

## 수복재료가 5급 복합레진 수복물의 응력분포에 미치는 영향에 관한 3차원유한요소법적 연구

안형렬 · 김현철 · 허 복 · 박정길\*  
부산대학교 치과대학 치과보존학교실

### ABSTRACT

#### THE EFFECT OF RESTORATIVE MATERIALS ON THE STRESS DISTRIBUTION OF CLASS V COMPOSITE RESIN RESTORATIONS - A 3D FINITE ELEMENT INVESTIGATION

Hyoung-Ryoul Ahn, Hyeon-Cheol Kim, Bock Huh, Jeong-Kil Park\*

*Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University*

The purpose of this study was to analyze the stress distribution aspect of unrestored and restored combined shape (wedge shape occlusally and saucer shape gingivally) class V cavity, which found frequently in clinical cases.

A maxillary second premolar restored with a combined shape class V composite restorations were modeled using the three dimensional finite element method. Static occlusal load of 170 N was applied on lingual incline of buccal cusp at the angle of 45° with the longitudinal axis of the tooth. And three dimensional finite element analysis was taken by ANSYS (Version 6.0, Swanson Analysis System Co., Houston, U.S.A) program which represent the stress distribution on unrestored and restored cavity wall and margin.

The conclusions were as follows.

1. Compared to the unrestored cavity, Von Mises stress at the cemento-enamel junction and line angle of the cavity base were reduced and in restored cavity.
2. Von Mises stress at the occlusal and cervical cavity margin and wall were increased in restored cavity in comparison with the unrestored cavity.
3. In the hybrid and hybrid/flowable composite resin restoration, Von Mises stress at the cemento-enamel junction and line angle of the cavity base were reduced more than in the flowable restoration.
4. In the hybrid and hybrid/flowable composite resin restoration, Von Mises stress at the occlusal and cervical cavity margin and wall were increased more than in the flowable restoration. (J Kor Acad Cons Dent 31(1):20-29, 2006)

**Key words:** Class V, Von Mises, Finite element analysis, Resin, Stress distribution

- Received 2005.7.27., revised 2005.10.28., accepted 2005.11.1. -

---

\* Corresponding Author: Jeong-Kil Park

Department of Conservative Dentistry  
College of Dentistry, Pusan National University,  
1-10, Ami-dong, Seo-gu, Busan, 602-739, Korea  
Tel: 82-51-240-7454  
E-mail: jeongkil@pusan.ac.kr

### I. 서 론

이같이, grinding 저작, 과도한 교합력, 잘못된 칫솔질습관, 침식 등 여러 가지 원인으로 비우식성 치경부 병소가 다양한 형태와 빈도로 발현되고 있다<sup>1)</sup>.

---

※ 본 연구는 2005년도 부산대학교병원 임상연구비 지원으로 이루어졌음.

이러한 병소를 수복하기 위한 재료의 선택에 관해 많은 연구가 이루어져 왔으며, 주로 글래스 아이오노머 시멘트와 복합레진을 이용한 접착식 수복이 바람직하다고 추천하고 있다<sup>2,3)</sup>.

법랑질, 상아질 모두에 화학적 결합을 이루며 열팽창계수가 치아와 유사한 장점<sup>4)</sup>이 있으나 마모저항성이나 강도가 낮은 글래스 아이오노머에 비해, 복합 레진은 산 부식에 의한 접착으로 결합력이 크고 마모와 파절 저항성이 높으며, 색조가 뛰어나 치경부 병소에서는 심미성으로 인해 우선적으로 채택하여 시술되고 있다.

5급 복합레진 수복에 관한 연구는 load cycling<sup>5)</sup>, thermocycling<sup>6)</sup>, 그리고 임상 시험결과를 활용한 변연부위의 미세누출<sup>7,8)</sup>이나, resin adhesive의 접착력에 관한 연구<sup>9,10)</sup>가 많았다. 5급 와동에 발생하는 응력분석<sup>11)</sup>을 위해 2차원적<sup>12)</sup>인 연구도 있지만 근래에는 석고모형 또는 자연치의 외형을 scanning하거나 미세단층촬영 영상을 이용하여 3차원적 유한요소 분석법으로 연구하고 있다. 이러한 연구들은 와동형태와 충전방법이 중합수축에 미치는 영향<sup>13)</sup>과 교합력이 치경부에 미치는 영향 등<sup>14,15)</sup>에 초점을 맞춘 것이었다. 그리고 수복재료에 관한 연구로서 3차원적 분석법을 사용하여 전체 와동을 단일 재료로 충전한 연구<sup>16)</sup>도 있었지만, 와동에 가해지는 응력을 적절히 분산하기 위해 어떤 복합레진을 사용하는 것이 좋은지 의문시되었다.

5급 와동은 그 위치가 치경부이므로 저작압이 치아에 가해질 때 발생하는 측방굽힘, 치축굽힘 때문에 와동과 수복물에 응력이 발생한다<sup>17)</sup>. 그 결과 탄성계수가 높은 혼합형 복합레진으로 수복한 경우, 응력이 치경부에 집중되어 계면간 실패를 겪게 된다<sup>18)</sup>.

