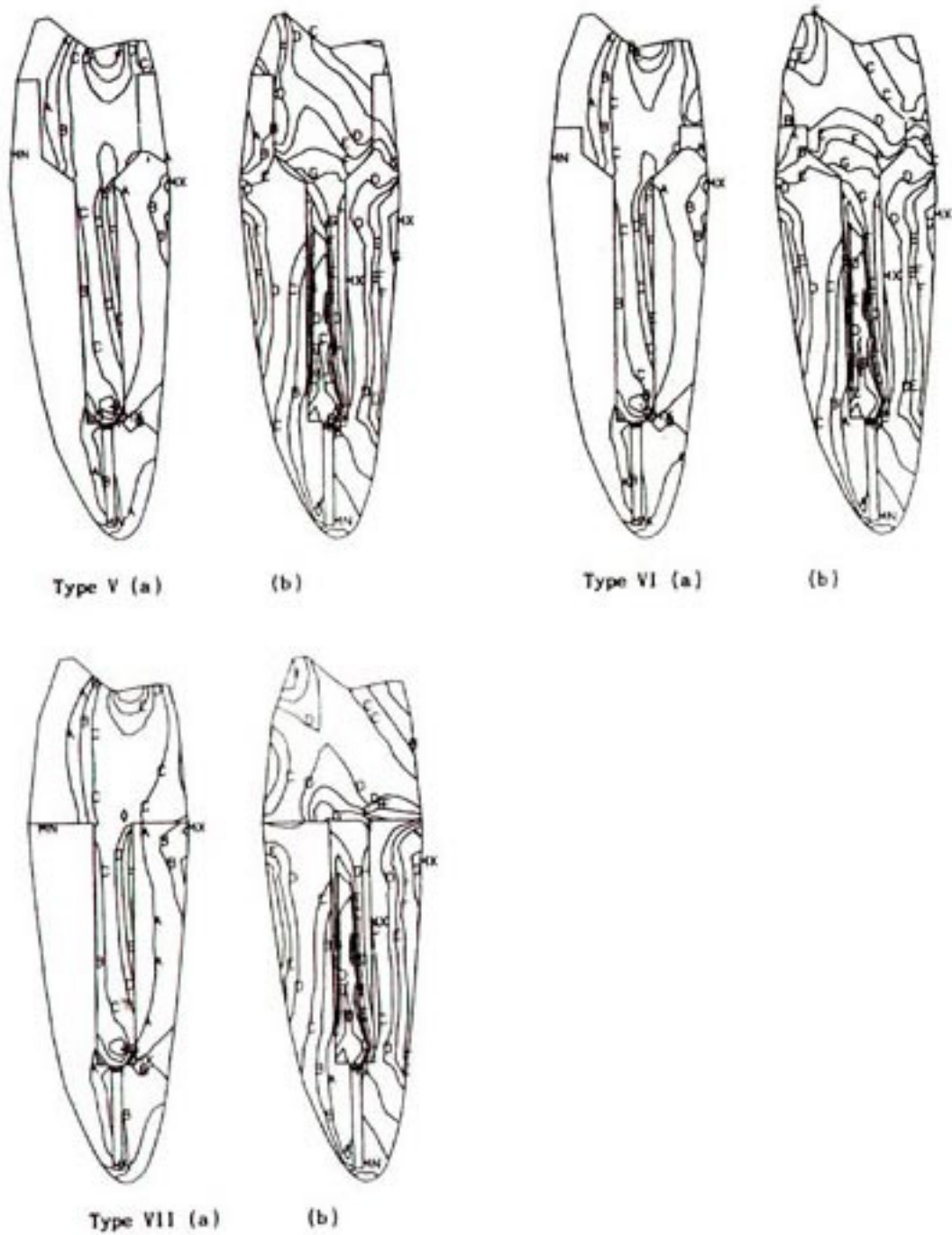
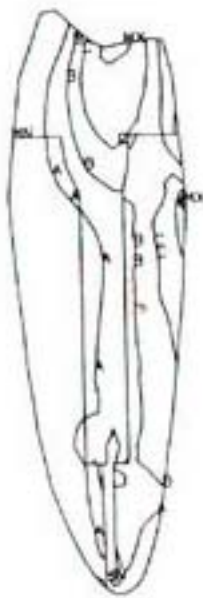
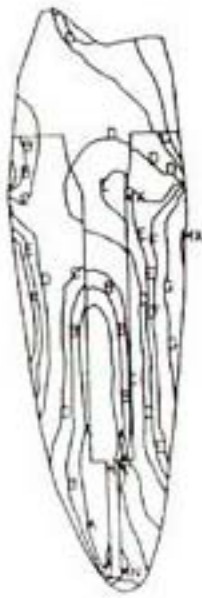


