

완전 도재관을 위한 지대치 형성시 변연 형태에 따른 응력 분포의 유한요소법적 비교

한상현 · 조정현 · 이은정 · 정숙인 · 오남식

인하대학교 의과대학 치과학교실

현대 치의학에서는 환자의 심미적 만족을 충족시키기 위한 지속적인 관심으로 완전 도재관의 발전을 가져왔다. 최근의 연구 결과들은 완전 도재관의 물리적 성질과 마모 저항성, 색조의 안정성 등을 보고하고 있다. 이와 같이 여러 장점이 많음에도 불구하고 아직 파절에 대한 저항성에는 많은 의문점을 내포하고 있다. 구강 내에서 기능적인 교합력은 수복물의 변연에 응력을 주게된다. 이러한 응력은 주변 조직으로 잘 분산되어야 하는데, 수복물의 변연 형태에 따라 다른 양상을 보여주게 된다. 변연 형태는 수복물의 부피와 모양, 그리고 변연에서의 적합도에도 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 완전 도재관에서의 변연 형태에 따른 응력 분포를 3차원 유한 요소 분석법을 이용하여 조사하였다. 상악 중절치가 기본 모델로 사용되었고, 완전 도재관을 재현하였다. 변연 형태로는 90° shoulder, 110° shoulder, 135° shoulder 형태를 부여하고, 100N의 힘을 치축에 45° 방향으로 가하였다. 그 결과 도재 내부의 응력 분포는 90°, 110° 모델에 비해 변연 각도가 135°인 모델의 경우가 응력의 분포가 고르게 나타났다. 그러나 변연에서는 90°와 110° 모델의 응력보다 조금 더 집중되었다. 90°와 110° 모델의 비교시는 대체로 비슷했다. 알루미늄 코아 내부의 응력 분포에서도 또한 135°인 모델이 90°와 110° 모델의 응력분포보다 더 잘 분포되었다. 90°와 110° 모델의 비교시는 110°가 90° 모델에 비해 더 좋은 응력분포를 보였다. 알루미늄 코아와 접착제 사이의 계면에서는 응력이 변연으로 갈수록 감소하고, 알루미늄 코아와 도재 사이의 계면에서는 변연으로 갈수록 응력이 점차 증가하였다. 135° shoulder는 고른 응력분포임에도 변연에서의 응력 집중이 나타나므로 완전 도재관의 변연으로는 적절하지 못하며, 90° shoulder보다 상대적으로 좋은 응력분포와 변연 형성의 용이성이 우세한 110° shoulder가 완전 도재관의 변연에 추천될 수 있겠다. (대한치과보철학회지 2008;46:1-11)

주요단어 : 완전 도재관, 변연형태, 유한 요소법, 응력

서론

완전 도재관은 투명성과 색조의 뛰어난 안정성으로 자연치와 잘 어울리게 해준다. 이와 같은 장점은 환자들의 심미적인 요구를 만족시켜 줄 수 있다. Land에 의한 도재관 개발 이후 완전 도재관의 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 금속-도재관에서 금속의 하부 구조를 제거한 것은 심미적으로 한층 발전된 개념이었다.¹ 이는 심미적으로 장점을 가지고 있으며, 강도와 변연에서의 적합정도에서도 만족할 만한 평가가 있었으며 치과용 도재의 연구는 심미적인 면과 기계공학적 성질을 증진시키는 방향으로 이루어지고 있다.

도재의 체적 안정성은 금속 하부구조가 없는 보철물에

서는 필수적이다. Alumina porcelain (In-Ceram; Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany)은 전부 도재관의 하부 구조를 형성하기 위해 도입된 도재 시스템으로 이 시스템에서는 재료의 미세 구조를 재편하여 alumina의 강도를 높여 주게 된다. Stefano²는 Vitadur-N porcelain (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany)으로 In-Ceram에 veneering시에 In-Ceram porcelain의 체적변화를 3가지 변연(chamfer, 50° shoulder, 90° shoulder)에서 비교 분석하였다. 그 결과 chamfer와 50° shoulder에서 더 적합도가 좋았다고 발표하였다. 그러나 아직 파절에 대한 저항성에는 많은 의문점을 내포하고 있다. 이러한 파절에 대한 저항성을 높이기 위해 변연 형태에 대해서도 많은 연구가 진행되어 오고 있다.

교신저자: 오남식

400-711 인천시 중구 신흥동 3가 7-206 인하대학교 부속병원 치과보철과 032-890-2470: e-mail, onsdo@inha.ac.kr

원고접수일: 2007년 7월 5일 / 원고최종수정일: 2007년 9월 30일 / 원고채택일: 2008년 2월 25일

보철물의 수명은 보철물의 변연 형태뿐만 아니라 접착제의 종류 그리고 변연에서의 적합도와도 밀접한 연관이 있다. 완전 도재관을 위한 치아 삭제시 우리는 어떠한 변연 형태를 할 것인가를 선택, 결정하여야 한다. 변연의 형태는 보철물의 부피와 모양, 그리고 변연에서의 적합도에도 영향을 주게 된다. 그밖에 주조 재료나 심미적인 면, 술자의 선호도 등 여러 가지 요소들이 이러한 변연 형태 결정에 영향을 주는 요소다. 모든 환자에 적용될 수 있는 이상적인 하나의 변연이란 있을수 없으며 가장 이상적인 변연의 형태와 폭은 무엇인가에 대한 논쟁은 계속되고 있다.

금속-도재관의 변연 형성에는 90° shoulder, 135° shoulder, beveled shoulder, beveled chamfer 등이 도재관의 두께, 심미성, 접착제의 성질, 변연적합도, 구조적인 강도 등의 요구 조건을 수행하기 위해 추천 되어왔다.³⁴ 금속-도재관에서 연조직을 고려하여 적절히 위치된 beveled shoulder 변연은 강도의 취약함과 적합성 문제의 해결에 많은 기여를 하였으나, 심미적인 면에서는 문제를 보였다. 심미적인 면의 향상과 도재의 강도를 높이기 위한 노력이 변연 형태의 연구에 많은 학자들의 관심이 집중되어 왔다. 지금까지의 임상 결과들은 완전 도재관 형성시 마무리 선에서 주로 shoulder 변연을 많이 추천하고 있다.⁵ 적절한 폭으로 잘 형성된 90° shoulder는 응력의 방향에 직각이 되고, 변연에 충분한 두께가 부여되기 때문에 도재관의 파절 저항성을 증대 시킨다. 최소 3종류의 완전 도재관에서 (Cerestore, Dicor, 알루미늄 완전-도재관) 치경부의 적합은 우수하다는 보고들이 있었다.⁶⁻¹¹

