

지르코니아 단일구조 전부도재관의 지대치 형태에 따른 파절 강도

김 원 영, 홍 민 호

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Fracture Strength Analysis of Monolithic Zirconia Ceramic by Abutment Shape

Won-Young Kim, Min-Ho Hong

Department of Dental Laboratory Science, Graduated School, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: This study was performed fracture strength test by conducted change of abutment and coping shape for suggesting monolithic all ceramic crown which has thin thickness and superior strength of the occlusal surface.

Methods: The specimens on the four kinds abutment was made according to thickness of occlusal surface and angle of axis surface. And All ceramic coping specimens of 6 different kinds was made by the CAD/CAM Method. Compression strength test using the UTM and the verification of compression-stress situation using the 3D finite element method were conducted under optimum conditions.

Results: 516C specimen was showed the strongest compression-fracture strength, followed by 516FR, 516F45, specimens. Did not show significant differences between 516FR and 516F45. 516C of the universal testing machine the specimen's surface that are within the vertical load is small, finite element method of a uniformly distributed load, so the value received suggests otherwise.

Conclusion: In conclusion, abutments of monolithic zirconia ceramic when having a same thickness of the occlusal, as the angle of occlusal edge is small, the stress is well dispersed and it can endure well in the fracture.

○Key words : shape of abutment, monolithic zirconia, all ceramic, FEM.

| | | | | | | | |
|------|-------------|------------------------------|-----|--------------|--------|------------------|--------------|
| 교신저자 | 성명 | 홍 민 호 | 전화 | 051-510-0599 | E-mail | mhhong@cup.ac.kr | |
| | 주소 | 부산광역시 금정구 부곡동 부산가톨릭대학교 치기공학과 | | | | | |
| 접수일 | 2014. 9. 11 | | 수정일 | 2014. 12. 2 | | 확정일 | 2014. 12. 19 |

I. 서론

최근 보철에 대한 환자들의 기대는 기능적 측면뿐만 아니라 치아의 심미적 치료기능까지로 확대되고 있다. 이에 금속 하부 구조물에 의해 심미성에서 한계를 갖는 금속도재관의 비중은 점차 줄고 심미적이고 생체친화적인 전부도재관(all-ceramic crown)의 수요가 날로 증가하고 있다 (Seghi et al., 1991; Baltz, 2002; Kosmine et al., 2004).

초기의 전부도재관은 반복적인 교합력에 의해 상대적으로 인장강도가 낮아 특히 구치부 고정성 국소의치의 적용에는 제한적이었으나, 최근에는 물리적인 성질도 개선되어 구치부 전부도재관에도 적용되고 있다.

전부도재관은 구조에 따라 크게 두 종류로 구분한다. 강한 도재 코어를 제작한 후 도재를 축성하는 이중구조 전부도재관과 도재 자체의 물성을 높여 고강도의 도재관을 제작하는 단일구조 전부도재관(monolithic all-ceramic crown)으로 나눌 수 있다.

이중구조 전부도재관은 상부도재의 축성으로 높은 심미성을 갖기는 하지만 코어 재료가 아무리 강해도 상부를 구성하는 베니어 세라믹인 장식계열 도재가 탄성에너지를 흡수하는 능력이 낮아 비교적 낮은 인장력과 미세한 구조결함에 의한 파절이나 탈락 가능성이 높다 (Albakry et al., 2003; Sundh and Sjogren, 2004; Aboushelib et al., 2006).

단일구조 전부도재관의 경우 상부이장용 세라믹보다 기계적 강도가 매우 높아 지대치 삭제가 적절한 경우 구치부에서도 충분히 사용 가능하며 지르코니아를 전체 두께에 걸쳐 제작함으로써 지대치 삭제가 적은 경우에도 기존의 전부도재관보다 강도를 확보하기 쉽다. 지르코니아 단일구조 전부도재관은 그 동안 제작상의 어려움이나 지르코니아 만으로 복잡한 색조 재현의 어려움 등으로 사용되지 않았다가 이러한 문제가 개선된 재료와 제작법이 최근에 개발되어 많이 사용되어지고 있다 (정유석, 2010).