이러한 이유로 탄성계수가 낮은 레진으로 수복한 경우에는 가해진 응력을 수복물 자체에서 흡수하여 상아질과 수복물의 계면에 응력이 전달되는 것을 막아서 접착실패를 방지할 것이라는 연구들<sup>19-21)</sup>에 따라 최근에는 filler의 함량을 줄인 흐름성 복합레진이 5급 와동에 사용되고 있다. 이 흐름성 복합레진은 재래형 복합레진보다 더 큰 인성값과 낮은 탄성계수를 가져서 파절저항성이 높으며, 재료의 점도도를 낮춤으로써 시술이 간편하여 임상에서 많이 사용되고 있다<sup>22)</sup>. 또한 흐름성 복합레진을 이장재로 사용하고, 그 외부를 혼합형 복합레진으로 수복하는 sandwich technique을 사용하기도 한다<sup>23)</sup>.

본 실험의 목적은 실제 치아의 미세단층촬영 영상을 이용해 3차원 유한요소모형을 제작하고 이 모형에 임상적으로 흔히 발견되는 교합면 쪽은 wedge 형이고 치경부 쪽은 saucer 형인 비우식성 치경부 병소 (혼합형 병소)를 재현하여 병소의 수복에 탄성계수가 높은 혼합형 복합레진과 탄성계수가 낮은 흐름성 복합레진을 각각 단독으로, 그리고 이 두 가지 레진을 복합 사용하였을 때의 응력분포를 3차원적

유한요소법으로 분석하여 적절한 수복 방법을 확인하고자 하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 3차원 치아모형의 제작

상악 제 2 소구치를 미세단층촬영기 (Micro-CT, SkyScan1072, SkyScan, Aartselaar, Belgium)를 이용하여 교합면에 대한 수평면으로 0.058 mm의 간격으로 scan을 하였다. 얻어진 2차원 영상에서 3D-DOCTOR (Able Software Co., Lexington, MA, USA) 프로그램을 이용하여 법랑질, 상아질, 치수의 윤곽선을 추출하였다. 각각의 윤곽선 이미지를 Rhinoceros software (Robert McNeel & Assoc., Seattle, WA, USA)을 이용하여 적층시켜 3차원 구조로 변환하였다.

### 2. 유한요소 모형의 설계

3차원 유한요소 모형의 좌표계는 협설 방향을 x축, 치근단에서 교합면 방향을 y축, 근심에서 원심 방향을 z축으로 Figure 1과 같이 설정하였다.

3-D volume element shape은 node가 8개인 육면체로 구성하였다. 수복 전 node의 수는 13049개, element의 수는 12160개이고, 수복 후 node의 수는 13297개, element의 수는 12480개 이었다.

각 구조물의 Young's modulus와 Poisson's ratio는 선학들의 연구<sup>24,25)</sup>를 참조하여 균질성 (homogeneous), 선형탄성 (linearly elastic), 등방성 (isotropic)의 3가지 가정 하에 Table 1과 같은 값을 부여하였다.

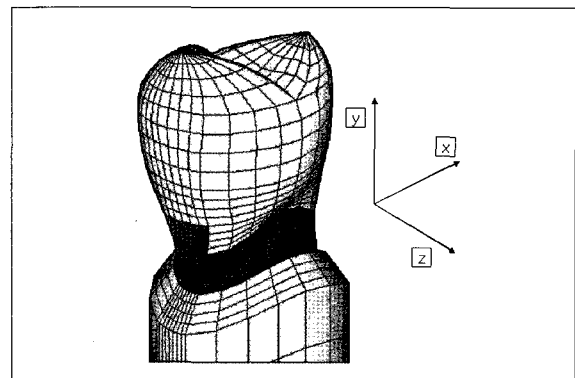


Figure 1. The 3-D finite element mesh model.

치수는 Young's modulus가 아주 낮기 때문에 치수 영향은 제외하였으며 치조골의 높이는 백악-법랑 경계에서 2 mm 하방으로, 치주인대는 0.3 mm 두께로 설정하였다.

모형에서 가장 하방에 위치한 절점들은 변위를 방지하기 위하여 완전 고정되었으며 치아와 레진이 완전히 결합되어 있다고 가정하였다.

(1) 와동의 형태

Figure 2와 같이 근원심 폭이 3 mm, 깊이는 2 mm, 백악법랑경계를 중심으로 교합측 1.5 mm 치은측 1.5 mm인 5급 와동을 만들었다.

(2) 충전 방법

와동 전체를 혼합형 복합레진으로 충전하는 방법과 흐름

성 복합레진으로 충전하는 방법, 그리고 백악법랑경계를 중심으로 와동의 상방 1 / 2은 혼합형 복합레진으로 하방 1 / 2은 흐름성 복합레진으로 충전하는 세 가지 방법을 사용하였다.

(3) 하중 조건

협측 교두정에서 설측 사면을 따라 내려오는 첫 번째 절점에서 설측 경사면에 90°의 각도로 170 N의 하중을 가하였다 (Figure 3).

(4) 응력 분석

본 실험에서는 3차원 Von Mises criteria에 따라 ANSYS (Version 6.0, Swanson Analysis System Co., Houston, USA)을 이용하여 응력 분석을 하였다.

