

상악 유증절치의 치수치료후 치관수복에 대한 유한요소법적 분석

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

맹명호 · 김용기 · 김종수

Abstract

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS TRANSMITTED TO THE PULPECTOMIZED PRIMARY CENTRAL INCISOR RECONSTRUCTED BY COMPOSITE RESIN CROWN

Myung-Ho Maeng, D.D.S., Yong-Kee Kim, D.D.S., Ph.D., Jong-Soo Kim, D.D.S., Ph.D.

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

The Finite Element Analysis has been used for stress analysis of prosthesis, orthodontic or orthopedic appliances and filling materials.

The primary purpose of the present studying was to evaluate the effectiveness of needle post in promoting the retention and integrity of composite crown restored on the pulp-tomized primary central incisor.

Three finite element models - natural tooth (Sample I), composite crown with (Sample II) and without (Sample III) needle post - were constructed and the stress distribution within each model were analyzed and compared one another.

The results can be summarized as follows :

1. In sample I, the stress was shown to have distributed uniformly throughout the whole tooth even to the alveolar bone.
2. In sample II, the transmission of stress from the crown to the root area was shown to be very poor and irregular.
3. In sample III, the needle post was proved to be very effective in distributing the stress well to the alveolar bone which might help in maintaining the stability of crown restoration.

Key word : Finite element analysis, Pulpectomy, Stress distribution analysis, Trauma

I. 서 론

소아 환자의 상악 전치부 손상의 원인은 모유 및 수유에 의한 다발성 우식증⁴⁾이나 외상 등이며, 특히 다발성 우식증은 치수 침범이 용이하여 치수절제술을 자주 시행하게 된다. 어떠한 원인에 의해서라도 전치부 치관이 손상된 경우 통상의 치수치료가 완료된 후 손상된 치관을 수복시켜야 할 필요가 있다. 치관 수복에 적극 추천되는 방법 중의 하나로 복합 레진을 이용한 전장관 수복이 있다. 그러나 이러한 술식은 임상 치관이 충분히 남아 있어야 하며, 충분치 못한 경우 포스트 등과 같은 보강 방법들이 고려되어야 한다.

유전치의 경우 영구전치와는 다르게 경제적 이유 등으로 인해 기성의 재료들을 많이 사용하게 되며, 진료실에서 흔히 사용되고 있는 주사침은 이러한 요구 조건을 만족시키는 재료 중의 하나이다.

치아우식증과 함께 외상에 의한 치관 파절은 치과영역에서 빈번히 발생하는 문제이며, 파절된 치아를 수복하고 보호하기 위한 여러 가지 방법들이 소개되어져 왔는데, 그 중 하나가 근관치료 후의 치아 파절을 예방하기 위한 포스트 수복 방법이다. 근관 치료된 치아에 있어서 포스트는 치아 수복물의 유지를 증가시키며⁶⁾, 치관 및 치근의 파절에 의한 치아 손상의 수복 방법으로 널리 사용되어졌다. 그러나 포스트 수복물에 의한 근관 내부 응력 집중과 치근 파절로부터 보호할 수 있다는 주장에는 논란이 있어 왔는데, 최근의 유한요소법적 연구에 의하면 포스트의 장착으로 응력이 균일하고 효과적으로 분산되지 않는다고 보고하였고⁷⁾, 전치부에서 포스트의 치아 강화 효과는 제한적이어서 그 효과가 의문시된다고 하였으며⁸⁻⁹⁾, 이와는 대조적으로 포스트는 치아의 견고성을 증가시킨다는 보고도 있다. 또한 근관 치료후 치아를 약하게 만드는 주 요소는 근관치료 자체보다는 잔존 치관의 상실 때문이라는 견해도 제시되고 있다¹⁰⁻¹¹⁾. 그럼에도 불구하고 포스트는 심하게 우식된 치아의 수복시에 적절한 유지를 증가시키기 위하여 이용되기도 한다.

일반적으로 유치의 치수는 고도의 세포 활성화도와 혈관 분포를 가지고 있어 치수 자극에 대한 회

복 능력이 매우 높아 치수의 생활력을 유지하는 능력이 우수한 것으로 알려져 있다²⁾. 그럼에도 불구하고 만성적으로 진행된 치아우식증은 많은 경우에 있어서 치수 절단술 및 치수 절제술이 필요하게 된다. 치수 절제술의 목적은 감염된 치아를 발거하지 않고 구강 내에 잔존시킴으로써 치조골의 발육, 심미성 유지, 발음 기능 등을 유지하며, 감염과 만성 질환을 제거하는데 있다.

치수 절제술의 가장 흔한 실패의 요인들은 수복된 인공 치관의 탈락, 치관 파절 등을 들 수 있는데, 술자의 치료 기술과 임시 충전체의 견고성 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 추측되고 있다. 이에 저자는 치수 절제술시 근관의 견고성을 유지하며 치관 수복에 유리한 방법을 모색하고자 진료실에서 흔히 사용되고 있는 주사침을 응용한 유한요소 모형을 제작하고, 치아 및 치조골에 미치는 응력을 분석하고자 하였다.

유한요소 분석법은 복잡한 구조물을 물리적 성질이 유사하거나 작업의 편의에 따라 여러 개의 작은 요소(element)들로 나누고 각 절점(node)의 좌표, 요소 번호, 구성 성분의 물리적 성질 및 하중 조건 등을 컴퓨터에 입력시킨후 구조물 해석을 위해 고안된 응력분석용 프로그램으로 계산함으로써 각 요소의 응력과 절점의 변위 등을 산출한 후 이를 연속적으로 적용시켜 전체의 형상을 파악하는 공학적 방법이다. 따라서 종래의 방법들과는 달리 수복물이나 치질 및 기타 주위조직에 관한 정확한 자료를 입력시켜 분석할 수 있기 때문에, 발생된 변위와 응력의 크기 및 분포를 정확히 밝힐 수 있다. 포스트를 이용한 수복의 경우, 치아 및 치조골의 응력 분포 양상은 여러 가지 요인, 즉 포스트의 재질, 길이, 직경, 표면의 특성, 적합도 등에 영향을 받는다고 보고되었다¹³⁻¹⁵⁾.

저자는 소아 환자에서 다발성 우식증과 외상으로 인해 치관이 손상된 상악 유증절치의 수복시 포스트 대응으로 진료실에서 흔히 사용되고 있는 주사침을 이용한 경우와 근관치료만 시행하고 치관 수복을 시행한 치아를 모형을 제작하고, 교합력에 의한 치아 및 주위조직에 발생하는 치질 내부의 응력 분포를 이차원적 유한요소법으로 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 문헌 고찰

유한요소 분석법은 1956년 Argyris¹⁶⁾가 컴퓨터를 이용하여 항공기의 구조 역학에 대한 연구를 수행한 이래 활성화되기 시작하여, 1960년 Clough¹⁷⁾에 의해 유한 요소법에 대한 정의가 이루어진 이후 구조 역학 분야에서 실용화되어 많은 발전이 이루어 졌다.

