

# CAD/CAM 기법과 프레스 기법으로 제작된 코어의 적합도 평가

박다령, 오승한\*

원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실 및 생체재료·매식 연구소

〈Abstract〉

## Adaptability of Cores Fabricated by CAD/CAM Technology and Press Technique

*Da-Ryeong Park, Seunghan Oh\**

*Department of Dental Biomaterials and Institute of Biomaterial · Implant, College of Dentistry,  
Wonkwang University, Iksan, Korea*

In this study, comparing internal and marginal fit between simplified abutment die and zirconia cores prepared by five CAD/CAM systems vs. one press technique were performed to (1) estimate the machinability of CAD/CAM systems compared to that of conventional technique and (2) investigate the applicability of simplified abutment die as a standard model for assessing internal and marginal fit assessed by silicone replica technique. The results were evaluated with one-way ANOVA, and the Duncan's multiple range test ( $\alpha=0.05$ ). From all results, Ceramill ( $46.10 \pm 30.57 \mu\text{m}$ ) and Cameleon ( $78.17 \pm 20.65 \mu\text{m}$ ) showed the best fitness in marginal gap point and cervical area point, respectively. In axio - occlusal angle area, Cameleon ( $52.87 \pm 16.77 \mu\text{m}$ ) and Luxen ( $45.45 \pm 32.67 \mu\text{m}$ ) resulted the best fitness compared to other experimental groups. Also, the internal and marginal gaps of all experimental groups resulted less than  $120 \mu\text{m}$  (maximum allowable marginal gap between core and abutment in clinical use) so that all zirconia cores prepared by CAD/CAM system in this study are expected to be suitable for clinical application in dentistry.

*Key words*: CAD/CAM systems, core, marginal fit, internal fit, silicone replica technique

## I. 서론

치과 분야에서 날로 증가하고 있는 심미성의 조화와 중요성은 점점 높아지고 있어 강한 부하를 받는 부위까지 세라믹으로 수복하므로 지르코니아를 치과 보철수복에 적용하여 전부도재관의 적용범위가 넓어지고 있다. 지르코니아 보철물의 뛰어난 심미성을 위하여 투과성과 내마모성, 색조 안정성, 변연 적합도 등을 충족시켜야 한다(Boening 등, 2000; Suttor

등, 2001; Bindle 등, 2006). 그 중에서도 변연 적합도는 고정성 보철물의 성공 여부를 결정짓는 중요한 요소 중 하나이다. 부적절한 변연 적합은 치아와 치주조직에 좋지 않은 영향을 미쳐 치태침착이 되고, 2차 우식증 또는 치주질환, 치수염, 치조골 소실 등을 일으키게 되어 보철물이 실패하는 요인이 된다(Schwartz 등, 1970; Felton 등, 1991).

지르코니아로 제작된 전부도재관의 경우 변연적합도가 주조된 방식에 못 미친다는 단점이 지적되어 왔다. 그러나 기술의 발달로 인해 치과 영역에서도 기계절삭 가공의 오랜 문제점이었던 변연적합도가 주조방식과 거의 비슷하거나 더 우수하다고 보고하였다(May 등, 1998; Tinschert 등, 2001). 전통적인 주조방법으로 제작된 수복물의 적합도에 영향을 미치는 요인으로는 인상체의 변형, 변연의 형태, 치아의 형태, 모형제

\* Correspondence: 오승한 (ORCID ID: 0000-0002-7250-721X )  
(54538) 전라북도 익산시 익산대로 460, 원광대학교 치과대학 제2  
치학관 4층 치과생체재료학교실  
Tel: +82-63-850-6982, Fax: +82-63-857-6982  
E-mail: shoh@wku.ac.kr

