

광중합 콤포짓트레진의 수복형태 및 방법에 관한 삼차원 유한요소분석법적 비교 연구

서울대학교 치과대학 보철학교실, 삼성의료원*

이정택 · 임순호* · 장익태

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구 결과
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 사진부도
- 영문초록

I. 서 론

콤포짓트레진의 임상적인 적용은 최근 치의학 분야에서 지대한 관심의 대상이 되고 있다. 특히 심미성, 접착성, 간편한 임상술식의 장점을 가지고 있기 때문에 다양한 형태와 종류의 콤포짓트레진이 보철, 보존, 교정분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 콤포짓트레진은 1955년 Buonocore¹⁾에 의해 법랑질 식각방법이 개발된 이후부터 근래의 상아질 결합 시스템²⁾에 이르기까지 많은 물성의 개선을 이루어 그 용도가 더욱 다양해지고 있지만 아직도 중합도중에 수축한다는 단점은 해결되지 못하고 있다.

현재 널리 임상에 이용되고 있는 콤포짓트레진은 중합과정에서 1~3%의 수축이 발생되

며,^{3,4,5,6)} 이러한 수축은 치질로부터 레진을 끌어당기는 경향을 보이는 응력으로 나타나게 된다.⁷⁾ 레진의 중합수축으로 인해서 발생될 수 있는 가장 큰 문제점으로는 치질과 레진사이의 틈의 형성을 들 수 있으며,^{8,9)} 이러한 틈으로 인해서 미세누출, 이차치아우식증, 수복물의 탈락, 지각과민증, 변연경계부에서의 변색등을 일으킬 수 있다.¹⁰⁾ 또한 Bausch등⁶⁾은 중합수축이 콤포짓트레진의 수명을 결정하는 중요한 요인 중의 하나라고 하였으며, Bowen등¹²⁾은 전형적인 콤포짓트레진에서 발견되는 중합수축에 의해서 발생하는 응력은 접착성 또는 응집성 실패(adhesive or cohesive failure)를 일으키기에 충분한 경우가 있다고 하였다.

이러한 중합수축으로 인한 문제점의 해결을 위해서는 와동형태의 변화, 충전방법의 변화, 새로운 레진의 개발에 의한 중합수축의 발생을 줄이는 방법, 중합되는 레진의 유동성의 증가, 상아질 결합 시스템의 개선등이 제시될 수 있다.¹³⁾

광중합 콤포짓트레진에 관한 이전의 연구는 변연부위의 미세누출에 초점을 맞춘 것이 많으나 레진의 중합수축에 의한 응력의 발생에 관한 연구는 부족한 실정이며, 유한요소 분석법을 이용한 이전의 연구¹⁰⁾는 와동의 모양을 이상화하였으며 변연을 모두 법랑질상에 두어 실제적으로 미세누출이 많이 발생하는 상아질

변연에 관한 고려가 부족하였다. 따라서 이번 연구에서는 이전의 유한요소모형을 좀 더 발전시켜서 실제 box형태의 5급와동과 erosion/abrasion 유형의 V자 형태의 와동에서 여러 충전방법사이에 광중합 콤포짓트레진의 중합수축시 발생될 수 있는 응력의 분포 및 양상에 대해 삼차원 유한요소분석방법으로 연구하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 유한요소모형의 제작 (FEM modelling)

해부학적으로 정상형태를 가지며 치아우식증과 균열이 없는 상악 중절치를 선택하여 협측 치경부 1/3부위에 5급와동의 형성을 실시하였다. 와동에 레진 충전을 시행하고 치아를 자가 중합레진에 매몰한 후 0.5mm 간격으로 절단 연마하여 연속 단층 촬영법(serial photograph technique)으로 각 치아 단면의 슬라이드 필름을 제작한 후, 이 슬라이드 필름을 환등기로 비추어 모눈종이에 사도(tracing)하였고, 이를 토대로 유한요소모형을 제작하였다. 제작한 유한요소모형은 20556개의 절점(node)과 4210개의 요소(element)로 구성되었으며 사용한 요소의 형식은 10개의 절점으로 이루어진 사면체였다. 각 재료의 물성은 선학들의 보고^{10,14)}를 참고로 하였다(Table I).

치질과 레진은 완전히 접착되었다고 가정하였으며, 유한요소모형의 설계에는 I-DEAS (Master Series Version 2.1, Structural Dynamic Research Corporation, Milford, Ohio, U.S.A.)를 이용하였으며, 모형의 해석은 ANSYS (Version 5.0, Swanson Analysis System Incorporation, U.S.A.)를 이용하여 Iris Indigo Work-

station상에서 수행하였다.

2. 와동의 형태 (Cavity design)

근원심 너비 5mm, 수직적 높이 2mm, 깊이 2mm의 Box형태의 와동을 형성하였으며 모든 법랑질 변연에 45°의 사면(bevel)을 형성하였다.⁴⁹⁾ 또한 임상적으로 흔히 발견되는 erosion/abrasion 유형의 병소를 모방하기 위해서 Box형태와 같은 크기의 V자 형태의 와동을 형성하였으며 실험군의 구분을 위해 Box형태의 와동을 A모델, V자형태의 와동을 B모델이라고 명하기로 하였다(Fig. 1).

3. 레진의 충전방법 (Placement method)

다음과 같은 4가지 방법으로 레진을 충전하였다.

- ①Oblique occlusal increment filling technique
법랑질 변연을 포함하는 교합면쪽 측벽을 먼저 피개하도록 충전하고 중합시킨 후에 나머지 치은쪽 측벽을 충전하는 방법이다(Fig. 1 A, E).
- ②Oblique gingival increment filling technique
치은쪽 측벽을 먼저 피개하도록 충전하고 중합시킨 후 나머지 교합면쪽 측벽을 충전하는 방법이다(Fig. 1 B, F).
- ③Horizontal increment filling technique
상아질 와동저쪽에 와동깊이의 1/2까지 레진을 충전하고 중합시킨 후에 나머지 부위를 충전하는 방법이다(Fig. 1 C, G).
- ④Bulk filling technique
와동전체를 한꺼번에 충전하는 방법으로, 따라서 레진의 중합이 cavosurface margin에서 부터 시작되어 상아질 와동저까지 진행된다(Fig. 1 D, H).

Table I. Material properties in the finite element models

Material	Young's modulus (Mpa)	Poisson's Ratio	Coefficient of Thermal Expansion
Enamel	84,000	0.33	0.0
Dentin	18,000	0.31	0.0
Cured resin	13,500	0.38	8×10^{-5}
Uncured resin	1×10^{-10}	0.45	0.0

4. 중합수축의 모방(Simulation of polymerization shrinkage)

유한요소모형상에서 레진의 중합을 직접적으로 재현할 수 없기 때문에 thermal stress analogy를 이용하여 수축을 재현하였다. 이러한 방법은 Hickman과 Jacobsen¹⁵⁾, Katona와 Winkler¹⁰⁾가 예전에 사용했었다. 중합이 이루어지는 것으로 가정한 레진층의 온도를 가상적으로 1° 하강시키고 이런 온도의 하강과 함께 레진에 부여된 열팽창계수에 따라서 레진의 수축을 유도하였다. 중합이 진행됨에 따라서 새로이 중합될 레진층의 온도를 1° 하강시켰고 요소의

elastic modulus(Table I)를 중합되지 않은 레진의 수치에서 중합된 레진의 수치로 변화시켰다. 또한 레진의 중합과정을 6단계로 구분하여 각각의 충전방법에 따라 Fig. 1에 나타난 것처럼 중합이 진행되도록 하였다.