치아의 장축에 대한 shoulder의 각도가 90도 보다 더 클 경우, 도재 파절 위험성이 더 커진다.¹² 내부로 각진 선각은 도재로 재현 해내기 어렵고, 응력 집중을 50%정도까지 감소시키기 위하여 shoulder의 내부 선각을 둥글게 만들어 주어야 한다.^{7,12,13} In-Ceram 도재관에서도 die에 산화알루미늄 slip의 적합을 증진시키기 위하여 rounded shoulder를 추천하고 있다. 주조 금관에서 주로 사용하는 chamfer는 금속-도재관에서는 순면의 변연에 사용되기도 한다. 이러한 chamfer는 보존적이며 형성하기가 간편해서 주조 glass-ceramic 수복물에 사용되는 방법이다.^{14,15}

그러나 Dicor(Dentsply, York, Pa)⁸와 Cerestore (Alceram)⁶ 도재관의 파절 저항은 chamfer보다는 shoulder가 훨씬 높다. 응력을 많이 받는 곳 하방에 시멘트가 채워져 있다면 Dicor도재관은 ZPC나 glass ionomer시멘트에 비해 점도가 낮은 레진 시멘트로 지대치와 접착한 경우 낮은 실패율을 보이고 Dicor도재관의 강도를 증진시킨다. 이는 매우 고무적인 일인데 그 이유는 이러한 시멘트의 탄성 계수

가 높고 접착 과정을 통해 내부의 흠집이 폐쇄됨에 따라 도재 내부로의 파절 전파가 차단될 수 있기 때문이다. 그러나 미세 변연 누출이나 가수분해 불안정성 등에 대한 더 많은 연구가 있어야 레진 시멘트에 대해 장기적인 임상의 예후를 보장할 수 있을 것이다.¹⁷

이런 보고서의 공통된 목표는 강도와 심미적인 면의 향상이다. 임상에서는 다양한 변연 형태가 술자에 의해 선택 될 수 있다. 그러나 이들 변연 형태의 변화에 따른 응력 분포는 다르게 나타날 수 있다.

본 연구는 유한요소 분석법을 이용하여 완전 도재관의 강도와 관련하여 변연형태에 따른 응력 분포를 조사하였다.

실험재료 및 방법

1. 연구학적 정의 결정

유한 요소 분석법의 첫 단계는 통상적인 좌표 시스템에 의하여 구조물을 단순한 표준 형태나 요소로 쪼개어 모델을 만드는 것이다. 노드라고 불리는 좌표의 점은 출력 데이터를 제공하는 모델 내의 위치를 나타낸다.

요소의 선택은 제품의 기하학적 형상과 부하조건에 함수이다. 선택된 요소는 각기 특성을 가지므로 결과에 영향을 준다. 모델은 한 형태보다 더 많은 요소를 사용할 수 있다. 요소의 형태와 그의 성질을 보면, 2D 요소는 모든 힘과 변위가 한 평면상에서 작용하나, 3D 요소는 힘의 작용과 변위가 3방향의 복잡한 형태로 생기게 된다.

이 논문에서는 유한요소 모델의 구성에 필요한 치아의 형상에 대한 정보를 얻기 위하여 인공 치아 시편을 사용하여 3차원 디지털 스캐닝을 수행하였다. 이 데이터를 각 부분 별로 가공된 치아, 알루미늄 코어, 도재로 나누어, 3차원으로 재구성하였다. 3차원 디지털 스캐닝을 통하여 얻어진 치아의 3차원 데이터를 바탕으로 한 3차원 유한요소 모델에 대하여 Fig. 1에 나타냈다.

상악 중절치가 기본 모델로 사용되었고, 완전 도재관을 재현하였다. 우선 치아에 완전 도재관을 위한 치아 삭제를 하였다. 1.5mm 측면 삭제, 2mm 절단면 삭제, 날카로운 내면 우각을 둥글게 하고, 변연 형태는 90° shoulder, 110° shoulder, 135° shoulder를 부여하였다(Fig. 1).

2. 재료 성능의 부여

탄성계수 또는 강성률과 포와송비는 각 요소에 각 요소에 대한 재료 성질을 나타낸다. 응력-변형률 곡선은 재

료의 비직선형 탄성소성 관계를 보여준다.

기하학적으로 생성된 구조물에 재료의 성질에 따른 Young's modulus와 Poisson's Ratio를 적용하여 성능을 부여하였다. 치아는 상아질과 법랑질의 성질을 부여하였으며, 전부 도재관에 대해서 알루미늄 코어접착제 그리고 도재에 대하여 각각 그 수치를 부여하였다. 그 수치는 Table I 에 설명하였다.

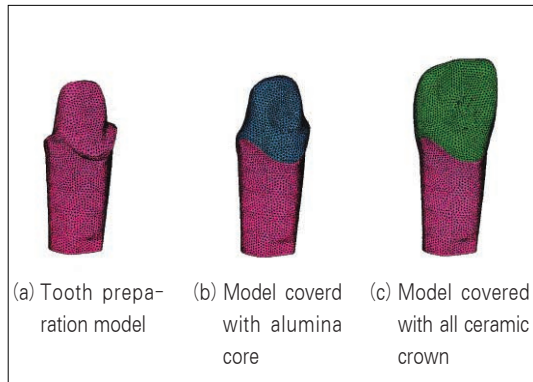


Fig. 1. Finite element 3-D model.

3. Mesh의 생성(요소망)

선정된 요소의 형태에 따라 mesh가 자동적으로 생성되어 부품의 형상을 미세 요소로 다시 쪼갬다(Fig. 2). 부품의 각 부분 요소의 밀도는 미정하든가 자동적으로 결정되어있다.

구조물의 기하학적 형상을 정의하는 node와 요소는 mesh를 구성시킨다. 미세요소 프로그램은 각 요소의 node의 불곡성(Nodal Stiffness)을 계산하고 그 결과를 행렬 수식화 한다. 행렬화가 적정하게 되면 이미 있는 요소 행렬식으로부터 Gloval Stiffness Matrix를 생성한다. 이 연구에서는 시술 후 변연 부위에서 발생할 수 있는 응력의 분포 및 최대 주응력을 알아보기 위하여 3차원 FEM(Finite Element Method)을 적용하였다. Fig. 2에 도시한 것과 같이 margin의 각도에 따른 응력분포양상을 비교하였고, 모델의 mesh와 해석은 Hypermesh와 Nastran, Ansys 프로그램을 이용하였다. 모델에서 알루미늄 코어의 두께는 0.5mm, 도재의 두께는 0.7mm로 형성 하였다 (Fig. 2).