Table 1. Mechanical properties of the materials used in the study

Materials	Mechanical properties	
	Young's modulus, E (MPa)	Poisson's ratio, $\nu$
Enamel	84000 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>
Dentin	18000 <sup>a</sup>	0.31 <sup>a</sup>
Z 100	15200 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>
Tetric Flow	5300 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>
PDL	0.667 <sup>b</sup>	0.49 <sup>b</sup>
Cancellous bone	13700 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>
Cortical bone	34000 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katona *et. al.* <sup>24)</sup>

<sup>b</sup> Geramy *et. al.* <sup>25)</sup>

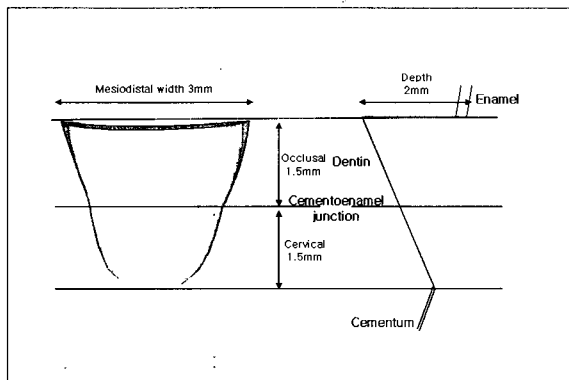


Figure 2. Cavity Design.

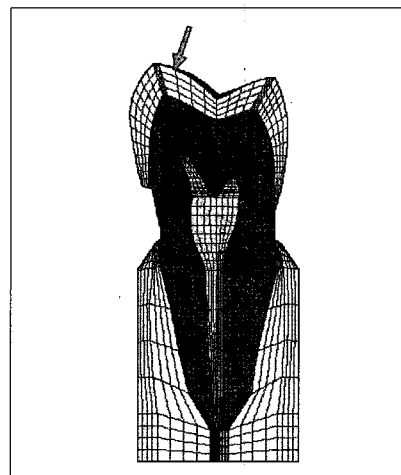


Figure 3. Applied force on the tooth.

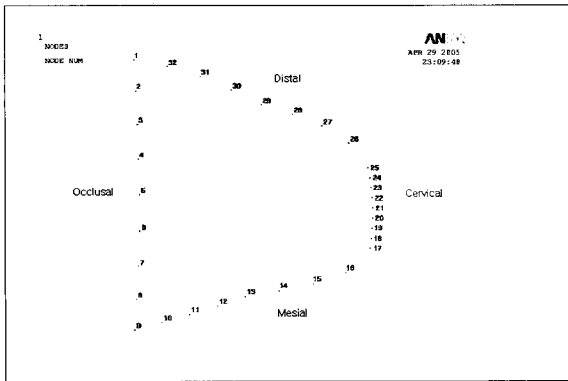


Figure 4. Von Mises stress node number of cavity outline.

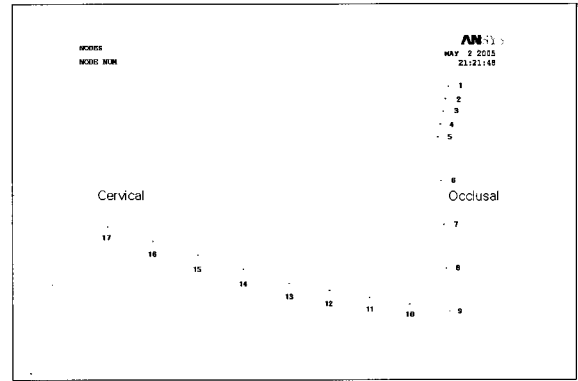


Figure 5. Von Mises stress node number of cavity wall.

수복 전·후 외동변연에서의 응력을 정량적으로 비교하기 위하여 Figure 4와 같이, 그리고 외동벽 정중부에서의 응력을 정량적으로 비교하기 위하여 Figure 5와 같이 각 부위에 node number를 부여하고 응력을 계측하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 수복 전 응력 분포

백악법랑경계를 중심으로 상방의 근원심 외동변연 법랑질에 강한 응력집중 현상을 보였으며 (Figure 6A), 최대응력은 368 MPa이었고 치경부 중점 부위에서는 39 MPa이었다.

상아법랑경계에서 응력 집중 현상은 보이지 않았다 (Figure 8A).

#### 2. 수복 후 응력 분포

##### (1) 혼합형 복합레진 수복

백악법랑경계의 외동변연부 최대응력이 수복 전 368 MPa에서 234 MPa로 감소하였으나 치경부 중점 부위는 수복 전 39 MPa에서 68 MPa로 응력이 증가하였다 (Figure 6B). 그리고 수복물에서는 교합면쪽에서 치경부쪽으로 갈수록 응력이 증가하여 치경부에 98 MPa의 응력이 발생하였다.

##### (2) 흐름성 복합레진 수복

백악법랑경계의 외동변연부 최대응력이 수복 전 368 MPa에서 293 MPa로 혼합형 복합레진 수복의 경우보다는 적게 감소하였다. 치경부 중점 부위의 응력은 수복 전 39 MPa에서 54 MPa로 증가하였지만 혼합형 복합레진 수복에 비해 작았다 (Figure 6C). 수복물에서는 교합면쪽에서

치경부 변연으로 갈수록 응력이 증가하여 치경부쪽에 35 MPa의 응력을 보였다.