5. 응력분석(Stress analysis)

레진과 치아의 계면에서 접착실패를 일으키는 normal(tensile) stress를 측정하였다. 본 실험에서 형성한 와동이 Box형태(A모델)와 V자형태(B모델)이고 레진의 충전방법이 4가지(oblique occlusal increment filling, oblique gingival

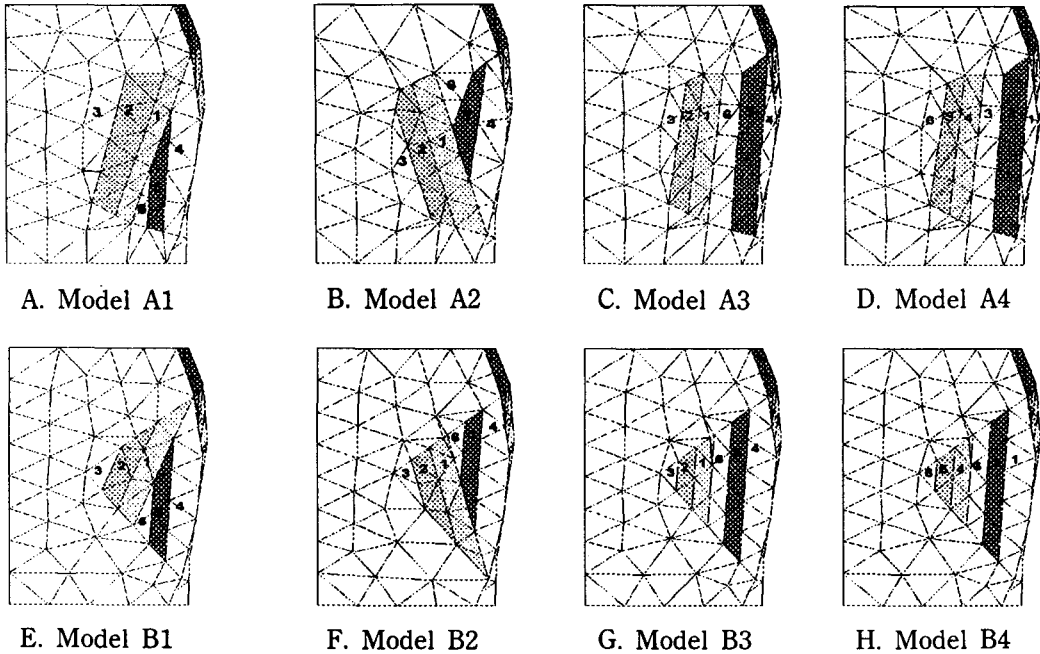


Fig. 1. Cavity preparation form and placement methods for the FE model. In all models, curing is simulated according to numerical order, beginning with step 1. and ending with step 6.

- A. Box-shape cavity form, oblique occlusal increment filling technique.
- B. Box-shape cavity form, oblique gingival increment filling technique.
- C. Box-shape cavity form, horizontal increment filling technique.
- D. Box-shape cavity form, bulk filling technique.
- E. V-shape cavity form, oblique occlusal increment filling technique.
- F. V-shape cavity form, oblique gingival increment filling technique.
- G. V-shape cavity form, horizontal increment filling technique.
- H. V-shape cavity form, bulk filling technique.

increment filling, horizontal increment filling, bulk filling)이므로 전체적인 비교대상모델은 A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4로 모두 8개가 되었다(Fig. 1). 각각의 충전방법사이의 비교는 구분한 6단계의 중합과정중 각 단계에서 최대 응력을 레진과 법랑질, 레진과 상아질, 레진과 상아질 와동저사이의 계면에서 측정하여 이루어졌다.

III. 연구 결과

1. Box형태의 와동에서 4가지 충전방법에 따른 법랑질에서 발생한 최대 인장응력

Fig. 2에 나타난 바와 같이 oblique occlusal increment filling에서 가장 큰 최대인장 응력이 발생했으며, bulk filling에서 가장 작은 최대 인장응력이 발생하였다.

2. Box형태의 와동에서 4가지 충전방법에 따른 상아질에서 발생한 최대 인장응력

Fig. 3에 나타난 바와 같이 oblique gingival increment filling에서 가장 큰 최대 인장응력이 발생했으며 법랑질의 경우와 마찬가지로 bulk filling에서 가장 작은 최대 인장응력이 발생하였다. 법랑질의 경우(Fig. 2)와는 달리 각 충전 방법에 따른 응력의 차이가 커진 것을 볼 수 있다.

3. Box형태의 와동에서 4가지 충전방법에 따른 상아질와동저에서 발생한 최대인장응력

Fig. 4에 나타난 바와 같이 oblique gingival increment filling에서 가장 큰 최대 인장응력이 발생했으며, bulk filling에서 가장 작은 최대 인장응력이 발생하였다. 또한 특징적으로 상아질 와동저와 인접한 레진층이 중합될 때(가로축 3) 최대 인장응력이 발생하였다.

4. V자 형태의 와동에서 4가지 충전방법에 따른 법랑질에서 발생한 최대 인장응력

Fig. 5에 나타난 바와 같이 oblique gingival increment filling에서 가장 큰 최대 인장응력이 발생했으며 bulk filling에서 가장 작은 최대

인장응력이 발생하였다. oblique occlusal increment filling과 horizontal increment filling은 유사한 최대 인장응력을 보였다.

5. V자 형태의 와동에서 4가지 충전방법에 따른 상아질에서 발생한 최대 인장응력

Fig. 6에 나타난 바와 같이 oblique occlusal increment filling에서 가장 큰 최대 인장 응력이 발생했으며, 그 다음이 horizontal increment filling, oblique gingival increment filling 순이었고 bulk filling에서 가장 작은 최대 인장응력을 보였다.

6. Box형태의 와동에서 4가지 충전방법별로 구분하여 본 법랑질, 상아질, 상아질 와동 저에서의 최대 인장응력 (Figs. 7-10)

4가지 충전방법(A1, A2, A3, A4) 모두에서 상아질 와동저, 법랑질, 상아질의 순으로 최대 응력치가 증가하였다. 또한 A4의 경우에는 법랑질, 상아질, 상아질 와동저 모두에서 중합이 모두 완료되었을 때 최대 응력이 발생했고, A1, A2, A3의 경우는 중합도중에 최대 응력이 발생하였다.

7. V자 형태의 와동에서 4가지 충전방법별로 구분하여 본 법랑질, 상아질에서의 최대 인장응력 (Figs. 11-14)

4가지 방법(B1, 2, 3, 4) 모두에서 법랑질, 상아질의 순서로 최대응력치가 증가하였고,

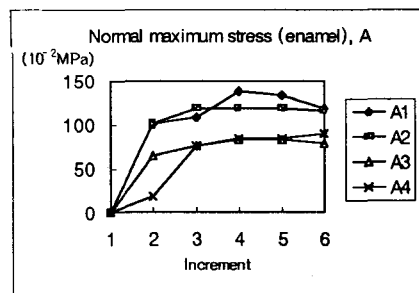


Fig. 2. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel in box-shape cavity.

Box형태의 경우와 마찬가지로 B4의 경우는 완전히 중합된 후, B1, B2, B3의 경우는 중합도중 최대 응력이 발생하였다.

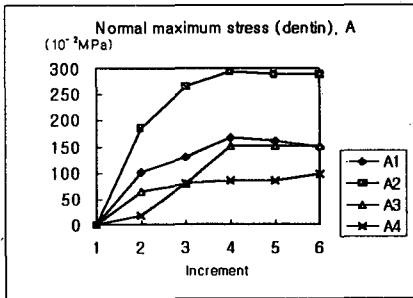


Fig. 3. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at dentin in box-shape cavity.

