

# 보철물 변연의 위치가 abfraction된 치아의 응력 분포에 미치는 영향에 대한 유한요소법적 분석

김명현 · 이청희\*

경북대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실

## Effect of the marginal position of prosthesis on stress distribution of teeth with abfraction lesion using finite element analysis

Myeong-Hyeon Kim, Cheong-Hee Lee\*

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

**Purpose:** The aim of this study was to evaluate the stress concentration and distribution whether restoring the cavity or not while restoring with metal ceramic crown on tooth with abfraction lesion using finite element analysis. **Materials and methods:** Maxillary first premolar was selected and made a total of 10 finite element model. Model 1 was natural tooth; Model 2 was tooth with metal ceramic crown restoration which margin was positioned above 2 mm from CEJ; Model 3 was tooth with metal ceramic crown restoration which margin was positioned on CEJ; Model 4 was natural tooth which has abfraction lesion; Model 5 and 6 had abfraction lesion and the other condition was same as model 2 and 3, respectively; Model 7 was natural tooth which had abfraction lesion restored with composite resin; Model 8 and 9 was tooth with metal ceramic crown after restoring on abfraction lesion with composite resin; Model 10 was restored tooth on abfraction lesion with composite resin and metal ceramic crown restoration which margin is positioned on lower border of abfraction lesion. Load A and Load B was also designed. Von Mises value was evaluated on each point. **Results:** Under load A or load B, on tooth with abfraction lesion, stress was concentrated on the apex of lesion. Under load A or load B, on tooth that abfraction lesion was restored with composite resin, the stress value was reduced on the apex. **Conclusion:** In case of abfraction lesion was restored with composite resin, the stress was concentrated on the apical border of restored cavity regardless of marginal position. It was favorable to place crown margin on the enamel for restoring with metal ceramic crown. (*J Korean Acad Prosthodont* 2014;52:202-10)

**Key words:** Dental stress analysis; Finite element analysis

### 서론

5급 와동의 결함의 원인은 우식성 원인과 비우식성 원인으로 나눌 수 있다. 비우식성 원인 중 가장 주요한 원인은 치아에 가해지는 교합력으로, 치아에 교합력이 가해지면 치경부에 응력이 집중 되는데, 특히 측방 이동시 이러한 경향이 증가한다.<sup>1</sup> 그리고 치아에 측방력이 가해지게 되면 교두의 굴곡이 발생하게 되고, 이 굴곡은 치경부에 인장 응력을 생성시킨다. 이 응력은 법랑질과 상아질의 수산화인회석(hydroxyapatite) 결정 구조 사

이 화학적 재결합을 방해하고, 그 결과 치아 구조의 상실이 더 진행되어 전형적인 wedge-shaped의 병소를 생성한다고 하였다.<sup>2</sup>

Grippo<sup>3</sup>는 교두의 굴곡과 관련되어 나타나는 치아 소실을 구분하기 위해서 'abfraction'이라는 단어를 새롭게 만들었다. 임상적으로 abfraction 병소는 날카롭고 각이 지며 췌기 모양의 병소이고 치은 하방에 위치하기도 하며, 종종 마모된 면과 연관되기도 한다고 하였다. 교합력과의 관련성에 대하여, Nohl 등<sup>4</sup>은 압력계를 사용하여 교합력이 작용할 때, 치경부 표면에 큰 인

\*Corresponding Author: Cheong-Hee Lee

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University,  
2177, Dalgubeoldae-ro, Jung-gu, Daegu, 700-705, Republic of Korea  
+82 53 600 7651; e-mail, chlee@knu.ac.kr

Article history: Received May 16, 2014 / Last Revision June 12, 2014 / Accepted June 30, 2014

© 2014 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장 응력이 생성되었다는 것을 증명하면서 치아 장축 방향으로 가해지는 힘보다 장축 방향이 아닌 힘이 가해질 때 더 큰 표면 응력이 생성된다는 것을 알아내었다. Lambrechts 등<sup>5</sup>은 이갈이와 부정 교합이 abfraction병소와 연관이 있으며 인장력이 가해질 때 치경부에서 법랑질 파절이 자주 일어남을 발견하였고, Xhonga<sup>6</sup>는 이갈이가 있는 환자에서 abfraction이 많이 나타남을 보고하였다. Burke 등<sup>7</sup>은 (1) 치경부병소들은 측방력에 취약하지만 인접치는 이 힘에 영향을 받지 않고, (2) 이 병소들은 치아의 절면에서는 잘 관찰되지 않으며, (3) 이 병소는 치은 하방에서 일어날 수 있다는 것으로 치경부 치아 소실 원인으로 교두 굴절 이론을 지지하였다.

임상에서 이러한 abfraction을 가진 치아를 보철 치료할 경우, 병소의 크기 및 변연의 위치에 따라 치아 형성에 어려움이 있으며, 이로 인해 보철물의 정확한 변연 폐쇄 및 인상 채득의 어려움이 발생한다. 또한 보철물변연의 위치가 abfraction병소의 예후에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 보고되고 있지 않은 상황이다.

그래서 본 연구의 목적은 abfraction병소가 있는 치아를 비귀금속 도재관으로 수복하는 경우에 있어서, 교합력이 가해질 때, 변연의 위치와 와동의 수복 여부에 따라서 응력의 집중과 분포를 유한요소 분석을 통해 알아보고, 이것이 abfraction의 예후에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위함이다.

## 재료 및 방법

사람의 상악 제 1 소구치 중 우식증이 없으며, 육안으로 관찰 시 균열이 없는 치아를 선택하였다. 선택된 치아를 2차원 유한요소 분석 모델 제작을 위해 교정용 자가 중합 아크릴 레진(Dentsply Caulk, Milford, USA)에 묻고, 협설 방향으로 자른 후 1 mm 두께로 연마하여 법랑질, 상아질, 백악질 및 치수가 잘 보이도록 하였다. 제작된 시편을 사진 촬영 후 모델링하였다. 모든 모델링과 해석에는 ABAQUS 6.10 software (Dassaultsystemes Co., Vélizy-Villacoublay, France)를 사용하였으며, 분석에 사용된 모델은 4개의 node로 구성된 약 3000개의 사변형의 요소로 구성되었다. 경계 조건은 치조골에 접촉하고 있는 부위를 고정된 것으로 가정하였다(Fig. 1).