전부도재관의 강도는 주로 도재 재료의 종류 및 도재관 제작방법, 지대치 형성법과 치아와 도재관의 접촉방법에 영향을 받는다 (Friedlander et al., 1990; Yoshinari and Derand, 1994). 지대치치 형성 방법에 있어 도재관

의 강도에 영향을 주는 요소는 교합면과 치아 삭제량, 치축 경사도, 그리고 변연의 형태 등을 들 수 있다. 재료 자체의 특성이 강도에 큰 영향을 미치지만 수복물의 적절한 두께는 치아 삭제량과 관련되어 많은 비중을 두어 생각하여야 할 부분이다. 강한 강도를 위해 코어를 두껍게 할 필요가 있는데 이는 과도한 자연치 치질의 삭제와 심미성의 저하, 유지력의 저하, 치수 자극, 치아과민증 등의 여러 문제들을 발생시킬 수 있다.

따라서 적절한 강도를 얻으면서 파절을 예방할 수 있는 두께를 정하는 것이 중요하다 할 수 있다. 전부도재관 제조사가 권장하는 적절한 두께가 제시되고 있으나 교합면의 최소한의 두께로 교합력에 견딜 수 있는 보철물을 만들 수 있다면 이상적이기에 최소한의 교합면 두께에서 강도를 더 얻을 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

관련된 선행 연구로는 단일구조 전부도재관 중 Empress 도재관의 교합면 두께와 축면 경사도에 따른 파절강도에 관한 연구 (김성훈, 2002), Cerec 시스템의 파절강도에 관한 연구 보고는 있으나 (이수정, 2010), 단일구조 지르코니아 전부도재관의 파절 강도와 도재관의 최소 두께에 관한 연구는 없는 실정이다.

본 연구는 임상적으로 많이 발생하는 얇은 교합면 두께의 지르코니아 단일구조 전부도재관을 대상으로 지대치의 형태와 도재관의 두께를 달리 한 6종의 전부도재관 시편을 제작하여 압축 파절강도를 측정하고, 동일 형태의 유한요소 모델을 이용한 3차원 유한요소법으로 응력 분포를 관찰하였다. 이러한 분석을 통하여 단일구조 지르코니아 전부도재관 제작 시 강도를 높일 수 있는 효과적인 지대치 형태와 도재관 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

본 실험을 위해 제작된 지르코니아 단일구조 전부도재관 시편 재료는 단일구조 지르코니아 세라믹인 Prettau (Zirkonzahn GmbH, Italy)을 사용하였다.

2. 시편 제작

1) 지대주 제작

압축 파절강도 시험을 위하여 4 종의 지대치를 제작하였다. 지대치는 스테인리스강을 이용하여 CNC 가공을 이용하여 제작하였다.(Table 1, Fig. 1)

Table 1. Shape of test abutment

| shape Type | margin width | axial wall angle | occlusal shape | occlusal angle |
|------------|--------------|------------------|----------------|----------------|
| 6F | 1mm | 6° | flat | - |
| 6F45 | 1mm | 6° | flat | 45° |
| 6FR | 1mm | 6° | flat | round |
| 6C | 1mm | 6° | concave | - |

