

1

비우식성 치경부병소와 치경부 복합레진수복의 응력분석

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

조교수 박 정 길

ABSTRACT

Stress analysis of non carious cervical lesion and cervical composite resin restoration

Department of Conservative dentistry, School of Dentistry, Pusan National University
Jeong Kil Park

Noncarious cervical lesions(NCCLs) are characterized as structural defects found on the tooth surface of the cement-enamel junction. Loss of tooth structure through noncarious mechanisms may vary in etiology and clinical presentation for each individual but presently many clinician now classify this as tooth failure of abfraction due to the stress applied in the cervical area of the tooth under oral physiological and pathological loads. In the current study, we investigated the stress distribution of maxillary premolar with NCCL using simulated 3D finite element analysis. The results were as follows: 1. In the sound maxillary premolar, the stresses were highly concentrated at cervical enamel surface of the mesiobuccal line angle, asymmetrically. 2. Once the lesion has been formed, the highest stress concentration was observed around the apex of the wedge shaped lesion. 3. In four types of NCCL, the patterns of stress distribution were similar and the peak stress was observed at mesial corner and also stresses concentrated at lesion apex. 4. Lesion cavity modification of rounding apex, reduced stress of lesion apex. 5. When restoring the notch-shaped lesion, material with high elastic modulus worked well at the lesion apex and material with low elastic modulus worked well at the cervical cavosurface margin.

Keywords : Noncarious cervical lesion, abfraction, stress, finite element analysis, maxillary premolar

I. 서 론

백악법랑경계의 우식 없는 경조직 소실에 의해 특징지어지는 비우식성 치경부병소는 치과에서 흔히 접하게 되는 상황이다(그림1). 이러한 비우식성 치경부병소의 발달과 진행기전에 대해서는 아직 완전히 규명되

지 않았다.

비우식성 치경부병소의 전반적인 유병율에 대해서는 여러 문헌에서 5~85%까지 다양하게 보고하고 있으며¹⁾, 나이와 함께 증가하고 상악소구치가 가장 흔하게 영향을 받는 것으로 보고하였다. 그러나 상당한 수의 비우식성 치경부병소가 젊은 환자에서도 발견된다.

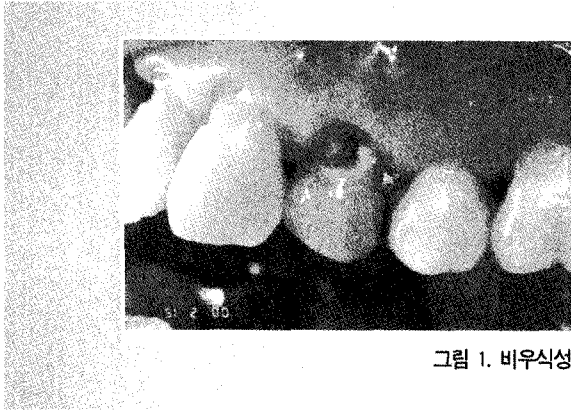


그림 1. 비우식성 치경부병소의 임상사진

표 1. 비우식성치경부 병소의 종류와 특징

진단명	마모증(abrasion)	부식증(erosion)	굴곡파절(Abrfraction)
진행과정	이물질에 의한 경조직의 기계적 마모	산에 의한 경조직의 용해	교합압에 의한 치아의 변형 (deformation)
원인	치약 잘못된 칫솔질	내인성 산 외인성 산	부정교합 과도한 교합압
특징	U자 형태 평활한 함몰면 인접한 여러 개의 치아에 동시에 발생	경계가 불분명 평활한 함몰면 한 악궁에 여러 개의 치아에 의한	날카롭고 분명한 경계 쐐기모양(V형태)의 함몰 법랑-상아 경계에 발생 단독성, 다발성 건강한 치주조직

Leinfelder²⁾는 치아상의 과교합으로 인하여 성인 인구의 거의 1/3정도가 이런 병소를 가지고 있다고 하였다. 이 병소들과 관련된 요소로는 치경부마모에서부터 잇솔질, 이갈이, 나이, 성, 교모, 침식, 교합증들도 고려되어진다.

비우식성 치경부병소는 원인에 따라 마모증(abrasion), 침식증(erosion), 굴곡파절(Abrfraction)로 분류되어진다(표 1).

마모(Abrasion) : (비정상적인) 생역학적 마찰과정에서 발생하는 치질의 병적 소실

부식(Erosion) : 주로 산 용액에 의한 치질의 화학적 소실

굴곡파절(Abrfraction) : 생역학적인 하중에 의한 치아경조직의 병적 소실

다양한 명칭은 이들 원인으로부터 주어졌으며, 형태학

적으로는 부드럽고 concave한 표면을 가진 saucer형 함몰과 날카로운 내부와 외부 선각(internal and external line angle)을 가진 V 자형 함몰, 깊은 함몰 부를 가지는 U 자형, 그리고 이들이 조합되어있는 양상 등 다양한 형태로 나타난다(그림 2).

비우식성 치경부병소에 있어서, 교합력에 의한 굴곡파절에 대한 임상가들의 관심이 증가되고 있다. Lee와 Eakle³⁾은 이 굴곡파절의 mechanism을 설명하며 교합력이 어떻게 해서 치경부병소를 유발하게 하는지 설명했다. 이들은 굴곡파절을 치경부병소의 여러 원인 중 하나라고 생각한 반면, Grippo⁴⁾는 모든 치경부병소의 근본 원인이 굴곡파절이라고 생각했다.