Table I. Mechanical porperties for dental tissue and dental materials

Materials	Young's Modulus(MPa)	Poisson's Ratio
Enamel	84,000	0.33
Dentin	18,000	0.31
Alumina core(In-ceram)	364,000	0.33
Porcelain(Ceramic)	69,000	0.28
Cement(composite)	12,500	0.35

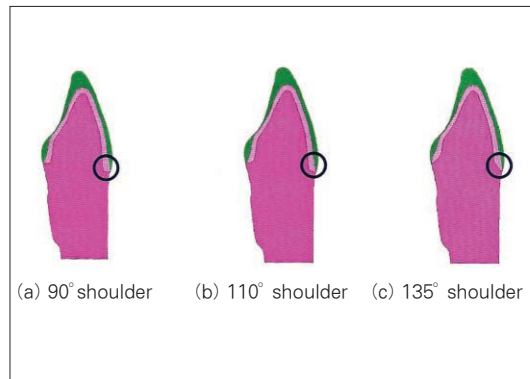


Fig. 2. Sectional view of finite element model.

4. 외부조건

치주인대에서는 치아에서 받는 전체적 하중을 분산시켜 줄 수 있으나 이번 실험에서는 변연부위에서의 국부적인 현상을 중점적으로 관찰하고자 하므로 모델링의 단순화를 위하여 치근부위는 단순 고정형태로 형성 하였다(Fig. 3).

5. 하중의 적용

100N의 힘을 치축에 45°로 중절치의 설면에 가하였다(Fig. 3).

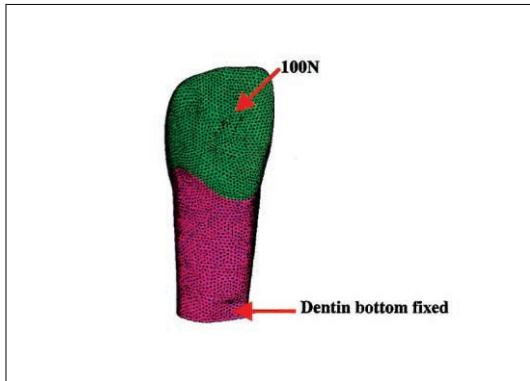


Fig. 3. Boundary & loading condition.

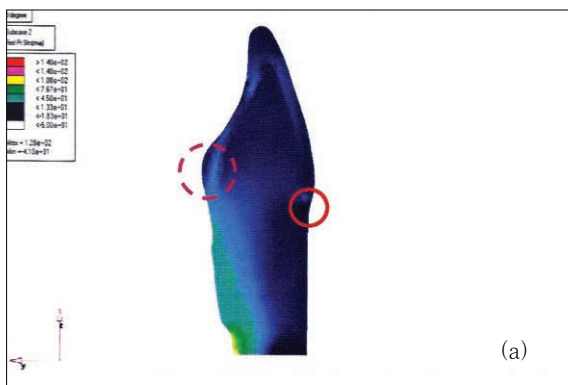
6. 부하 시험 해석

프로그램은 주어진 부하와 지지조건으로 행렬식을 풀어서 변형, 스트레인, 고유진동수 및 기타 데이터를 계산한다. 응력이 높은 부분에는 요소 밀도가 높다. 각 요소는 인접요소와 사이에 작은 응력차이를 갖는다. Mesh를 작게 하면 작게 할수록 모델의 정확도가 높아지나, 컴퓨터의 계산 작동시간은 길어진다. 여러 가지 다른 방법을 통하여 그 모형의 위험 부분을 발견하고 오류를 감소시키기 위하여 필요한 mesh조정 과정을 거친다.

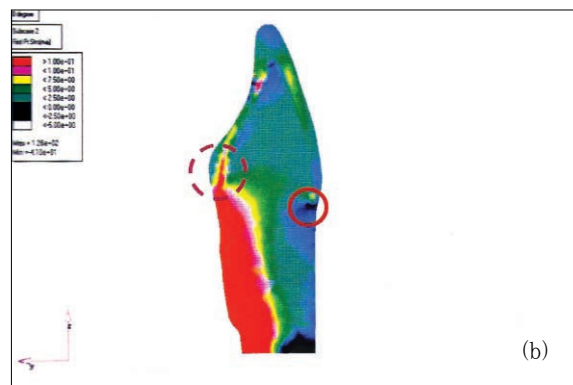
결과

Fig. 4-6은 변연부 형태에 따른 서로 다른 모델들의 응력 분포를 보여주고 있다.

Fig. 4와 5의 (a)에서 90°, 110° shoulder margin의 모델은 실선으로 표시된 부분의 응력 분포가 135° shoulder margin 모델에 비해 집중되어 있어 이에 따른 문제발생을 예측 할 수 있다. (b)의 그림을 보면 90°, 110°의 주응력은 135°에 비해 높은 주 응력을 나타내고 있다. Fig. 6의 (a), (b)에서 135° 모델은 실선으로 표시된 부분의 응력이 다른 모델에 비해 고르게 분포되어 있고, 또한 점선으로 표시되어 있는 부분의 응력 분포도 다른 모델에 비해 우수하다.