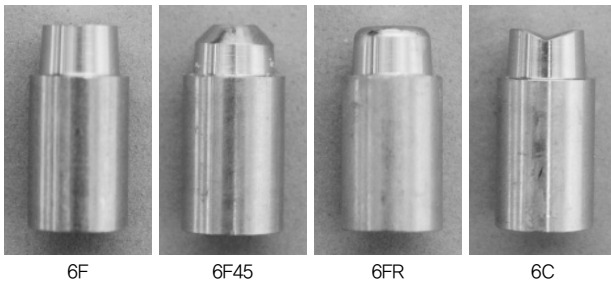


Fig. 1. Abutment of 4 type

2) 전부도재관 시편 제작

금속 지대치를 지르코잔 스캐너(Scanner 600, Zirkozahn GmbH, Italy)를 이용하여 스캔하고 코핑의 두께는 각각 설계대로 디자인 하였다. 금속 지대치와 지르코니아 도재관 사이의 시멘트 공간은 0.03mm로 설정하였고, 4종의 지대치를 이용하여 Prettau(Zirkozahn GmbH, Italy) 블록을 밀링(CAD/CAM MS, Zirkozahn GmbH, Italy) 하여 6 종의 지르코니아 전부도재관 시편을 제작하였다. 완전 소결과정은 지르코잔 전용 furnace (Zrkonofen 600, Zirkozahn GmbH, Italy) 에서 제조사의 지시대로 시행하였다(Table 2).

제작된 전부도재관 시편 종류는 교합면과 측면 두께 1mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 flat한 도재관 시편군(CON type), 교합면 두께는 0.5mm, 측면의 두께는 1mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 flat한 시편군(516F type), 교합면 두께는 0.5mm, 측면 두께 2mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 flat한 시편군(526F type), 교합면 두께는 0.5mm, 측면 두

께는 1mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 flat하고 교합면 우각이 45°인 시편군(516F45 type), 교합면 두께 0.5mm, 측면 두께는 1mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 flat하고 교합면 우각이 round한 시편군(516FR type), 교합면 두께 0.5mm, 측면 두께 1mm, 측면 경사도 6°에 교합면이 concave한 시편군(516C type) 모두 6 종류로 구성하고 각 실험군은 시편 7개씩 제작하였다.

Table 2. Shape of specimens

| shape Code | occlusal thickness (mm) | axis thickness (mm) | abutment axis angle | occlusal shape | occlusal angle |
|------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|
| CON | 1 | 1 | 6° | flat | - |
| 516F | 0.5 | 1 | 6° | flat | - |
| 526F | 0.5 | 2 | 6° | flat | - |
| 516F45 | 0.5 | 1 | 6° | flat | 45° |
| 516FR | 0.5 | 1 | 6° | flat | round |
| 516C | 0.5 | 1 | 6° | concave | - |

3. 실험 방법

1) 압축강도관찰실험

파절강도는 만능시험기(858 Bionix Test System, MTS, USA)에 압축력 측정 평면 형태의 전용 jig를 이용하였다. Crosshead speed 1mm/min로 하중을 가하여 전부도재관의 파절되는 순간의 하중을 측정하였다.



Fig. 2. Schematic diagram of the compression test setup on UTM

2) 통계분석

압축 파절강도 결과의 유의차 검증을 위해 SPSS (SPSS Ver. 19, USA)를 이용하여 일원배치분산분석 (One-way ANOVA analysis)을 시행하였으며, 사후검정

을 위해서 다중비교분석 (Tukey's analysis)을 시행하였다. 각 군의 유의성은 95% 유의 수준에서 검증하였다.

3) 유한요소 분석

제작된 6 종의 전부도재관 모델을 이용하여 3 차원 유한요소 분석을 실시하였다. 지대치와 전부도재관을 포함한 모든 구조물은 등방성, 균질성, 선형 탄성 재료들로 가정하였다. 제작된 시편의 역학적 요소로 지대치는 타이타늄의 탄성계수 116GPa, 푸아송비 $\nu=0.32$ 물성치로 적용하였으며, 전부도재관은 지르코니아의 탄성계수 160GPa, 푸아송비 $\nu=0.32$ 를 물성치로 적용하였다.

3 차원 유한요소 역학분석에서 응력분석을 위하여 외부 하중은 시편의 상부면에서 하부로 수직 하중방향을 설정하였고 하중은 시편 상부면의 절점들에 분산한 분포하중을 설정하였다.

하중은 일반적으로 치아 하나에 받는 하중 범위에서 대구치부에 가해지는 500 N을 가정하여 수직 분포하중으로 적용하였다.