##### (3) 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복

백악법랑경계의 외동변연부 최대응력이 수복 전 368 MPa에서 226 MPa로 3가지 수복 중 가장 작았다. 다른 수복물과는 달리 240 MPa의 최대응력이 외동변연과는 떨어진 곳에서 형성되었다. 치경부 중점 부위에서는 수복 전 39 MPa에서 57 MPa로 응력이 혼합형 복합레진 수복의 경우보다 작았다 (Figure 6D). 수복물에서는 교합면쪽에서 치경부 변연으로 갈수록 응력이 증가하나 최대응력은 다른 수복 경우와는 달리 치경부가 아니라 혼합형 복합레진과 흐름성 복합레진이 근심 백악법랑경계와 접하는 부위에서 45 MPa로 나타났다.

##### (4) 수복 전·후 외동변연부 응력의 정량적 비교

교합면 쪽 (Figure 4와 7의 node number 1~8)과 치경부 (Figure 4와 7의 node number 21)의 응력이 수복 전에 비해 수복 후 모든 실험군에서 증가하였으며, 혼합형 복합레진 수복 > 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복 > 흐름성 복합레진 수복 순이었다.

근·원심 백악법랑경계의 외동변연부 법랑질 (Figure 4와 7의 node number 13, 29)에 응력이 집중되었으며 응력의 크기는 흐름성 복합레진 수복 > 혼합형 복합레진 수복 > 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복 순으로 나타났다.

#### 3. 수복 후 외동벽의 응력분포

##### (1) 혼합형 복합레진 수복

수복 전 (Figure 8A)에 비해서 상아법랑경계로 갈수록 응력이 증가하며 상아법랑경계까지의 법랑질 전체에서 광범위하게 응력이 증가하였다. 외동저 선각에서 수복 전에 비

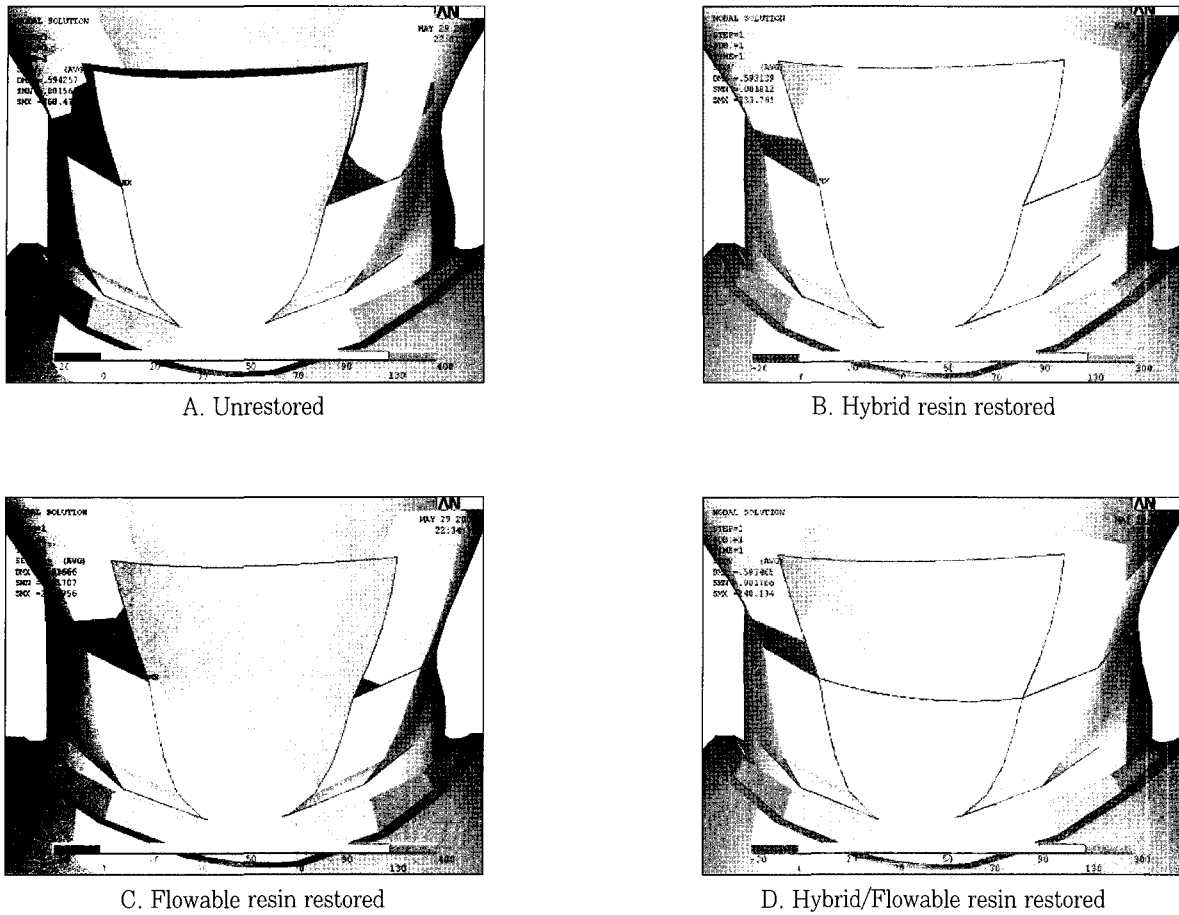


Figure 6. Stress distribution on cavity margins and restorations.