어떠한 물체에 하중이 가해지면 그 물체에는 변형이 일어나게 되며 이 변형에 의해서 가해진 외력과 평형을 이루는 내부응력이 발생한다. 이와 같이 외력에 대한 물체의 변형과 응력분포를 구하는 것을 일반적으로 구조해석이라고 하며, 이러한 구조해석의 궁극적인 목적은 공학적으로는 최적의 설계를 구하기 위한 것이다¹⁸⁻²⁰⁾. 이러한 구조해석을 위해 개발된 유한 요소 분석은, 분석하고자 하는 물체를 물리적 혹은 편의상으로 나눈 유한 요소 위에 특정성질의 기저함수를 정의한 후 적분형 원리를 적용하여 연속체 문제를 유한 차원 문제로 수식화하는 근사적인 방법이다. 다른 응력 분석과는 달리 복합 재료에서도 적용이 가능하며, 복잡한 형태의 경계에도 적용할 수 있고, 대상하는 요소의 크기를 변화시킬 수 있으며, 불연속인 표면하중과 같은 경계조건에서도 적용이 가능하기 때문에 복잡한 형상을 지니고 균일하지 않은 구조물에 발생하는 응력을 분석하는 경우에 매우 유용하게 쓰이며, 전반적인 영역에 걸친 응력의 분포와 측정이 가능할 뿐 아니라 각 부분에서 3차원의 x, y, z축 중에서 어느 것에 의한 것인지를 구분할 수 있고, 변위 전후의 상태를 동시에 비교하여 볼 수 있다는 장점이 있다. 특히 결과를 명암 처리, 단면처리, 색상에 의한 표현, 활동영상처리(animation) 등 다양한 기법을 사용하여 일목요연하게 가시적으로 관찰할 수 있다.

유한 요소법을 이용한 연구들을 살펴보면, 보철학 분야에서 Meijer 등²¹⁾은 무치악 환자의 하악골에 대한 임플란트의 응력분포를 3차원적 유한 요소법으로 시행하였으며, Kregzde 등²²⁾은 3차원적 유한 요소법을 바탕으로 임플란트 및 보철물의 설계에 대한 연구 보고를 하였으며, Ko 등²³⁾은 치수 치료가 완료된 상악 중절치에 포스트를 설계함에 있어 재료에 따라 상아질에 미치는 응력을 유한

요소법적 분석을 통해 보고하였으며, Sakaguchi 등²⁴⁾은 유한 요소법을 이용하여 임플란트 장착시 생체 역학적 양상에 대한 연구보고를 하였으며, Kamposiora 등²⁵⁾은 치관 수복시 사용되는 시멘트의 미세 파절 양상에 관한 연구에서 유한 요소법을 이용하였다.

구강외과학 분야에서도 유한요소법적 분석이 응용되었는데, Ayoub 등^{26,27)}은 Genioplasty 수술후 골의 안정성과 remodeling에 대한 연구와 턱 교정 수술후의 골에 대한 평가에서 유한 요소법을 응용하였으며, 교정학 분야에서는 Tanne 등²⁸⁾은 head-gear를 장착함으로써 maxillary complex에 미치는 응력에 대한 연구에서 3차원적 유한 요소법을 적용하였으며, Cangialosi 등²⁹⁾은 2급 1류 부정교합 환자의 성장 양상에 관한 연구에서 통상의 중첩(superimposition) 방법보다 유한요소법적 분석이 보다 설득력 있는 결과를 보여준다고 보고하였다.

국내의 경우 보철학 분야에서 1982년 한³⁰⁾, 1983년 하³¹⁾, 1990년 최³²⁾, 김³³⁾, 1992년 김³⁴⁾ 등은 보철물에 있어서의 응력 분석을 유한 요소법으로 시행하였으며, 최근의 연구들로는 김 등³⁵⁾ 국소의치 설계에 따른 응력 분석에, 이 등³⁶⁾은 하악 임플란트 Biocortication의 응력분석에, 홍 등³⁷⁾은 포스트와 코어 시스템의 치근 내부에 미치는 응력에 관한 연구에서, 그리고 김 등³⁸⁾은 복합레진 인레이 수복시 와동형태에 따른 응력 분석에 유한요소법적 분석을 이용하였다. 교정학 분야에서는 교정 치료 시 사용되는 다양한 장치들에 의한 응력 분석에 이용하였으며³⁹⁻⁴⁷⁾, 소아치과학에서도 소아 환자의 교합, 이모 장치에 의한 영향, 충전재료에 따른 응력의 분석을 유한요소법적 방법을 통해 시행하였다⁴⁸⁻⁵⁰⁾ 이외에도 치주과학, 보존학 분야에서도 많은 연구 보고들이 있어 왔다.

유한요소법은 유한요소를 제작하는 기법 및 숙련도, 비선형 문제에 있어서의 해석 방법 등에 따라서 오차가 발생되어 다양한 결과를 얻을 수 있으며, 기본적으로 물질 상수의 정확한 연구를 그 기초로 하기 때문에 물리적 특성에 대한 자료가 충분하지 않아도 근사 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다¹⁸⁾. 매우 간단한 문제를 해결하는데도 수작업으로 행하는 것보다 계산량이 많기 때문에, 크고 복잡한 문제를 하기 위해서는 기억용량이 큰

컴퓨터가 필요로 하다. 모든 결과는 정량적으로 표시하여 주기 때문에 그 자료가 방대하고 이를 다시 임상적으로 재해석해야 하는 번거로움이 있었다. 이러한 어려움은 하루가 다르게 발전하고 있는 하드웨어(hardware)와 소프트웨어(software)를 사용하여 어느 정도 해결되고 있다.

Ⅲ. 연구 대상 및 방법

1. 유한 요소 모형 제작

최근에 발거된 치관이 건전한 상악 유중절치를 선택하여 통법에 따라 치수 절제술을 시행한 후 근원심 중앙 1/2에서 순설면으로 절단하였다. 절단면을 이용하여 컴퓨터에서 모형을 제작할 수 있도록 입력용 도면을 제작하였다.

작성된 도면을 정확한 좌표의 입력과 용이성을 위하여 디지털라이저(digitizer)를 이용하여 Superdraw III (Algor Inc., USA)라는 유한 요소 모형 제작용 캐드 프로그램(CAD Program)을 이용하여 치수절제술전의 정상 유중절치, 치수절제술후 치관수복한 경우와 치수절제술후 주사침을 이용하여 치관수복한 경우의 3가지의 모형을 각각 제작하였다.

Table 1. Numbers of element and node of each models

	Elements	Nodes
Sample 1	311	320
Sample 2	313	320
Sample 3	356	400

Table 2. Physical properties of materials

Materials	Young's Modulus (kg/mm ²)	Poisson's Ratio
Enamel	6000	0.30
Dentin	1200	0.30
Pulp	0.1	0.49
Cementum	1500	0.3
PDL	0	0.45
Composite Resin	1700	v
ZOE	150	0.30
IRM	1500	0.35
Steel	8000	0.30

컴퓨터에 입력된 3개의 치아 모형을 4개의 점과 선으로 이루어진 사각 요소와 3개의 점과 선으로 이루어진 삼각 요소들로 분할하여 유한 요소 모형을 완성하였다(Fig. 1, Table 1).

각 구조물에 따라 색과 군으로 분류하고 선현들의 연구를 바탕으로 하여 각 구성 재료의 Young's modulus와 Poisson's ratio를 적용하였고, 그 값들은 Table 2와 같다. 각 모형간의 응력분포를 비교 분석하기 위하여 치관 및 치근과 치조골에 분포하는 절점들을 선정하고 이들을 연결하는 7개의 계면을 설정하여 Fig. 1에 나타내었다.