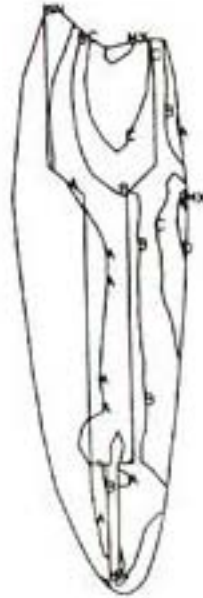
Fig. 4. Comparisons of von Mises equivalent stress contours in dentin and cast gold post and core under vertical(a) and oblique(b) forces. A, 1 : B, 1.5 : C, 2 : D, 3 : E, 3.5 : F, 4 : G, 5 : H, 7 Mpa



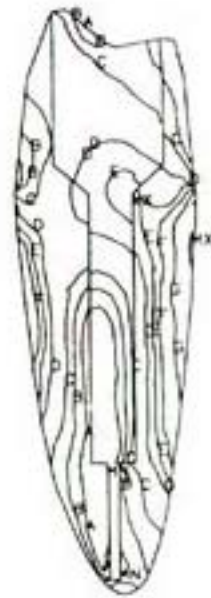
Type III (a)



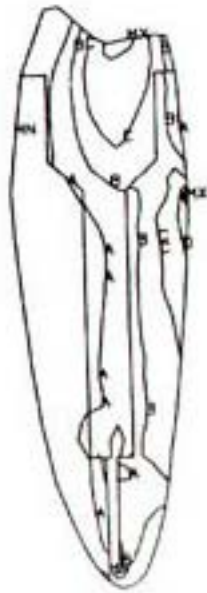
(b)



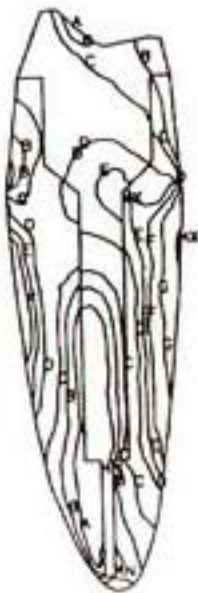
Type IV (a)



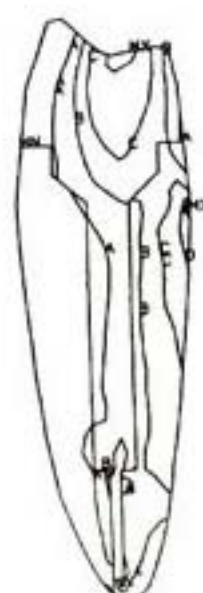
(b)



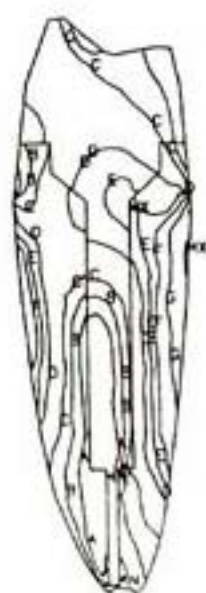
Type V (a)



(b)



Type VI (a)



(b)