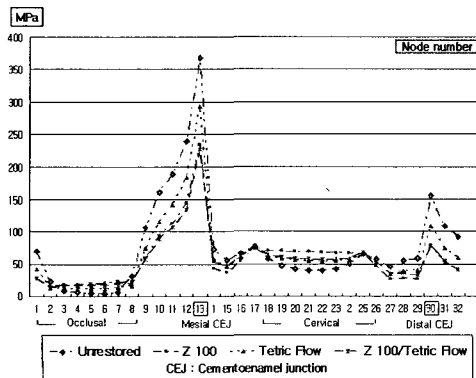


Figure 7. Stress distribution on cavity margins (before and after restoration).

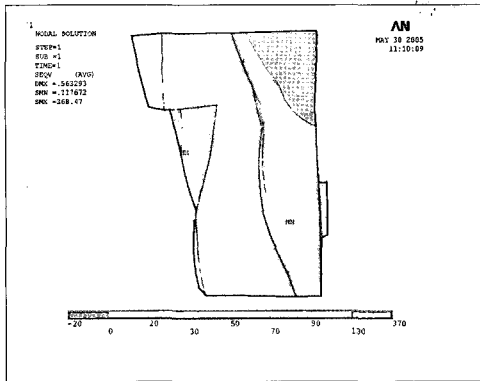
해 응력이 많이 감소하였으며 치경부는 수복 전에 비해 응력이 3가지 실험군 중 가장 많이 증가하였다 (Figure 8B).

(2) 흐름성 복합레진 수복

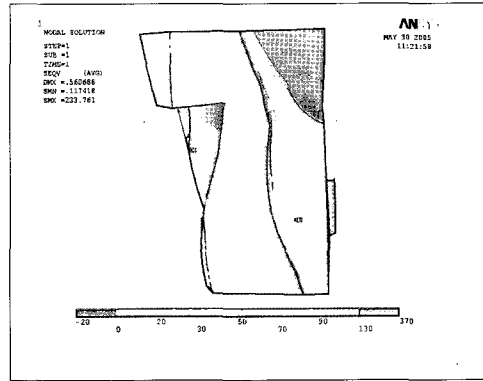
수복 전 (Figure 8A)에 비해서 상아법랑경계로 갈수록 응력이 증가하지만 혼합형 복합레진 수복에 비해 작으며, 상아법랑경계까지의 법랑질 일부에서만 응력이 증가하였다. 와동저 선각에서 수복 전에 비해 응력이 3가지 실험군 중 가장 적게 감소하였으며 치경부는 수복 전에 비해 응력이 3가지 실험군 중 가장 적게 증가하였다 (Figure 8C).

(3) 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복

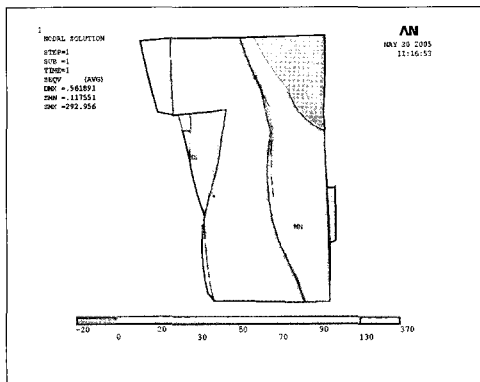
수복 전 (Figure 8A)에 비해서 상아법랑경계로 갈수록 응력이 증가하지만 혼합형 복합레진 수복에 비해 작으며, 상아법랑경계까지의 법랑질 전체에서 비교적 광범위하게 응력이 증가하였다. 와동저 선각에서 수복 전에 비해 응력이 많이 감소하였으며 치경부는 수복 전에 비해 응력이 혼합형 복합레진보다는 적게, 흐름성 복합레진보다는 크게 증가하였다 (Figure 8D).



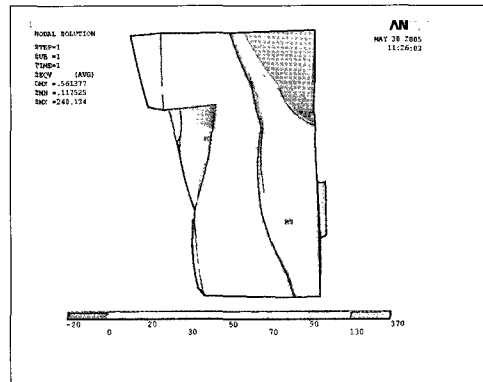
A. Unrestored



B. Hybrid resin restored



C. Flowable resin restored



D. Hybrid / Flowable resin restored

Figure 8. Stress distribution on cavity walls.

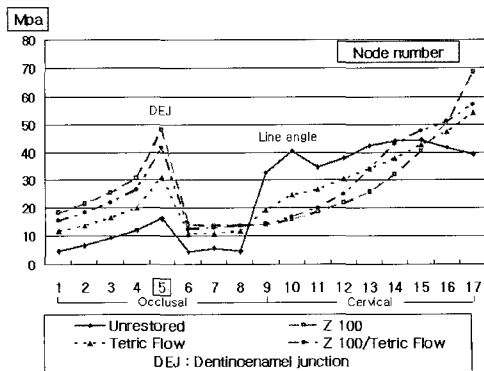


Figure 9. Stress distribution on cavity wall (before and after filling).