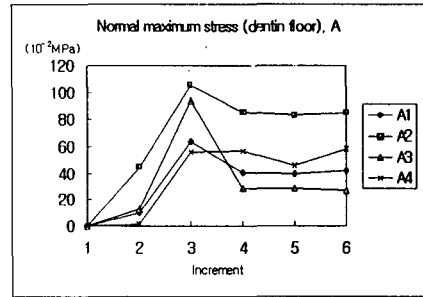


Fig. 4. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at dentin floor in box-shape cavity.

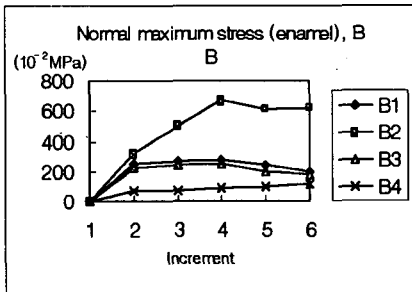


Fig. 5. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel in V-shape cavity.

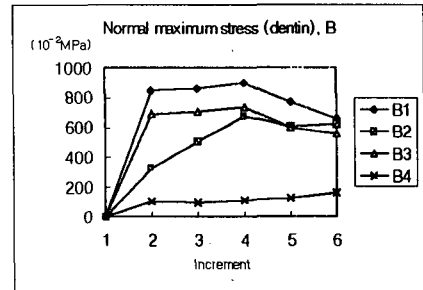


Fig. 6. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at dentin in V-shape cavity.

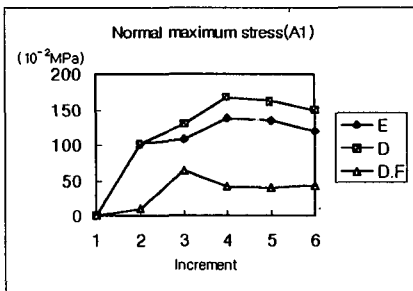


Fig. 7. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin, dentin floor in model A1.

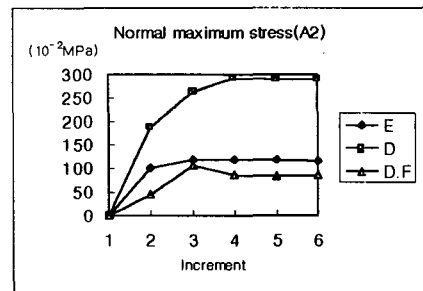


Fig. 8. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin, dentin floor in model A2.

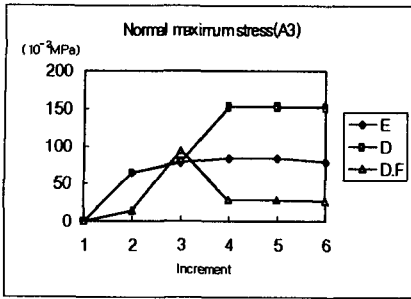


Fig. 9. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin, dentin floor in model A3.

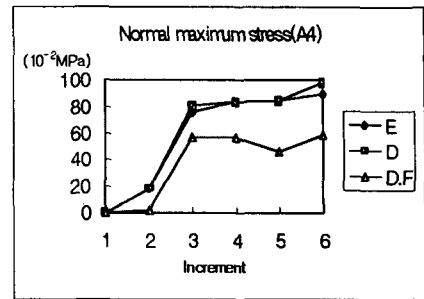


Fig. 10. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin, dentin floor in model A4.

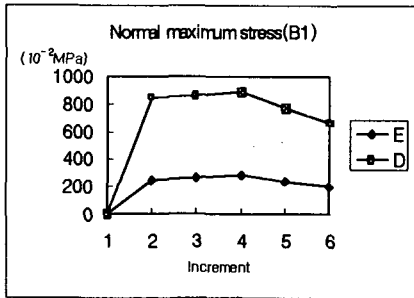


Fig. 11. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin, in model B1.

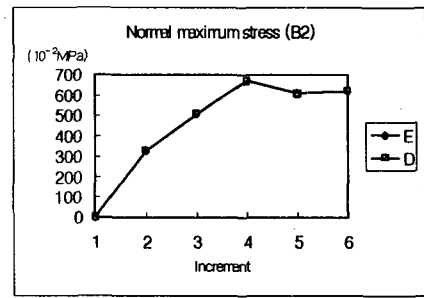


Fig. 12. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin in model B2.

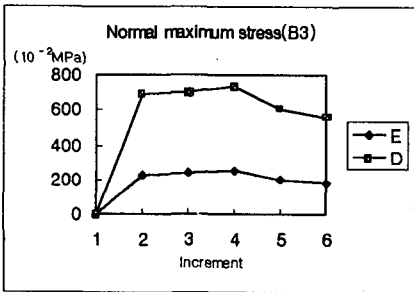


Fig. 13. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin in model B3.

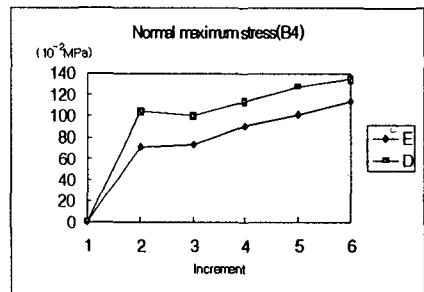


Fig. 14. Plots of maximum normal(tensile) stress as a function of layer cured at enamel, dentin in model B4.

IV. 총괄 및 고안

J.R. Rees와 P.H. Jacobsen¹⁶⁾은 monomer unit의 short-covalent bond의 형성에 의해서 중합수축이 일어난다고 하였고, 이러한 중합수축으로 인한 임상적 적용시 문제점이 많이 보고 되어 왔다.^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)} 이러한 콤포짓트레진의 중합수축을 측정하는 방법으로는 mercury-filled capillary를 이용한 dilatometer를 이용하는 방법,^{17, 18, 19)} 레진 주위의 수은에서 압력의 변화를 측정할 수 있는 strain-gauge transducer를 이용한 plethysmograph를 이용한 방법,²⁰⁾ water-filled dilatometer를 이용한 방법^{16, 21, 22)} 등이 제시되었으며, 그에 따른 미세누출에 관한 연구들도 많이 진행되어왔다.^{23, 24, 25, 26)} 하지만 레진의 수축에 의해 레진과 치질사이의 계면에서 발생할 수 있는 응력에 관한 연구는 부족한 실정이고, 이러한 응력이 치아와 레진사이의 결합의 상실이나 치아의 지각과민의 원인이 될 수 있으므로²⁷⁾ 이번 연구에서는 이러한 응력의 양상을 살펴보았다.

유한 요소법은 주로 기계설계, 항공기 구조 등의 해석에 많이 쓰이는 방법⁴⁷⁾으로 현재는 치의학 분야에서도 그 이용이 많이 늘어나고 있는 실정이다.^{11, 28, 29, 30, 48)} 삼차원 유한요소법에 의해 복잡한 치아모양을 재현하는데 오차의 가능성이 있긴 하지만 응력상태를 더 사실적으로 나타내는데는 적합한 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 유한요소 모형상에서 중합수축의 재현을 thermal stress analogy를 이용해서 모방하였다.¹⁵⁾ 실제적인 레진의 중합은 연속적으로 진행되는 과정인데 이를 유사하게 재현하기 위해서 중합되는 레진을 6개의 층으로 구분하였고(Fig. 1), 각 층의 중합은 온도를 가상적으로 1° 떨어뜨림과 동시에 거기에 부여된 열팽창 계수에 의해 이루어졌다. 각각의 충전 방법에 따라 각 층의 중합순서를 변화시켜서 각각의 충전방법에 차이를 두었다.