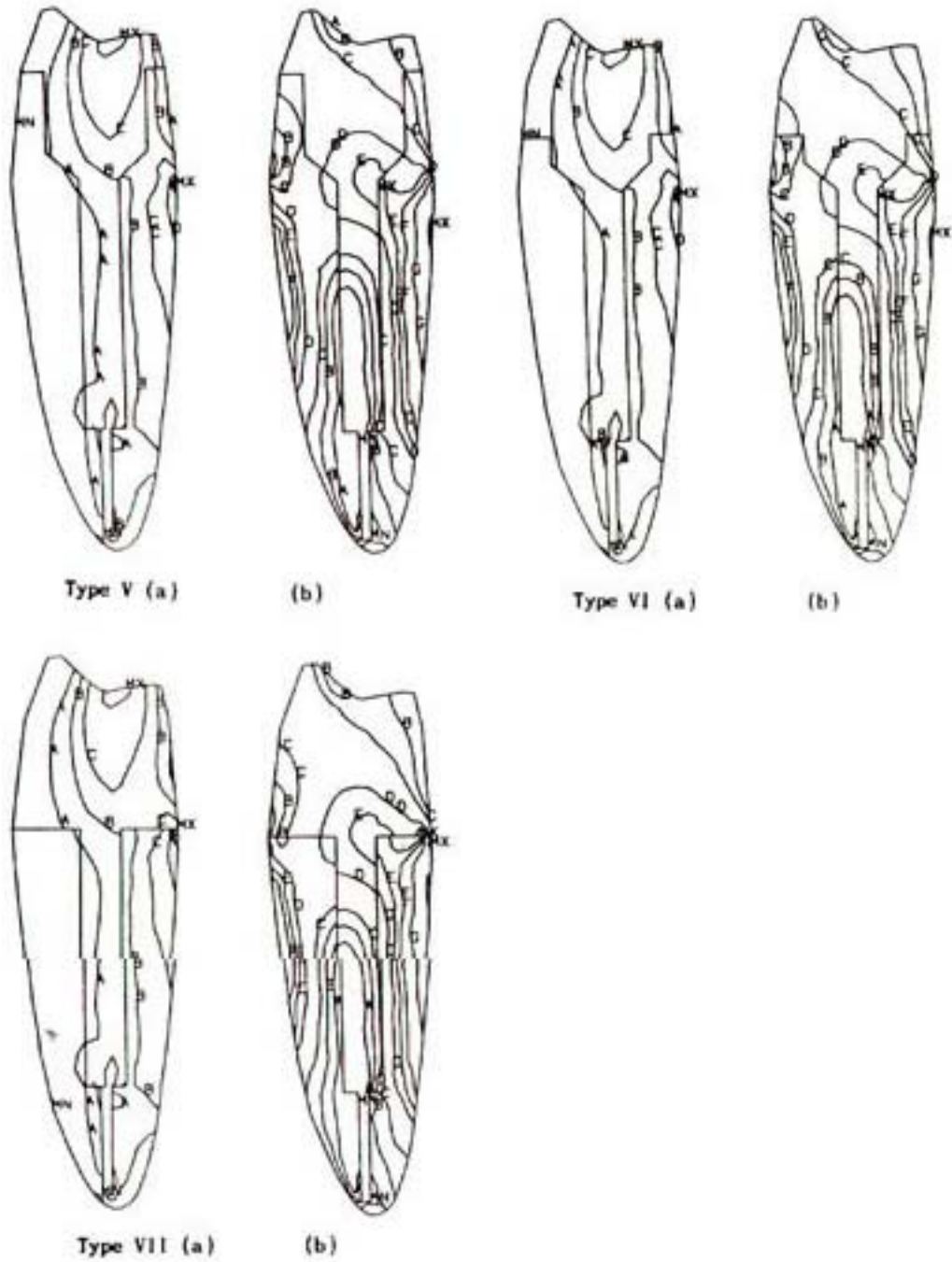


Fig. 5. Comparisons of von Mises equivalent stress contours in dentin in dentin and stainless steel post and resin core under vertical(a) and oblique(b) forces. A, 1 : B, 1.5 : C, 2 : D, 3 : E, 3.5 : F, 4 : G, 5 : H, 7 Mpa

소법적으로 관찰하고자 하였다.

근관치료와 금관을 위한 치아 삭제후 잔존된 치관부 치질량을 그 폭과 높이에서 3등분으로 나누어 7가지의 모형으로 제작하였는데(Fig. 3), 본 연구에서는 잔존 치질의 폭과 높이에 따른 응력분산 양상 및 크기에 거의 차이가 없었다(Fig. 4, 5).