Table 1은 실험에 사용된 각 부위의 물성을 나타내며, Rees와 Jacobsen<sup>8</sup>이 치아의 2차원 유한요소 분석 모델 시 제시한 것처럼 법랑질은 비등방성 물질로 가정하였고, 법랑질을 제외한 나머지 부위는 등방성으로 가정하였다. 백악질은 상아질과 물리적 성질이 비슷하여 상아질과 동일한 Young's modulus 및 Poisson's ratio를 사용하였다.

실험은 모두 10개의 모델을 만들어 시행하였다. Model 1은 모델링한 자연치, Model 2는 Model 1에서 협측 CEJ에서 2 mm 상방에 협측변연을 그리고 구개측 CEJ에 구개측 변연을 위치시킨 금속 도재관으로 수복한 경우, Model 3은 구개측 CEJ와 협측 CEJ에 변연을 위치시킨 금속 도재관으로 수복한 경우로

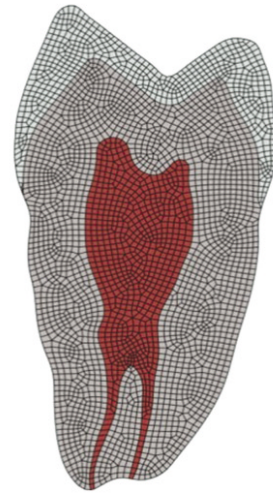


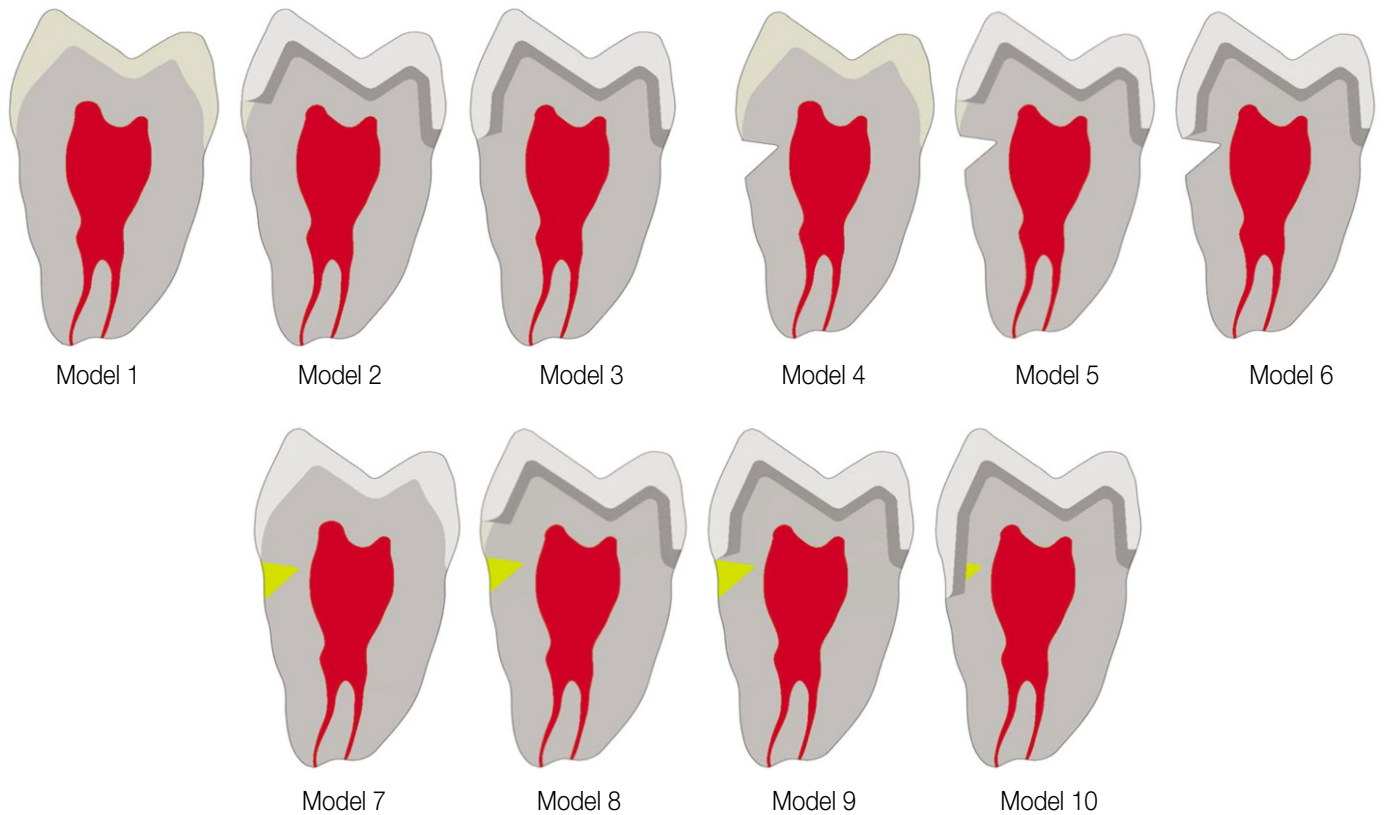
Fig. 1. Finite element model used in this study.