Received: Nov. 25, 2016; Revised: Nov. 30, 2016; Accepted: Nov. 30, 2016

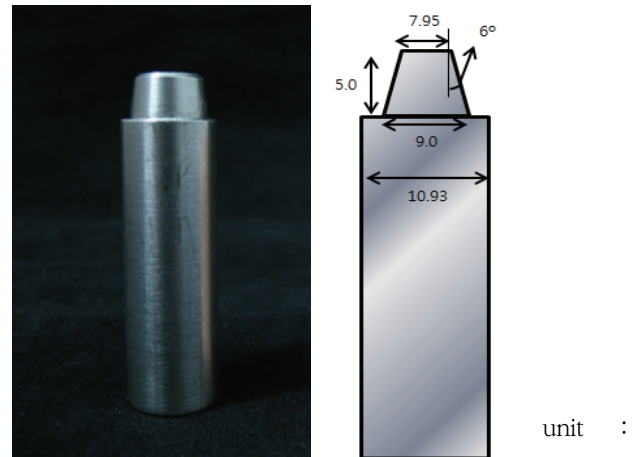
작 시 변형, 합착재 공간, 합착재 종류, 측면의 경사도 등이 있다(Sturdevant 등, 1999). CAD/CAM 시스템 변연 적합도에 영향을 미치는 요소로는 정보를 입력하는 과정이나 소결 시에 생기는 수축량에 대한 오차를 보상하기 위한 소프트웨어 과정, 접착 시 가하는 압력, 변연의 형태와 위치, 시멘트의 피막 두께, 가공 정확도 등이 있다(Fischer 등, 2003).

변연 및 내면 적합도를 측정하는 방법에는 직접 보아 측정하는 방법, 절단하여 측정하는 방법, 인상채득을 통하여 측정하는 방법, 탐침을 이용하여 측정하는 방법, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법 등을 제시하고 있다(Sorensen, 1990). 그 중 silicone replica technique은 실리콘 인상재를 사용하여 수복물과 지대치의 거리를 복제하여 단면의 거리를 측정하는 기술이다. 이 방법은 지르코니아 코어를 절단할 필요가 없어 코어 절단 시 발생하는 변연의 변형을 막을 수 있으며, 간단하고 측정할 부위를 임의적으로 늘릴 수 있어 반복적 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다(Molin과 Karlsson, 1993). 또한, silicone replica technique을 이용한 내부 및 변연부 적합도 검사에 관한 이전 연구들의 경우, 실험에 사용된 지대치 모형의 형상 및 크기가 제각각이고 개개의 연구를 위해 자체 제작된 모형만 사용되었기 때문에 개개의 연구에서 도출된 내부 및 변연 적합도 결과를 서로 비교분석하기가 쉽지 않다. 따라서 본 실험에서는 위에서 언급된 문제점을 해결하기 위하여 인공치아를 임의적으로 삭제한 지대치 모형이 아닌 제1대구치를 대칭적으로 단순화시킨 지대치 모형을 기반으로 5종의 CAD/CAM 기법으로 제작된 코어와 1종의 프레스 기법으로 제작된 코어(대조군)의 내부 및 변연부 적합도를 silicone replica technique으로 비교 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 금속 지대치 제작

본 연구에서는 주 모형은 Figure 1와 같이 윗면 직경 7.95 mm, 아랫면 직경 9.00 mm, 높이 5.00 mm, 6°의 taper를 가진 도록 형성하여 금속 지대치(stainless steel, AISI type 303, Korea)를 제작하였다.



**Figure 1.** Stainless steel die used in the study. (a) master model with stainless steel die (b) schematic drawing of stainless steel die

### 2. 인상채득과 복제모형 제작

주 모형인 금속 지대치를 Polyvinylsiloxane 인상재(Aquasil Ultra XLV, Densply International Inc., Milford, USA)와 Putty(Perfect-F, Han dae chemical co., LTD, Korea)로 인상채득한 후, 치과용 초경석고(Fujirock EP, GC Cor., Tokyo, Japan)로 석고 모형을 제작하였다. 진동기를 이용하여 기포를 제거하며 조심스럽게 인상체에 주입하여 한 시간 동안 경화시켰다. 제작된 석고 모형은 실험군 별로 5개씩 분류하였다(Figure 2(a)).

### 3. CAD/CAM 기법 및 프레스 기법을 이용한 코어 제작

각각의 석고 모형을 모형 스캐너(Ceramill map400, Amann Girnbach America, Inc., U.S.A)로 STL 파일 형식의 이미지를 획득하였고, 각각의 이미지를 이용하여 CAM 절삭가공기기로 CAD/CAM 기법으로 제작된 코어를 제작하였다(Table 1). 대조군으로는 프레스 기법으로 가장 잘 알려진 IPS e.max system (IPS e.max press, Ivoclar, Lichtenstein)을 선택하여, 왁스 소환법(lost wax technique)을 기반으로 0.5 mm 두께를 가진 리튬 다이실리케이트 성분의 코어를 925 °C에서 프레스 퍼니스(IPS e.max Press EP5000 press furnace, Ivoclar, Lichtenstein)에서 제작하였다. 실험군으로는 최근 많이 사용되는 5종의 지르코니아 블록을 선정하였다(Table 2). 지르코