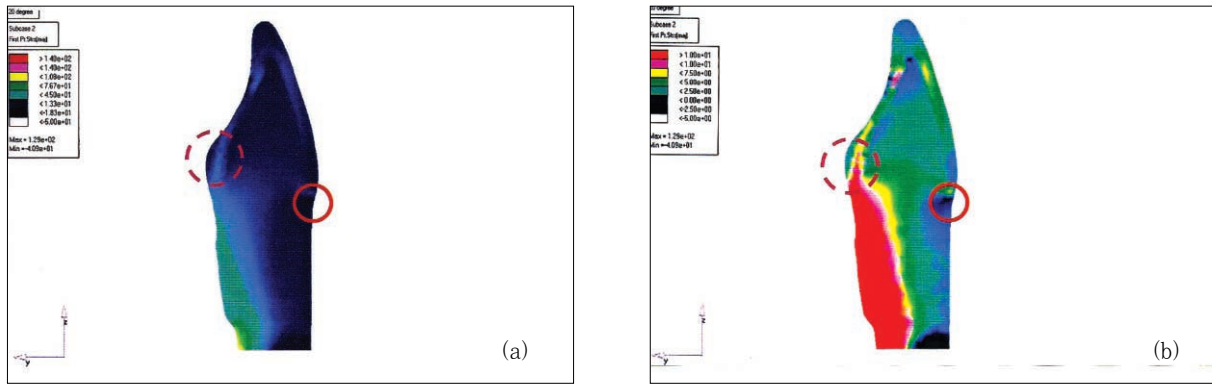


(a) General stress distribution



(b) Enhanced stress distribution emphasized marking area

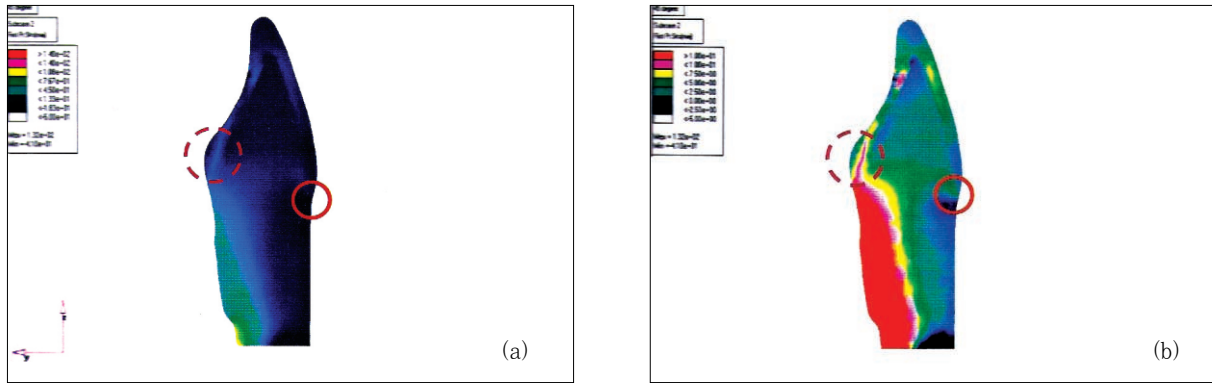
Fig. 4. Enhanced stress distribution of 90° shoulder margin.



(a) General stress distribution

(b) Enhanced stress distribution emphasized marking area

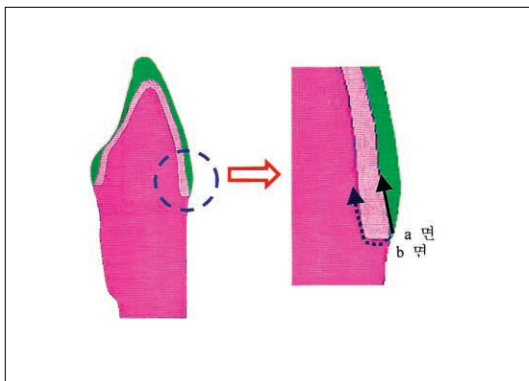
Fig. 5. Enhanced stress distribution of 110° shoulder margin.



(a) General stress distribution

(b) Enhanced stress distribution emphasized marking area

Fig. 6. Enhanced stress distribution of 135° shoulder margin.



(a) The interface between alumina core and veneering porcelain

(b) The interface between alumina core and adhesive

Fig. 7. The interface between alumina core and tooth.

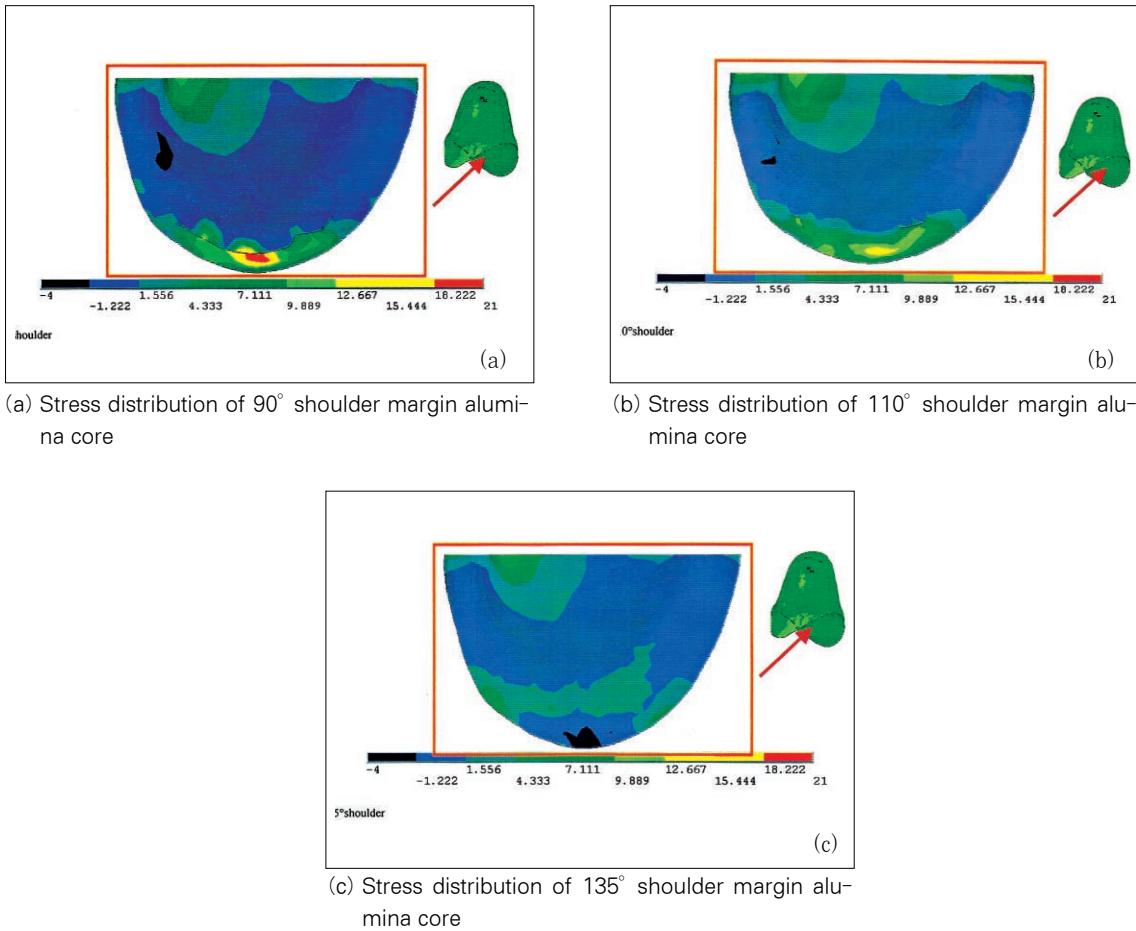


Fig. 8. Stress distribution of facial aspect inside alumina core.