Table 1. Young's modulus and Poisson's ratio used in this study

	Young's modulus	Poisson's ratio
Enamel	Exx = 80 GPa Eyy = Ezz = 20 GPa	
Dentin	15 GPa	0.31
Pulp	2.1 MPa	0.45
Composite resin	10 GPa	0.24
Porcelain	69 GPa	0.28
Metal	218 GPa	0.33

하였다. Model 4는 자연치의 CEJ에서 치관-치근 방향으로 높이 2 mm, 깊이 1.5 mm의 abfraction 병소가 발생한 경우, Model 5는 Model 4에서 abfraction병소의 치관측 경계부에서 2 mm 상방에 협측변연을 위치시켜 금속 도재관으로 수복한 경우, Model 6는 Model 4에서 abfraction 병소의 치관측 경계부에 협측변연을 위치시켜 금속 도재관으로 수복한 경우로 하였다. Model 7은 Model 4의 abfraction 병소를 복합 레진으로 수복한 경우이며, Model 8은 Model 5의 abfraction병소를 복합 레진으로, Model 9는 Model 6의 abfraction 병소를 복합 레진으로 수복한 경우로 하였으며, Model 10은 Model 7의 abfraction병소의 치근측 경계부에 협측변연을 위치시킨 금속 도재관으로 수복한 경우로 하였다. Abfraction이 발생한 부위는 모두 동일하게 협측 CEJ이며, 높이 2 mm, 깊이 1.5 mm로 설정하였다. 금속 도재관의 금속 내관의 두께는 0.5 mm로 균일하게 설정하였고 도재는 측면 및 비기능 교두에서는 1 mm, 기능 교두에서는 1.5 mm로 설정하였다. 변연의 형태는 협측은 butt-joint, 구개측은 heavy chamfer로 설정하였다(Fig. 2).

10개의 모델에서 각 부분들의 계면 즉, 도재와 금속 사이, 금속과 치질(법랑질 또는 상아질) 사이, 법랑질과 상아질 사이, 레진과 치질 사이는 고정된 것으로 간극 요소(gap element)를 설정해주었다.



**Fig. 2.** Analysis models were designed according to the experimental conditions (Parts shown with the yellow represent composite resin restorations).

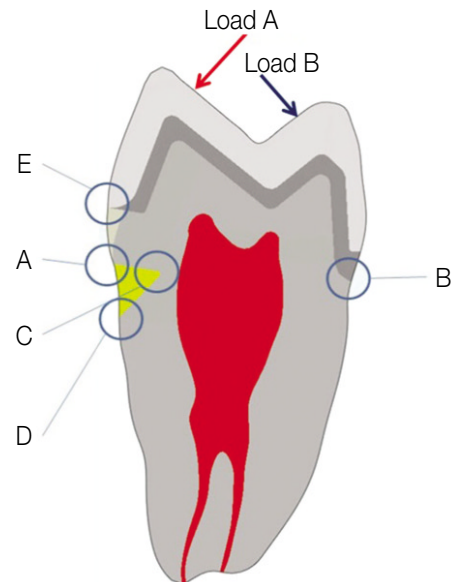
교합 하중으로는 100 N을 사용하였는데, 하중의 위치는 협측 교두의 구개측 사면에서 교두첨으로부터 1/3 지점에서 경사면과 수직인 방향으로 적용한 것을 Load A, 구개측 교두의 협측 사면에서 교두첨으로부터 1/3 지점에 경사면과 수직인 방향으로 적용한 것을 Load B로 하였다.

각 조건별로 비교하기 위해 총 5개의 기준점을 설정하였다. A는 치아의 협측 CEJ, B는 구개측 CEJ, C는 켜기형치경부병소의 첨부(apex), D는 abfraction이 존재할 경우 치근측 경계 부위, E는 협측 CEJ 상방 2 mm에 변연을 형성한 경우 변연 부위를 나타내며 이 점에서의 von Mises stress 값들을 측정하여 비교하였다 (Fig. 3).

## 결과

Fig 4와 Fig 5는 Load A와 B가 가해졌을 때 각 모델별로 유한요소 분석법으로 응력 분포 양상을 나타낸 것이고, Table 2는 각 조건 별 응력 값을 비교한 것이다.

Model 1에서 Load A와 B를 주었을 때 치아의 협측과 구개측 치경부에 응력이 집중되었으나, Load A의 경우 협측치경부에, 그리고 Load B의 경우 구개측 치경부에 응력이 더 집중되는 양상을 보였으며, 협측치경부에 더 집중되는 양상을 보였다.



**Fig. 3.** Reference points for comparison of stress value and the direction and application point of Load A and B (A: buccalcemento-enamel junction, B: palatal cemento-enamel junction, C: the apex of abfraction lesion, D: the apical border of abfraction lesion, E: the buccal margin of metal ceramic crown which is positioned 2 mm above from buccal CEJ, The red arrow means Load A & the blue arrow means Load B).