(4) 수복 전·후 와동벽 정중부 응력의 정량적 비교  
교합면 쪽 와동벽에서 상아법랑경계부 (Figure 5와 9의

node number 5)로 갈수록 수복 전 와동에 비해 모든 수복 후 와동에서 응력이 증가하며, 혼합형 복합레진 수복 > 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복 > 흐름성 복합레진 수복 순의 응력분포를 보였다. 그러나 상아법랑경계부를 지나면서 응력은 급격히 감소하였다.

와동저 선각 (Figure 5와 9의 node number 9)에서 수복 전 와동에 비해 모든 수복 후 와동에서 응력이 감소하며, 흐름성 복합레진 > 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복 > 혼합형 복합레진 수복 순의 응력분포를 보였다.

수복 전에 비해 내면에서의 응력 (Figure 5와 9의 number node number 9 - 13)은 모든 수복재에서 작게 나타났다.

치경부 (Figure 5와 9의 node number 17)에서 수복 전 와동에 비해 모든 수복 후 와동에서 응력이 증가하며, 혼합형 복합레진 > 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 > 흐름성 복합레진 순의 응력분포를 보였다.

#### IV. 총괄 및 고찰

5급 복합레진 수복 후, 와동과 복합레진이 받는 응력은 와동의 형태와 사용된 재료, 그리고 상아질 접착제 등의 영향을 받는다.

본 실험에서는 5급 와동에 있어서 복합레진 수복물의 성공과 실패에 관한 요인분석에 있어서 수복재의 Young's modulus와 Poisson' ratio가 어떤 영향을 끼치는지를 조사하기 위하여 단일형태의 와동을 사용하였고 복합레진 수복물과 5급 와동은 완전히 결합되어 있다는 가정 하에서 응력분포를 분석하였다.

저작력에 관한 연구는 학자에 따라 다양한 측정치를 보이는데 김<sup>27)</sup>은 한국 성인의 교합력에 관한 연구에서 성인의 소구치부 최대 교합력이 48.3 kg이라 하였다. 저작력은 최대 교합력의 36.2%를 나타낸다는 Gibbs 등<sup>28)</sup>의 연구에 따라 저작력을 가산하여 170 N의 하중으로 정하였다. 저작 시 수직하중보다는 측방하중에 의한 간섭이 상악소구치에서 협측교두의 파절을 일으키고, 상악 소구치는 협측방향으로의 경사로 인해 협측 교두의 파절이 빈발하다는 Thomas 등의 보고<sup>29)</sup>에 따라 본 실험에서는 협측 교두정에서 설측 사면을 따라 내려오는 첫 번째 절점에서 설측 경사면에 90°의 각도로 170 N의 하중을 가하였다.

실험결과를 살펴보면, 수복 전 와동의 응력분포 (Figure 6A)는 백악법랑경계 상방의 와동변연 법랑질에 응력이 크게 집중되었는데 Palamara 등<sup>17)</sup>은 주어진 힘의 방향에 관계없이 백악법랑경계에 응력이 집중된다고 하였다. 이는 서로 다른 조직이 모이는 부분에서, 탄성계수 차이로 말미암아 응력이 법랑질에 집중되고, 이로 인해 결합이 발생한 와동에서 법랑질의 지속적 파절이 일어남으로써 백악법랑경계를 따라 와동이 성장하는 원인이 된다고 할 수 있다<sup>30,31)</sup>.

백악법랑경계에서 혼합형 복합레진 수복과 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진으로 수복한 경우에 흐름성 복합레진 수복보다 많은 양의 응력을 경감시켰다. 이것은 혼합형 복합레진이 흐름성 복합레진보다 탄성계수가 높기 때문에 지지대의 효과<sup>32)</sup>가 더 큰 것으로 생각된다. 그러나 탄성계수가 높은 복합레진은 낮은 복합레진 보다 가해진 힘을 치경부로 많이 전달하여 치경부에 미세누출 및 수복물 파절을 일으킬 가능성이 있다<sup>18,20)</sup>.

Rees 등<sup>26)</sup>의 연구 결과를 참고하여 설계한 혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복은 예상과 같이 백악법랑경계의 와동 변연에서는 혼합형의 효과를, 그리고 치경부에서는 흐름성 복합레진의 효과를 얻어서 단일 복합레진으로 수복한 경우보다 유리하였다. 그리고 백악법랑경계의 최대응력이 와동변연부에 형성되지 않고 인접면 치질에 형성된 특이한

사실은 다른 수복 방법에 비해 와동변연부에서의 지속적 파절 가능성을 조금은 경감시키는 역할을 하게 될 것이라고 추정된다.

상아법랑경계에서의 응력증가 현상은 Rees 등<sup>33)</sup>의 연구와 일치하는데, 본 실험에서 탄성계수가 높은 혼합형 복합레진이 상아법랑경계부에 수복되었을 경우에는 오히려 상아법랑경계부에서 응력이 더 크게 증가하여 법랑질 파괴를 일으킬 수 있는 응력양상을 보였다.

흐름성 복합레진이 다른 수복에 비해 치질에서 응력이 작은 것은 탄성계수가 낮아서 응력을 치질에 작게 전달<sup>34)</sup>하기 때문으로 여겨지며 3가지 수복 중 가장 나은 결과를 보였다.

수복 전에 비해 와동저 선각과 와동벽의 응력은 모든 수복재에서 감소하였지만 흐름성 복합레진 수복이 나머지 수복의 경우에 비해 높은 수치를 나타내었다. 이것은 흐름성 복합레진이 탄성계수가 낮아서 압축이 되기 때문에 지지대의 효과<sup>32)</sup>가 적어서 와동저 선각과 와동벽의 응력을 충분히 경감시켜주지 못하였기 때문이다.