Michel Goldman²²⁾은 레진수복재료의 와동벽에 대한 변연적합도에 영향을 미치는 요인으로 ①중합수축 ②장기적인 수분 흡수 양상

③충전의 점도 ④재료의 중합시간 ⑤재료와 와동벽사이의 결합 ⑥치과의사의 시술방법 ⑦재료의 열팽창계수를 들었으며, 이들 여러 요인들 사이에 상관관계를 확실히 알기는 힘들지만 중합수축을 제거하는 것이 변연적합도를 향상시키는데 가장 중요하다고 하였다.

광중합 콤포짓트레진의 중합수축으로 인한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 와동형성방법의 변화, 충전방법의 변화, 새로운 레진의 개발에 의한 중합수축의 발생을 줄이는 방법, 중합되는 레진의 유동성을 증가시키는 방법, 상아질 결합 시스템의 개선등이 제시되고 있다.

Felix Lutz등³¹⁾은 모든 범랑질 변연에 사면을 가진 배(pear)모양의 와동형태를 adhesive preparation이라고 하여 제시하면서 와동의 변연에서 수축에 의한 응력과 수축자체의 벡터가 상승효과를 일으키게 되어 변연부의 적합성이 크게 향상된다고 하였다. L.H.S. Hall등³²⁾은 범랑백악질 경계부에 대한 상대적인 위치에 관계없이 모든 변연에 사면을 주는 것이 미세누출을 줄일 수 있다고 하여 사면의 잇점을 강조했다지만, 와동변연 부위의 사면에 관해서는 아직도 논쟁의 여지가 있다.

Increment filling technique은 깊은 와동에서 광중합레진의 완전한 중합을 위해서 제시되었는데^{33, 34)} 이런 increment filling technique이 레진의 중합수축을 줄일 수 있다는 보고도 있었다.^{35, 36, 25, 45)} 하지만 그와는 상반되게 bulk filling의 경우에 미세누출이 적었다는 주장도 있으며^{37, 13, 46)} 두가지 방법사이에 차이가 없었다는 보고도 있었다.^{38, 13)} Gary A. Crim³⁹⁾은 increment filling technique중에서도 5급와동의 경우에는 교합면쪽을 먼저 충전하는 방법이 치은쪽을 먼저 충전하는 방법보다 미세누출을 적게 유발시킨다고 하였다.

본 연구에서는 box형태와 V자 형태의 와동 모두에서 bulk filling의 경우에 가장 응력이 작게 발생하였는데 이는 bulk filling의 경우에 미세누출이 적었다는 주장^{37, 13)}을 뒷받침하는 결과라고 할 수 있다. increment filling technique중에서는 horizontal increment filling technique이 가장 작은 최대 응력치를 보였으며, ob-

lique occlusal increment filling technique, oblique gingival increment filling technique의 순으로 최대 응력치가 증가하였는데 이는 교합면쪽을 먼저 충전하는 것이 좋다고한 Gary A. Crim³⁹⁾의 주장과 일치하는 것이다.

레진의 중합수축으로 인한 문제점에 대한 또 다른 해결책으로 중합되는 레진의 유동성을 주장하는 것에 대한 이론적인 근거는 레진의 수축시 응력은 레진의 유동성을 일으키고 이것이 중합수축을 보상할 수 있다는 것이다.⁴⁰⁾ 하지만 광중합 레진의 경우에는 유동성에 의한 응력의 감소가 덜 효과적이라는 주장도 있었다.⁴¹⁾ 본 연구에서 bulk filling이 가장 작은 최대 인장응력을 보인 것에 대한 한가지 설명으로 이러한 레진의 유동성에 의한 효과를 들 수 있을 것이다. 즉, bulk filling의 경우에는 다른 충전법보다 중합되는 레진의 층과 와동벽사이에 더 많은 중합되지 않은 레진이 남아있고 유한 요소모형상에서 중합되지 않은 레진과 중합된 레진의 탄성계수의 차이가 크기 때문에 이 점이 실제 레진의 중합에서 유동성과 같은 역할을 했을 것으로 사료된다.

Bulk filling의 경우에는 레진이 완전히 중합된 후에 가장 큰 최대응력을 보인 것에 비해 다른 3가지 increment filling은 중합도중에 최대 응력을 보인 것에 대한 이유도 이러한 레진의 유동성에 의한 것으로 설명될 수 있다. 즉, increment filling은 첫 번째 충전한 부분이 완전히 중합되어 와동의 내측에 중합된 레진이 충전되어 있는 상태에서 두 번째 충전부분을 충전하기 때문에 중합되지 않은 레진에 의한 일종의 완충역할이 줄어들었기 때문에 중합이 진행되는 동안에 최대응력이 발생하였다고 할 수 있을 것이다.

레진의 중합수축으로 인한 문제점에 대한 또 다른 해결책으로 제시되고 있는 것이 상아질 결합 시스템의 개선이다. 최근에는 미세누출의 가능성을 감소시키고 레진과 치아사이의 결합을 유지시키기 위한데 초점을 맞추고 여러 가지 상아질 결합 시스템이 개발되고 있지만 아직까지는 미세누출을 줄이지는 못하고 있으며,^{42, 43)} 접착을 계속 유지시킬 수 있는 경우에도 잔존

응력이 증가하여 치아의 파절이나 지각과민을 일으킬 수 있는 문제점이 발생된다.⁴⁴⁾

본 연구에서는 bulk filling에서 보다 increment filling에서 더 큰 응력이 발생했는데, oblique increment filling의 경우에 더 큰 응력이 발생된 이유로는 와동에 대각선으로 충전을 하기 때문에 충전되는 길이가 다른 2가지 방법 (horizontal increment and bulk filling)보다 길어져서 상대적으로 수축이 많이 발생했기 때문으로 생각되며, 충전되는 부분의 길이가 같은 horizontal increment filling과 bulk filling사이에서도 응력의 차이가 발생된 것은 레진의 유동성(본 유한요소모형에서는 중합되지 않은 레진의 작은 탄성계수)의 영향으로 사료된다.

법랑질과 상아질사이의 응력을 비교해 보면 두가지 와동형태와 4가지 충전방법 모두에서 상아질에서 응력이 법랑질보다 최고 3.2배까지 크게 나타났는데 이는 임상적으로 레진의 법랑질에 대한 결합력이 상아질에 대한 결합력보다 강하다는 것을 생각할 때 주목할 만 하다고 할 수 있다. V자 형태의 와동에서 box형태의 와동에서 보다 더 큰 응력이 발생되었는데 이것은 V자 형태의 와동에서 접촉면적의 크기가 더 작기 때문으로 사료되며, 또한 중합되는 과정에서 외각층이 중합될 때 내부의 중합되지 않은 레진의 양이 중합되는 레진의 양보다 상대적으로 적기때문으로 생각된다.