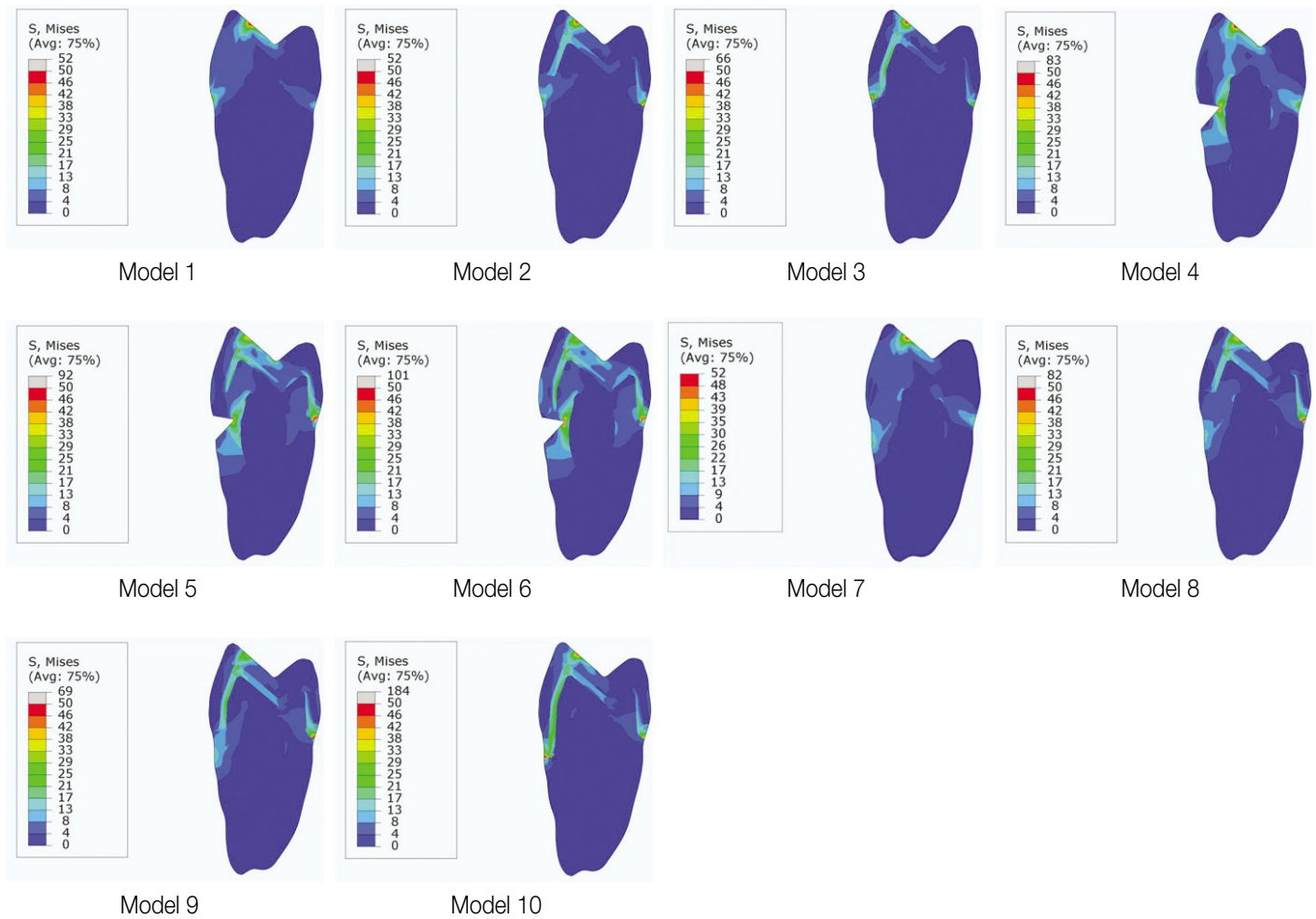


Fig. 4. Stress distribution pattern under Load A.

Abfraction이 없는 Model 1, 2, 3의 응력 값을 비교해보면 Load A에서 A point에 응력이 집중되는 양상을 보였으며, Model 2의 경우에 상대적으로 더 큰 응력 값이 협측변연부에 나타났다. Load B에서는 B point에 응력이 집중되는 양상을 보였으며, Model 3의 경우 상대적으로 더 큰 응력 값이 구개측 치경부 변연에서 발생했다.

Abfraction이 발생했으나 이를 수복하지 않은 Model 4, 5, 6에 Load A를 주고 응력 값을 비교했을 때, C point에 응력이 집중되었으나, Model 5에서 상대적으로 적은 응력 값을 보였으며, Model 6의 B point에서 응력 값이 증가하였다. Load B를 준 경우 C point에서 큰 응력 값을 보이긴 했으나, Load A와 비교했을 시 크기가 작았으며, B point에서의 응력 값이 abfraction이 없는 경우보다 상대적으로 크게 나타났다.

Abfraction이 발생하고 이를 복합 레진으로 수복한 Model 7, 8, 9, 10에서 Load A를 주고 응력 값을 비교하였을 때, 복합레진으로 수복하지 않은 경우보다 병소의 침부인 C point에서의 응력 값은 심하게 감소하였지만, D point에서의 응력 값은 증가하는 양

상을 보였으며, Model 10의 D point에서 상대적으로 더 높은 응력 값을 보였다. Load B를 주었을 때, 복합레진으로 수복하지 않은 경우보다 C point에서의 응력 값은 감소하였으나, D point에서 응력 증가가 나타났다.

## 고찰

교합력이 abfraction에 미치는 영향에 대하여 많은 연구들이 있었다. Pintado 등<sup>9</sup>은 교합면 마모와 비우식성치경부병소 사이 강한 관련이 있으며, 치경부에서 치질이 소실되는 양은 교합력과 치아의 총 측방 이동 운동량을 곱한 값에 비례한다고 하였다. Telles 등<sup>10</sup>은 젊은 환자를 대상으로 한 실험에서 비우식성치경부 병소가 진행함에 있어 교합력이 영향을 준다는 것을 주장하였다. Dejak 등<sup>11</sup>은 높은 탄성 계수를 가지는 단단한 덩어리를 저작(mastication)하거나 연마(grinding)할 경우 교두에 과도한 힘을 발생시키고, 이는 협측 치경부에서 법랑질의 강도를 넘는 응력이 발생함을 발견하였다.