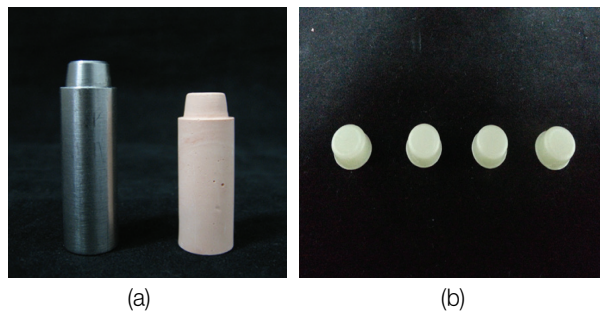
**Table 1.** Milling machine used in this study

Brand name	Milling machine	Manufacturer
Cameleon	Cameleon	Neo Biotech, Korea
Prettau zirconia	Zirkonzahn	Zirkonzahn, Italy
Ceramill Zolid	Ceramill motion 2	Amann Girrbach America, Inc., U.S.A
LUXEN Smile	CORITEC 250i	imes-icore GmbH, Germany
UPCERA Zirconia Block	Ceramill motion 2	Amann Girrbach America, Inc., U.S.A

**Table 2.** Zirconia block used in this study

Brand name	Manufacturer	LOT No.
Cameleon	Neo Biotech, Korea	ETDR143B150708
Prettau zirconia	Zirkonzahn, Italy	ZB4112B
Ceramill Zolid	Amann Girrbach America, Inc., U.S.A	760163
LUXEN Smile	DM Factory, Korea	150720-S2-2
UPCERA Zirconia Block	UPCERA, China	L22503007154-26

니아 코어의 상태를 재현하고 대조군과의 비교평가를 수행하기 위하여 코어 두께는 0.5 mm로 일정하게 제작하였고, 코어 내면에는 통상적인 방법으로 변연을 제외한 모든 부분에 균일하게 50  $\mu$ m의 공간을 부여하였다(Figure 2(b)).

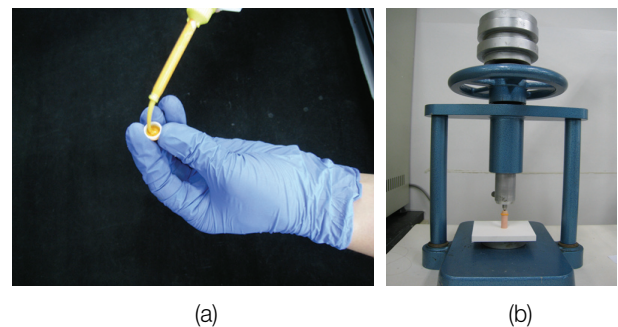


**Figure 2.** (a) Stone working model and (b) zirconia cores prepared by CAD/CAM system

#### 4. 실리콘 복제본 제작 및 변연 및 내면 적합도 측정

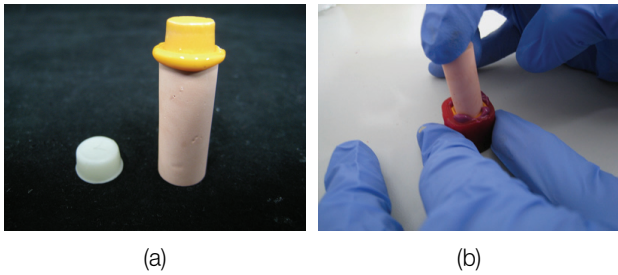
본 실험은 Molin과 Karlsson에 의해 소개된 silicone replica technique을 이용하여 내면 및 변연 적합도를 측정하였다 (Molin과 Karlsson, 1993). 제작된 석고모형의 지대치를 지르코니아 코어와 적합을 확인한 후, 지르코니아 코어 내면에 light body silicone(Aquasil Ultra XLV, Densply Caulk,

Milford, MA, USA)를 주입하고 지대치에 적합시켜 정하중기에 위치시킨 후, 50N의 하중으로 10분간 수직압력 하에 경화시켰다(Figure 3).