이러한 내용은 수복되지 않은 치경부 notch형 병변의 와동저 선각에 응력이 집중되며, 수복 후에는 이 부분의 응력은 줄어들지만 수복물의 교합변연과 치은변연에 새로운 힘의 집중이 일어나게 된다고 한 최근의 광탄성연구<sup>32,35)</sup>와 일치하였다.

치경부에서는 수복 전 와동에 비해 모든 수복 후 와동에서 응력이 증가하며, 혼합형 복합레진 수복이 가장 높은 응력을 보였다.

혼합형 복합레진 / 흐름성 복합레진 수복인 경우에 흐름성 복합레진의 단독 수복과 동일하게 치경부 변연에서 흐름성 복합레진이 치질과 접촉하고 있으나 응력이 약간 더 높게 나오는 것은 상부구조에서 받은 응력이 더 많기 때문으로 여겨진다.

그러므로 혼합형 복합레진은 굽힘 변형에 보다 더 잘 견디지만 응력이 치경부 변연에 집중되어 미세누출 등을 일으켜 실패의 원인이 될 수 있고, 그 대안으로 사용되는 흐름성 복합레진은 백악법랑경계 부위에서 충분히 응력을 해소하지 못하여 장기적으로 백악법랑경계 부위 치질의 파괴로 인한 수복물의 탈락을 일으켜 실패의 원인이 될 수 있다.

따라서 효과적인 응력분산을 위해서는 백악법랑경계 부위와 와동저 선각 부위는 탄성계수가 높아서 굽힘 응력에 저항할 수 있는 복합레진으로 수복하고, 치경부와 상아법랑경계를 포함하는 교합면 쪽은 탄성계수가 낮은 복합레진으로 수복하는 것이 효과적일 것으로 생각되며 차후에 이에 관한 연구가 필요하다.

## V. 결 론

임상에서 5급 와동의 형태 중에 흔히 발견되는 혼합형 (교합면 쪽은 췌기형이고 치경부 쪽은 접시형)의 와동이 형성된 상악 제 2 소구치에 170 N의 하중을 가했을 때, 수복 전 · 후에 나타나는 와동변연부와 와동벽, 그리고 수복물의 응력 분포를 3차원적 유한요소 분석법으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수복 전에 비해 수복 후 굽힘응력이 집중되는 백악법랑 경계와 와동저 선각부위에서 응력이 감소하였다.
2. 수복 전에 비해 수복 후 교합면과 치경부의 와동변연과 와동벽에서는 응력이 증가하였다.
3. 혼합형 레진과 혼합형 / 흐름성 레진으로 수복하였을 때 흐름성 레진으로 수복한 경우보다 백악법랑경계와 와동저 선각부위에서 응력이 더 감소하였다.
4. 혼합형 레진과 혼합형 / 흐름성 레진으로 수복하였을 때 흐름성 레진으로 수복한 경우보다 교합면과 치경부의 와동변연과 와동벽에서 응력이 더 증가하였다.

## 참고문헌

1. Grippo JO, Simring M, Schreiner S. Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: A new perspective on tooth surface lesions. *J Am Dent Assoc* 135(8):1109-1118, 2004.
2. Gallien GS, Kaplan I, Owens BM. A review of noncarious dental cervical lesions. *Compendium* 15(11):1366-1374, 1994.
3. Owens BM, Gallien GS. Noncarious dental "abfraction" lesion in aging population. *Compend Contin Educ Dent* 16:552-561, 1995.
4. 조인식, 박준일, 권혁춘. 제5급 와동에서 광중합 그래스 아이오 노머 수복물의 미세변연누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 23(1):304-313, 1998.
5. Minakuchi S, Munoz CA, Jessop N. Effect of flexural load cycling on microleakage of extended root caries restorations. *Oper Dent* 30(2):234-238, 2005.
6. Yazici Ar, Celik C, Ozgunaltay G. Microleakage of different resin composite types. *Quintessence Int* 35(10):790-794, 2004.
7. 박정길, 허복, 이희주. 와동형태가 5급 와동 수복물의 변연누출에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 26(2):162-170, 2001.
8. 장현주, 이희주, 허복. 췌기형태의 5급 와동에서 수복재료에 따른 변연미세누출의 비교. *대한치과보존학회지* 25(1):56-62, 2000.
9. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Braem M, Tildiz E, Yucel T, Vanherle G. The interaction of adhesive systems with human dentin. *Am J Dent* 9(4):167-173, 1996.
10. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Tensile bond strength of filled and unfilled adhesives to dentin. *Am J Dent* 13(2):73-76, 2000.
11. Lee HE, Lin CL, Wang CH, Chen Ch, Chang CH. Stresses at the cervical lesion of maxillary premolar - a finite element investigation. *J Dent* 30(7-8):283-290,