2. 유한 요소 모형의 응력 분석

적용된 하중은 정하중(static force)으로써 적용 방향은 치아의 장축에 45도의 각도를 이루게 하였고, 크기는 25kg/mm²으로 설정하였다. SuperDraw III 상에서 완성된 유한 요소 모형을 응력 분석 프로그램인 Super SAP에서 인식할 수 있도록 변환시켜 주는 DECODS-WIN(Algor Inc., USA)으로 전달하였다. 응력 분석시 중력은 9800kg/mm²으로 설정하였고 2차원(2-Dimension), 등방성(isotropic) 유한 요소 모형으로 가정하여 시행하였다. SuperSAP(Algor Inc., USA)에서 유한 요소 분석을 시행하였으며, 결과는 SuperView III (Algor

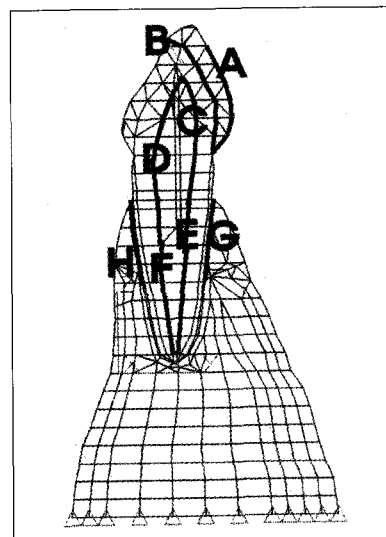


Fig. 1. Reference points on tooth material of calculated stress

Inc, USA)에서 각 모형의 칼라 스펙트럼과 설정된 절점들의 유효응력(Von Mises Stress) 자료를 출력 받아 분석하였다.

IV. 연구 결과

1. 모형 I

모형 I은 치수 절제술을 시행하지 않은 건전한 상악 유중절치를 재현한 것으로서, 정하중을 부여한 경우 교두정으로부터 시작된 약한 정도의 응력이 치관의 협축 1/2를 따라 하방으로 전달되는 것으로 나타났다. 계면 A를 살펴보면, 협축 치경

Table 3. Von Mises stress value of surface A (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5	6	7	8
	315	311	306	300	294	293	286	280
Sample1	1,129	2,785	3,252	5,982	11,900	5,898	2,835	1,956
Sample2	0,332	0,369	0,387	0,125	0,026	0,195	0,699	1,346
Sample3	335	331	326	318	310	309	300	292
	0,404	0,446	0,401	0,337	0,320	0,346	0,440	0,678

Table 5. Von Mises stress value of surface C (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5	6
	307	304	298	291	284	279
Sample1	3,446	3,427	3,081	3,067	2,955	2,618
Sample2	0,805	0,844	1,103	1,162	1,278	1,261
Sample3	327	324	316	307	298	291
	0,451	0,685	0,488	1,002	1,754	2,432

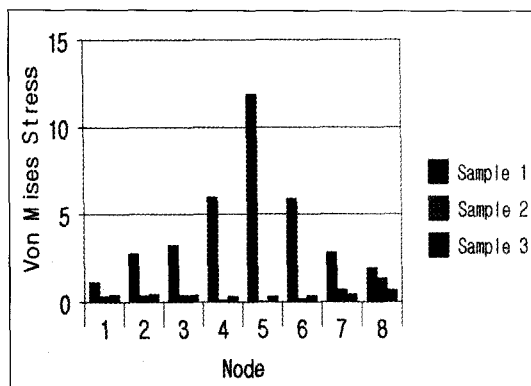


Fig. 2. von Mises stress value of surface A (kg/mm²)

부 1/2 부위에 응력의 집중 현상이 나타났으며(Fig. 10), 그 크기는 11.9kg/mm²로, 모형 II의 0.026kg/mm²과 모형 III의 0.320kg/mm²에 비해 상당히 크게 나타났다(Table 3). 그러나 계면 B의 경우 모형 I, II 그리고 III 모두에서 비슷한 크기와 양상을 보여 주었으며(Table 4, Fig. 10, 12, 14), 단지 모형 I에서 최대 풍용부인 절점 310 만이 다소 높게 나타났다.

계면 C를 살펴보면, 모형 I이 모형 II와 III에 비해 응력이 다소 높게 나타났고(Table 5, Fig. 4), 하방으로 진행될수록 감소하는 양상을 나타내었다. 계면 D에서는 C와는 다르게 하방으로 진행될수록 증가하는 양상을 보여주었다(Table 6, Fig. 5).

Table 4. Von Mises stress value of surface B (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5	6	7	8
	317	313	314	310	305	299	292	285
Sample 1	1,543	1,436	0,834	1,933	0,647	0,716	0,571	1,427
Sample 2	1,653	1,302	0,636	0,717	0,600	0,626	0,788	1,196
Sample 3	337	333	334	330	325	317	308	299
	1,661	1,350	0,572	0,545	0,481	0,414	0,436	0,470

Table 6. Von Mises stress value of surface D (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5
	303	297	290	283	278
Sample 1	0,267	1,467	1,818	2,228	5,327
Sample 2	0,696	0,713	0,677	0,646	0,636
Sample 3	323	313	304	295	288
	1,317	0,502	0,503	1,292	1,806

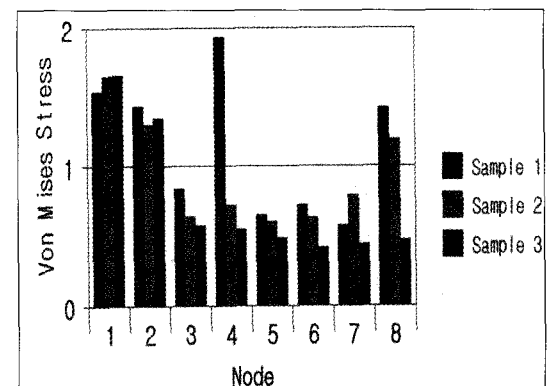


Fig. 3. von Mises stress value of surface B (kg/mm²)

Table 7. Von Mises stress value of Surface F (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5	6
		273	267	260	251	241
Sample1	0.504	0.278	0.090	0.075	0.081	0.103
Sample2	0.516	0.434	0.181	0.156	0.134	0.136
Sample3	281	273	264	253	241	229
	2,236	2,720	2,776	2,312	0,888	0,315
Node	7	8	9	10	11	12
		218	201	183	157	145
Sample1	0.135	0.174	0.198	0.203	0.284	0.434
Sample2	0.174	0.220	0.217	0.206	0.200	0.561
Sample3	218	201	183	157	145	125
	0,225	0,113	0,076	0,051	0,127	0,206

Table 9. Von Mises stress value of Surface G (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5
		264	225	245	233
Sample1	5.740	4.810	2.173	1.006	0.671
Sample2	4.000	3.279	1.509	0.758	0.582
Sample3	270	259	247	233	222
	4,454	3,444	0,519	0,814	0,563

치근의 내부 응력을 나타내고 있는 계면 E와 F를 살펴보면, 치근단을 향해 진행될수록 응력이 감소하여 치근단 부위로 갈수록 아주 미약한 응력만이 남아 있는 것을 볼 수 있었다(Table 7, 8, Fig. 6, 7, 11)

협설측 치조골의 응력을 나타내고 있는 계면 G와 H를 살펴보면, 계면 E와 F와 유사하게 나타났으며, 모형 I이 모형 II와 III에 비해 약간 높게 나타났었다(Table 9, 10, Fig. 8, 9).