모델의 구속조건은 지대치 시편 최하단면의 절점 전체에 6 방향의 자유도를 구속시켜 이동 및 회전이 없도록 하였다. 그리고 외부 하중 시 각 모델의 하중 조건에 따른 육면체 내 최대 von-Mises 응력 값의 크기와 위치를 분석하여 응력 값의 분포를 색깔로 나타내었다.(Fig. 3)

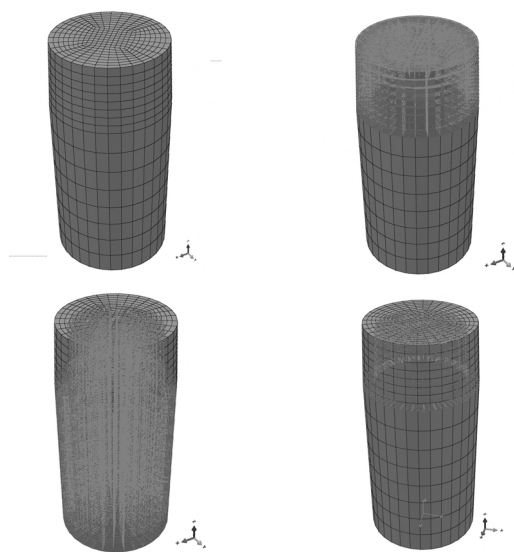


Fig. 3. Parts of the mesh specimens model Boundary condition

III. 결 과

1. 압축 파절강도

압축 파절강도를 관찰한 결과 CON군은 518.83 ± 61.3 N이 측정되었으며, 516F 군은 632.24 ± 27.5 N, 526F 시편군은 508.03 ± 17.8 N, 516F45 군은 768.94 ± 57.4 N, 516FR 군은 788.58 ± 100.3 N, 516C 시편군은 $1,102.84 \pm 136.9$ N으로 측정되었다.(Table 3, Fig. 4)

측정 결과를 이용하여 각 군별로 비교 통계 분석한 결과 516FR 시편군이 CON 시편군과 526F 시편군에 대하여 통계적으로 유의차가 나타났으며 ($p < .05$), 516C시편군이 다른 시편군 모두에 대하여 통계적으로 유의차가 나타났다 ($p < .05$).

Table 3. Compressive force of specimens

(Unit: N)

| Specimens | Compressive Force |
|-----------|--|
| CON | 518.83 ± 61.3 |
| 516F | $632.24 \pm 27.5^\dagger$ |
| 526F | 508.03 ± 17.8 |
| 516F45 | $768.94 \pm 57.4^{\dagger\ddagger}$ |
| 516FR | $788.58 \pm 100.3^{\dagger\ddagger}$ |
| 516C | $1,102.84 \pm 136.9^{\dagger\ddagger\ddagger}$ |

Each value represents the mean \pm SD.

The Values with different superscripts(\dagger , \ddagger) in the same column are significantly different ($p < 0.05$, Tukey's method).

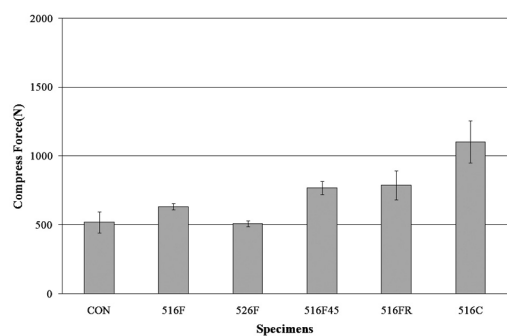


Fig. 4. Analysis compared specimens

2. 유한요소 분석

모델의 하중 조건에 따른 3 차원 유한요소 역학분석 결과를 육면체 내 최대 von-Mises 응력 값의 크기와 위치를 분석하여 응력 값의 분포를 색깔로 나타내었다.(Table 4, Fig. 5).