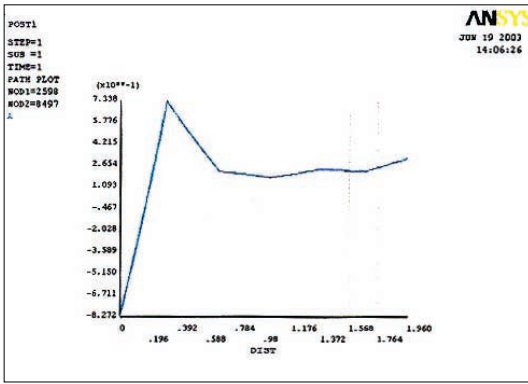
다음은 알루미나 코어의 순면 변연부의 응력 분포를 나타낸 그림이다.

알루미나 코어 부분에서의 표시된 부분의 응력 분포 또한 135° shoulder margin에서의 응력 분포가 90°, 110° shoulder margin의 응력 분포 보다 더 잘 분포 되어 있다.

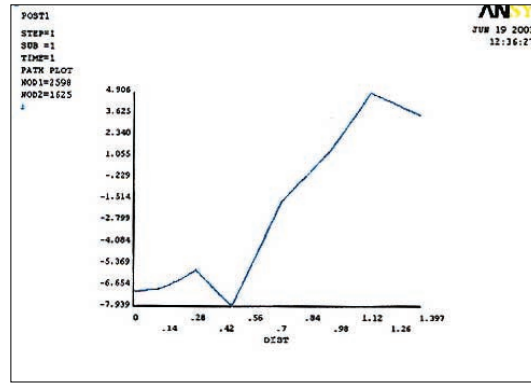
90°와 110° shoulder margin의 비교에서는 110° shoulder margin의 알루미나 코어가 90° shoulder margin의 알루미나 코어에 비해 더 좋은 응력 분포를 보이고 있다.

다음은 알루미나 코어와 치아 사이 계면의 응력 분포를 그래프로 나타낸 것이다.

알루미나 코어와 치아 사이의 계면의 응력 분포를 나타낸 그래프에서 보는 바와 같이 a면을 따른 응력은 변연으로 갈수록 응력이 점차적으로 증가하는 양상을 보이고, b면을 따른 응력은 변연으로 갈수록 응력이 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. a면에서 90°와 110° shoulder margin의 모델의 경우 최대 주응력이 135° shoulder margin의 응력이 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 90°와 110° shoulder margin에 비해 변연의 각도가 135° shoulder margin인 모델의 경우에서 응력의 분포가 고르게 나타났다.

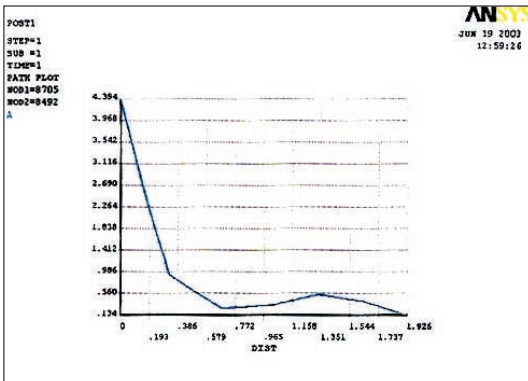


(a) Stress distribution in the "a" aspect

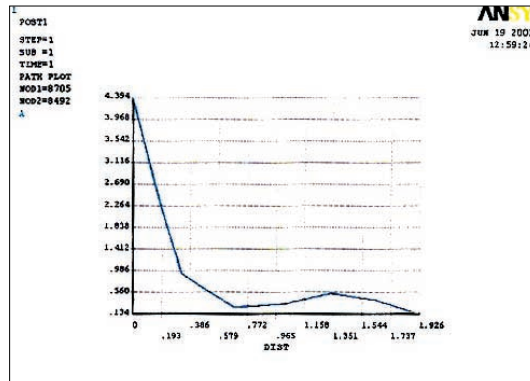


(b) Stress distribution in the "b" aspect

Fig. 9. 90° shoulder margin stress distribution of the interface between alumina core and tooth.

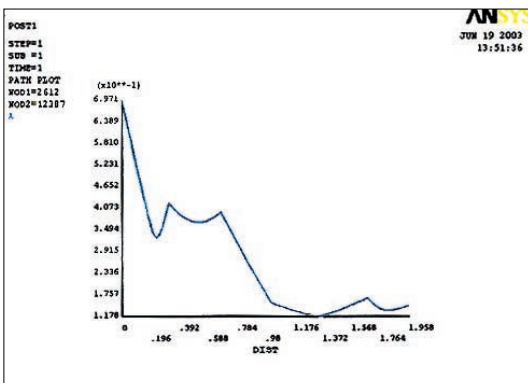


(a) Stress distribution in the "a" aspect

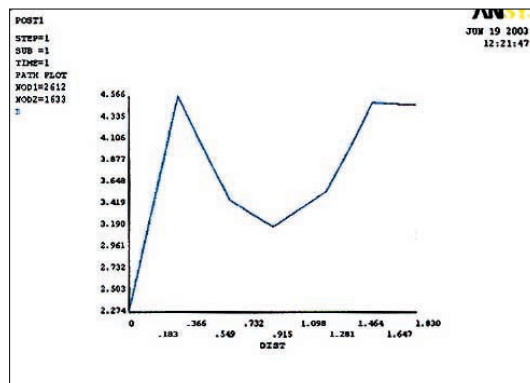


(b) Stress distribution in the "b" aspect

Fig. 10. 110° shoulder margin stress distribution of the interface between alumina core and tooth.