전체적으로 모형 I은 정하중 작용점으로부터 응력이 시작되어 치관의 협측 1/2부위를 타고 하방으로 진행되어 협측 치경부에 다소 강한 응력을 분포를 나타내었으며, 치근을 통해 하방으로 계속 진행되어 전달된 응력은 치조골에 까지 고르게 퍼져 나가, 저작압에 자연스럽게 적응하고 있는 것으로 판단되었다.

2. 모형 II

모형 II는 치수 절제술을 시행하고 산화아연 유

Table 8. Von Mises stress value of Surface E (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5	6
		274	268	261	252	242
Sample1	1.426	0.993	0.892	0.386	0.164	0.103
Sample2	0.945	0.592	0.428	0.543	0.482	0.400
Sample3	284	276	267	256	244	230
	3,086	3,389	3,673	3,413	1,321	1,306
Node	7	8	9	10	11	12
		219	202	184	165	146
Sample1	0.135	0.120	0.100	0.099	0.122	0.350
Sample2	0.330	0.296	0.319	0.399	0.586	1.322
Sample3	219	202	184	165	146	126
	0,458	0,286	0,220	0,196	0,203	0,297

Table 10. Von Mises stress value of surface H (kg/mm²)

Node	1	2	3	4	5
		257	248	238	225
Sample1	2.830	2.538	1.328	0.530	0.045
Sample2	2.102	2.028	1.149	0.452	0.386
Sample3	261	250	238	225	215
	2,455	2,217	1,179	0,432	0,368

지놀 콘으로 치근단을 봉쇄한 다음, 글라스 아이오노머로 치수강 내를 마감한 후 복합 레진으로 치관을 수복한 경우로서, 계면 A를 살펴보면, 모형 I에 비해 모든 부위에서 응력의 분포가 낮게 나타났다(Table 3, Fig. 2, 12). 그러나 치관부를 살펴보면 응력의 분포가 복합레진과 치질간에 분리되는 듯한 양상을 보여 주고 있으며, 선상의 경계면을 보여주었다.

계면 B에서 모형 I에 비해 다소 낮은 응력을 보였으나 응력의 분포는 매우 유사한 양상으로 나타났다(Fig. 3). 계면 C에서는 모형 I은 하방으로 진행될수록 응력이 서서히 감소하는 반면 모형 II는 급격히 증가하고 있는 양상을 보여 주었다(Fig. 4).

계면 D의 경우, 모형 I은 급격히 증가하나, 모형 II는 위치에 관계없이 비슷한 크기로 나타났다(Fig. 5). 치근 내부의 응력 분포를 나타내는 계면 E와 F를 살펴보면, 치경부로부터 치근단으로 진행되면서 비교적으로는 고르게 분포하였으며, 그 크기는 모형 I과 II에 비해 현저히 낮게 나타나고

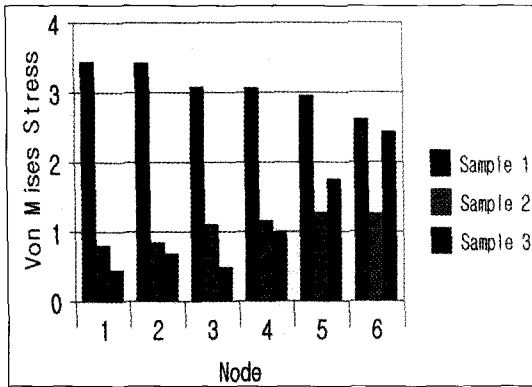


Fig. 4. von Mises stress value of surface C (kg/mm²)

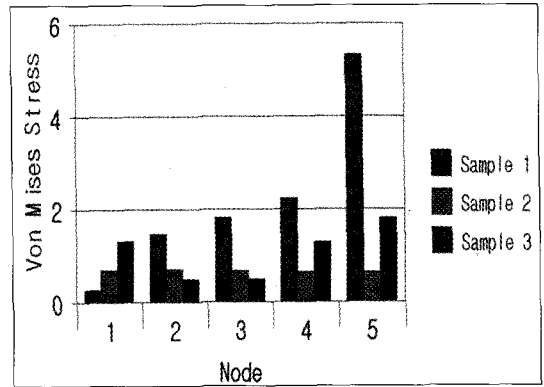


Fig. 5. von Mises stress value of surface D (kg/mm²)

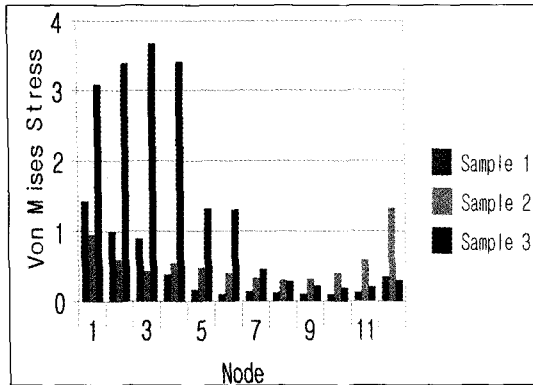


Fig. 6. von Mises stress value of surface E (kg/mm²)

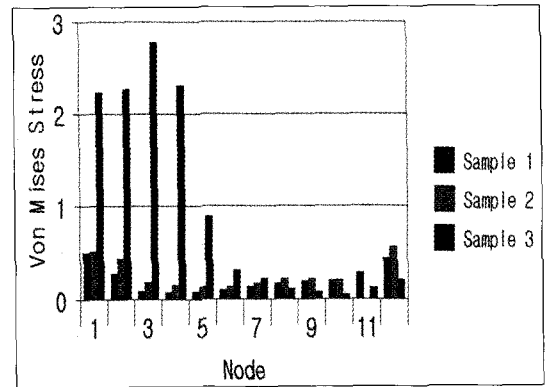


Fig. 7. von Mises stress value of surface F (kg/mm²)

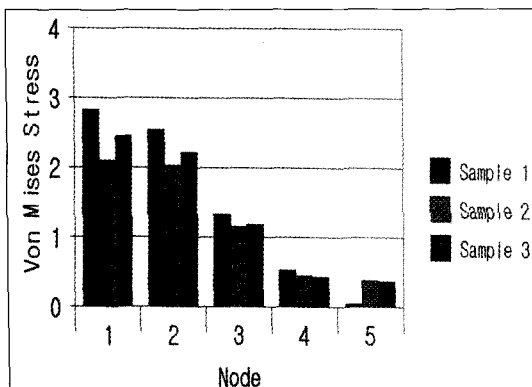


Fig. 8. von Mises stress value of surface G (kg/mm²)

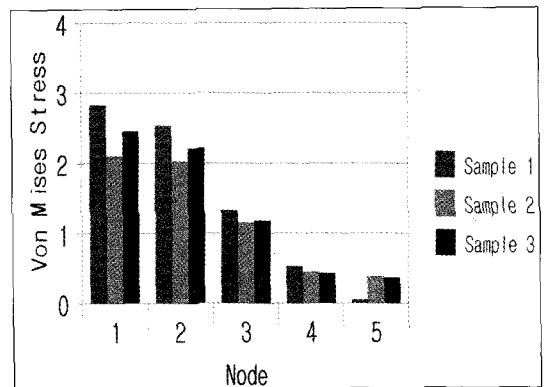


Fig. 9. von Mises stress value of surface H (kg/mm²)

있다(Table 7, 8, Fig. 6, 7, 13).