교합응력과 병소 형태와의 관계에서, Leinfelder²⁾는 치아가 교합력을 받을 때 치경부측이 영향을 받는데, 압축력을 받는 쪽은 concave나 saucer와 유사한 형태의 치경부병소가 생기고 인장력을 받는 부위는 wedge형태의 치경부병소가 된다고 언급했다.

교합응력에 의한 굴곡파절의 진단특징은 다음과 같다⁶⁾.

- 1) 인접 치아와는 관계 없이 나타나며, 각각의 치아에 단독적으로 발생할 수도 있다.
- 2) 보철물(crown)의 치경부 변연 하방에도 형성된다.
- 3) 날카로운 변연(sharp margin)을 나타낸다.
- 4) 주로 치주조직이 건강한 치아에 많이 발생한다.
- 5) 치아의 설면이나 구개면에도 형성될 수 있다.
- 6) 치아의 한 면에 여러 개의 병소가 형성될 수 있다.

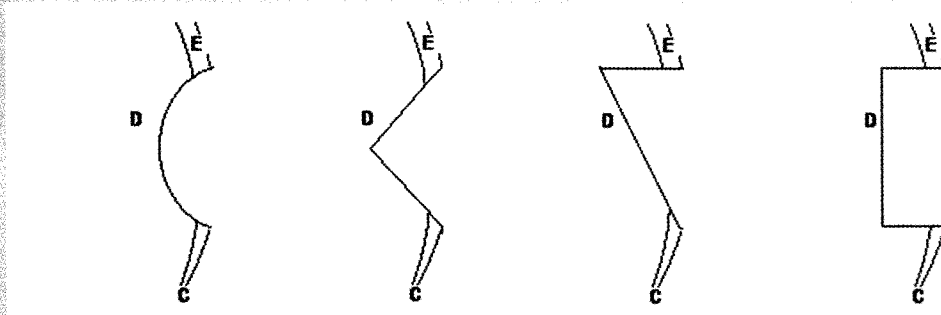


그림 2. 다양한 형태의 비우식성 치경부병소 (saucer, notch, combined, U-shape)

- 7) 치은염을 동반한다.
- 8) 경조직은 깊고 좁은 V형태로 상실되어 있으며, 칫솔모가 그 기저부에까지 도달할 수 없다.
- 9) 협면과 설면 이외에 인접면의 치경부에도 발생할 수 있다.

일반적으로, 치경부병소는 단일 원인과 기전으로 형성되는 것이 아니므로 복합적인 요소들로 인한 진단과 그 병리기전의 파악이 쉽지 않다. 치료 이전에 병인을 결정하는 것이 재치료의 가능성을 최소로 줄이는데 있어서 중요하다. 그러나 원인과 병리기전을 완전히 파악할 수 없는 것에 임상적 한계가 생긴다.

비우식성 치경부병소를 언제, 어떻게, 어떤 방법으로 치료할 것인지를 결정하기 위한 표준은 없다. 비록 모든 치경부병소를 같은 방법으로 치료해 왔지만 어떤 임상가는 여기에 의문을 가지기도 한다. 또한 원인, 예방, 유용한 치료에 대하여 치과의사들 사이의 의견 차이가 있을 수 있다. 이 병소의 효과적인 치료를 위한 첫 번째 단계는 원인의 인식과 이에 따른 적절한 수복술식일 것이다.

비우식성 치경부병소의 치료목적은 과민증의 치료, 심미적 개선, 잔존치질의 강화, 구강청결유지, 음식물의 저류방지와 추가적인 치질삭제의 방지, 응력의 집

중과 힘작용을 감소시키는 것 등을 들 수 있다.

비우식성 치경부병소를 수복하는 일반적인 적응증은 다음과 같다⁶⁾.

- 1) 동통이나 지각과민증을 나타내는 경우.
- 2) 심미적으로 문제가 있는 경우.
- 3) 음식물의 침착(retention of food)이 나타나는 경우.
- 4) 치경부 경조직의 상실로 인한 치아의 구조적 약화로, 치아가 파절될 가능성이 있는 경우.
- 5) 치경부의 생리적인 형태가 파괴되어 치주조직에 유해한 영향을 미치고 있거나 미칠 가능성이 있는 경우.
- 6) 우식증이 동반된 비우식성 치경부병소

비우식성 치경부병소를 수복하기 위한 방법으로 가장 흔하게 사용되는 수복재료는 글래스 아이오노머와 복합레진이다. 글래스 아이오노머는 법랑질과 상아질 모두에 화학적 결합을 이루며 열팽창계수가 치아와 유사하여 접착을 증대시켜 주는 장점이 있다. 또한 불소를 유리하는 특성으로 인해 우식활성이 높은 환자에게 추천되고 있다. 복합레진은 글래스 아이오노머보다 물리적 성질이 우수하며 법랑질과 잘 조화를 이루어 치경부에서 우수한 심미성을 제공한다. 최근에는 심미성과 치경부에 발생하는 응력을 고려하여 탄성력이 있는 흐름성 복합레진(flowable resin)으로 수복하는 경우가 더욱 더 많아졌다. 특히, 굴곡파절의 경우

치아 굴곡에 의해 병소가 발생하기 때문에 치아의 힘과 함께 변형(deformation)될 수 있는 탄성계수가 낮은 미세입자형 복합레진(microfilled composite resin)이나 흐름성 복합레진이 추천되기도 한다. 치경부병소는 수복 후에도 수복물의 접착이 견고하지 않거나 수복물과 치질에 전해지는 응력이 지속되면, 응력이 집중되는 부위로부터 접착의 탈락과 이에 이어지는 수복물의 탈락이 발생한다. 결과적으로는 계속적인 치질소실로 치경부 치질붕괴가 가속화되면서 차아 파절의 위험을 야기하게 된다. 따라서 교합력에 의해 병소의 발생과 진행이 일어나는 치경부병소의 경우 반드시 응력에 대한 고려가 필요하며, 치질과 수복물에 전해지는 응력을 최소화 하도록 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 그동안 본 교실에서 연구하고 보고^{7~10)}한 여러가지 비우식성 치경부병소의 유한요소모형을 통한 응력분석을 통해, 이 병소의 수복에 있어서 치질에 가해지는 응력감소에 가장 유용한 수복방법에 대해 살펴보고자 한다.