(a) Stress distribution in the "a" aspect



(b) Stress distribution in the "b" aspect

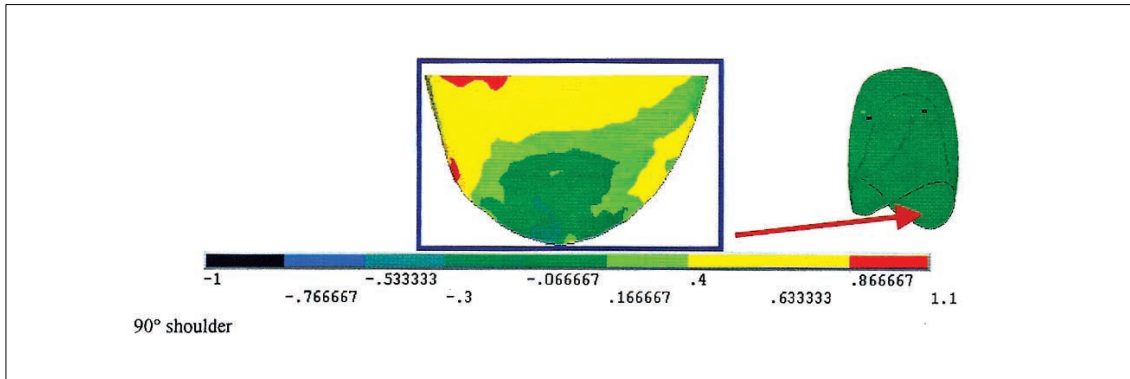
Fig. 11. 135° shoulder margin stress distribution of the interface between alumina core and tooth.

다음 그림은 도재의 순면측 변연부의 응력 분포를 나타낸 그림이다.

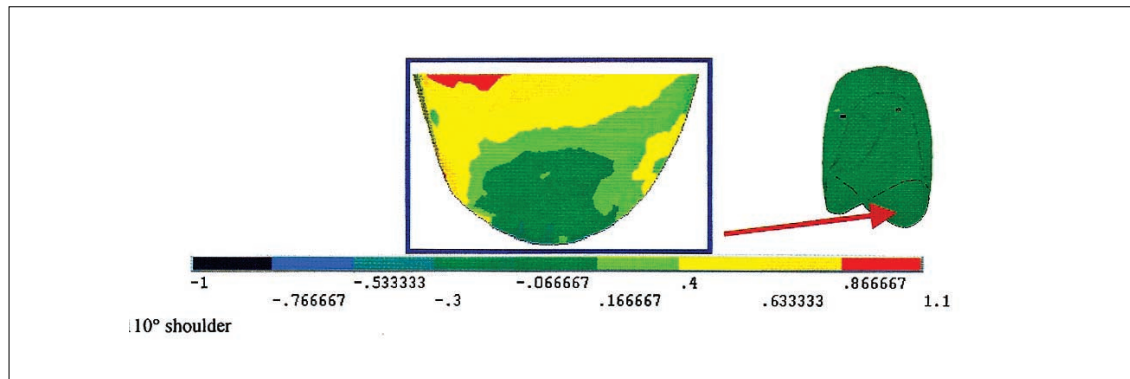
그림에서 보는 것과 같이 표시된 부분의 135° shoulder margin의 응력분포가 90°와 110° shoulder margin의 응력분포보다 더 고르게 분포되어 있으나 변연부의 말단부 도재에서는 135° shoulder margin의 응력분포가 90°와 110°

shoulder margin에서의 응력보다 조금 더 집중되는 양상을 보였다.

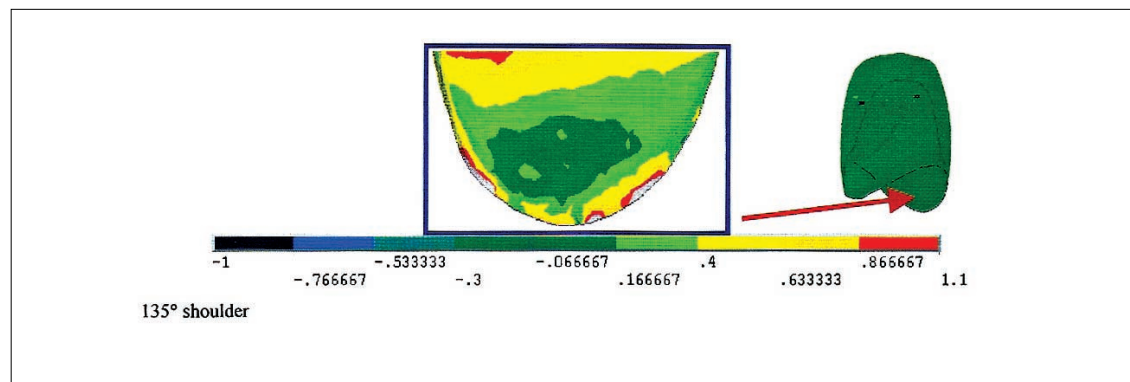
90°와 110° shoulder margin의 도재를 비교 할 때 90°의 왼쪽부분의 주응력이 조금 더 크나 대체적인 응력의 분포는 비슷한 양상을 보이고 있다.



(a) Stress distribution of 90° shoulder margin in the porcelain



(b) Stress distribution of 110° shoulder margin in the porcelain



(c) Stress distribution of 135° shoulder margin in the porcelain

Fig. 12. Stress distribution of facial aspect in the porcelain.

고찰

심미적 만족에 대한 꾸준한 관심은 완전 도재관의 발전을 가져 왔다. 완전 도재관은 우수한 물리적 성질과 마모에 대한 저항성, 색조의 안정성, 그리고 레진 접착제와의 우수한 물리적 결합력 등의 장점을 가진 반면 파절 강도가 약하다는 단점 때문에 광범위한 사용에는 제한이 따른다.

완전 도재관의 수명은 보철물 변연이 파절을 일으키는 응력을 얼마나 효과적으로 분산하느냐에 달려있다. 응력분산의 실패는 변연에서의 적합도와 변연의 형태, 시멘트의 물리적 성질과 밀접한 상관 관계가 있다. 완전 도재관에 사용되는 접착제의 물리적 성질을 보면 레진 접착제의 중합수축은 변연 부위에 틈이 벌어지게 한다.¹⁸ 그러나 새로운 접착 기술의 도입과 재료가 개발되면서 상아질에 도재의 접착 강도를 향상시킬 수 있었으며, 이는 범랑질에 붙는 강도와 비슷하게 되었다. 완전 도재관에서 교합면의 두께가 얇아지거나 레진 시멘트로 접착하지 않은 경우라면 파절의 저항성은 감소하게 된다. 그러므로 실제 임상에서는 교합면의 충분한 두께와 접착성의 레진 시멘트를 사용하는 것을 권장하게 된다. 또한 이러한 접착제의 물리적인 성질 외에 변연에서 도재관의 적합정도에 따라 응력에 대한 저항성이 결정되게 된다.