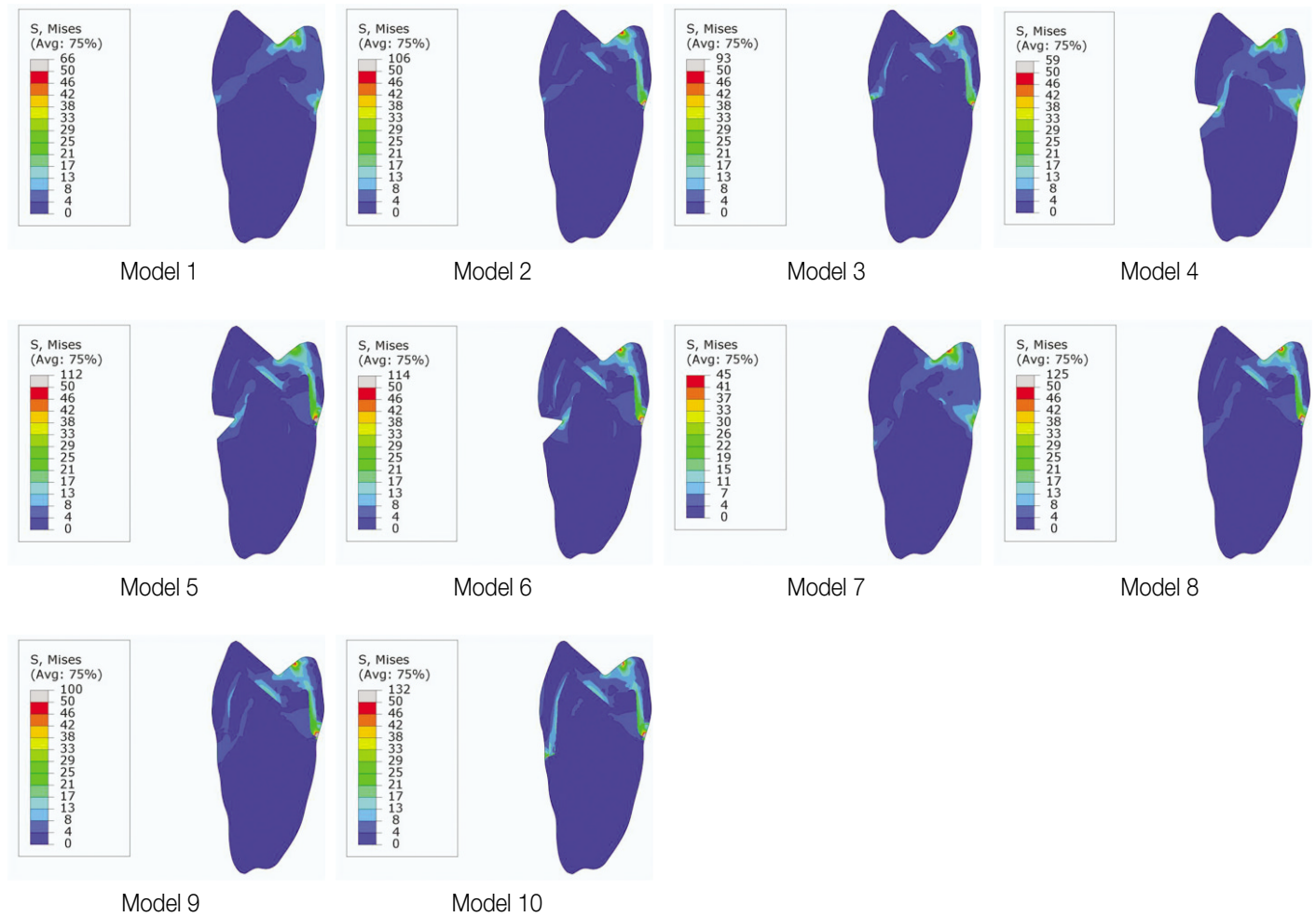


Fig. 5. Stress distribution pattern under Load B.

Table 2. Von Mises stress values at the reference point by each load (MPa)

Model	Load A (= 100 N)					Load B (= 100 N)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	21.5	9.9				11.6	17.9			
2	26.5	8.6			3.8	12.8	20.4			2.7
3	22.5	9.4				10.3	25.			
4	0.5	19.0	87.4	6.7		0.4	24.6	34.0	4.2	
5	1.0	16.6	60.1	4.6	6.5	0.6	24.2	21.2	4.1	4.9
6	2.0	26.8	87.4	5.4		1.0	30.7	33.5	2.5	
7	6.0	14.3	9.9	22.8		1.1	21.4	4.4	11.5	
8	6.4	10.4	6.0	14.6	1.9	0.9	19.3	3.7	6.6	3.1
9	4.7	18.4	9.7	15.4		2.2	30.4	5.5	7.3	
10		9.7	2.5	27.3			21.4	2.2	13.6	

측방 이동시 발생하는 교합 접촉은 200 - 400  $\mu\text{m}$ 의 교두의 측방 변위를 야기하는데 반해, 중심 교합일 때는 20  $\mu\text{m}$ 의 교두의 측방 변위가 발생하였다.<sup>12</sup> 하악이 측방 운동을 하는 경우 치아에 가해지는 측방력이 치아의 측방 변형 뿐만 아니라 치아를

비틀리게 하는 힘으로 작용하여 잠재적으로 높은 전단력을 만들 수 있으며, 장축 혹은 비장축 방향으로 가해지는 하중은 모두 상아질에 비해 법랑질에서 큰 응력을 발생시키는데, 어떤 하중 시스템에서건 적용되는 하중의 대부분이 가장 높은 탄성

계수를 가진 물질에 의해 전도되어 법랑질에 더 큰 하중이 집중되고 법랑질은 치아 외형을 따라 경사도를 가져 치경부에 높은 응력이 집중되며 이는 치경부 법랑질 내에 균열을 야기하여 결과적으로 법랑질의 일부분이 떨어져 나가 하부 상아질을 노출시킨다.<sup>13</sup> Tanaka 등<sup>14</sup>과 Boric 등<sup>15</sup>은 치아 장축에 대해 가해진 채 가해지는 교합력이 치경부병소를 유발함을 보고하였고, Piotrowski 등<sup>16</sup>은 치아의 조기 접촉(premature contact)이 치경부에 썩기 모양의 병소를 만들 수 있음을 발견하였다.

치아에 장축 방향이 아닌 사선 방향으로 힘이 가해질 때 CEJ에서 최대 굴절이 관찰되었고, 응력이 집중되는 양상을 나타냈다. CEJ 부근의 법랑질에서 높은 응력값이 존재함에 대해 Goel 등<sup>17</sup>은 (1) 이 부위가 다른 부분보다 얇고, (2) enamel rod의 배열이 다른 부분보다 덜 엮여있으며, (3) 치경부에서 법랑질과 상아질 사이의 약한 결합이 법랑질에서 보다 높은 응력이 발생하는 것에 기여한다고 설명하였다.

강도가 충분할 경우 어떤 종류의 응력(압축, 인장, 전단)이든 지간에 치아 구조에 손상을 줄 수 있는데 치아의 지점(fulcrum)에서 작용하는 측방력은 양쪽에 인장과 압축 응력을 생성할 수 있는데, Rees<sup>18</sup>는 법랑질에 인장 응력이 가해질 때 압축 응력이 가해질 때보다 파절이 더 잘 일어남을 보고하였다.