II. 연구방법 및 연구성적

1. 비우식성 치경부병소가 없는 건전치에서의 응력집중부위

치경부에 나타나는 응력의 분포양상을 살펴보기 위해 정상 한국인 상악소구치의 3차원 유한요소모형을

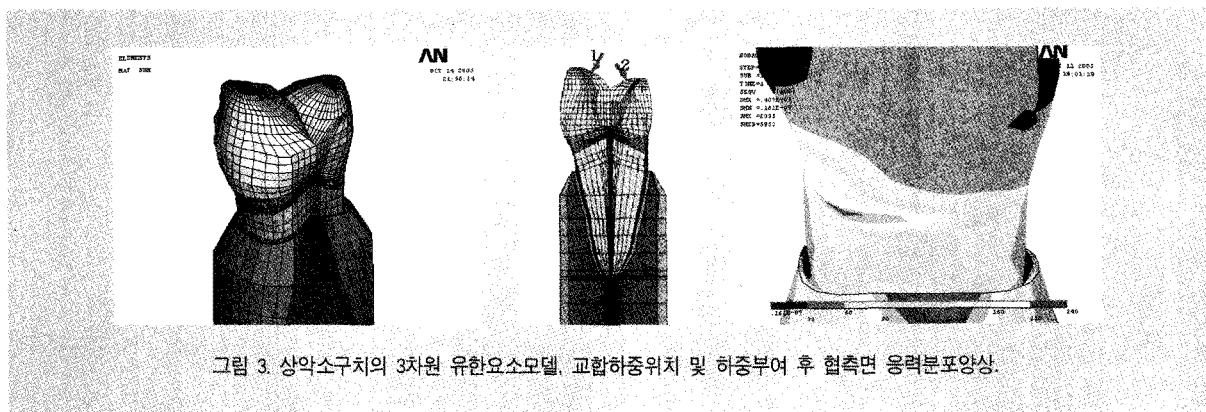


그림 3. 상악소구치의 3차원 유한요소모델, 교합하중위치 및 하중부여 후 협측면 응력분포양상.

만든 후 교합면의 교합력 위치와 각도를 다르게 하여 교합하중을 가했을 때의 응력분포양상을 관찰하였다(그림3).

그 결과 교합응력의 방향에 따라 응력의 성분은 압축력이나 인장력의 응력으로 변화되었지만 peak stress는 협측 백악법랑경계를 따라 비대칭적인 모습으로 나타났다. 이 응력은 근심측에서 시작하여 근심협측 선각부를 지나 협측 중앙부를 거쳐 원심측으로 분포하였다. 이 결과를 고려할때, 아마도 건전치질에서 치경부병소의 발생 기시점은 상악소구치의 경우 CEJ의 근심협측에서 시작하는 것으로 보여진다.

2. 병소의 응력집중

병소의 진행이 계속되면서 병소의 크기와 깊이가 깊어지게 되고 임상적으로는 앞서 언급한 것과 같은 여러 형태를 보이게 된다. 일반적인 비우식성 치경부병소의 형태는 썬기형이다. 따라서 썬기형 치경부병소

를 가진 상악소구치를 모델로 하여 교합하중 후 응력 분포를 평가해 보았다(그림4).

썬기형 병소를 가진 상악소구치에서는 교합하중 하에서 병소의 근심 끝 부위와 인접한 백악법랑경계와 병소의 심부(lesion apex)에서 응력집중이 관찰되었다.

치경부병소는 응력의 썬기작용으로 인해 근심측 심부로부터 병소의 가장 내측 심부를 따라 계속적으로 진행되는 것으로 생각된다. 지속적인 치경부병소의 진행으로 치질파괴가 지속된다면 치수가 노출되어 근관치료가 필요할 수 있으므로 이러한 경우 치경부병소의 진행을 방지하기 위한 수복이 반드시 필요할 것이다.

3. 병소의 형태에 따른 응력집중부위

병소 형태의 다양성에 따라 응력의 집중부위가 다른지 알아보기 위해 임상에서 관찰되는 4가지 형태의 병소를 재현하여(그림 5) 교합응력 하에서 병소 내 응력 분포양상을 살펴보았다.