금관이 core의 하방부위 건전 치질을 감싸는 ferrule 효과에 대해서는 이미 여러 연구가 있었는데<sup>(56-61)</sup> ferrule은 1) 기능시 발휘되는 lever force에 대해, 2) tapered dowel을 이용시 생길수 있는 wedging effect에 대해, 3) dowel의 삽입동안 야기되는 측방력에 대해 방어하도록 실패치를 구조적으로 보강하기 위한 목적으로 그 이용을 고려해왔다<sup>(57)</sup>.

이미 여러 학자들이 이런ferrule효과를 얻기 위해 최종 보철물의 중요성을 언급해 왔는데<sup>(55-64)</sup>, Rosen 등<sup>(2)</sup>은 최종 보철물은 extracoronaral brace 혹은 치은 연하 collar를 가져야 하며 그 hugging action에 의해서 치아의 수직 파절을 예방할 수 있다고 진술한 바가 있었고, Milot등<sup>(59)</sup>도 최종 보철물에 1mm의 bevelled metal collar를 준 경우 post의 종류에는 상관없이 치근파절에 대한 저항성이 증가됨을 발견했는데 이는 Hoag 등<sup>(49)</sup>과도 일치되는 결과이다. 또한 Barkhordar 등<sup>(60)</sup>은 cast post와 core에 포함된 metal collar가 역시 치근 파절에 대한 저항성을 증가시킨다고 밝혔으며 Loncy 등<sup>(61)</sup>의 3차원 광탄성 분석에서도 cast post와 core에 포함된 1.5mm의 metal collar가 응력분산 효과에 기여한다고 보고하였다. 반면 Tjan과 Whang<sup>(58)</sup>은 금관에 첨가된 metal collar가 치근 파절에 대한 저항성을 개선시키지 않는다고 보고했으며, Sorensen과 Engleman<sup>(51)</sup>의 ferrule design과 치근의 파절 저항성에 대한 연구에서도 치아와 core의 연결 부위나 금관 변역에서의 contrabevel은 파절 저항성을 증가시키는데 거의 효과가 없었고 이보다는 금관 변역위의 평행한 1mm의 치관부 치질이 치아의 파절 저항성을 증가시켰다고 주장했다.

이와 같이 금관이나 cast post 와 core에 포함된 metal collar로 부터 얻는다고 가정되는 ferule 효과에 대해서는 그 디자인이나 효과에 있어서 서로 상반되는 주장이 있어 왔는데, 본연구에서는 금관의 변역위로 남아 있는 건전치질의 양과 형태에 따른 응력분

산 양상이나 그 크기가 차이를 보이지 않았으며, ferule 효과를 전혀 기대할 수 없는 모형 VII에서도 다른 모형들과 분명한 차이를 보이지 않았다(Table 2-5, Fig. 4, 5). 다만 stainless steel post에 resin core인 경우 모형 VII은 수직하중과 경사하중에서 다른 모형의 응력값보다는 약간 증가된 수치를 보이는데 특히 경사하중시 모형 I-VI에서보다 최대응력이 금관의 변역쪽으로 더 가깝게 나타났다(Table 4, 5, Fig. 5). 그러나 cast gold post와 core에서는 모든 모형에서 유사한 응력분산 양상과 최대 응력값을 보였다(Table 2, 3, Fig. 4).

이런 결과는 parallel-sided post의 이용이 metal collar 의 ferrule 효과를 최소화 시킬수 있다는 Loney 등<sup>(61)</sup>의 견해와 일치되는데 parallel-sided post의 우수한 유지력과 그 응력분산 능력이 영향을 미친것이라 생각된다.

또한 이 연구의 유한요소 모형은 2차원이고 실제 ferrule 효과는 2차원으로는 재현할 수 없는 현상임을 감안할 때 3차원적인 유한요소 모형의 필요성이 요구된다고 사료된다.

비록 본 연구에서는 ferrule 효과는 확인 할수 없었으나 금관의 장착으로 인한 상아질 내에서의 응력 분산 양상은 Assif 등<sup>(48)</sup>과 일치되는 결과를 보여주었다. 즉 수직하중시 post의 침단근방 상아질에서보다 금관의 변역 직하방 부위로 응력이 집중되는 양상을 보였고 경사하중시도 치경부에 응력이 집중되는 양상을 보였는데 Assif 등<sup>(48)</sup>은 광탄성 분석을 통해서 post의 장착 유무에 상관없는 금관은 cementoenamel junction으로 응력의 집중을 야기하며 수직하중시 post의 형태가 응력 분산 양상에 미치는 영향을 감소시켰다고 보고하였다.