협설측 치조골의 응력 분포를 나타내는 계면 G와 H를 살펴보면, 모형 II는 I이나 III과 비슷한

양상을 보여 주고 있으며, 그 크기는 중간 정도를 나타내고 있다(Table 9, 10, Fig. 8, 9, 13).

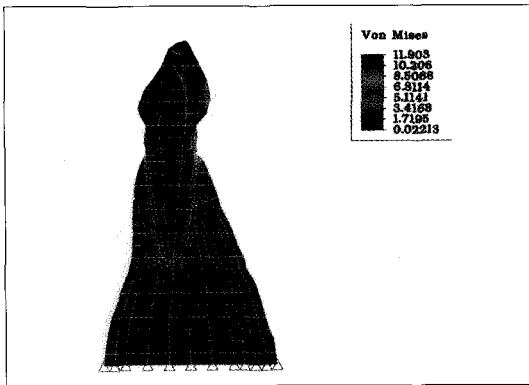


Fig. 10. Color spectrum of stress distribution on sample I (General).

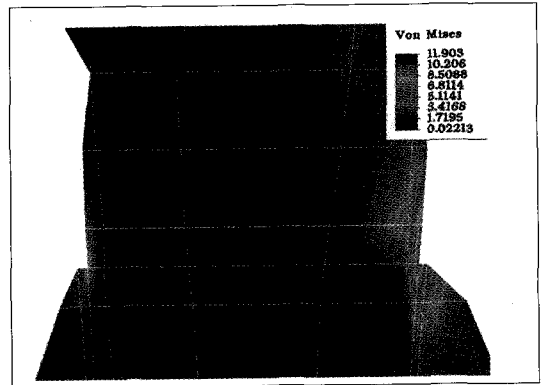


Fig. 11. Color spectrum of stress distribution on sample I (Aveolus).

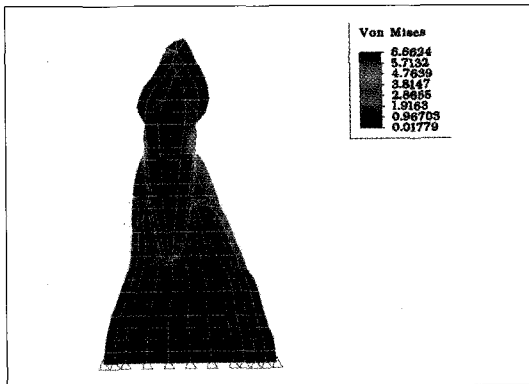


Fig. 12. Color spectrum of stress distribution on sample II (General).

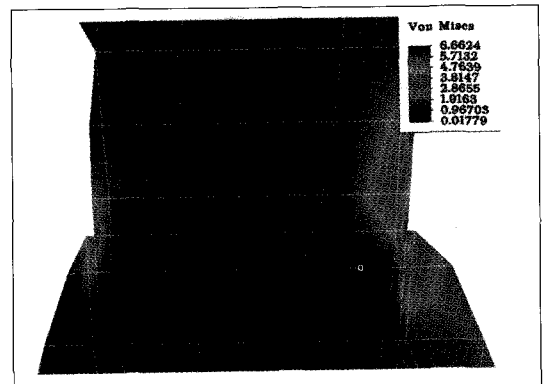


Fig. 13. Color spectrum of stress distribution on sample II (Aveolus).

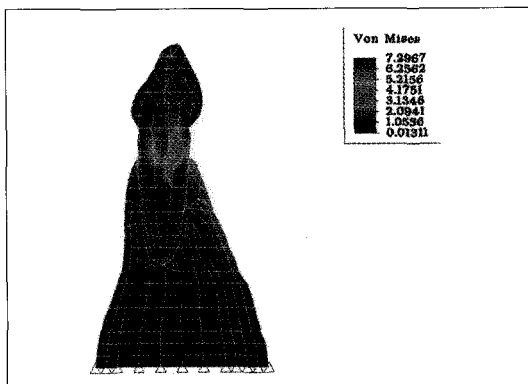


Fig. 14. Color spectrum of stress distribution on sample III (General).

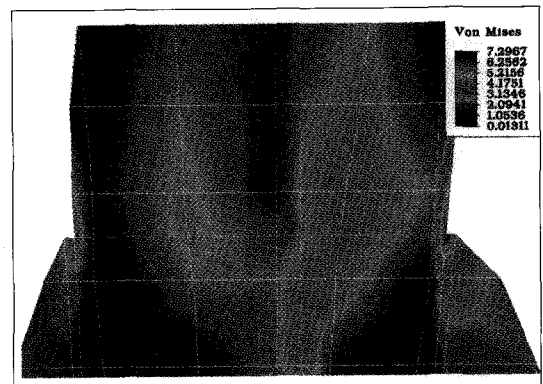


Fig. 15. Color spectrum of stress distribution on sample III (Aveolus).

3. 모형 III

모형 III은 치수 절제술을 시행하고 근단 부위를 산화아연 유지놀 콘으로 충전하고, 주사침을 길이 6mm되게 잘라 넣고 글라스 아이오노머로 마감한 다음 치관을 복합 레진으로 수복한 경우로, 협측 치관을 따라 진행되는 계면 A를 살펴보면, 모형 I에 비해 현저하게 낮은 응력치가 나타나고 있으며, 치관 내부의 응력을 나타내고 있는 계면 B는 하방으로 진행될수록 서서히 감소하는 추세를 보여 주고 있다(Table 3, 4, Fig. 2, 3, 14). 이로 미루어 정하점 점에서 출발한 응력의 분포가 협측으로 진행되다가 주사침의 상단부를 만나 더 이상 협측으로 진행되지 못하고 주사침을 따라 바로 치근까지 전달되는 양상을 보여 주고 있으며, 이로 미루어 정하중에 의해서 생성된 응력은 주사침에 상당히 짐작되는 것으로 판단되었다(Fig. 14).

계면 C와 D는 하방으로 진행될수록 서서히 응력이 증가하는 것으로 나타났으나 그 크기가 모형 I에 비해 상당히 낮게 나타나고 있다. 이로 미루어 응력은 치질보다는 응력의 전달력이 좋은 주사침을 따라 하방으로 진행되고 있다고 사료되었다.

치근 부위의 응력을 나타내고 있는 계면 E와 F에서 응력이 모형 I과 II는 매우 미약하게 나타나는 반면, 모형 III은 치관으로부터 전해진 응력의 대부분이 분포되고 있는 것으로 나타나고 있다. 이로 미루어, 모형 II에 비해 모형 III은 외력에 의한 치관의 측방 이탈에 잘 저항할 것으로 기대되나, 과도한 외력으로 인해 치근 및 치조골의 파괴까지도 일어날 수 있을 것으로 사료되었다.