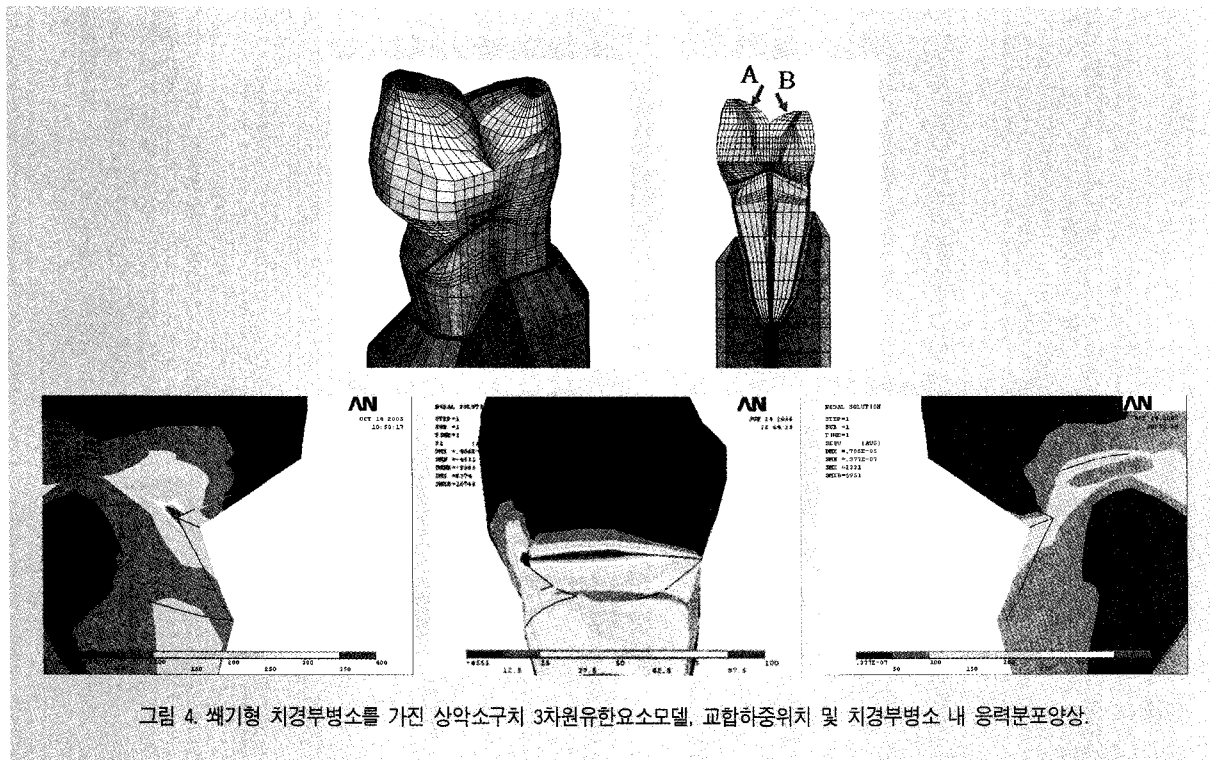


그림 4. 썬기형 치경부병소를 가진 상악소구치 3차원유한요소모델, 교합하중위치 및 치경부병소 내 응력분포양상.

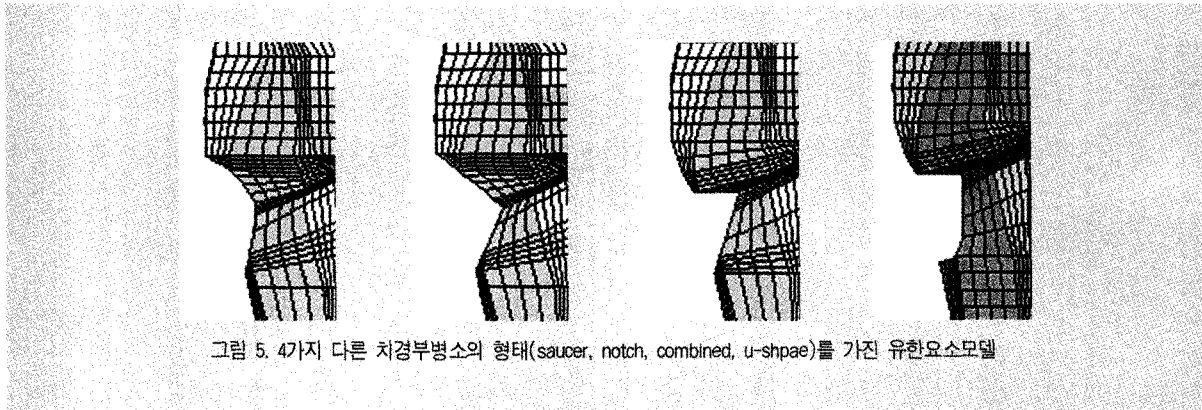


그림 5. 4가지 다른 치경부병소의 형태(saucer, notch, combined, u-shape)를 가진 유한요소모델

그 결과 서로 다른 네 가지 형태의 와동을 가진 상악 소구치에서 응력의 크기가 서로 달랐지만 응력분포양상은 비슷하게 나타났다(그림 6).

최대치 응력은 근심협측 우각부에서 나타났으며, 병소의 형태와 관계없이 병소의 가장 심부에도 응력의 집중이 나타났다. 마찬가지로 이러한 하중 하에서 수복치료를 하지 않으면 와동의 크기는 점차 커지고 깊

어지며 치아구조에 유해하게 작용하리라 생각된다.

4. 치경부병소 형태의 변형

앞선 실험결과 와동형태와 상관없이 치경부병소가 장 심부의 날카로운 선각에 응력이 집중되었다. 이러한 응력의 집중을 방지하기 위해 병소의 가장 심부에 존재하는 내부선각을 둥글게 변화시켜서 응력집중부