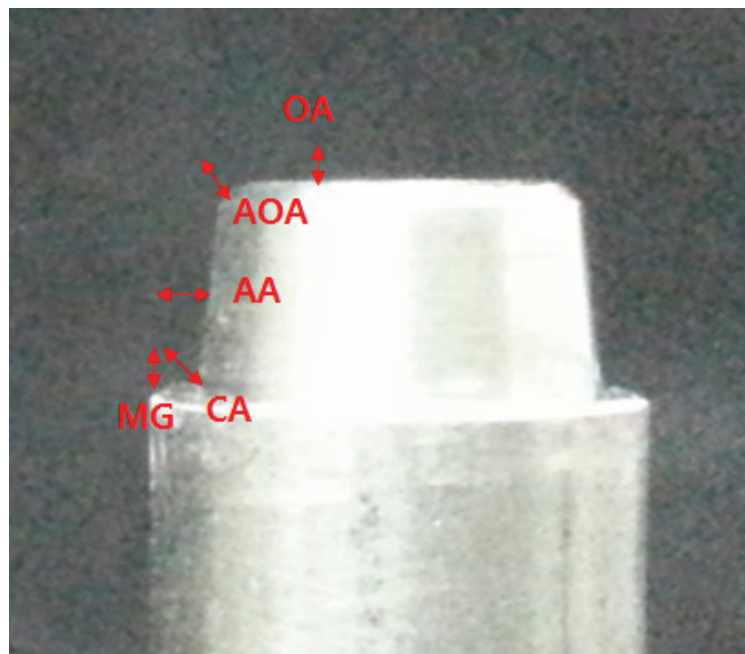
**Figure 3.** (a) The silicon implantation process to zirconia inner surface (b) Process of applying a 10 min pressure load of 50N

경화가 완료된 시편에서 조심스럽게 지르코니아 코어를 제거하고, 석고 지대치에 부착된 얇은 silicone film을 안정화시키기 위하여 부가적으로 medium body silicone(Aquasil Ultra Monophase, Densply Caulk, Milford, MA, USA)을 덮어주어 형태를 유지할 수 있도록 하였다(Figure 4).



**Figure 4.** (a) Light body silicone adhesive appearance after zirconia core removal (b) Medium body silicone reinforcement process

경화가 완료된 medium body silicone에서 석고 지대치를 제거한 후, 헹궈와 근원심으로 분할하였다. 시편의 절단된 단면은 결합 여부를 확인하기 위하여 먼저 육안검사를 시행한 후, 디지털 전자 현미경(KH-7000, HIROX, Tokyo, Japan)으로 관찰되었다. 측정지점은 변연(Margin; MG), 경사부(Chamfer area; CA), 축벽부(Axial area; AA), 우각부(Axio-occlusal angle area; AOA), 교합면부(Occlusal area; OA) 총 5 지점으로 나누어 4번씩 측정하여 평균값을 산출하였다.



**Figure 5.** Schematic representation of measuring areas (MG:Margin, CA:Chamfer Area, AA:Axial Area, AOA:Axio-Occlusal angle Area, OA:Occlusal Area)