Table 4. Maximum von Mises stress of specimens
(Unit: N)

| Specimens | Coping | Fixture |
|-----------|--------|---------|
| CON | 20.33 | 8.00 |
| 516F | 23.33 | 9.00 |
| 526F | 22.06 | 7.41 |
| 516F45 | 65.79 | 11.53 |
| 516FR | 51.56 | 11.08 |
| 516C | 18.04 | 8.68 |

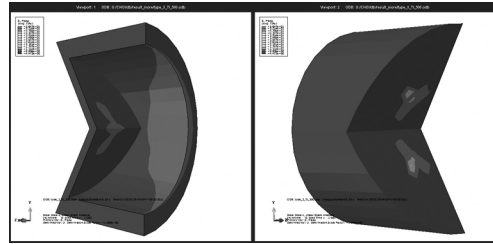
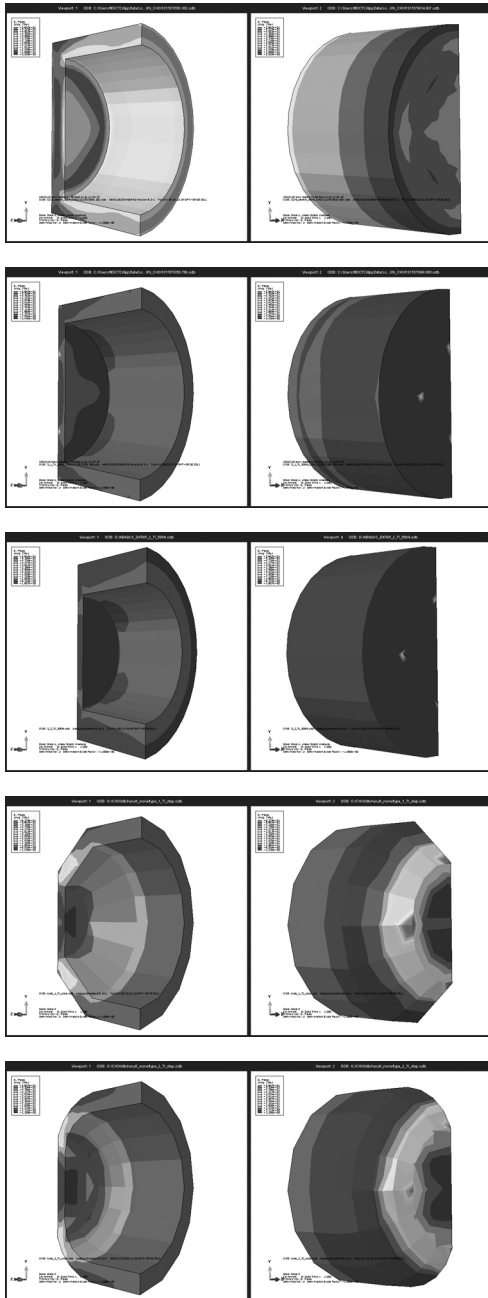


Fig. 5. Distribution of VMS of all specimen for 500 N



IV. 고 찰

본 연구에서는 임상상황에서 많이 나타나는 교합면 두께가 적은 지대치의 전부도재관 제작 시 효과적인 강도를 얻을 수 있는 방법을 얻고자하였다. 지대치의 교합면 두께와 측면 두께, 교합면의 형태와 교합면 우각의 형태를 다르게 하여 CAD/CAM system을 이용하여 지대치의 형태와 전부도재관의 측벽 두께를 달리 한 형태로 6 종의 지르코니아 전부도재관을 제작하였다.

지르코니아 단일구조 전부도재관의 파절강도에 관한 연구가 매우 드물고, 각각 다르게 제작된 형태의 전부도재관 수복물의 파절강도를 비교하기 위해 실물 실험으로 파절강도를 측정 후 동일한 형태의 지대주와 전부도재관을 3차원 모델링하여 3차원 유한요소법으로 압축에 따른 응력 분포를 관찰하였다.

지르코니아 시편을 제작하여 파절강도 측정된 결과는 교합면 중심부를 깊게 한 516C 시편군이 가장 높게 나타났으며 측벽 두께를 2mm로 제작한 526F 시편군이 가장 낮게 측정되었다($p < .05$). 이와 같은 결과는 516C 시편의 압축 파절강도 실험 시 만능시험기 내에서 시편과 수직 방향으로 닿는 면적이 작아서 파절강도가 크게 나온 것으로 생각된다.