그러나 Cailleteau 등<sup>(36)</sup>의 유한요소 분석법에 의한 결과와는 다소 차이가 있는데 이 연구에서는 post와 금관으로 수복된 경우도 수평하중시 최대응력이 post의 침단으로 이동되었다. 이는 post의 침단에서 최대 굽힘상태가 생긴 결과인 것으로 보이는데 수평으로 가해진 힘의 방향도 결과에 영향을 준 것으로 사료된다.

본 연구에서 post와 core 재료의 종류에 따른 상아질내에서의 응력분산 양상은 유사하게 나타났지만 크기는 다소 차이를 보였다. 즉 cast gold post와

core로 수복된 경우가 stainless steel post에 composite rein core로 수복된 경우보다 더 낮은 최대응력값을 보였다(Table 2-5). 이런 결과는 Kantor와 Pine<sup>(45)</sup>의 결과와는 일치되기도 하지만 앞서 연구한 보고들 중에는 이와는 상이한 결과를 보이기도 하였다.

Chan과 Bryant<sup>(50)</sup>는 cast gold post와 core인 경우와 stainless steel post에 composite resin core 혹은 amalgam core인 경우로 수복한후 금관을 제작하고 파절 강도를 실험한 결과 cast gold인 경우가 다른 2가지 경우보다 파절 강도가 약간 더 낮았고 파절 양상도 cast post인 경우는 주로 치고 파절과 post와 core의 이탈인 반면 amalgam과 resin인 경우는 주로 core의 파절이고 치근 파절을 적었다.

Lovdahl과 Nicholls<sup>(7)</sup>은 금관을 장착하지 않은 상태에서 파절 강도를 비교한 결과 강도의 크기가 자연 치관, pin-retained amalgam, cast gold의 순으로 나타났으며, Moll 등<sup>(52)</sup>은 pin-retained composite resin core가 cast gold post와 core보다 적어도 4배 정도 강하다는 결과를 보고하였다.

한편 Nayyar 등<sup>(55)</sup>은 amalgam post와 core, cast post와 core, 그리고 자연치관을 비교한 결과 2mm의 metal collar를 가진 경우 파절 강도에 있어서 차이를 보이지 않았는데 즉 치아를 강화시키는 것은 post가 아니라 금관임을 강조했다며 Hoag와 Dwyer<sup>(49)</sup>도 유사한 결과를 보고하였다. Eshelman과 Sayegh<sup>(53)</sup>역시 금관을 장착한 경우 post와 core의 재료와 치아의 파절 저항성에는 중요한 관계가 없으며 이보다는 하중의 각도가 치근의 파절 저항성과 파절 양상에보다 큰 영향을 끼친다고 밝힌바 있다.

Ko등<sup>(35)</sup>에 의해서도 2차원 유한요소 모형을 이용해서 분석한 결과 저작시와 외상시의 하중방향에서 post의 강하 효과가 수직방향에서 보다 더 낮게 나타났다. 그는 이런 결과를 circular cylinder의 굽힘 강도가 직경의 4제곱에 비례한다는 것을 비유하여 post는 치아의 중심부에 있으므로 굽힘 강도에 대한 post의 기여도가 낮으며 수직하중시는 post가 압축된 상태에 있기 때문에 응력 감소 효과가 높은것으로 설명하였다.

본 연구에서도 하중의 각도가 수직인 경우와 경사진 경우에서 응력분산 양상과 크기가 차이를 보였는

데 경사하중인 경우 수직하중보다 전반적으로 큰 응력이 발생했고, 최대응력이 집중되는 부위는 치경부 쪽에서 나타났다.

본 연구에서는 2차원 유한요소 모형을 이용했다는 점과 post와 core 구조물과 상아질 사이에서 cement층을 고려하지 않았다는 점등에서 그 결과가 실제의 임상 상황과 차이를 있을수 있다고 여겨지며<sup>(38, 45)</sup> 또한 압축과 인장 강도가 크게 차이나는 상아질과 치과용 수복 재료에 보다 적절하게 적용될 수 있는 파절 판정 기준이 필요하다고 사료된다.