## 6. 통계분석

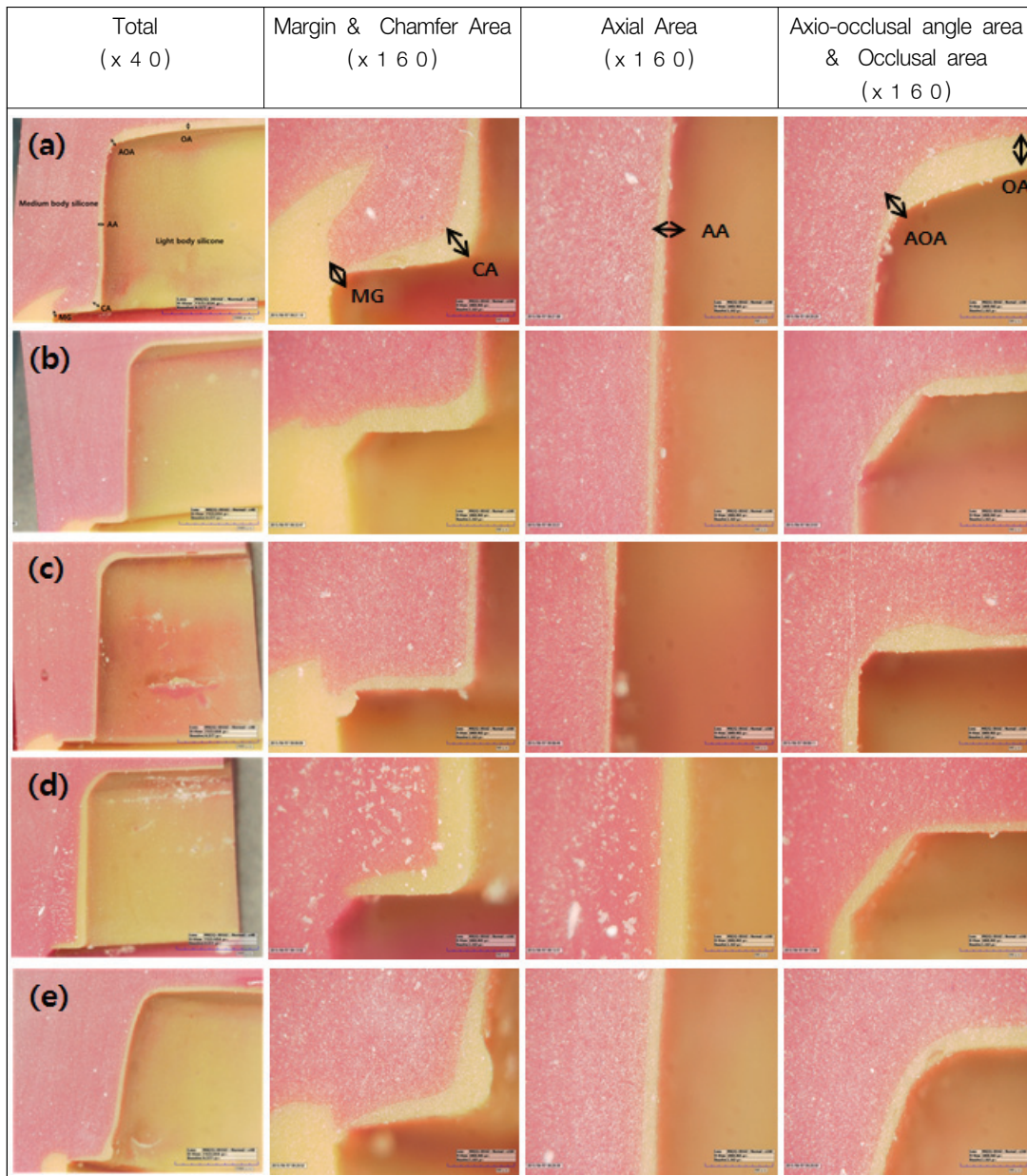
대조군과 CAD/CAM 시스템에 따른 5종의 지르코니아 코어의 변연 및 내면 적합도를 5지점에 따라 측정된 결과의 평균값은 IBM SPSS 프로그램(SPSS 22.0; IBM Co., Armonk NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)으로 통계처리하고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다( $\alpha=0.05$ ).

## III. 결과

디지털 전자 현미경을 이용하여 변연 및 내면 적합도의 평균값을 측정된 결과, 단면의 5 지점 중 교합면부를 제외한 모든 지점에서 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ )(Figure 6).

변연부에서는 Ceramill이 가장 정밀한 적합도를 보였으며, 대조군과 Cameleon은 상당한 차이의 변연간격을 나타내었다( $p<0.05$ ). 경사부에서는 Cameleon의 적합도가 가장 정밀하였고, 대조군은 최대간격을 나타내었다( $p<0.05$ ). 축벽부에서는 대조군이 가장 우수한 적합도를 나타내었으며, 우각부에서





**Figure 6.** Measurement figure of marginal fit and internal fit using digital microscope at (x40 & x160) magnification (a) Ceramill (b) Cameleon (c) Luxen (d) Prettau (e) Upcera.

는 Cameleon과 Luxen의 적합도가 가장 좋은 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 교합면부에서는 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ) (Figure 7). 따라서 모든 실험군의 내면 및 변연 적합도에서 통상적인 임상 허용치인 120  $\mu\text{m}$  이하의 값을 나타내었다.

#### IV. 고찰

고정성 보철물이 구강 내 수명을 오랜 시간 유지하기 위한 요인으로는 여러 가지가 있으나 그중 하나는 적합도이다. 적합도는 고정성 보철물과 지대치의 간격을 의미하며, 변연 간격은 구강 내 시적된 고정성 보철물의 수명을 결정짓는 가장 중요한 요소 중 하나이다(Grasso 등, 1985; Bader 등, 1991).