교합면 우각부를 45°로 형성한 516F45 시편군과 교합면 우각부를 round하게 한 516FR 시편군은 파절강도가 768.94 ± 57.4 N, 788.58 ± 100.3 N로 높게 나타났다. 유한요소 분석으로는 516F45 시편에서 65.79MPa, 516FR 시편은 51.56MPa로 나타났다. 이는 응력이 집중되는 교합면 우각 부위를 각을 형성한 부위에서 가장 높은 응력 집중이 나타났는데 이는 원형의 지대치 모델과 도재관 모

텔에서 완전한 원형으로 제작되지 않아 각이 형성된 부위에 응력 집중이 발생되어 높게 나타난 것으로 판단된다.

동일한 지대치 형태에 교합면 두께를 1mm로 한 CON 시편군과 0.5mm로 제작한 516F 시편군과 측면 두께를 2mm로 한 526F 시편군 비교에서는 516F 시편군이 파절강도가 632.24 ± 27.5 N로 가장 높게 나타났다.

교합면 두께를 0.5mm로 같이 한 516F 시편군, 526F 시편군에서는 측면 두께가 더 두꺼운 526F 시편군이 파절강도가 508.03 ± 17.8 N로 더 낮게 나타났다. 유한요소 분석에서도 516F 시편은 23.33MPa , 526F 시편은 22.06MPa 로 동일하게 나타났으며 CON 시편도 20.33MPa 로 유사하게 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 교합면이 얇은 경우에도 충분한 강도를 갖고 있음을 알 수 있었으며 측면의 두께를 더 두껍게 제작 하여도 강도가 증가되지 않는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 실험에서는 margin width를 1mm로 한정시켜 보철물의 2mm 두께에 대한 지지부가 없는 상태가 되어 강도가 낮아진 것으로 생각되며 지대치의 margin 폭을 2mm로 하는 경우에는 다른 결과를 나타낼 수 있다고 사료된다.

Empress II 전부도재관의 파절강도는 도재관 두께에 따라 큰 차이가 있으며 측면 경사도와는 관계가 없었다고 보고하고 있다(김성훈, 2002). 본 실험에서는 측면의 경사도가 6° 일 때가 15° 보다 더 높게 나왔으나 유의차가 없었다. 강도가 측면의 경사도와는 관계가 없다는 보고는 본 연구에서도 같은 결과를 보이고 있다.

교합면 중심구 부위가 1.5mm인 하악 제 1대구치의 monolithic lithium disilicate 전부도재관의 파절강도는 3852.1 N로 보고되었으며(이수정, 2010), 이는 시편의 두께가 최대 2.5mm에 이르는 crown의 형태이었기에 파절강도가 크게 나온 것으로 생각된다.

도재관의 두께가 두꺼워질수록 파절강도가 증가하겠지만 그에 따라 치아의 삭제량이 많아지는 것을 간과해서는 안 될 것이다. 치아 삭제량이 많아지면 치수에 대한 위해성이 커지고 유지력이 저하된다. 따라서 성공적인 도재관 제작을 위해서는 해당 치아의 대합치와의 최대 교합력, 사용될 도재의 강도, 치수의 크기 등을 고려한 치아 형성이 중요하다고 하겠다.

본 연구는 최소한의 교합면 두께로 교합압을 충분히 견

딜수 있는 효과적인 방법을 찾고자 연구하였다. 교합면 두께 0.5mm로 임상적인 최소로 여겨지는 두께로 실험하였는데 모든 실험 시편군의 파절강도는 일반적인 저작압의 평균인 40~50 N을 넘는 수치이고 최대 저작압이라고 하는 200~540 N(Yoshinari, 1994)에서도 임상적으로 충분히 사용 가능한 수치를 나타내었다.