## V. 결론

근관 치료된 치아에서 post와 core 수복이 응력을 분산시키는 효과는 여러가지 요인에 의해 변화될 수 있는데 본 연구에서는 이 요인들 중에서 치관부 잔존 치질의 양과 형태 그리고 post와 core 재료의 종류가 응력분산 효과에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다.

근관 치료후 주조 금관이 장착된 하악 제2소구치의 2차원 유한요소 모형을 제작후 post의 길이, 직경, 형태, 표면의 특성은 동일하게 고정시키고, 치관부 잔존 치질량에 따라 형태를 7가지 모형으로 나누었으며 post와 core재료는 cast gold post와 core인 경우와 stainless steel post에 resin core인 경우로 설정하였다.

이렇게 설계된 모형에 10N의 수직 및 경사하중을 가하여 발생하는 응력분산 양상을 von Mises equivalent stress로 비교 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 치관부 잔존 치질량은 post와 core 그리고 상아질내의 응력분산 양상과 크기에 영향을 미치지 않았다.
2. post와 core 재료의 종류에 따른 상아질내 응력분산 양상은 유사하게 나타났으며 최대 응력값은 cast gold post와 core인 경우가 stainless steel post에 composite resin core보다 더 작게 나타났다.
3. 수직 하중시 상아질내 최대 응력은 금관의 설

측 변연 직하방에서 나타났고, 경사 하중시 최대 응력은 치조골 정상에 인접한 설측 치근면에서 나타났다.

## 참고문헌

1. Shillingburg, H.T., Fisher, D.W. : Restoration of endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent* 24 : 401, 1970.
2. Rosen H. : Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth. *J prosthet Dent* 11 : 973, 1961.
3. Guzy, G.E., Nicholls, J.I. : In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. *J Prosthet Dent* 42 : 39, 1979.
4. Sorensen, J.A., Martinoff, J.T. : Intracoronal reinforcement and coronal coverage : A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51 : 780, 1984.
5. Sorensen, J.A., Martinoff, J.T : Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52 : 28, 1984.
6. Sorensen, J.A., Martinoff, J.T. : Endodontically treated teeth as abutments *J Prosthet Dent* 53 : 631, 1985.
7. Lovdahl, P.E., Nicholls, J.I. : Pin retained amalgam core vs. cast-gold dowel & core. *J Prosthet Dent* 38 : 507, 1977.
8. Hunter, A.J., Feiglin, B., Willams, J.F. : Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 62 : 166, 1989
9. Leary, J.M., Aquilino, S.A., Svare, C.W. : An evaluation of post length within the elastic limits of dentin. *J Prosthet Dent* 57 : 277, 1987.
10. Trabert, K.C., Caput, A.A. : Tooth Fracture—A comparison of endodontic and restorative treatments, *J Endodont* 4 : 341, 1978.
11. Kantor, M.E., Pines, M.S. : A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 38 : 405, 1977.
12. Zvia Hirschfeld, Noah Stern : Post and core . . . the biomechanical aspect. *Aust Dent J* 17 : 467, 1972.
13. Perel, M.L., Muroff, F.I. : Clinical criteria for posts and cores. *J Prosthet Dent* 28 : 405, 1972.
14. Sapone, J., Lorencki, S.F. : An endodontic-prosthetic approach to internal tooth reinforcement. *J Prosthet Dent* 45 : 164, 1981.
15. Harvey, L. Colman : Restoration of endodontically treated teeth. *Dent Clin North Am* 23 : 647, 1979.
16. Virgil, M.S. Lau : The reinforcement of endodontically treated teeth. *Dent Clin North Am* 20 : 313, 1976.
17. Bower, R.C. : Secondary intertion post and core. *Aust Dent J* 22 L 128, 1977.
18. Sheets, C.E. : Dowel and core foundations. *J Prosthet Dent* 23 : 58, 1970.
19. Baraban, D.J. : The restoration of endodontically treated teeth : An update *J Prosthet Dent*. 59 : 553, 1988.
20. Robbins, J.W. : Guidelines for the restoration of endodontically treated teeth *J Am Dent Assoc* 120 : 558, 1990.
21. Johnson, J.K., Schwarts, N.L., Blackwell, R.T. : Evaluation and restoration of endodontically treated posterior teeth. *J Am Dent Assoc* 93 : 597, 1976.
22. Reeh, E.S., Douglas, W.H., Messer, H.H. : Stiffness of endodontically treated teeth