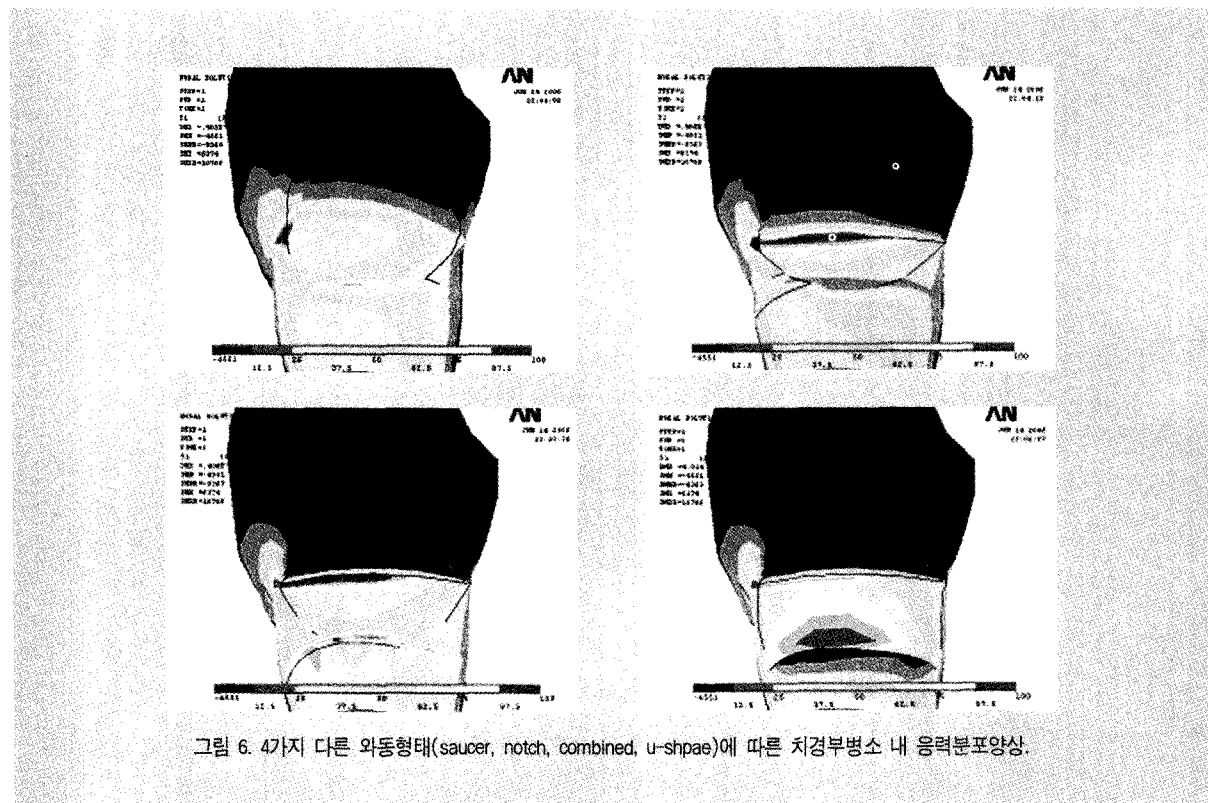


그림 6. 4가지 다른 와동형태(saucer, notch, combined, u-shape)에 따른 치경부병소 내 응력분포양상.

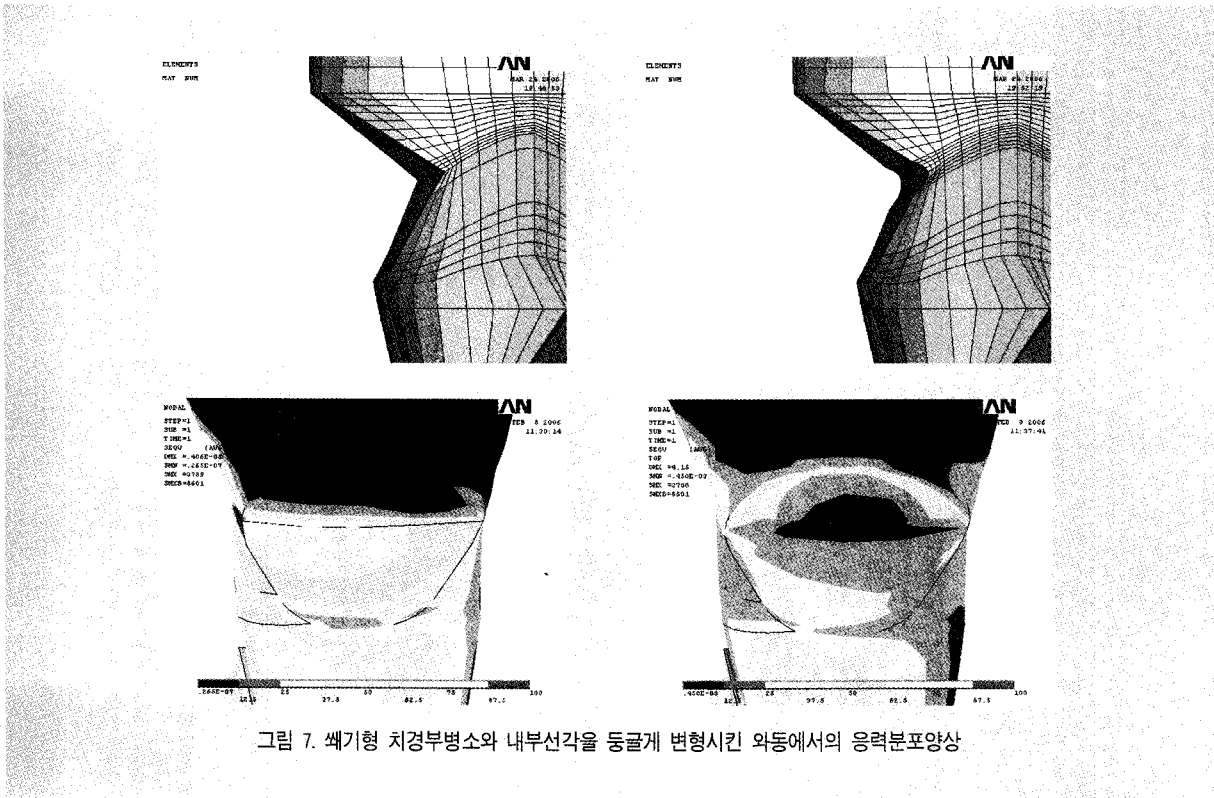


그림 7. 쐐기형 치경부병소와 내부선각을 둥글게 변형시킨 와동에서의 응력분포양상

위의 응력크기를 줄여보고자 하였다. 대표적인 쐐기형 병소를 가진 상악소구치의 유한요소모델 상에서 날카로운 내부선각을 둥글게 변화시킨 후 앞선 연구에서와 동일한 교합하중 하의 치경부병소 내 응력분포를 살펴보았다(그림7).