레진의 중합수축으로 인한 문제점에 대한 가장 좋은 해결책은 원천적으로 레진의 수축을 줄이는 것이라고 생각되지만 현재 널리 사용되고 있는 레진은 피할 수 없는 중합수축을 보이므로 이번 연구의 결과를 토대로 살펴보면, 레진의 충전시 충분히 중합될 수 있는 한계내에서는 bulk filling을 시행하는 것이 좋을 것이며, 와동의 깊이가 너무 깊어 한번에 중합이 완전히 이루어지지 못하는 상황인 경우에는 horizontal increment filling을 시행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

V. 결 론

Box형태의 와동과 erosion/abrasion 유형의 V자형태의 와동에 4가지방법 즉, oblique occlusal increment filling, oblique gingival increment filling, horizontal increment filling, bulk filling으로 광중합레진을 충전했을 때, 레진의 중합수축으로 인해 발생하는 치아와 레진사이 계면에서의 응력을 삼차원 유한요소분석법을 이용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두가지 와동형태 모두에서 레진을 increment filling technique (oblique occlusal increment, oblique gingival increment, horizontal increment filling technique)으로 충전한 경우 중합수축으로 인해 발생하는 응력은 중합도중에 최고치를 보였으며 중합 후에는 감소하는 경향을 보였다.
2. Bulk filling technique으로 충전을 한 경우에는 중합이 진행되는 동안에 응력이 점점 증가하여 완전히 중합이 완료된 후에 최고치를 보였다.
3. Box형태의 와동과 V자 형태의 와동 모두에서 bulk filling technique이 가장 낮은 최대 응력치를 보였다.
4. 충전방법에 상관없이 V자 형태의 와동에서는 법랑질, 상아질의 순으로 최대응력치가 증가하였으며, Box형태의 와동에서는 상아질 와동저, 법랑질, 상아질의 순으로 최대응력치가 증가하였다.

REFERENCES

1. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface. J Dent Res 1955 ; 34 : 849-853.
2. Swift EJ, Perdugas J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin : A brief history and state of the art. Quint Int 1995 ; 26(2) : 95-110.
3. Rees JS, Jacobsen PH. The polymerization shrinkage of composite resins. Dent Mater 1989 ; 5 : 41-44.
4. de Gee AJ, Feilzer AJ, Davidson CL. True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composite determined with a linometer. Dent Mater 1993 ; 9 : 11-14.
5. Lai JH, Johnson AE. Measuring polymerization shrinkage of photo-activated restorative materials by a water-filled dilatometer. Dent Mater 1993 ; 9 : 139-143.
6. Bausch JR, de Lang K, Davidson CL, Peters A, de Gee AJ. Clinical significance of polymerization shrinkage of composite resins J Prosthet Dent 1982 ; 48 : 59-62.
7. Bowen RL, Nemoto K, Rapson JE. Adhesive bonding of various materials to hard tooth structure : Forces developing in composite materials during hardening. J Am Dent Assoc 1983 ; 106 : 75-477.
8. Asmussen E. Composite restorative resins ; Composition versus wall to wall polymerization contraction. Acta Odontol Scand 1975 ; 33 : 337-344.
9. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The competition between the Composite-Dentin Bond Strength and the Polymerization contraction stress. J Dent Res 1984 ; 62 (12) : 1396-1399.
10. Katona TR, Winkler MM. Stress analysis of a bulk-filled Cl V light-cured composite restoration J Dent Res 1994 ; 73(8) : 1470-1477.
11. Morin DL, Cross M, Voller VR, Douglas WH, DeLong R. Biophysical stress analysis of restored teeth : modelling and analysis. Dent Mater 1988 ; 4(2) : 77-84.
12. Bowen RL. Dental composites/Glass Ionomers ; The materials, advances in Dent Res 1992 ; 6 : 44-99.
13. Crim GA, Chapman KW. Effect of placement techniques on microleakage of a de-

- ntin-bonded composite resin. *Quint Int* 1986 ; 17(1) : 21-24.
14. Anusavice KJ, Phillips??Science of dental materials. 1996 ; 10th ed. : 49-74.
 15. Hickman J, Jacobsen PH. Finite element analysis of dental polymeric restorations. *Clin Mater* 1991 ; 7 : 39-43.
 16. Rees JS, Jacobsen PH. Polymerization shrinkage of composite resins. *Dent Mater* 1989 ; 5 : 41-44.
 17. Smith DL, Schoonover IC. Direct filling resins : Dimensional changes resulting from polymerization shrinkage and water sorption. *J Am Dent Assoc* 1953 ; 46 : 540-544.
 18. Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restoration. *J Am Dent Assoc* 1963 ; 66 : 57-64.
 19. Dennison JB, Craig RG. Physical properties and finished surface texture of composite restorative resins. *J Am Dent Assoc* 1972 ; 85 : 101-108.
 20. Jacobsen PH, Hawken MB, Stevens AL. Setting shrinkage of polymeric restorative materials. *J Dent Res* 1977 ; 56 : D115, Abstr. No.106.
 21. Bandyopadhyay S. A study of the volumetric setting shrinkage of some dental materials. *J Biomed Mater Res* 1982 ; 16 : 135-144.
 22. Goldman M. Polymerization shrinkage of resin based restorative materials. *Aust Dent J* 1983 ; 28 : 156-161.
 23. Swift EJ, LeValley BL. Microleakage of etched-dentin composite resin restorations *Quint Int* 1992 ; 23 : 505-508.
 24. Barnes DM, Thompson VP, Blank LW, McDonald NJ. Microleakage of class 5 composite resin restorations : A comparison between in vivo and in vitro. *Oper Dent* 1993 ; 18 : 237-245.
 25. William PS, Jennifer MM. Microleakage of composite restorations with Syntac Bond and Denthesive. *Am J Dent* 1992 ; 5 : 255-257.
 26. Carlo Prati, Gianni Montanari. Comparative microleakage study between the sandwich and conventional three-increment technique. *Quint Int* 1989 ; 20 : 587-594.
 27. Jensen ME, Chan DCN. Polymerization shrinkage and microleakage. In : Vanhercle G, Smith PC. editors. *Posterior composite resin dental restorative materials*. Urecht Peter Szulc, 243.
 28. Williams KR, Edmundson JT, Rees JS. Finite element stress analysis of restored teeth. *Dent Mater* 1987 ; 3 : 200-206.
 29. Goel VK, Khera SC, Rolston JL, Chang KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth - A Finite Element investigation. *J Prosthet Dent* 1991 ; 66 (4) : 451-459.
 30. Rubin et al. Stress analysis of the human teeth using a three dimensional finite element method. *J Dent Res* 1983 ; 62(2) : 82-86.
 31. Felix Lutz, IvoKrejci, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations : A new restorative technique. *Quint Int* 1986 ; 17(12) : 777-784.
 32. Hall LHS, Cochran MA, Swartz ML. Class 5 composite resin restorations : Margin configurations and the distance from the CEJ. *Oper Dent* 1993 ; 18 : 246-250.
 33. Watts DC, Amer O, Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite system. *Br. Dent J* 1984 ; 156 : 209-215.
 34. Leinfelder KF. Using composite resin as a posterior restorative materials *J Am Dent Assoc* 1991 ; 122 : 65-70.
 35. Bowen RL, Rapson JE, Dickson G. Hardening shrinkage and Hygroscopic expansion of composite resins. *J Dent Res* 19

- 82 ; 61(5) : 654-658.
36. Leclaire et al. Use of a two-stage composite resin fill to reduce microleakage below the cemento-enamel junction. *Oper Dent* 1988 ; 13 : 20-23.
 37. Frank I, Mangum, Berry EA, Rieger MR. Microleakage of incremental versus compression matrix bulk filling of cervical resin composite restorations. *General Dent* 1994 ; July-August.
 38. McComb et al. In vitro microleakage of Scotchbond restorations utilizing different restorative techniques. *J Dent Res* 1986 ; 65 : 174(Abstr 40)
 39. Gary A. Crim Microleakage of three resin placement techniques *Am J Dent* 1991 ; 4 (2) : 69-72.
 40. Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 1984 ; 63(2) : 146-148.
 41. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations *Dent Mater* 1990 ; 6 : 167-171.
 42. Airoidi RL, Krejci I, Lutz F. In vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed CIV cavity preparations. *Quint Int* 1992 ; 23 : 355-362.
 43. Sidhu SK, Henderson LJ. Dentin adhesives and microleakage in cervical resin composites. *Am J Dent* 1992 ; 5 : 240-244.
 44. Tajima K, Chen K, Terashita M, Kozono Y, Oshida Y, Moore BK. Occurrence of marginal enamel cracking in composite resin restored teeth. (Abstract) *J Dent Res* 1993 ; 72(Spec Iss) : 136.
 45. Lui JL, Masutani S, Setcos JC, Lutz F, Swartz ML, Phillips RW. Margin quality and microleakage of Class II composite resin restorations *J Am Dent Assoc* 1987 ; 114 : 49-54.
 46. Fuks AB, Chosack A, Eidelman E. Assessment of marginal leakage around Class II composite restorations in retrieved primary molars. *Pediatr Dent* 1990 ; 12 : 24-27.
 47. 임상전, 광병만, 이주성 : 유한요소법 입문. 서울, 동명사 1985.
 48. 양홍서 : 전치부 계속치의 지대치 및 지지조직의 역학반응에 관한 유한요소법적 연구. *대한치과의사협회지* 24 : 617. 1986.
 49. Gilmore Text Book of Operative Dentistry. Mosby 1967 ; 317-327.

EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 15. Three dimensional finite element models (facial view).
- Fig. 16. Three dimensional finite element models (lateral view).
- Fig. 17. Midsagittal section view of model A1 (oblique occlusal increment filling in box-shape cavity).
- Fig. 18. Midsagittal section view of model A2 (oblique gingival increment filling in box-shape cavity).
- Fig. 19. Midsagittal section view of model A3, A4 (horizontal increment filling and bulk filling in box-shape cavity).
- Fig. 20. Midsagittal section view of model B1 (oblique occlusal increment filling in V-shape cavity).
- Fig. 21. Midsagittal section view of model B2 (oblique gingival increment filling in V-shape cavity).
- Fig. 22. Midsagittal section view of model B3, B4 (horizontal increment filling and bulk filling in V-shape cavity).
- Fig. 23. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model A1 (oblique occlusal increment filling in box-shape cavity).
- Fig. 24. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model A2 (oblique gingival increment filling in box-shape cavity).
- Fig. 25. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model A3 (horizontal increment filling in box-shape cavity).
- Fig. 26. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model A4 (bulk filling in box-shape cavity).
- Fig. 27. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model B1 (oblique occlusal increment filling in V-shape cavity).
- Fig. 28. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model B2 (oblique gingival increment filling in V-shape cavity).
- Fig. 29. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model B3 (horizontal increment filling in V-shape cavity).
- Fig. 30. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred in model B4 (bulk filling in V-shape cavity).
- Fig. 31. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred at enamel in model A (box-shape cavity).
- Fig. 32. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred at dentin in model A (box-shape cavity).
- Fig. 33. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred at dentin floor in model A (box-shape cavity).
- Fig. 34. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred at enamel in model B (V-shape cavity).
- Fig. 35. Mesiolabial view of tensile stress distribution pattern when maximum tensile stress occurred at dentin in model B (V-shape cavity).