- related to restoration technique. *J Dent Res* 68 : 1540, 1989.
23. Sedgley, C.M., Masser, H.H. : Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endodontics* 18 : 332, 1992.
  24. Huang, T.G. : Effects of moisture content and endodontic treatment of some mechanical properties of human. *J Endodontics* 18 : 209, 1992.
  25. Mattison, G.D. : Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J Prosthet Dent* 48 : 407, 1982.
  26. Sokol, D.J. : Effective use of current core and post concepts. *J Prosthet Dent* 52 : 231, 1984.
  27. Caputo, A.A., Standlee, J.P. : Pins and posts—Why, When and How. *Dent Clin North Am* 20 : 299, 1976.
  28. Standlee, J.P., Caputo, A.A. : Analysis of stress distribution by endodontic posts. *Oral Surg* 33 : 952, 1972.
  29. Standlee, J.P., Caputo, A.A. : and Holcomb, J.P. : The dentatus screw : comparative stress analysis with other endodontic dowel designs. *J Oral Rehab* 9 : 23, 1982.
  30. Standlee, J.P., Caputo, A.A., and Holcomb, J.P. : The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J Prosthet Dent* 44 : 398, 1980.
  31. Cooney, J.P., Caputo, A.A., and Trabert, K.C. : Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. *J Prosthet Dent* 55 : 540, 1986.
  32. Standlee, J.P., Caputo, A.A. : The retentive and stress distributing properties of split threaded endodontic dowels. *J Prosthet Dent* 68 : 436, 1992.
  33. Caputo, A.A., Hokama, S.N. : Stress and retention properties of a new threaded endodontic post. *J Prosthet Dent* 18 : 431, 1987.
  34. Davy, D.T., Dilley, G.I. and Krejci, R.F. : Determination of stress patterns in root-filled teeth incorporating various dowel designs. *J Dent Res* 60 : 1301, 1981.
  35. Ching-Chand Ko, Chung-sheng Chu : Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 68 : 421, 1992.
  36. Cailleteau et al : A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J Endodont* 18 : 540, 1992.
  37. Ming-Hsun Ho, Hsiang-Ho chen : Threedimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 72 : 367, 1994.
  38. Peters et al : Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res* 62(6) : 760, 1983.
  39. Pao, Y.C., Reinhardt, R.A., and Krejci, R.F. : Root stresses with tapered-end post design in periodontally compromised teeth. *J Prosthet Dent* 57 : 281, 1987.
  40. Reinhardt, R.A., Pao, Y.C., and Krejci, R.F. : Dentin stresses in post-reconstructed teeth with diminishing bone support. *J Dent Res* 62(9) : 1002, 1983.
  41. 양홍서 : 전치부 계속치의 지대치 및 지지 조직의 역학 반응에 관한 유한요소법적 연구. *대한치과의 시협회지* 24 : 617, 1986.
  42. 류선열, 양홍서, 조규중 : Post 형태에 따른 치근 내부와 지지 조직의 응력 분산에 관한 2차원적 연구—광탄성 및 유한요소 법적 연구, *대한치과 의사 협회지* 26 : 737, 1988.
  43. 김진, 방몽숙 : 지대치 형태에 따른 Post core의 치근 내부 및 지지 조직의 응력분석, *대한치과보*