그러나 평균 최대 교합력은 연구자들마다 다양한 값을 보이고 있다. Waltimo 등(1995)은 악관절 질환이 있는 사람은 구치부 최대 저작압이 남자는 909 N, 여자는 777 N이라 하였고, Ferrario(2004)는 교합면의 마모를 보이는 사람의 평균 최대 저작압은 구치부는 911 N, 전치부는 569 N의 높은 교합력을 보인다고 하였다. 따라서 이러한 저작압에 대한 임상적인 적용은 교합면의 두께를 더 증가시켜 적용시켜야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 구강 내 환경과 유사한 만성적 스트레스와 전단력, 급격한 온도 변화, 습한 환경, 전부도재관의 형태 등과 같은 비교 연구가 되어 있지 않다. 앞으로 상기 요소들이 포함된 실험연구와 임상연구가 계속 이루어져야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

실험 결과를 바탕으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축 파절강도 측정 결과 교합면을 concave한 시편군이 가장 높게 나타났으며, 교합면 우각이 round한 시편군, 교합면 우각을 45° 로 형성한 시편군 순으로 높게 측정되어 중심구를 따라 깊게 삭제 형성한 지대치와 교합면 우각을 형성한 지대치 형태가 두께가 얇은 지르코니아 전부도재관의 강도 증가에 효과적이었다.

2. 본 연구에서는 교합면 두께가 0.5mm로 임상적으로 최소한으로 여겨지는 두께로 실험을 하였으며 실험 시편군의 파절강도가 약 500~1100N으로 나타나 다소 다양한 의견이 있으나 일반적인 최대 저작압을 넘게 나타나 임상적으로 충분한 사용 가능한 강도를 나타내었다.

3. 3차원 유한요소 분석을 통한 응력 분포 실험에서는 역시 교합면이 concave한 시편군이 응력 집중이 가장 적었으며 파절 실험에서 높은 파절강도를 보였던 45°와 round하게 교합면 우각을 형성한 지대치에 제작한 시편에서 높은 응력 집중을 보였으며 응력 집중 부위는 교합면 우각부에서 나타났다.

REFERENCES

- Kim SH. Fracture strength of the IPS Empress crown: The effect of occlusal depth and axial inclination on lower first molar, Department of dentistry, Graduate school, Wonkwang University, 2002.
- Lee SJ. Fracture strength monolithic lithium disilicate ceramic versus zirconium dioxide CAD/CAM restorations on posterior single implant superstructure. Department of Esthetic Restorative Dentistry, Korea University, 2010.
- Jung YS. The study on the wear of natural teeth opposed to zirconia ceramics, Graduate School of Clinical Dentistry, Korea University, 2010.
- Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater*, 22(9), 857-863, 2006.
- Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent*, 31(3), 181-188, 2003.
- Blatz MB. Long term clinical success of all-ceramic posterior restorations. *Quintessence Int*, 33(6), 415-426, 2002.
- Friedlander LD, Munoz CA, Goodacre CJ. The effect of tooth preparation design on the breaking strength Dicor crowns: Part 1. *Int J Prosthodont*, 3(2), 159-168, 1990.
- Ferrario VF, Sforza C, Zanotti G, Tartaglia GM. Maximal bite forces in healthy young adults as predicted by surface electromyography. *J Dent*, 32(6), 451-457, 2004.
- Komine F, Tomic M, Gerds T, Strub JR. Influence of different adhesive resin cements on the fracture strength of aluminum oxide ceramic posterior crown. *J Prosthet Dent*, 92(4), 359-364, 2004.
- Seghi RR, Rosenstiel SF, Bauer P. Abrasion of human enamel by different dental ceramics in vitro. *J Dent Res*, 70(3), 221-225, 1991.
- Sundh A, Sjogren G. A comparison of fracture strength of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. *J Oral Rehabil*, 31(7), 682-688, 2004.
- Waltimo A, Kononen M. Maximal bite force and its association with signs and symptoms of craniomandibular disorders in young Finnish non-patients. *Acta Odontol Scand*, 53(4), 254-258, 1995.
- Yoshinari M, Derand T. Fracture strength of all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont*, 7(4), 329-338, 1994.