사진 부도 1

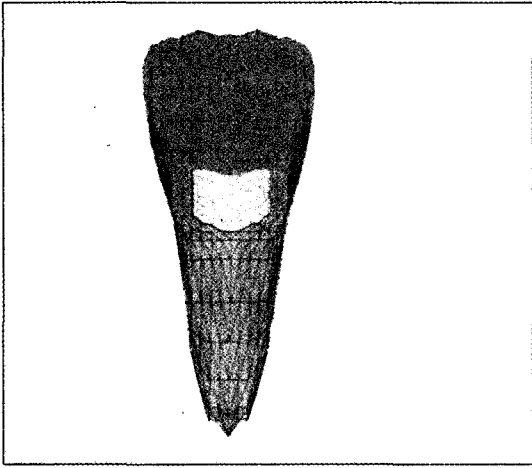


Fig. 15

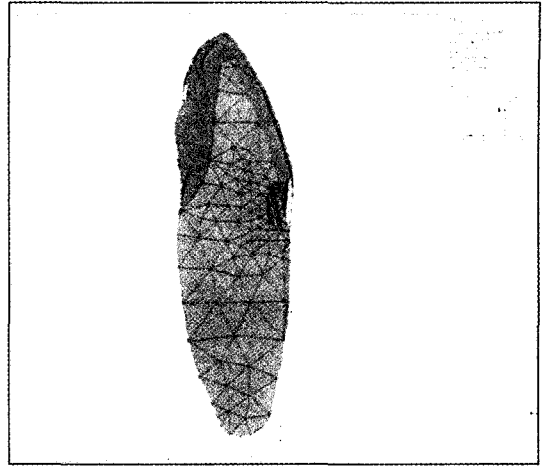


Fig. 16

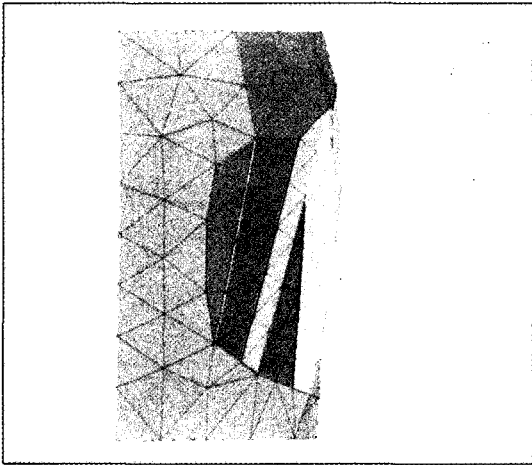


Fig. 17

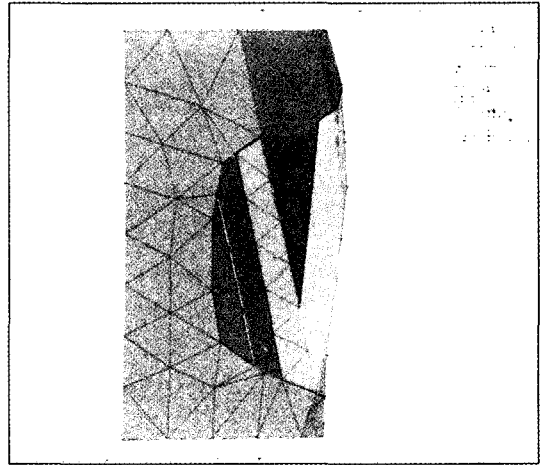


Fig. 18

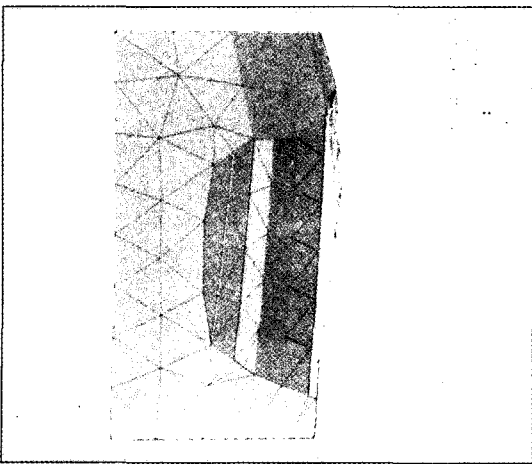


Fig. 19

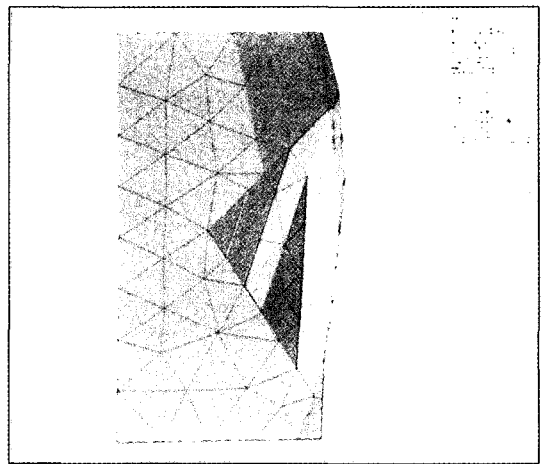


Fig. 20

사진 부도 2

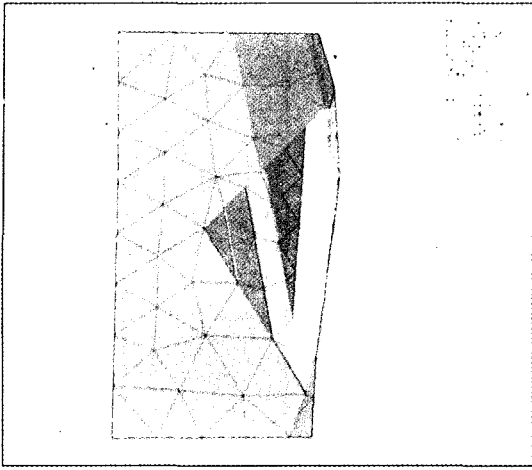


Fig. 21

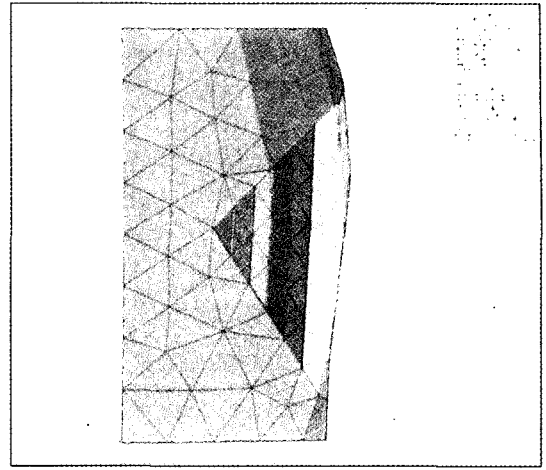


Fig. 22

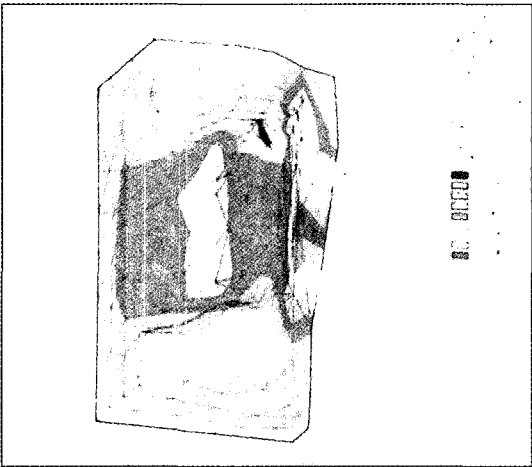


Fig. 23

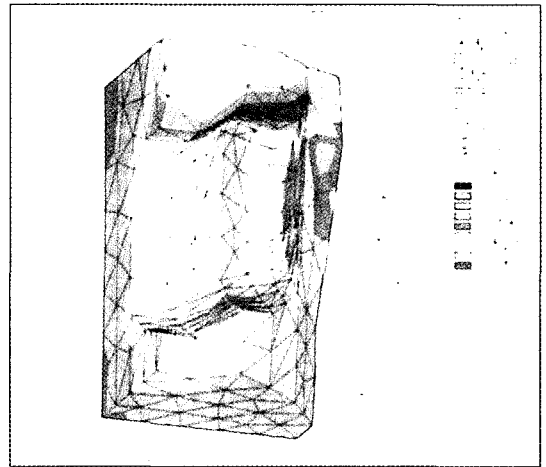


Fig. 24

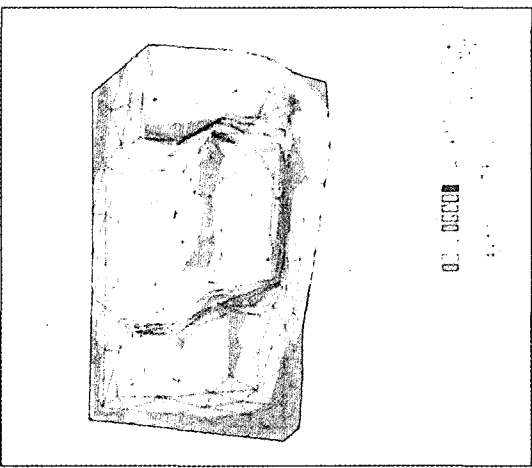


Fig. 25

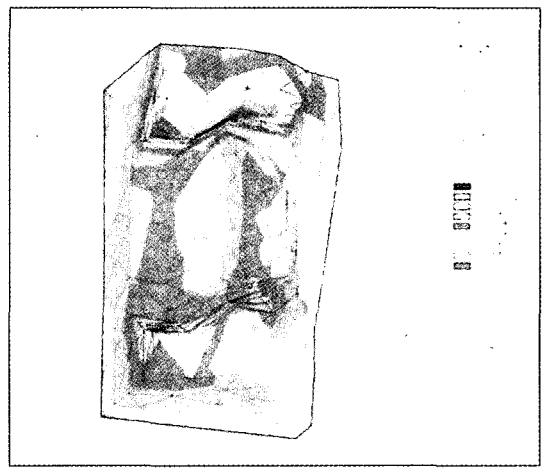


Fig. 26

사진 부도 3

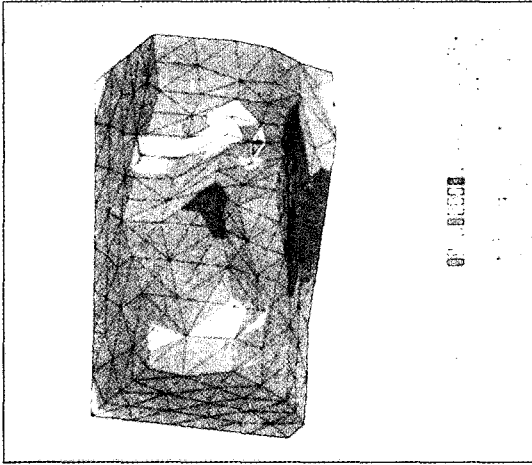


Fig. 27

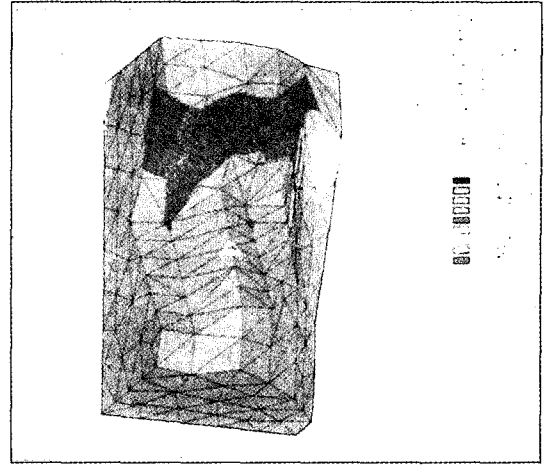


Fig. 28

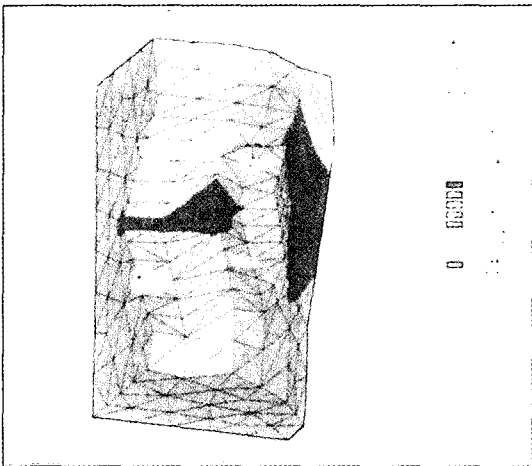


Fig. 29

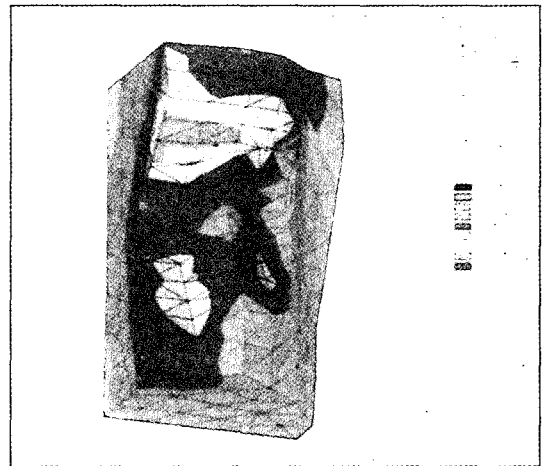


Fig. 30

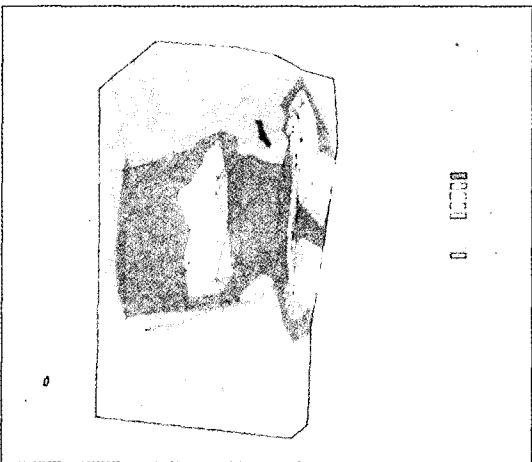


Fig. 31

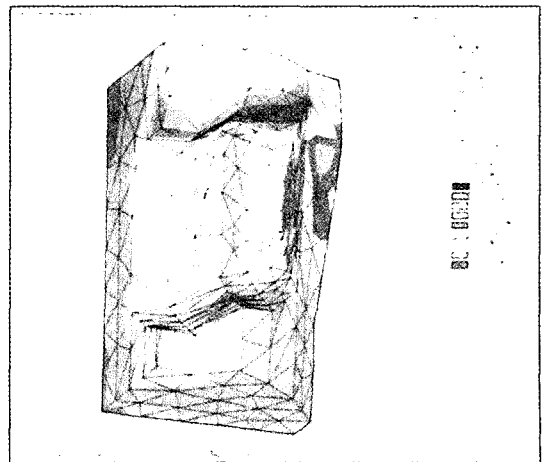


Fig. 32

사진 부도 4

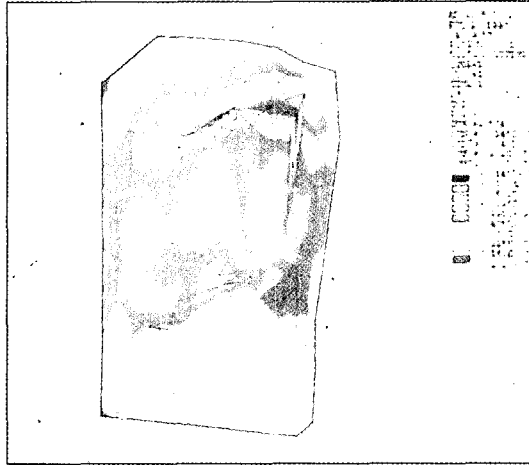


Fig. 33

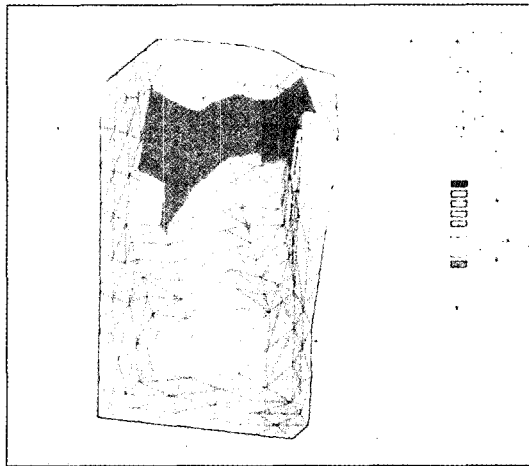


Fig. 34

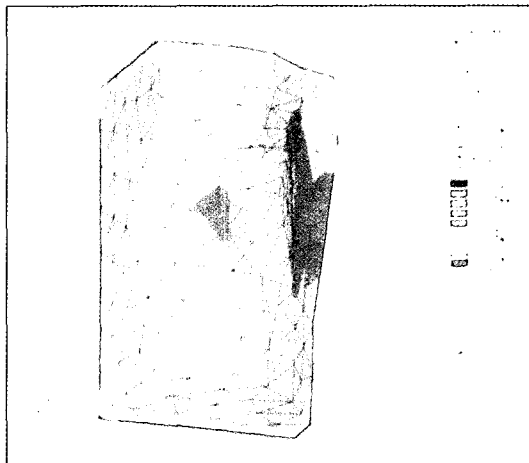


Fig. 35

ABSTRACT

A COMPARATIVE STUDY ON THE COMPOSITE RESTORATION DESIGN
AND PLACEMENT METHODS USING THREE DIMENSIONAL
FINITE ELEMENT ANALYSIS

Jung-Taek Lee, Soon-Ho Yim*, Ik-Tae Chang

*Dept. of Prosthodontics, School of Dentistry, Seoul National University,
Samsung Medical Center**

Clinical application of composite resin recently draw great concerns in dentistry. Especially due to advantages such as esthetics, adhesiveness, simple clinical procedures, various shapes and kinds of composite resins are widely being applied to prosthodontics, conservative dentistry, and orthodontics. But, clinical problems attributable to the polymerization shrinkage of composite resin have been proposed, and