치경부 법랑질이 다른 부위의 법랑질에 비해 상대적으로 약한 물리적 특성을 나타내는 것에 대한 많은 연구가 시행되었다. Robinson 등<sup>19</sup>은 법랑질 표면에는 96% 이상의 광물질이 있는 반면 DEJ로 갈수록 84% 보다 적은 광물을 포함하고 있는 것을 발견하였고, 이러한 광물 함량의 변화는 법랑질의 물리적 성질을 반영한다고 하였다. Meredith 등<sup>20</sup>은 법랑질의 경도와 탄성 계수가 법랑질 표면에서 DEJ로 갈수록 감소한다고 하였다. Goel 등<sup>21</sup>은 법랑질과 상아질의 응력 분포에 DEJ의 형태가 미치는 영향을 조사하였는데, 응력의 양상, 특성, 크기가 DEJ의 형태에 따라 달라짐을 발견하였다. Poole 등<sup>22</sup>은 치아의 치경부 표면 아래의 법랑질은 식별하기 어렵고 작은 크기의 결정 구조를 가지며 더 많은 빈 공간을 가진다고 하였고, Scott와 Symons<sup>23</sup>는 치경부 법랑질 파괴에 견딜 수 있는 얇혀있는 형태의 법랑질이 많이 없음을 밝혀냈다.

Braem 등<sup>24</sup>은 응력으로 인한 치경부 법랑질의 초기 파절 단계에서부터 상아질의 파괴 과정까지 병소의 발전 단계를 기술하였는데, (1) 병소의 전반적인 형태가 근원심 방향으로 양상이 같거나 유사했고, (2) CEJ와 비교했을 때 치관부에서 높은 응력이 있음에도 불구하고 법랑 소주(enamel rod)는 CEJ에서 더 얇고 병소가 이 부위에서부터 시작되며, (3) 법랑질과 상아질 사이 결합이 파괴되기 시작하면, CEJ 부위의 치관쪽에 높은 응력값이 존재하기 때문에 병소는 계속적으로 진행한다고 유추할 수 있으며, (4) 치관에서 첫 번째 층에서의 높은 응력값은 이 부위에서 수복물이 실패하는 원인이 될 수 있다는 것을 이유로 앞서 언급한 Burke 등<sup>7</sup>의 주장을 지지하였다.

교합력을 가장 많이 받는 치아는 제 1 대구치이지만 비우식성 치경부 병소가 가장 호발하는 부위는 소구치이며,<sup>25</sup> 하악보

다 상악에 호발한다.<sup>26</sup> 이번 실험에서 법랑질은 비등방성으로 간주하고 실험을 진행하였는데, 이는 Rees와 Jacobsen<sup>8</sup> 그리고 Spears<sup>27</sup>가 법랑질이 다른 방향에서 다른 물리적 성질을 갖는 것을 참고하여 실험을 설계하였으며, Rees와 Jacobsen<sup>8</sup>의 주장처럼 enamel prism의 장축이 DEJ에 수직 방향이라고 가정하였고, 장축과 나머지 축의 탄성 계수 값을 다르게 적용하였다.

이번 실험에서 실제 임상에서 치경부과동을 수복하는 여러 가지 수복 재료 중 composite resin의 영향만 조사하였다. 이는 Vasudeva 등<sup>28</sup>이 glass ionomer cement보다 낮은 탄성 계수의 composite resin이 5급 와동에서 접착 실패를 감소시킬 수 있다고 한 것과, Vandewalle와 Vigil<sup>29</sup>와 N 등<sup>30</sup>이 탄성 계수가 낮은 micro-filled composite resin이 5급 와동에서 유지력이 좋아서 5급 와동 수복에 적절하다고 주장한 것, 그리고 Peumans 등<sup>31</sup>이 비우식성 치경부 우식증을 보이는 치아에 수복된 서로 다른 탄성 계수를 가지는 3개의 복합 레진의 실패율에 통계적으로 차이가 없음을 주장한 것을 참고하였다.

본 실험에서 abfraction이 없는 치아인 Model 1에 하중을 적용할 시 이전의 연구와 같이 협측과 설측 CEJ 부위에 압축 및 인장 응력이 집중되는 것을 볼 수 있었으며, 협설측 교두에 가해지는 하중의 위치가 달라서 협측 CEJ에 하중이 더 크게 나타난 것으로 생각되며, Model 2, 3에서도 유사하게 응력의 분포를 나타냈지만, Model 2의 A point에서 더 큰 응력값을 보였는데, 이는 응력이 탄성 계수가 큰 법랑질과 금속 내관 사이 계면에 집중되었다가 법랑질 외형을 따라 치경부에 전달된 것으로 추측된다.

Abfraction이 생겼으나 수복하지 않은 경우에 해당하는 Model 4, 5, 6의 경우에는 abfraction의 제일 깊은 부위에 응력의 집중이 더욱 심화되어 병소가 지속적으로 확장될 것으로 예상되며, 이는 Rees와 Hammadeh<sup>32</sup>이 치경부 DEJ의 undermining이 abfraction병소의 형성에 미치는 영향을 살펴본 실험에서 주장한 것처럼 협측치경부에 결합이 존재할 경우 응력의 흐름이 방해받게 되고 이로 인해 최대 응력 값의 증가가 일어난다는 것과 일치한다. 또한 설측의 CEJ부위에도 응력이 증가됨을 알 수 있었다.

Abfraction이 생겨 복합 레진으로 수복한 경우에 해당하는 Model 7, 8, 9, 10의 경우에는 abfraction의 제일 깊은 부위에 응력의 집중이 매우 완화되어 병소의 예후에는 좋을 것으로 사료되며, 이는 Kuroe 등<sup>33</sup>이 치경부병소가 교합력에 의해 발생하는 응력 분산을 변화시키고 병소의 침부 쪽에 응력을 집중시키지만 치경부병소를 수복하면 병소의 침부에 응력 집중을 감소시킨다는 주장과 일치한다. 그러나 D point에 응력의 집중이 증가하는 것으로 보아 레진수복물의 탈락 가능성이 있을 것으로 생각되며 특히 Model 10에서 응력이 크게 나타났는데, 이는 복합 레진이나 백악질의 탄성 계수보다 금속의 탄성계수가 크기 때문에 응력이 집중된 것으로 여겨지며, 이 부위에 새로운 병소가 생길 수 있다고 생각된다.