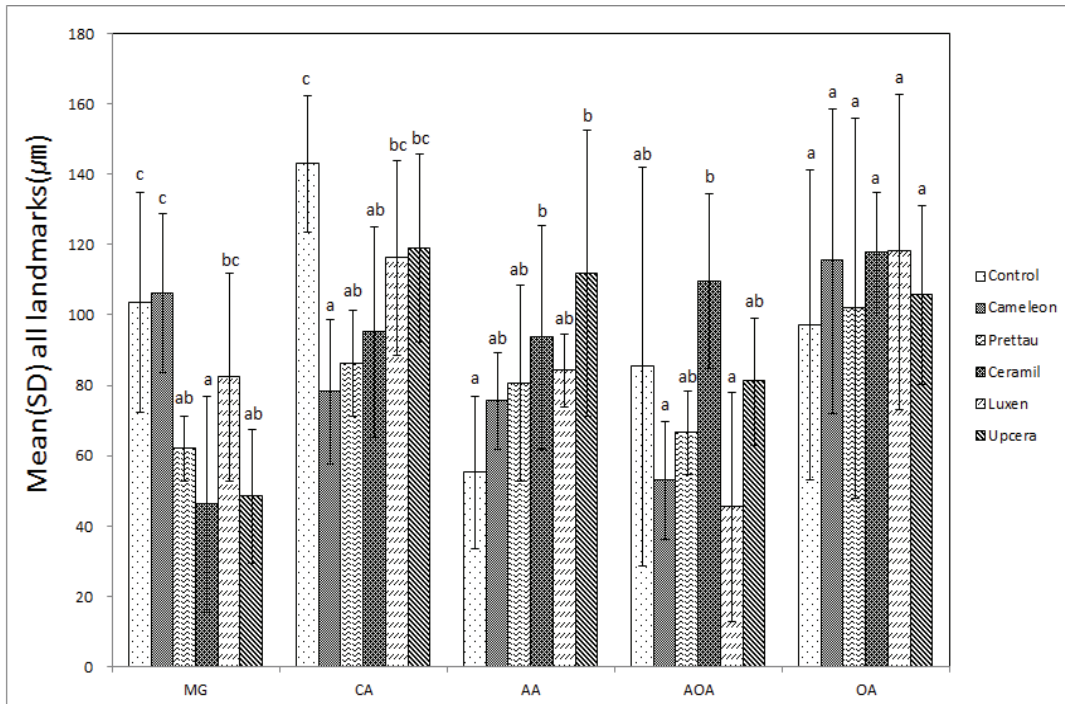


Figure 7. Mean(SD) all landmarks( $\mu\text{m}$ ) at each point, and one-way ANOVA test for comparison between groups.

자연치아를 지대치 모형으로 사용하는 것은 시간과 물리적으로 제약이 많기 때문에 적절치 않아, 선행연구에서는 dentiform을 이용하여 많은 실험을 진행하였다. 술자가 임의적으로 삭제한 dentiform 모형을 이용하거나, 삭제된 모형을 금속으로 복제하여 사용하였다(Strawn 등, 1996). 여러 종류의 CAD/CAM 시스템으로 제작된 지르코니아 코어의 적합도를 비교분석을 위해서는 통일된 조건으로 삭제되어진 지대치 모형이 필요하다(Song 등, 2013). 본 실험에서는 보다 정확한 기준을 가지고 있는 표준모형을 사용하고자 하였다. 따라서, 지르코니아 코어의 파절저항성을 알아보는 선행연구에서 이용된 가장 단순화된 지대치 모형을 사용함으로써 정확하고 보다 간편한 비교를 하고자 하였다(Jeoung 등, 2014).

변연 및 내면 적합도를 계측하는 방법에 대한 여러 가지 방법들이 선행 연구에서 제시되었다. Rahme 등(2008)은 silicone replica technique과 직접 시편사이를 절단한 내면 적합도를 비교 한 결과 두 가지 방법 모두 거의 동일한 정밀도를 나타내었다고 보고하였다. silicone replica technique은 과거에는 정확도가 낮다고 보고 하였으나 최근 부가 중합형 실리콘 인상재나 fit checker와 같은 정밀도가 향상된 재료들의

발전으로 인해 정밀도 측정에 많이 사용되어지고 있다. 직접 시편을 절단하는 방법은 가장 정밀하지만 측정 부위를 늘릴 수 없다는 단점이 있다. silicone replica technique은 보다 정확한 적합도와 동시에 여러 부위를 측정할 수 있는 장점이 있어 본 실험에서는 silicone replica technique을 채택하여 실험을 수행하였다.