V. 총괄 및 고안

근래에는 악골과 치아에 가해진 정형력에 대한 변화를 역학적 관점에서 해석하기 위한 방법에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 여기에는 동물실험⁵¹⁾, 광탄성 응력분석법^{52,53)}, 전기저항 스트레인 게이지법^{54,55)}, 홀로그래피법^{56,57)}, 브리틀 래커 코팅법⁵⁸⁾, 유한요소법 등이 있다.

이 외에도 므와레 무늬 분석법(Moire fringe

analysis) 등이 있으나 이러한 연구 방법들은 생체 실험에 적용하기 어렵고, 치아나 주위 조직에 손상을 주지 않는 범위 내에서 치아의 동요도나 치주조직의 점탄성을 계측해야 하는 한계가 있고, 단지 치아 표면 혹은 치아 표면상의 일정 점에서 치아의 이동량이나 응력을 계측하는 정도이기 때문에 치아 전체나 내부의 변위 상태, 치주조직과 같은 내부 지지 조직의 변형 상태를 연구 목적으로 하는 경우에는 적절하지 않으며, 내부 응력의 측정 방법 및 실험 조작 등의 어려움이 지적되어 왔다⁵⁹⁾. 이러한 여러 가지 난제들을 해결할 수 있고 보다 정밀한 응력을 분석할 수 있도록 고안된 방법이 유한요소 분석법(finite element analysis)이다.

유한요소법은 온도, 압력, 또는 변위와 같은 연속적인 변화량을 유한개의 부분 영역에서 정의되는 부분연속함수로 정의하는 것으로써⁶⁰⁾ 다른 연구방법과 달리 불규칙하고 복잡한 기하학적 형태와 다양한 물성치로 이루어지는 구조물에 대해 그 특성을 모두 수용할 수 있고, 변수와 하중의 크기와 방향을 용이하게 변경시킬 수 있으며, 구조물 전 영역에서의 응력분포와 변형을 및 변위의 측정이 3차원 x, y, z축 모든 방향으로 가능하며, 분석과 결과의 산출이 빠르다는 장점이 있다. 컴퓨터의 발달과 함께 구조역학에서 많이 실용화되었으며 치의학 분야에서도 널리 이용되어 특히 보철학⁶¹⁻⁶³⁾, 교정학^{64,65)}, 보존학^{64,66)} 등의 분야에서 활발히 그 연구에 이용되고 있다.

포스트와 코어수복은 근관치료된 치아에서 치아를 강화시킬 목적과 치관부 손상이 심한 경우 최종 보철물에 적절한 유지력을 제공하기 위한 목적으로 널리 이용되어져 왔다⁶⁶⁻⁶⁸⁾. 포스트와 코어수복이 근관 치료된 치아의 내부 응력 집중과 치근 파절로부터 보호할 수 있다는 주장에는 논란이 있어 왔는데, 최근 유한요소법적 연구에 의하면 Cailleteau 등⁷⁰⁾은 포스트와 코어의 장착으로 응력이 균일하고 효과적으로 분산되지 않는다고 보고하였고, Ko 등⁷¹⁾과 Ho 등⁷²⁾에 의해서도 전치부에서 포스트의 치아 강화효과는 제한적이어서 실제 그 효과는 분명치 않음을 밝힌바 있다. 본 연구에서도 주사침에 의한 치관의 보존 방법은 유지의 측면에서는 적극 추천되나 치근 내부에서의 응력이 적은 부위에 과도하게 집중적으로 나타나

는 것으로 보아 주사침의 적용 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 본 연구에서 사용된 주사침은 단순한 원통형으로 구성되어 있으나 주사침의 양 끝은 둥글게 하여 응력의 집중을 방지하거나 굽기를 줄여 여러 개의 주사침을 사용할 수도 있을 것으로 사료되었다. 이를 위해 다양한 디자인과 주사침의 수를 응용한 연구들이 필요하다고 사료되었다.

또한 근관치료후 실제 치아를 약하게 만드는 주요소는 근관치료보다는 수복과정과 연관된 치질의 상실 때문이라는 견해도 제시되고 있으므로^{75, 76)}, 근래의 포스트와 코어가 근관치료 후의 통상적인 수복과정으로 고려되지는 않고 있으나, 치관부 손상이 심한 치아에서 수복물에 적절한 유지력을 주기 위한 방법으로 포스트와 코어가 널리 이용되고 있다. 본 연구에서 신경 치료가 되지 않은 정상 유중절치를 재현한 모형 I의 결과를 살펴보면, 치관 및 치근 부위까지 응력이 고르게 퍼져나가는 것을 볼 수 있으며, 이는 자연치의 치아 형태가 역학적 측면에서 응력을 집중시키지 않고 치조골로 잘 흡수될 수 있는 구조를 가지고 있다고 판단되며, 이러한 특징은 모형 II와 III과 비교해 보아도 잘 나타나고 있다. 그러나 자연치의 협측 치경부의 과도한 응력 집중 현상은 매우 특이하며, 이는 치경부 풍융부에 의한 형태학적 결과로 판단되며, 이것에 의해 만성적으로 치경부 법랑질의 피로 현상에 의해 노인들의 협측 법랑질의 미세한 파절이 일어난다고 생각되어졌다.

포스트와 코어로 수복된 치아의 응력분산 양상은 여러 가지 요인, 즉 포스트의 형태, 길이, 직경, 표면의 특성^{76,77)}, 포스트의 적합정도⁷⁸⁾, 포스트와 코어의 재료⁷⁹⁻⁸¹⁾ 그리고 최종 보철물의 장착^{82,83)} 등에 영향을 받는다고 보고되었다. 이러한 요인들은 앞으로 소아 환자의 치관 수복을 위한 새로운 수복 방법이 개발되기 위해 보다 많은 연구가 필요하다 사료되었다.

유한 요소법의 특징을 요약해 보면 유한 요소(finite element)라 불리는 편의상 나뉘어진 요소 위에 정의된 특정 성질의 기저 함수(basic function)를 주어진 문제에 맞는 적분형의 원리에 사용하여 연속된 물체를 유한 차원 문제로 수식화하는 근사적 방법이다.

컴퓨터의 발달로 인해 대형 컴퓨터에서나 이루어졌던 유한 요소법이 개인용 컴퓨터의 능력이 극대화됨으로 인해 보다 친밀감 있고 또한 일반인들도 쉽게 이해할 수 있는 형태의 자료들을 얻을 수 있어 기존의 응력 분석 방법들을 대체할 것으로 기대된다.

유한 요소법은 컴퓨터의 발달과 함께 구조 역학의 분야에서 널리 실용화되어 온 것으로 연속체를 유한개 요소의 집합체로 생각하고 개개 요소의 물리적 성질을 수식화하고 이것을 연속시켜 전체의 변형과 응력 분포를 구하는 수치적 해석 방법으로서 고정점 설치가 어려우나 모델의 크기와 형태를 특성이 다른 이질 재료로 구성된 탄성 복합체의 모델화를 통해 구성재료의 재료 정수인 Young계수(E)와 Poisson율(ν)을 탄성 영역에서 용이하게 일치시키고 세밀히 알고 싶은 부분은 미세하게 분할하면 정밀한 내부 응력 계측도 가능하고, 경계 조건, 하중 조건 변경도 용이하다는 장점이 있으며 최근 다양한 software의 개발로 인해 구조 역학 분야에서뿐만 아니라 치의학 분야에서도 활발한 응용이 시도되고 있다.