- 철학회지 31 : 468, 1993.
44. Huysmans and Van der varst : Finite element analysis of quasistatic and fatigue failure of post and cores. *J Dent* 21 : 57, 1993.
  45. Rubin et al : Stress analysis of the human tooth using a three-dimensional finite element model. *J Dent Res* 62(2) : 82, 1983.
  46. Williams, K.R., Edmundson, J.T., and Rees, J.R : Finite element stress analysis of restored teeth. *Dent Mater* 3 : 200, 1987.
  47. Kamposiora et al. : Finite element analysis estimates of cement microfracture under complete veneer crowns. *J Prosthet Dent* 71 : 435, 1994.
  48. Assif dt al : Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent* 61 : 535, 1989.
  49. Hoag, E.P., Dwyer, T.G. : A comparative evaluation of three post and core techniques. *J Prosthet Dent* 47 : 177, 1982.
  50. Chan, R.W., Bryant, R.W. : Post-core foundations for endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent* 48 : 401, 1982.
  51. Peter Yaman, Thorsteinssonm, T.S. : Effect of core materials on stress distribution of posts. *J Prosthet Dent* 68 : 416, 1992.
  52. Moll, Howe, D.F., and Svare, C.W. : Cast gold post and core and pin-retained composite bases : A comparative study in strength. *J Prosthet Dent* 40 : 642, 1978.
  53. Esthelman, E.G., Sayegh, F.s. : Dowel materials and root fracture. *J Prosthet Dent*, 50 : 342, 1983.
  54. Goerig, A.C., Mueninghoff, L.A. : Management of the endodontically treated tooth. Part I : concept for restorative designs. *J Prosthet Dent* 49 : 340, 1983.
  55. Nayyar, A., Walton, R.E., Jeonard L. : An amalgam coronal-radicular dowel and core technique for endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent* 43 : 511, 1980.
  56. Gelfand M., Goldman M., Sunderman E.J. : Effect of compete veneer crowns on the compressive strength of endodontically treatec posterior teeth. *J Prosthet Dent* 52 : 636, 1984.
  57. Sorensen, J.A., Engelman, M.J. : Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 63 : 529, 1990.
  58. Tjan, H.L., Whang, S.B. : Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls. *J Prosthet Dent* 53 : 496, 1985.
  59. Patrice Milot, Stein, R.S. : Root Fracture in endodontically treated teeth relate to post selection and crown design. *J Prosthet Dent* 68 : 428, 1992.
  60. Barkhordar, R.A., Radke, annd Abbasi : Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 61 : 676, 1989.
  61. Loney, R.W., Kotowicz, W.E., and McDowell, G.C. : Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent* 63 : 506, 1990.
  62. Goldman, M., : A fresh look at posts and cores in multirooted teeth. *Compendium continuing education* 5 : 711, 1984.
  63. Glantz PO, Nilner K. : Root canal postscome

- prostheodontic aspects. Endod Dent Traumatol 2 : 231, 1986.
64. Alan Hunter : The restoration of endodontically treated teeth. Part 1. Treatment planning and restorative principles. Aust Dent J 33 : 481, 1988.
65. Wheeler R.G. : Dental anatomy and physiology, philadelphia, W.B. Saunder Co., 1974.
66. Ten Gate, A.R. A.R. : Oral histology : Development, structure, and function, 2 nd ed. : 234, C.V. Mosby Co., St. Louis, 1985.

=Abstract=

## **FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTIONS OF DENTIN BY POST AND CORE SYSTEMS**

**Hyun-ja Hong, Young-Chan Jeon, Chang-Mo Jeong**

*Dept. of Dentistry, Graduate School, Pusan National University*

The purpose of this study was to analyze the stress distribution in the dentin and post structures by the various post core materials and the amount of remaining coronal tooth structures.

The 2-dimensional finite element models of mandibular 2nd premolars was divided into seven types according to the various amount of remaining coronal tooth structures.

All types were modeled using equal length, diameter and shape of the post. 2 types of post and core materials were used :

- 1) cast gold post and core
  - 2) stainless steel post and compsite resin core
- 10 Newton force was applied as follows
- 1) vertical force on occlusal fossa
  - 2) 45° oblique force on buccal surface of buccal cusp tip

The results were as follows :

1. There was no apparent difference in the pattern of stress distribution according to the amount of remaining coronal tooth structure.
2. There was no apparent difference in the pattern of stress distribution within the dentin according to the post and core materials. A cast gold post and core generated lower dentin stress than a stainless steel post and resin core.
3. Max. dentinal stress resulting from vertical force was observed in the lingual side of dentin around the crown margin. This stress resulting from oblique force was observed in the lingual root surface of alveolar bone crest level.