그 결과 와동내 내부선각을 둥글게 변형시킨 와동에서 내부선각 내 응력집중이 완화되는 양상이 나타났다. 이로써 와동의 날카로운 내부선각을 둥글게 변화시키는 것이, 교합하중 하에서 비우식성 치경부병소 내부의 응력집중에 있어 응력분산효과를 크게 하며, 응력집중을 완화시켜서 치질파괴를 예방하는데 있어 훨씬 유리함을 알 수 있었다.

5. 비우식성 치경부병소의 복합레진수복 후 응력분포

쐐기형 병소를 가진 상악소구치 모델에서 임상에서 흔히 사용하는 복합레진과 흐름성 복합레진의 물성을

이용하여 각각 단일 수복한 후 수복물과 치경부병소의 와동계면에 나타나는 응력을 분석해 보았다. 그 결과 복합레진으로 와동수복 후 와동내부선각의 응력은 현저히 감소했으나 치경부측 변연의 응력은 수복전보다 약간 증가하였다(그림 8). 또한 수복할 때 와동내 가장 심부의 내부선각부는 탄성계수가 높은 복합레진재료가 유리하게 나타났고, 치경부측변연은 탄성계수가 낮은 흐름성 복합레진재료가 유리하게 나타났다(그림 9).

III. 총괄 및 고찰

현대 사회로 접어들면서, 인간의 기대수명 증가와 함께 고령인구가 증가함에 따라 잔존치아의 관리와 유지에 대한 관심이 증가하는 추세이다. 이에 따라 우식증 예방과 치료 뿐만 아니라 치경부의 비우식성 치경부병소에 대한 관심도 점차 늘어나고 있다. 임상적으로 치경부의 비우식성 병소는 매우 흔히 관찰되는 병

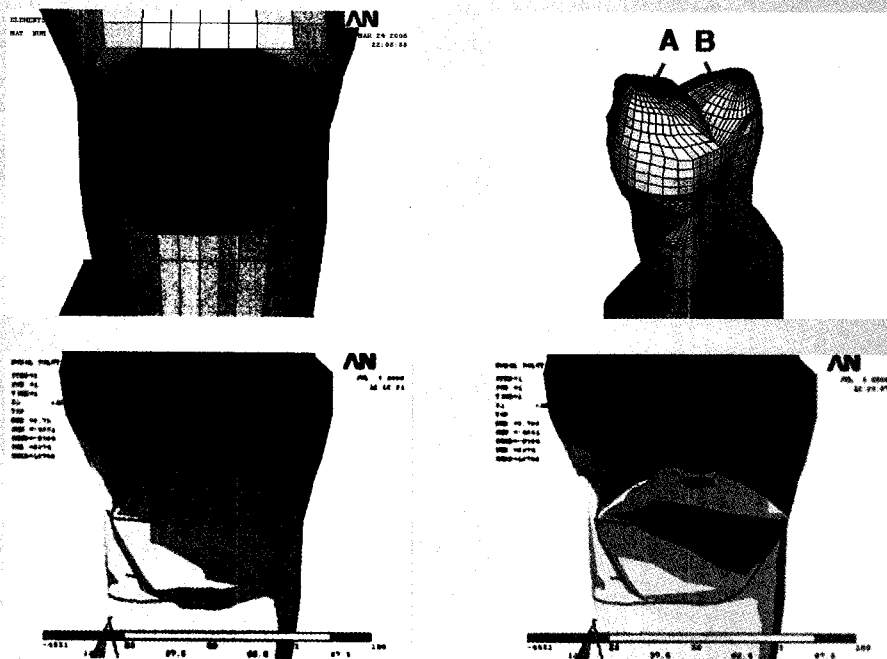


그림 8. 쉐기형 치경부병소의 복합레진수복 후 응력분포양상.
(아래왼쪽 : 수복 전 병소계면 응력분포, 아래오른쪽 : 수복 후 병소계면 응력분포)

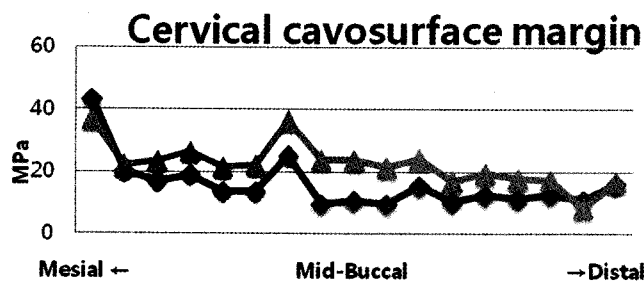
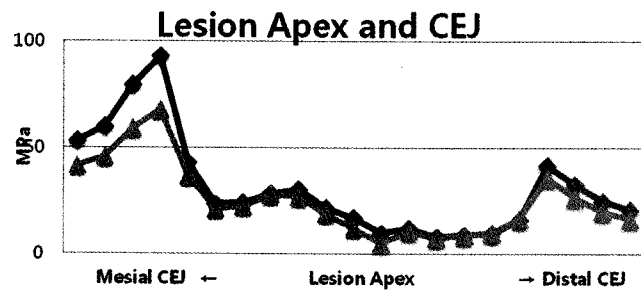


그림 9. 복합레진과 흐름성 복합레진 수복 후 외동저 선각부와 치경부측 변연 응력.
(사각형 : 복합레진수복, 삼각형 : 흐름성 복합레진수복)

소이며, 이중에서도 특히 교합력에 의해 치아가 굴곡 되면서 치경부에서 발생하는 인장력 혹은 압축력이 백 아법랑경계에서 얇은 법랑질의 미세파절을 야기하여 표면 치질이 소실되는 굴곡파절형태의 병소가 많이 관찰되고 있다. 이러한 응력에 의한 미세파절은 잇솔질에 의한 마모나 화학적 부식으로 야기되는 치질 소실을 더 촉진시킬 수 있다.