- 2002.
12. Rees JS, Hammadeh M, Jagger DC. Abfraction lesion formation in maxillary incisors, canines and premolars: a finite element study. *Eur J Oral Sci* 111(2):149-154, 2003.
13. 손윤희, 조병훈, 임정문. 와동형태와 충전방법에 따른 Class V 복합레진 수복치의 유한요소법적 응력분석. *대한치과보존학회지* 25(1):91-108, 2000.
14. Litonjua LA, Bush PJ, Andreana S, Tobias TS, Cohen RE. Effects of occlusal load on cervical lesions. *J Oral Rehabil* 31(3):225-232, 2004.
15. Ree JS. The effect of variation in occlusal loading on the development of abfraction lesions: a finite element study. *J Oral Rehabil* 29(2):188-193, 2002.
16. Yaman SD, Sahin M, Aydin C. Finite element analysis of strength characteristics of various resin based restorative materials in Class V cavities. *J Oral Rehabil* 30(6):630-641, 2003.
17. Palamara D, Palamara JE, Tyas MJ, Messer HH. Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dent Mater* 16(6):412-419, 2000.
18. Fruits TJ, VanBrunt CL, Khajotia SS, Duncanson MG Jr. Effect of cyclical lateral forces on microleakage in cervical resin composite restorations. *Quintessence Int* 33(3):205-212, 2002.
19. Leinfelder KF. Restoration of abfraction lesions. *Compendium* 15(11):1396-1400, 1994.
20. Heymann HO, Sturdevant JR, Bayne S, Wilder AD, Sluder TB, Brunson WD. Examining tooth flexure effects on cervical restorations: a two-year clinical study. *J Am Dent Assoc* 122(5):41-47, 1991.
21. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 64(6):658-664, 1990.
22. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatiades P, Wilkerson M. A characterization of first-generation flowable composite. *J Am Dent Assoc* 129(5):567-577, 1998.
23. Gomec Y, Dorter C, Dabanoglu A, Koray F. Effect of resin-based material combination on the compressive and the flexural strength. *J Oral Rehabil* 32(2):122-127, 2005.
24. Katona TR, Winkler MM. Stress analysis of a bulk-filled Class V light-cured composite resotration. *J Dent Res* 73(8):1470-1477, 1994.
25. Geramy A, Sharafoddin F. Abfraction: 3D analysis by means of the finite element method. *Quintessence Int* 34(7):526-533, 2003.
26. Rees JS, O'Dougherty D, Pullin R. The stress reducing capacity of unfilled resin in a Class V cavity. *J Oral Rehabil* 26(5):422-427, 1999.
27. 김인철. 교합력 측정기구에 관한 연구. *종합의학* 8:11, 1963.
28. Gibbs CH, Mahan PE, Lundeen HC, Brehnan K, Walsh EK, Sinkewiz SL, Ginsberg SB. Occlusal forces during chewing-Influences of biting strength and food consistency. *J Prosthet Dent* 46(5):561-567, 1981.
29. Thomas CW, Patrick KW, Richard JB. An *in vivo* study of cuspal fracture. *J Prosthet Dent* 53(1):38-42, 1985.
30. Yettram AL, Wright KW, Pickard HM. Finite element stress analysis of the crowns of normal and restored teeth. *J Dent Res* 55(6):1004-1011, 1976.
31. Rees JS. A review of the biomechanics of abfraction. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 8(4):139-144, 2000.



32. Kuroe T, Itoh H, Caputo AA, Konuma M. Biomechanics of cervical tooth structure lesions and their restoration. *Quintessence Int* 31(4):267-274, 2000.
33. Rees JS, Hammad M. Undermining of enamel as a mechanism of abfraction lesion formation: a finite element study. *Eur J Oral Sci* 112(4):347-352, 2004.
34. Verdonschot N, Fennis WM, Kuijs RH, Stolk J, Kreulen CM, Creugers NH. Generation of 3-D finite element models of restored human teeth using micro-CT techniques. *Int J Prosthodont* 14(4):310-315, 2001.
35. Kuroe T, Caputo AA, Ohata N, Itoh H. Biomechanical effects of cervical lesions and restoration on periodontally compromised teeth. *Quintessence Int* 32(2):111-118, 2001.

## 국문초록

### 수복재료가 5급 복합레진 수복물의 응력분포에 미치는 영향에 관한 3차원유한요소법적 연구

안형렬 · 김현철 · 허 복 · 박정길\*

부산대학교 치과대학 치과보존학교실

임상에서 5급 와동의 형태 중에 흔히 발견되는 혼합형 (교합면 쪽은 췌기형 이고 치경부 쪽은 접시형)의 와동이 형성된 상악 제 2 소구치에 170 N의 하중을 가했을 때, 수복 전 · 후에 나타나는 와동변연부와 와동벽, 그리고 수복물의 응력 분포를 3차원적 유한요소 분석법으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수복 전에 비해 수복 후 굽힘응력이 집중되는 백악법랑경계와 와동저 선각부위에서 응력이 감소하였다.
2. 수복 전에 비해 수복 후 교합면과 치경부의 와동변연과 와동벽에서는 응력이 증가하였다.
3. 혼합형 레진과 혼합형 / 흐름성 레진으로 수복하였을 때 흐름성 레진으로 수복한 경우보다 백악법랑경계와 와동저 선각부위에서 응력이 더 감소하였다.
4. 혼합형 레진과 혼합형 / 흐름성 레진으로 수복하였을 때 흐름성 레진으로 수복한 경우보다 교합면과 치경부의 와동 변연과 와동벽에서 응력이 더 증가하였다.

**주요어:** 5급 와동, 유한요소 분석법, 수복, 레진, 응력