Valderrama 등(1995)은 도재 금속관과 방전 가공한 티타늄관의 변연적합도 비교연구에서 도재 금속관은  $47\ \mu\text{m}$ , 티타늄관  $61\ \mu\text{m}$ 의 변연 적합도로 보고하였으며, 유의한 차이가 나타나지 않아 CAD/CAM 시스템에 의한 변연 적합도가 주조방식의 수준에 도달하였음을 알아내었다. 연구방법과 연구자에 따라 다양한 결과를 보이지만, 대부분 임상적인 변연 적합도의 허용치로  $120\ \mu\text{m}$  이하라 보고하였다. 본 연구에서도 5종의 지르코니아 코어의 변연 및 내면 적합도를 측정 한 결과, 모든 실험군에서 임상적 허용가능한 수치인  $120\ \mu\text{m}$  이하의 값을 나타내어 전반적으로 우수한 적합도로 임상적으로 적용하기에 충분하다고 판단된다. 한편, Belser 등(1985)은 전통적인 주조법에 의한 수복물인 도재 전장 주조 수복물의 변연 적합성은  $50\ \mu\text{m}$  이하로 구현할 수 있지만, 임상적으로  $100\ \mu\text{m}$  이상

의 변연 간격도 보고되고 있어 편차가 심한 단점이 있다고 보고하였다. 본 실험에서도 대조군의 내면 적합도 중 경사부의 간격( $142.84 \pm 19.29 \mu\text{m}$ )이  $120 \mu\text{m}$ 이상의 값을 나타내었다. 이는 술자의 기술에 따라 lost wax process로 제작된 대조군의 경사부 간격은 조절될 수 있는 부분이라 사료된다.

Sturdevant 등(1999)은 CAD/CAM 시스템으로 제작되는 전부 도재관의 적합도에 영향을 미치는 요인에는 스캔하는 방식, 소프트웨어의 디자인, 가공과 수축에서 오는 다양한 요소 등이 있다. CAD/CAM 제작과정 중 변연 간격의 차이가 날 가능성은 일차적으로 삭제된 지대치를 스캐너를 이용하여 3차원적 입력 시에 발생하고 컴퓨터 프로그램에서 기포 등의 오류를 수정하는 과정에서 발생한다고 보고하였다. 또, Mörmann와 Schug(1997)은 절삭 과정에서 발생하는 기계의 떨림이나 회전축의 흔들림, 절삭 공구의 마모와 같은 형태 결합에 의한 오류가 나타날 수 있다고 보고하였다. 본 실험에서도 변연과 내면 적합도의 오차 범위가 최저  $9.15 \mu\text{m}$ ~최고  $56.57 \mu\text{m}$ 를 나타내었다. 이는 선행연구에서 보고한 요인들에 기인하여 각각의 CAD/CAM 시스템에 따라 절삭되는 공구의 차이나 프로그램을 다루는 술자의 숙련도, 지르코니아 블록의 다양한 성질 등에 따라 오차를 보이는 것으로 사료된다.

Yang 등(2002)은 여러 전부 도재관 코어의 변연 및 내면 적합도를 정확하게 비교하기 위해서는 도재관의 제작 시스템의 다른 모든 조건이 동일해야 하며, 한 시편의 변연 간격을 나타내는 평균값을 구하려면, 적절한 측정횟수가 필요하다고 보고하였다. 따라서, 본 실험에서는 지르코니아 코어의 두께는 각 제조사마다 권장하는 두께가 있으나 동일한 조건으로 제작하기 위하여 모든 시스템의 권장 범주 안에 두께인  $0.5 \text{ mm}$  제작하였고, 내면의 relief는 변연을 제외한 모든 부분에  $50 \mu\text{m}$ 를 균일하게 부여하였다. 또, Figure 6과 같이 변연(Margin; MG), 경사부(Chamfer area; CA), 축벽부(Axial area; AA), 우각부(Axio-occlusal angle area; AOA), 교합면부(Occlusal area; OA) 총 5 지점을 4번씩 측정하여 평균값을 산출하여 보다 정확한 실험값을 얻고자 하였다.

최근 지르코니아의 수요가 증가되면서 변연 및 내면 적합도에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 따라서, 임상적용에 가능한 3-unit, 4-unit와 같은 계속가공의치의 변연 및 내면 적합도에 대한 추가 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## V. 결론

본 연구에서는 5종의 CAD/CAM 시스템으로 제작된 지르코니아 코어를 표준모형으로 제작된 석고 지대치 모형에 접합시켜 silicone replica technique을 이용하여 변연 및 내면 적합도를 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 디지털 전자 현미경을 이용하여 변연 및 내면 적합도의 평균값을 측정한 결과, 단면의 5 지점 중 교합면부를 제외한 모든 지점에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).
2. 변연부에서는 Ceramill( $46.10 \pm 30.57 \mu\text{m}$ )이 가장 좋은 적합도를 보였으며, 대조군( $103.53 \pm 31.20 \mu\text{m}$ )과 Cameleon( $106.14 \pm 22.49 \mu\text{m}$ )은 상당한 차이의 변연간격을 나타내었다( $p < 0.05$ ).
3. 경사부에서는 Cameleon( $78.17 \pm 20.65 \mu\text{m}$ )의 적합도가 가장 우수하였고, 대조군( $142.85 \pm 19.29 \mu\text{m}$ )은 최대간격을 나타내었다( $p < 0.05$ ).
4. 축벽부에서는 대조군( $55.31 \pm 21.60 \mu\text{m}$ )이 가장 정밀한 적합도를 나타내었으며, 우각부에서는 Cameleon( $52.87 \pm 16.77 \mu\text{m}$ )와 Luxen( $45.45 \pm 32.67 \mu\text{m}$ )의 적합도가 가장 좋은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