법랑질은 인체의 구성성분 중 가장 단단한 부위이기 는 하지만 작은 변형이나 변위에 의해서도 쉽게 깨질 수 있는 특징을 가지고 있고, 특히 압축력에는 강하지만 인장력에는 매우 약한 것으로 보고되고 있다⁹⁾. 이는 주로 응력에 견디는 능력이 법랑소주의 방향과 연관된 힘의 방향에 연관되어 있기 때문이다. 또한 법랑 질은 결정사이에 작은공간이 존재하며 이 곳에는 소량의 물과 단백질성 유기물질이 차있다. 이 공간으로는 작은 이온들이나 액체가 통과할 수 있는데, 법랑질 결정간의 결합이 파괴되면 공간이 커지게 되고 이 공간으로 물과 작은 분자들이 이동하게 되면서 결정구조사이의 화학결합을 방해하게 된다. 이렇게 파괴된 결정 구조는 외력에 의해서 그 파괴가 가속화 될 수 있다.

치아에 교합력이 가해질 때 응력이 치아 구조를 따라 전달되는데, 치아가 수직력을 받으면 치아장축을 따라 응력이 전달되고 주위 지지조직에 의해 분산되어 법랑질 및 상아질에는 최소한의 변위만이 생긴다. 반면, 측방력을 받으면 굽힘력이 발생하여 한쪽에는 인장 응력, 반대쪽에는 압축 응력이 발생한다. 법랑 질과 상아질 모두 압축력에는 비교적 강하기 때문에 결정 구조의 파괴가 쉽게 생기지 않으나, 인장력에 견디는 능력은 매우 낮아서 치아에 가해진 인장력에 의해 수산화 인회석 결정 사이의 화학 결합이 깨어 질 수 있다.

지속적인 인장응력은 치아표면에서 파절을 개시하며 일단 시작된 파절을 가속화시킨다. 또한 잇솔질에 의한 마모나, 화학적 부식, 이같이 같은 물리적인 힘, 비정상적인 측방력 등이 이 파괴를 더 쉽게 진행시킬

수 있다. 결국 법랑질과 상아질 내부로 점차 파괴가 진행되면서 병소의 크기가 증가하게 되고 나아가서는 치아파절을 유발할 수 있다. 따라서 치아에 가해지는 응력은 병소의 시작일 뿐만 아니라 병소의 확대 및 진행에 매우 중요한 요소로 작용한다.

본 연구뿐만 아니라 여러 연구^{11~13)}에서 보고했듯이, 이러한 응력의 집중부위는 백악법랑경계부이다. 치아의 치근은 치조골 속에 고정되어 있으므로 측방력에 의한 굽힘력이 발생했을 때 백악법랑경계부가 지레반침(fulcrum)의 위치가 된다. 또한 백악법랑경계부는 물성이 서로 다른 법랑질, 상아질, 백악질의 계면이 만나는 곳이므로 이 곳에 응력집중이 야기될 수 있다. 본 연구에서도, 건전 소구치에서 측방력을 가했을 때 근심측 백악법랑경계부에 응력집중이 나타났다. 따라서, 아마도 이 부위에서 치질의 파절이 시작되는 것으로 사료된다. 상악소구치의 협측 중앙이 아니라 근심측에 응력 집중이 나타나는 이유는 소구치의 근심과 원심이 대칭적 구조가 아니며 교합력이 가해지는 위치와 소구치의 해부학적 형태에 기인하는 것으로 생각된다.

이러한 치아파절이 발생하여 진행되면 법랑상아경계에서 예각의 각을 가지는 썩기모양의 함몰이 나타난다. 임상적으로 병소의 모양이 단일형태가 아닌 다양한 형태로 나타나는데, Brackett¹⁴⁾는 이러한 병소의 모양은 적용되는 힘에 대한 개인적인 균형을 반영한다고 하였다. 개인에 따라, 한 개인에서도 치아에 따라, 심지어 한 치아에서도 부위에 따라 물리적 성질의 차이가 있을 수 있으므로 한 환자에 있어서도 여러 형태가 복합되어 나타나기도 한다. McCoy¹⁵⁾는 임상적으로 법랑질과 상아질 병소의 형태, 크기, 위치 등의 다양성을 보고하였고, 이 병소에 대한 인식과 구분된 분류의 필요성을 역설하였다. 하지만 치경부병소가 다양한 요소로 인해 진행됨으로 인해 형태적 특징으로만 원인을 찾아 분류하기는 매우 힘든 것이 현실이다. 또한 이러한 와동형태의 다양성에도 불구하고, 원인의

인식이나 형태에 따른 유용한 수복재료에 대한 고민없이 같은 재료, 같은 방법으로 수복하고 있는 것이 현실이다.