Um 등<sup>34</sup>의 연구에 의하면 응력은 기하학적으로 급변하는 부위에 집중이 되므로 5급 와동을 레진으로 수복할 경우 병소의

첨부(apex)에 응력이 가장 많이 집중되었고, 이를 해결하기 위해 와동의 첨부 쪽 선각(line angle)을 없애고, 병소의경계부에 사면(bevel)을 주었을 때 응력의 집중 없이 고른 응력 분포 양상을 보였는데, 보철물로 수복할 경우에도 5급 와동을 수복한 레진의 유지력을 증가시키고 고른 응력 분포 양상을 얻기 위해 날카로운 선각을 없애고 와동과 치아 계면에 사면을 부여하는 것을 고려해야 할 것이다.

이번 연구의 결과는 몇 가지 한계점을 생각하면서 받아들여야 한다. 첫째, 2차원 유한 요소 분석이기에 치아의 전후 방향의 뒤틀림 운동에 대한 분석은 이루어지지 못했다는 점이다. 둘째, 치아가 가장 많이 휘는 치아 중간부의 협설 절편으로 만들어졌다는 것인데, 절편이 좀 더 근심 또는 원심으로 위치했다면 더 적은 교두의 굴곡이 나타났을 것이며, 이는 더 적은 치경부 응력을 나타냈을 것이다. 셋째, 치아의 휨에 있어 치주 인대 및 치조골의 영향은 배제하였다는 것으로, 비우식성 5급 와동을 가진 치아라면 치은의 퇴축과 이에 동반한 치조골의 흡수가 나타나 치관-치근 비율이 달라질 것이며 이것은 치아의 휨에 큰 영향을 줄 것으로 추측된다.<sup>26</sup> 넷째, 실제 구강 내에서는 잇솔질에 의한 마모나 산성 음식에 의한 부식이 교합력과 함께 비우식성 치경부 병소의 생성 및 진행에 영향을 주는데 잇솔질에 의한 마모나 부식 등의 영향은 배제하였다는 점이다.

그래서, 지속적으로, 5급 와동을 수복하는 재료 및 방법, 사용되는 보철물의 재료 및 변연의 형태, 교두의 경사에 따른 응력 분포 양상 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 결론

이번 연구는 abfraction이 발생된 상악 소구치를 금속 도재관으로 수복하는 경우에 있어 변연 위치에 따라 와동 내부 및 보철물과 치아의 응력 분포를 알아보고 병소의 예후에 미치는 영향을 알아보기 위해 2차원 유한요소법으로 분석하였다. 보철물 변연의 위치와 치경부 와동의 수복 여부에 따라 총 10개의 모델을 모델링하고 협설교두 사면에 100 N의 하중을 각각 준 후, 5개의 측정 위치에서 하중을 분석하였다. 본 실험에서 사용된 유한 요소 모델 시스템 내에서 다음과 같은 결론이 도출될 수 있다.

1. Abfraction이 없는 치아에 교합력이 가해 질 경우 협설측 치경부에 응력의 집중이 나타났다.
2. Abfraction이 발생된 치아는 금속 도재관 수복 여부에 관계 없이 복합 레진으로 수복해주는 것이 응력의 집중을 줄여서 병소의 예후에 유리하다.
3. Abfraction이 발생된 치아를 복합 레진으로 수복한 경우, 변연의 위치와 상관 없이 수복된 병소의 치근단측 변연에 응력이 집중된다.
4. Abfraction이 발생된 치아를 금속 도재관으로 수복할 경우 협설 변연을 법랑질 상에 위치시키는 것이 유리하다.

## References

1. McCoy G. The etiology of gingival erosion. J Oral Implantol 1982;10:361-2.
2. Lee WC, Eakle WS. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. J Prosthet Dent 1984;52:374-80.
3. Grippio JO. Abfractions: a new classification of hard tissue lesions of teeth. J Esthet Dent 1991;3:14-9.
4. Nohl FS, McCabe JF, Walls AWG. The effect of load angle on strains induced in maxillary premolars in vitro. J Dent Res 1999;78:1059.
5. Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. Oper Dent 1987;12:53-78.
6. Xhonga FA. Bruxism and its effect on the teeth. J Oral Rehabil 1977;4:65-76.
7. Burke FJ, Whitehead SA, McCaughey AD. Contemporary concepts in the pathogenesis of the Class V non-caries lesion. Dent Update 1995;22:28-32.
8. Rees JS, Jacobsen PH. Modelling the effects of enamel anisotropy with the finite element method. J Oral Rehabil 1995;22:451-4.
9. Pintado MR, Delong R, Ko CC, Sakaguchi RL, Douglas WH. Correlation of noncarious cervical lesion size and occlusal wear in a single adult over a 14-year time span. J Prosthet Dent 2000;84:436-43.
10. Telles D, Pegoraro LF, Pereira JC. Prevalence of noncarious cervical lesions and their relation to occlusal aspects: a clinical study. J Esthet Dent 2000;12:10-5.
11. Dejak B, Mlotkowski A, Romanowicz M. Finite element analysis of mechanism of cervical lesion formation in simulated molars during mastication and parafunction. J Prosthet Dent 2005;94:520-9.
12. Spranger H. Investigation into the genesis of angular lesions at the cervical region of teeth. Quintessence Int 1995;26:149-54.
13. Rees JS. A review of the biomechanics of abfraction. Eur J Prosthodont Restor Dent 2000;8:139-44.
14. Tanaka M, Naito T, Yokota M, Kohno M. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force. J Oral Rehabil 2003;30:60-7.
15. Borcic J, Anic I, Smojver I, Catic A, Miletic I, Ribaric SP. 3D finite element model and cervical lesion formation in normal occlusion and in malocclusion. J Oral Rehabil 2005;32:504-10.
16. Piotrowski BT, Gillette WB, Hancock EB. Examining the prevalence and characteristics of abfractionlike cervical lesions in a population of U.S. veterans. J Am Dent Assoc 2001;132:1694-701.
17. Goel VK, Khera SC, Ralston JL, Chang KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth-a finite element investigation. J Prosthet Dent 1991;66:451-9.
18. Rees JS, Hammadeh M, Jagger DC. Abfraction lesion formation in maxillary incisors, canines and premolars: a finite element study. Eur J Oral Sci 2003;111:149-54.
19. Robinson C, Kirkham J, Brookes SJ, Shore RC. Chemistry of Mature enamel. In: Dental enamel-formation to destruction. In: Robinson C, Kirkham J, Shore RC, eds. CRC Press; Boca Raton;