이러한 유한 요소법이 널리 이용됨에 따라 그 정확도에 대한 의구심이 없을 수 없었다. 유한 요소법이 사실을 정확히 재현하는지의 실험적 연구가 여러 학자들에 의해 보고되었는 바, 다소의 차이점이 있음을 보고하였으나 그 원인이 유한 요소법 자체의 문제점이라기보다는 대상물에 대한 물리적 특성에 대한 자료 부족과 실제 실험상의 오차 등 여러 가지 원인들이 있을 수 있다고 하였다.

그 동안 대형 컴퓨터에서나 가능했던 유한 요소법이 개인용 컴퓨터의 발달로 인해 복잡한 절차와 수많은 오류(error)들로 인해 소요되는 많은 시간과 경비들을 최소로 하면서 보다 효율적이고 다양한 출력 형태를 제공해 줌으로써 치의학의 여러 분야에서 막대한 공헌을 할 것으로 기대된다.

VI. 결 론

다발성 우식증과 외상으로 인해 치관이 손상된 소아 환자에서 상악 유중절치의 수복시 포스트 대용으로 진료실에서 흔히 사용되고 있는 주사침을

이용한 경우와 근관치료만 시행하고 치관 수복을 시행한 치아를 모형을 제작하고, 교합력에 의한 치아 및 주위조직에 발생하는 치질 내부의 응력 분포를 이차원적 유한 요소법으로 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치수 치료를 시행하지 않은 자연치의 경우, 설측에 적용된 정하중은 치아에 고르게 퍼져 치조골까지 파급되는 양상을 보여 주었다.
2. 치수 절제술후 치근내를 산화아연 유지놀로 충전하고 글라스 아이오노머와 복합레진으로 치관을 수복한 경우, 설측에 적용된 정하중에 의해 복합 레진관과 잔존 치근간의 응력 분포의 단절 양상을 보여주었으며, 이러한 양상으로 미루어 볼 때 과도한 외력에 의해 치관이 쉽게 이개 및 파절될 수 있을 것이라 사료되었다.
3. 치수 절제술후 치근내를 16G 주사침으로 보강한 경우, 설측에 적용된 정하중에 의한 응력 분포 양상이 치관 및 주사침을 따라 치근과 치조골에 고르게 전달되어 치관이 보다 안정적으로 유지될 수 있을 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 대한소아치과학회편 : 소아치과학. 이화출판사, 서울, 1990.
2. Massler M : Pulp curettage : A review. J Dent Child 26:154-158, 1959.
3. Law DB : An evaluation of vital pulpotomy technique. J Dent Child 23:40-44, 1956.
4. McDonald RE : Diagnostic aids and vital pulp therapy for deciduous teeth. JADA 53:14-22, 1956.
5. Shillingburg HT, Fisher DW : Restoration of endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 24:401-405, 1970.
6. Guzy GE, Nicholls JL : In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent 42:39, 1979.
7. Cailleteau et al : A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the fi-

- nite element method. J Endodont 18:540-545, 1992.
8. Ching-chang Ko, Chung Chu : Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. J Prosthet Dent 68:421-426, 1992.
9. Ming-hsun Ho, Hsiang-Ho Chen : Three dimensional finite element analysis of the effects of post. Dent Res 72:367-375, 1994.
10. Stewart RE, Barber TK, Troutman KC, Wei SHY : Pediatric Dentistry : Scientific foundations and clinical practice. The C.V. Mosby, St. Louis, 1982.
11. Johnson JK, Schwarts NL, Blackwell RT : Evaluation and restoration of endodontically treated posterior teeth. JADA 93:597-561, 1976.
12. Huang TG : Effects of moisture content and endodontic treatemnt of some mechanical properties of human. J Enodontic Dent 48:407, 1982.
13. Caputo AA, Standiee JP : Analysis of stress distribution by endodontic posts. Oral Surg 33:952, 1972.
14. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb JP : The dentatus screw : Comparative stress analysis with other endodontic dowel designs. J Oral Rehab 9:23, 1982.
15. Standlee JP, Caputo AA : The retentive and stress distribution properties of split threaded endodontic dowels. J Prosthet Dent 68:436, 1992.
16. Argyris JH : Energy theorems and structural analysis. Aircraft Eng 26:383, 1956.
17. Clough RW : The finite element method in plane stress analysis. J Struct Div Asce Proc 2nd Conf Electronic Computation 345, 1960.
18. 권택진: 응용 유한 요소 분석. 화성출판사, 서울, 1994.
19. 임상원, 광병만, 이주성 : 유한요소법 입문. 동명사, 서울, 1987.
20. 최양근 : 유한요소 해석. 집문당, 서울, 1992.
21. Miejer HJA, Starmans FJM, Steen WHA, Bosman F : A three-dimensional finite-element analysis in an edentulous human mandible.

- Arch Oral Biol 38(6):491-496, 1993.
22. Kregzde M, Ing D : A method of selecting the best implant prosthesis design option using three-dimensional finite element analysis, J Oral and Max Implant 8(6):662-673, 1993.
 23. Ko CC, Chu CS, Chung KH, Lee MC : Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth, J Prosth Dent 68(3):421-427, 1992.
 24. Sakaguchi RL, Borgersen SE : Nonlinear finite element contact analysis of dental implants, J Oral and Maxill Implants 8(6):655-661, 1993.
 25. Kamposiora P, Papavasiliou G, Bayne SC, Felton DA : Finite element analysis estimates of cement microfracture under complete veneer crowns, J Prosthet Dent 71:435-441, 1994.
 26. Ayoub AF, Stirrups DR, Moos KF : Evaluation of changes following advancement genioplasty using finite element analysis, British J Oral and Maxill Surgery 31:217-222, 1993.
 27. Ayoub AF, Stirrups D : The practicability of finite-element analysis for assessing changes in human craniofacial morphology from cephalographs, Arch Oral Biol 38(8):679-683, 1993.
 28. Tanne K, Mastubara S, Sakuda M : Stress distribution in the maxillary complex from orthopedic headgear forces, Angle Ortho 63(2):111-118, 1993.
 29. Cangialosi T, Moss ML, McAlarney ME, et al : An evaluation of growth changes and treatment effects in Class II, Division 1 malocclusion with conventional roentgenographic cephalometry and finite element method analysis, American J Orthodont and Dentofacial Orthopedics 105(2):153-160, 1994.
 30. 한무현 : 유한 요소법에 의한 Telescopic crown과 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구. 경희치대논문집 4:241-258, 1982.
 31. 하주태 : 유한 요소법에 의한 Cantilever bridge의 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구. 대한치과보철학회지 21:41-57, 1983.
 32. 최수호, 정재현 : 골내임프란트를 이용한 고정성 국소의치 하에서 변위 및 응력에 관한 유한요소법적 분석. 대한치과교합학회지 6:2, 1990.
 33. 김동원, 김영수 : 골유착성 보철물에 관한 삼차원 유한요소법적 연구. 대한치과교합학회지 6:2, 1990.
 34. 김장웅, 조인호 : 치과 임플란트 보철의 심미적 수복방법에 따른 응력 분석의 유한요소법적 연구. 단대치의학연구소 4:1, 1992.
 35. 김기숙, 김광남, 장익태 : 국소의치 유지장치의 설계변화에 따른 지지조직의 3차원적 유한 요소법 응력분석, 대한치과보철학회지 33(3):413-439, 1995.
 36. 이양진, 양재호, 이선형, 정현영 : 하악 임플란트 Biocortication의 응력분산 효과에 관한 유한요소법적 연구. 대한치과보철학회지 33(3):517-538, 1995.
 37. 홍현자, 전영찬, 정창모 : 하악 소구치용 post and core system의 치근 내부 응력분산 효과에 대한 유한요소법적 연구. 대한치과보철학회지 33(3):397-412, 1995.
 38. 김철순, 민병순 : 복합레진 인레이 수복시 와동형태에 따른 치아파절에 관한 유한요소법적 연구 : 대한치과보철학회지 19(1):231-242, 1994.
 39. 김영원, 손병화 : 견치 원심이동시의 초기변화에 관한 유한요소법적 연구. 대한치과교정학회지 18:1, 1988.
 40. 김주영 : Reverse headgear가 상악골체에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 분석. 대한치과교정학회지 15:7-21, 1985.
 41. 김현순, 남동석 : 경부고정 headgear 사용시 안면두계골의 변위에 관한 장력계측법 및 유한요소법적 연구. 대한치과교정학회지 17:2, 1987.
 42. 김현정 : 후방견인시 하악골의 응력분포에 관한 유한요소법적 분석. 경북치대논문집 7:25-58, 1990.
 43. 안의영, 정규립 : 유한 요소법에 의한 하악 제1대구치의 cervical traction의 효과에 관한 역학적 연구. 대한치과교정학회지 19:1, 1989.