we have to regard clinical problems such as secondary caries, loss of restoration, fracture of the surrounding tooth structure, marginal discoloration, and tooth sensitivity, and many portions are remained to be overcome. Therefore, this study attempts to analyze stress distribution between resin and tooth structure which is generated during polymerization shrinkage of composite resin using three dimensional finite element method.

Three dimensional finite element models with conventional box-shape cavity and erosion/abrasion type V-shape lesion cavity in upper central incisor were developed. These cavities were filled with four different types of placement techniques. (bulk filling, horizontal increment filling, oblique occlusal increment filling, oblique gingival increment filling) The stresses generated by polymerization shrinkage of composite resin were calculated. The results analyzed with three dimensional finite element method were as follows :

1. The increment filling technique showed the highest maximum normal stress in both conventional box-shape and V-shape cavities and showed a tendency to decrease after complete polymerization.
2. The bulk filling technique resulted in increased stresses during the curing process in both conventional box-shape and V-shape cavities and the highest maximum normal stress occurred after complete polymerization.
3. The bulk filling resulted in the lowest maximum normal stress in both box-shape and V-shape cavities
4. Regardless of placement method, in conventional box-shape cavity, the maximum normal stress increased in dentin floor, enamel, dentin sequence and in V-shape cavity, the maximum normal stress increased in enamel, dentin sequence.

Key words : composite resin, polymerization shrinkage, three dimensional finite element analysis, stress