- FL; 1995. p. 137.
20. Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SA. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Arch Oral Biol* 1996;41: 539-45.
21. Goel VK, Khera SC, Ralston JL, Chang KH. Stresses at the dento-enamel junction of human teeth-a finite element investigation. *J Prosthet Dent* 1991;66:451-9.
22. Poole DF, Newman HN, Dibdin GH. Structure and porosity of human cervical enamel studied by polarizing microscopy and transmission electron microscopy. *Arch Oral Biol* 1981;26:977-82.
23. Scott JH, Symons NBB. Introduction to dental anatomy. 9th ed. Edinburgh; Churchill Livingstone; UK. 1982.
24. Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Stress-induced cervical lesions. *J Prosthet Dent* 1992;67:718-22.
25. Borcic J, Anic I, Urek MM, Ferreri S. The prevalence of non-carious cervical lesions in permanent dentition. *J Oral Rehabil* 2004;31:117-23.
26. Kim HJ, Kim SJ, Choi JI, Lee JY. Effects of non-carious cervical lesions and class V restorations on periodontal conditions. *J Korean Acad Periodontol* 2009;39:17-26.
27. Spears IR. A three-dimensional finite element model of prismatic enamel: a re-appraisal of the data on the Young's modulus of enamel. *J Dent Res* 1997;76:1690-7.
28. Vasudeva G, Bogra P, Nikhil V, Singh V. Effect of occlusal restoration on stresses around class V restoration interface: a finite-element study. *Indian J Dent Res* 2011;22:295-302.
29. Vandewalle KS, Vigil G. Guidelines for the restoration of Class V lesions. *Gen Dent* 1997;45:254-60.
30. N S, N M, Shetty A, Kumari A, Dn N. Finite element analysis of stress concentration in Class V restorations of four groups of restorative materials in mandibular premolar. *J Conserv Dent* 2008;11:121-6.
31. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, Kanumilli P, Yoshida Y, Inoue S, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Restoring cervical lesions with flexible composites. *Dent Mater* 2007;23: 749-54.
32. Rees JS, Hammadeh M. Undermining of enamel as a mechanism of abfraction lesion formation: a finite element study. *Eur J Oral Sci* 2004;112:347-52.
33. Kuroe T, Itoh H, Caputo AA, Konuma M. Biomechanics of cervical tooth structure lesions and their restoration. *Quintessence Int* 2000;31:267-74.
34. Um CM, Kwon HC, Son HH, Cho BH, Rim YI. Finite element analysis of stress distribution according to cavity design of class v composite resin filling. *J Korean Acad Conserv Dent* 1999;24:67-75.



# 보철물 변연의 위치가 abfraction된 치아의 응력 분포에 미치는 영향에 대한 유한요소법적 분석

김명현 · 이청희\*

경북대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실

**목적:** 이 연구의 목적은 abfraction병소가 있는 금속도재관수복 치아를 수복하거나 하지 않을 때 나타나는 응력집중과 분포를 유한요소분석으로 평가하는 것이다.

**재료 및 방법:** 상악 제1 소구치를 선정하여 총 10개의 유한요소모델을 만들었다. 모델 1은 자연치; 모델 2는 협측과구개측 백악법랑경계 상방 2 mm에 변연이 위치한 금속도재관; 모델 3은 협측과구개측 백악법랑경계에 변연이 위치한 금속도재관; 모델 4는 abfraction병소를 가진 자연치; 모델 5와 6은 다른 조건은 각각 모델 2와 3과 동일하면서 abfraction병소를 가진 치아; 모델 7은 abfraction병소를 가지고 composite resin으로 수복된 자연치; 모델 8과 9는 각각 모델 5와 6과 동일한 모델에 abfraction병소를 composite resin으로 수복한 후 금속도재관 장착한 치아; 모델 10은 composite resin으로 abfraction lesion을 수복하고 금속도재관의 변연을 abfraction병소보다 하방에 위치시킨 치아였다. 위치를 서로 달리한 하중 load A와 load B를 가하여, 각 기준점에서의 von Mises stress값들을 측정하여 비교하였다.

**결과:** Abfraction병소가 있는 치아에 load A 또는 load B를 주었을 때, 응력은 lesion의 apex에 집중되었다. 반면, abfraction병소를 composite resin으로 충전한 치아에 load A 또는 load B를 주었을 때 응력값은 apex에서 감소하였다.

**결론:** Abfraction이 있는 치아는 복합 레진으로 수복해주는 것이 응력의 집중을 줄여서 병소의 예후에 유리한 것으로 나타났으며, Abfraction이 발생된 치아를 금속 도재관으로 수복할 경우 협측변연을 법랑질 상에 위치시키는 것이 유리하였다. (*대한치과보철학회지* 2014;52:202-10)

**주요단어:** 치아 응력 분석; 유한 요소 분석

\*교신저자: 이청희

700-705 대구 중구 달구벌대로 2177 경북대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실  
053-600-7651: e-mail, chlee@knu.ac.kr

원고접수일: 2014년 5월 16일 / 원고최종수정일: 2014년 6월 12일 / 원고채택일: 2014년 6월 30일

© 2014 대한치과보철학회

CC 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 3.0 대한민국 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.