44. 이인수, 손병화 : Head gear가 상악골에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 분석. 대한치과교정학회지 15:2, 1985.
45. 장재완, 손병화 : 상악 중절치 후방 이동시의 이동양상에 관한 유한요소법적 연구. 대한치과교정학회지 21:3, 1991.
46. 조호구 : 정형력에 대한 하악골내의 응력분산과 변위에 관한 유한요소법적 분석. 대한치과교정학회지 14:75-92, 1984.
47. 황치일, 서정훈 : 상악호선에 torque 부여시 나타나는 상반작용에 관한 유한요소법적 연구. 대한치과교정학회지 24(2):479-508, 1994.
48. 나성식 : 하악 제1대구치 수복시 치아 및 충전재의 응력과 변위에 관한 유한 요소법 연구. 대한소아치과학회지 16:2, 1989.
49. 유정호, 이상호 : 소아에서 이모장치가 하악골 및 측두하악관절에 미치는 영향에 관한 유한요소법적 연구. 대한소아치과학회지 20:1, 1993.
50. 이성주, 이상호 : 소아의 교합양상에 따른 하악골의 응력분포 및 변위에 관한 유한요소법적 연구. 대한소아치과학회지 20:1, 1993.
51. Reitan K, Kvam E : Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement. Angle Orthod 41:1-14, 1971.
52. 조인호 : 총의치 교합 형태에 따른 3차원적 광탄성 응력분석. 대한치과교합학회지 2(1):7-28, 1982.
53. Caputo AA, et al : Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. Am J Orthod 65:250-259, 1974.
54. Weijs WA, Dejongh HT : Strain in mandibular alveolar bone during mastication in the rabbit. Arch Oral Biol 22:667-675, 1977.
55. 한의택, 김영수, 김창희 : Strain guage를 사용한 임플란트 인상법의 정확도 비교. 대한치과보철학회지 33(3):539-548, 1995.
56. Ryden H : The laser beams for measuring tooth mobility and tooth movement. J. Periodontol 45:283-287, 1974.
57. 김충배, 양원식 : Laser Holography를 이용한 상악 Headgear 견인에 따른 안면 두개골의 초기 반응에 관한 연구. 대한치과교정학회지 16:31-41, 1986.
58. Browning JD, Meador LW, Eick JD : Movement of three removable partial denture clasp assemblies under occlusal loading. J. Prosthet. Dent 55:69, 1986.
59. 나성식 : 하악 제1대구치 수복시 치아 및 충전재의 응력과 변위에 관한 유한요소법 연구. 대한소아치과학회지 16:2, 1989.
60. Hayrettin K, Douglas HN : Finite element handbook. R.R. Donnelley and Sons Company, 275-2108. 1987.
61. Cook SD, Weinstein AM, Klawitter JJ : A three-dimensional finite element analysis of a porous rooted Co-Cr-mo alloy dental implant. J. Dent. Tes 61:25-29. 1982.
62. 김분기, 최부병 : 유한요소법에 의한 Telescope Denture의 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구. 대한치과보철학회지, 22:109, 1984
63. 김진, 방몽숙 : 지대치 형태에 따른 Post core의 치근 내부 및 지지조직의 응력분석. 대한치과보철학회지 31:468-481, 1993.
64. Osamu M, Nobuhiro S, Teruo M, Kouji H : A new method for finite element simulation of orthodontic appliance - teeth - periodontium - alveolus system. J. Biomechanics 18:277-284, 1985.
65. 김영원, 손병화 : 견치 원심이동시의 초기변화에 관한 유한요소법적 연구. 대한치과교정학회지 18:25-53, 1988.
66. Shillingburg HT, Fisher DW : Restoration of endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 24 : 401, 1970.
67. Guzy GE, Nicholls JL : In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent 42:39, 1979.
68. Sorensen JA, Martinoff JT : Intracoronal reinforcement and coronal coverage : A study

- of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 51:780, 1984.
69. Lovdahl PE, Nicholls JI : Pin retained amalgam core vs. cast-gold dowel & core. J Prosthet Dent 38:507, 1977.
70. Cailleateau, et al : A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method. J Endodont 18:540, 1992.
71. Ko CC, Chu C : Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. J Prosthet dent 68:421, 1992.
72. Ho MH, Chen HH : Three dimensional finite element analysis of the effects of posts. J. Dent 72:367, 1994.
73. Johnson JK, Schwartz NL, Blackwell RT : Evaluation and restoration of endodontically treated posterior teeth. J Am Dent Assoc 93:597, 1976.
74. Sedgley CM, Masser HH : Are endodontically treated teeth more brittle? J Endodontics 18:332, 1992.
75. Huang TG : Effects of moisture content and endodontic treatment, if some mechanical properties of human. J Endodont Dent 48 : 407, 1982.
76. Caputo AA, Standee JP : Analysis of stress distribution by endodontic posts. Oral Surg 33:952, 1972.
77. Caputo AA, Hokama SN : Stress and retention properties of a new threaded endodontic post. J Prosthet Dent 18:431, 1987.
78. Peters, et al : Stress analysis of a tooth restored with a post and core. J Dent Res 62(6):760, 1983.
79. Kantor ME, Pines MS : A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. J Prosthet Dent 38:405, 1977.
80. Hoag EP, Dwyer TG : A comparative evaluation of three post and core techniques. J Prosthet Dent 47:177, 1982.
81. Chan RW, Bryant RW, Bryant RW : Post-core foundations for endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 48:401, 1982.
82. Hoag EP, Dwyer TG : A comparative evaluation of three post and core techniques. J Prosthet Dent 47:177, 1982.
83. Goerig AC, Mueninghoff LA : Management of the endodontically treated tooth. Part I : concept for restorative designs. J Prosthet Dent