최근에는 심미적 요구에 따라 이러한 병소를 복합레진으로 수복하는 경우가 많다. 그러나 수복 후에도 치아는 동일한 교합 하에 놓여지게 되므로 수복물과 수복물 주위 병소가 다시 진행되는 경우도 있으며, 치정부 수복물 전체가 탈락하는 경우도 종종 발생한다. 따라서 응력을 고려한 수복 방법이 중요하다고 할 수 있다. 앞서 언급한 여러가지 실험결과를 살펴보면, 굴곡 파절병소는 백악법랑경계에서 시작하는 것으로 보이며, 병소가 쐐기형으로 진행되어 있다면 교합응력 하에서는 병소의 가장 심부인 내부선각에 응력이 집중되었다. 또한 내부선각을 변형시켰을 때 응력완화양상이 보였다. Leinfelder²⁾는 쐐기형태의 치정부병소가 saucer나 concave한 형태보다 shear stress가 더 크다고 했으며 V 자형태의 모양을 concave하게 변형시키면 shear stress가 극적으로 감소된다고 언급했다. 따라서 내부선각의 응력을 감소시키기 위해 내부선각을 둥글게 변형시키는 것이 추천된다.

또한 이러한 병소의 수복 시, 응력이 집중되는 내부선각에서는 탄성계수가 높은 레진이 유리하게 작용하였다. 이는 이러한 재료가 압축력이나 인장력이 집중되는 부위에서 버팀목처럼 작용하기 때문으로 생각된다. 반면, 치정부측 변연에서는 탄성계수가 낮은 재료가 유리하게 작용하였는데, 이는 수복물과 치질계면에 발생하는 응력에 있어서는, 탄성력이 있는 재료가

계면에 전달되는 응력을 최소화시키기 때문으로 생각된다. 즉, 와동의 위치에 따라 수복재료를 조합하여 사용하는 것이 쐐기형 치정부병소의 수복 후 교합하중 하 응력분산에 있어서 더 유리할 것으로 사료된다.

결론적으로, 쐐기형 치정부병소를 가진 레진수복의 경우, 교합 하 응력에 대한 고려가 반드시 필요하며, 치질 및 수복물에 전해지는 응력을 최소화할 수 있도록, 앞서 언급한 여러 실험결과들을 고려하여 수복하는 것이 수복 후 병소의 재발이나 진행 및 수복물 탈락 방지에 있어 유리하다고 하겠다.

이번 연구에서는 고려하지 않았지만, 굴곡파절병소의 교합응력에 있어 간과하지 말아야 할 또 다른 중요한 요소는 교합이다. 특히 비정상적이거나 과도한 교합력, 외상성교합 또는 과도한 측방력이 존재하는 경우, 반드시 이러한 교합관계를 고려해야 할 뿐만 아니라, 필요 시 전문가에 의한 교합조정이 선행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

쐐기형 와동을 가진 비우식성 치정부병소의 레진수복에 있어서, 치아 및 수복물에 위해한 응력을 고려하여 수복하는 것이 매우 중요하다. 앞선 여러 실험에서 추천되는 방법은 와동내 가장 심부의 날카로운 내부선각을 둥글게 변화시키고, 탄성계수가 높은 재료로 와동내부선각을 수복하고, 치정부측 변연은 탄성계수가 낮은 재료로 수복하는 방법이다.

참 고 문 헌

1. Levitch LC, Bader JD, Shugars DA, Heymann HO. Non-carious cervical lesions. J Dent 1994;Aug;22(4):195-207.
2. Leinfelder KF. Restoration of abfraction lesions. Compendium 1994;Nov;15(11):1396,1398-1400.
3. Lee WC, Eakle WS. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. J Prosthet Dent 1984;Sep;52(3):374-80.
4. Grippo JO. Abfractions: a new classification of hard tissue lesions of teeth. J Esthet Dent 1991;Jan-Feb;3(1):14-9.
5. Giannini M, Soares CJ, de Carvalho RM. Ultimate tensile strength of tooth structures. Dent Mater 2004;May;20(4):322-9.
6. 대한치과보존학회편저 치과보존학-치아보존수복학. 제3개정판. 신흥인터내셔널 2010.
7. 전상제, 박정길, 김현철, 우성관, 김광훈, 손권, 허복. Effects of occlusal load on the stress distribution of four cavity configurations of noncarious cervical lesions: A three-dimensional finite element analysis study. 대한치과보존학회지 2006;31(5):359-70.
8. 이형모, 허복, 김현철, 우성관, 김광훈, 손권, 박정길. Effects of occlusal load on the cervical stress distribution: a three-dimensional finite element study. 2006;31(6):427-36.
9. 박정길, 허복, 김성교 Stress distribution of class V composite resin restorations: A three-dimensional finite element study. 대한치과보존학회지;33(1):28-38.
10. 박정길, 허복, 김성교 The influence of combining composite resins with different elastic modulus on the stress distribution of class V restoration: A three-dimensional finite element study. 대한치과보존학회지;33(3):184-97
11. Rees JS, Hammadeh M, Jagger DC. Abfraction lesion formation in maxillary incisors, canines and premolars: a finite element study. Eur J Oral Sci. 2003;Apr;111(2):149-54.
12. 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;Jan;30(1):60-7.
13. Goel VK, Khera SC, Raiston JL, Chang KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth--a finite element investigation. J Prosthet Dent 1991;Oct;66(4):451-9.
14. Brackett WW, Browning WD, Ross JA, Gregory PN, Owens BM. 1-year clinical evaluation of Compoglass and Fuji II LC in cervical erosion/abfraction lesions. Am J Dent 1999;12:119-122.
15. McCoy G. The etiology of gingival erosion. J Oral Implantol. 1982;10(3):361-2.