주로 많이 사용되는 변연으로는 flat shoulder(butt joint), chamfer, deep chamfer with bevel, 135° shoulder, flat shoulder with 45° bevel 등이다. 가장 선호되는 변연 형태는 shoulder와 chamfer의 변형된 형태들이다. 본 실험에서는 이를 근거로 임상에 많이 적용되는 shoulder의 변형된 형태인 90°, 110°, 135° shoulder margin을 선택하게 되었다.

완전 도재관에서의 경우 응력에 대한 효율적인 분산은 수복물 변연의 형태에 크게 영향을 받게 된다. 금속-도재관인 경우 순면에서의 변연은 심미적인 이유로 금속의 두께가 제한적으로 변형되기가 쉬우나 설측과 인접면에서의 금속 부피가 이러한 변화를 최소화 시켜 줄 것이다. 그러나 완전 도재관의 경우는 금속의 하부구조가 없어 강도에 더욱 취약한 구조일 수밖에 없다. 그렇기 때문에 완전 도재관에서는 이번 실험 결과가 암시하듯이 일반적으로 heavy chamfer대신 파절의 강도에 대한 저항성이 우수한 shoulder 변연을 형성하는 경우가 많다.

Bevel은 삭제된 변연, 주조 결합, 그리고 접착시의 불규칙성을 보상한다고 본다. 이것은 이런 변연 형태가 수평적 선상의 변연은 유지하면서 수직적 다양성을 허용하기 때문이다. 그러나 bevel은 두께가 얇아 파절 저항성이

낮으므로 완전 도재관에서는 사용하기 어렵다. 수평 변연의 형태는 응력면에서도 유리하여 파절 가능성이 적고, 또한 가장 적은 seating discrepancy를 형성한다. Fusayama는 seating discrepancy에 대해 연구한 결과 shoulder에서 시멘트 선이 44에서 48 μ m에 이른다고 했다. 비록 그들은 이런 틈이 shoulderless 혹은 chamfer변연에 의해 줄어 들 것이라고 생각했으나 실험적으로는 증명되지 않았다. Scharer는 shoulder변연에서 도재-금박관의 접착 후 변연 틈을 22에서 41.5 μ m라고 보고했고 완전 도재관의 discrepancy를 30-35 μ m라고 했다. 변연 discrepancy는 정확한 seating이 확보된다면 많이 감소될 수 있으며 이는 수평적 변연이 이러한 면에서 우수하며 구강 내에서 발생하는 응력에도 효율적인 분산으로 인해 파절에 대한 저항성도 두드러진다. 또한 완전 도재관을 위한 지대치 형성 시에도 다른 변연의 형성보다 용이한 이점도 간과할 수 없을 것 같다.

구강 내에 있는 수복물은 다양한 크기와 다양한 방향의 순기능과 역기능의 힘을 받게 된다. 이번 연구에서는 통상적인 교합력을 재현하기 위해 100N의 힘을 치아의 장축 방향에 45°로 가했다. 그 결과 도재 내부의 응력 분포는 90°와 110° 모델에 비해 변연 각도가 135°인 모델의 경우가 응력의 분포가 고르게 나타났다. 그러나 변연에서는 90°와 110° 모델의 응력보다 보금 더 집중 됐다. 이런 결과는 도재변연 부분의 두께가 135° 모델이 90°와 110° 모델 두께 보다 얇아서 일 것으로 사료 된다. 이는 완전 도재관의 변연에서는 파절에 대한 저항이 약함을 의미한다. 90°와 110° 모델의 비교 시는 대체로 비슷했다.

알루미나 코어 내부의 응력 분포에서도 또한 135°인 모델이 90°와 110° 모델의 응력 분포 보다 더 잘 분포 되었다. 90°와 110° 모델의 비교 시는 110°가 90° 모델에 비해 더 좋은 응력 분포를 보였다. 여기서 변연에 나타나는 스트레스는 두드러지는 수치는 아니므로 이에 대한 파급 효과는 변연의 형태에 따라 크게 다르다고 볼 수는 없다.

그러나 110°가 90° 모델에 비해 변연 형성의 용이하고 응력 분포도 좋아 임상에서 추천 될 수 있다. 저작시에 생기는 교합력은 최대 교합력의 37%에서 40% 정도의 범위 내에 있다. 또한 사람에게 있어서 저작 시스템의 3차원적 분석에 의하면 저작력은 여러 방향에서 작용한다.¹⁹ 0에서 45도 각도의 범위 내에서 수복물에 가해지는 최대의 tensile stress는 실제적으로 각 재료의 tensile stress보다는 작은 값이다. 그러므로 수복물의 파절 가능성은 매우 희박하다. 그러나 부하가 수평하게 가해질 경우 실험된 모든 수복물에서 최대의 tensile stress가 수직으로 가해진 경우에 비해서 두배 가까이 된다.

이러한 경향은 완전 도재관의 3차원적 분석과 일치한다. 부하가 수평적으로 가해질 경우, 45도나 수직으로 힘을 받는 경우보다 지대치가 응력에 견디기가 더 어려울 것이다. 수평적으로 가해지는 교합력은 보통 구강 내에서는 이갈이와 같은 비정상적으로 나타나는 저작과 같은 결과이다. 이런 강한 힘이 수평적으로 가해질 경우 수복물의 파절 가능성을 암시해 준다. 재료의 피로도에 대한 효과는 이번 실험에서 반영되지 않았으며 앞으로 보다 장기적인 관찰과 연구가 더 요구될 것이다.