따라서, 각각의 CAD/CAM 시스템에 따라 변연 및 내면 적합도의 차이를 보였으나 모두  $120 \mu\text{m}$  이하로 임상적으로 적용 가능한 범위 내에 있는 것으로 보아 임상사용에 적합한 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2016학년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행됨.

## VI. 참고문헌

- Bader JD, Rozier RG, McFall WT Jr, Ramsey DL (1991). Effect of crown margins on periodontal conditions in regularly attending patients. *J Prosthet Dent* 65(1):75-9.

- Belser UC, MacEntee MI, Richter WA (1985). Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent* 53(1):24-9.
- Bindle A, Lüthy H, Mörmann WH (2006). Thin-wall ceramic CAD/CAM crown copings: strength and fracture pattern. *J Oral Rehabil* 33(7):520-8.
- Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kästner K, Walter MH (2000). Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent* 84(4):419-24.
- Fischer H, Weber M, Marx R (2003). Lifetime prediction of all-ceramic bridges by computational methods. *J Dent Res* 82(3):238-42.
- Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC, Wirthman GP (1991). Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. *J Prosthet Dent* 65:357-64.
- Grasso JE, Nalbandian J, Sanford C, Bailit H (1985). Effect of restoration quality on periodontal health. *J Prosthet Dent* 53(1):14-9.
- Jeoung SH, Kim JM, Park DR, Park JY, Bae JM, Oh SH (2014). Effect of core surface treatment on the fracture resistance of zirconia restoration. *J Korean Res Soc Dent Mater* 41(3):161-169.
- May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR (1998). Precision of fit: the Procera AllCeram crown. *J Prosthet Dent* 80(4):394-404.
- Molin M, Karlsson S (1993). The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand* 51(4):201-6.
- Mörmann WH, Schug J (1997). Grinding precision and accuracy of fit of CEREC 2 CAD-CIM inlays. *J Am Dent Assoc* 128(1):47-53
- Rahme HY, Tehini GE, Adib SM, Ardo AS, Rifai KT (2008). In vitro evaluation of the "replica technique" in the measurement of the fit of Procera crowns. *J Contemp Dent Pract* 1;9(2):25-32.
- Schwartz NL, Whitsett LD, Berry TG, Stewart JL (1970). Unserviceable crown and fixed partial denture: life-span and causes for loss of serviceability. *J Am Dent Assoc* 81:1395-401.
- Song TJ, Kwon TK, Yang JH, Han JS, Lee JB, Kim SH, Yeo IS (2013). Marginal fit of anterior 3-unit fixed partial zirconia restorations using different CAD/CAM systems. *J Adv Prosthodont* 5(3):219-25.
- Sorensen JA (1990). A standardized method for determination of crown margin fidelity. *J Prosthet Dent* 64(1):18-24.
- Suttor D, Bunke K, Hoescheler S, Hauptmann H, Hertlein G (2001). LAVA--the system for all-ceramic ZrO2 crown and bridge frameworks. *Int J Comput Dent* 4(3):195-206.
- Strawn SE, White JM, Marshall GW, Gee L, Goodis HE, Marshall SJ (1996). Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions—short term. *J Dent* 24(6):417-23.
- Sturdevant JR, Bayne SC, Heymann HO (1999). Margin gap size of ceramic inlays using second-generation CAD/CAM equipment. *J Esthet Dent* 11(4):206-14.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice KJ (2001). Marginal fit of alumina-and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper Dent* 26(4):367-74.
- Valderrama S, Van Roekel N, Andersson M, Goodacre CJ, Munoz CA (1995). A comparison of the marginal and internal adaptation of titanium and gold-platinum-palladium metal ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 8(1):29-37.
- Yang JH, Yeo IS, Lee SH, Han JS, Lee JB (2002). Marginal Fit of Celay/in-Ceram, Conventional In-Ceram And Empress 2 All-Ceramic Single Crowns. *J Kor Acad Prosthodont* 40(2):131-139.