결론

본 연구에서는 완전 도재관에서의 변연으로 90° shoulder, 100° shoulder, 135° shoulder 형태에 따른 응력 분포가 어떻게 다른지를 3차원 유한 요소 방법으로 조사 하였다. 그 결과 도재 내부의 응력분포는 90° 와 110° 모델에 비해 변연 각도가 135°인 모델의 경우가 응력의 분포가 고르게 나타났으나 변연에서는 90° 와 110° 모델의 응력보다 조금 더 집중되는 것으로 보아 도재 부분의 두께가 90° 와 110° 모델 두께 보다 얇아서 일 것으로 사료 된다. 그리고 90° 와 110° 모델의 비교에서는 대체로 비슷하다. 알루미늄 나 코어 내부의 응력 분포에서도 또한 135°인 모델이 90° 와 110° 모델의 응력 분포 보다 더 잘 분포 되었다. 90° 와 110° 모델의 비교시는 110°가 90° 모델에 비해 더 좋은 응력 분포를 보였다. 실제 임상에서 많이 형성하는 110° shoulder는 응력 분포 면에서 상대적으로 유리함을 알 수 있다. 알루미늄 나 코어와 접착제 사이의 계면에서는 응력이 변연으로 갈수록 감소하고, 알루미늄 나 코어와 도재 사이의 계면에서는 변연으로 갈수록 응력이 점차 증가하였다. 전체적인 응력의 분포는 90° shoulder와 110° shoulder에 비해 변연 각도가 135° shoulder인 모델의 경우가 응력의 분포가 고르게 나타났으나 위에서 언급 했듯이 135° shoulder는 변연에서의 취약함을 보이므로 90° shoulder보다 상대적으로 응력분포도 유리 하며, 변연 형성의 용이성도 좋은 110° shoulder가 임상에서 추천 될 수 있다.

참고문헌

- Geller W, Kwiatkowski SJ. The Willi's glas crown: a new solution in the dark and shadowed zones of esthetic porcelain restorations. Quintessence Dent Technol 1987; 11:223-242.
- Pera P, Gilodi Bassi F, Carossa S. *In vitro* marginal adapta-

- tion of alumina porcelain ceramic crowns. J Prosthet Dent 1994;72:585-590.
- Sozio RB. The marginal aspect of the ceramo-metal restorations. Dent Clin North Am 1977;21:683-698.
- Stein RS, Kuwata M. A dentist and a dental technologist analyze current ceramo-metal procedures. Dent Clin North Am 1977; 21:729-749.
- Kamposiora Pm Papavasiliou G, Bayne SC, Felton DA. Finite element analysis estimates of cement microfracture under complete veneer crowns. J Prosthet dent 1994;71:435-441.
- Brukl CE, Philp GK. The fit of molded all-ceramic, twin foil, and conventional ceramic crowns. J Prosthet Dent 1987;58:408-413.
- Dickinson AJ, Moore VK, Harris RK, Dykema RW. A comparative study of the strength of aluminous porcelain and all-ceramic crowns. J Prosthet dent 1989;61:297-304.
- Friedlander LD, Munoz CA, Goodacre CJ, Doyle MG, Moore BK. The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns: Part 1. Int J Prosthodont 1990:159-168.
- Abbate MF, Tjan AH, Fox WM. Comparison of the marginal fit of various ceramic crown systems. J Prosthet Dent 1989; 61:527-531.
- Vahidi F, Egloff ET, Panno FV. Evaluation of marginal adaptation of all-ceramic crowns and metal ceramic crowns. J Prosthet Dent 1991:66426-431.
- Wenver JD, Johnson GH, Bales DJ. Marginal adaptation of castable ceramic crowns. J Prosthet Dent 1991:66:747-753.
- Derand T. Analysis of stresses in loaded models of porcelain crowns. Odontol Revy 1974;25:189-206.
- el-Edrashi MK, Craig RG, Peyton FA. Experimental stress analysis of dental restorations. 3. The concept of geometry of proximal margins. J Prosthet Dent 1969; 22:333-345.
- Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. Int J Periodontics Restorative Dent 1984;4:32-46.
- Malament KA, Grossman DG. The cast glass-ceramic restoration. J Prosthet Dent 1987;57:674-683.
- Sjogren G, Bergman M. Relationship between compressive strength and cervical shaping of the all-ceramic Cerestore crown, Swed Dent J 1987;11:147-152.
- Ferrari M. Cement thickness and microleakage under Dicor crowns: and *in vivo* investigation. Int J Prosthodont 1991;4:126-131.
- Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. J Prosthet Dent 1988;59:297-300.
- Koolstra JH, van Eijden TM, Weijs WA, Naeije M. A three-dimensional mathematical model of the human masticatory system predicting maximum possible bite forces. J Biomech 1988;21:563-576.

FEA estimates of margin design in all ceramic crowns

Sang-Hyun Han, DDS, MSD, Nam-Sik Oh, DDS, MSD, PhD,
Suk-In Jeong, DDS, MSD, Jung-Hyeon Cho, DDS, MSD, En-Jung Lee, DDS
Department of Dentistry, College of Medicine, Inha University

Statement of problem: Over the past decade, increased demand for esthetically pleasing restorations has led to the development of all-ceramic systems. Recent reports suggest that the all-ceramic crowns have excellent physical properties, wear resistance, and color stability. In addition, numerous ceramics have excellent biocompatibility, a natural appearance, and improved physical bonding with resin composite luting agents. However, the brittle nature of ceramics has been a major factor in their restriction for universal usage. Functional occlusal loading can generate stress in the luting agent, and the stress distribution may be affected by the marginal geometry at the finish line. Tooth preparation for fixed prosthodontics requires a decision regarding the marginal configuration. The design dictates the shape and bulk of the all ceramic crowns and influences the fit at the margin. **Purpose:** The purpose of this study was to evaluate the stress distribution within marginal configurations of all-ceramic crowns (90-degree shoulder, 110-degree shoulder, 135-degree shoulder). **Material and methods:** The force is applied from a direction of 45 degrees to the vertical tooth axis. Three-dimensional finite element analysis was selected to determine stress levels and distributions. **Results and conclusion:** The result of stress level for the shoulder marginal configuration was more effective on stress distribution at 135-degree shoulder margin. But the stresses concentrated around at 135-degree shoulder margin. The stress decreased apically at the surface between cements and alumina core, and increased apically at the surface between alumina core and veneering porcelain.

Key words : All-ceramic crowns, Three-dimensional finite element analysis, Marginal configuration

Corresponding Author: Nam-Sik Oh

Department of Dentistry, College of Medicine, Inha University, 7-206, Shinhung-dong, 3-ga, Joong-gu, Incheon, Inha Hospital, 400-711, Korea

+82 32 890 2470: e-mail, onsdo@inha.ac.kr

Received July 5, 2007: Last Revision September 7, 2007: Accepted February 25, 2008.