

지대치 변연 형태에 따른 수작업과 CAD/CAM으로 제작한 coping 패턴의 적합도 비교

한민수¹, 권은자¹, 최에스터¹, 김시철^{1*}
¹혜전대학교 치기공과

Comparison of the fit of the coping pattern constructed by manual and CAD/CAM, depending on the margin of the abutment tooth

Min-soo Han¹, Eun-Ja Kwon¹, Esther Chio¹, Si-chul Kim^{1*}

¹Dept. of Dental Laboratory technology, Hyejeon College

요약 본 연구는 수작업으로 제작된 metal coping과 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)으로 제작된 지르코니아 coping을 제작하여 변연과 내면 적합도를 비교 분석하고자 하였다. 모형은 우레탄 모형재를 사용하여 knife, chamfer 변연 두 종류의 지대치를 제작하였다. 수작업과 CAD/CAM으로 제작된 보철물의 변연 적합도를 실리콘 리플리카 테크닉방법을 사용하여 측정하였다. 적합도 측정은 현미경의 CCD카메라로 캡처하였다. 이때 지대치와 보철물의 거리는 이미지분석 소프트웨어에서 거리 조정이 된 상태에서 실시하였다. 측정부위는 marginal opening을 MO, marginal gap을 MG, internal gap을 IG, Axial gap을 AG, occlusal gap을 OG로 하였다. 제작법과 변연 형태에 따른 비교분석을 위해 이원배치분산 분석을 실시하였으며 서로 다른 평균값들의 비교 분석을 위해서 일원배치분산분석과 Scheffe's 사후 검정을 실시하였다. 그 결과 CAD/CAM의 OG와 knife 변연의 MO를 제외하고는 <120 μm 적합도를 나타냈다. CAD/CAM으로 제작된 coping은 chamfer 변연 MO에서 높은 적합도를 보였으나 MG에서는 knife 변연이 chamfer 변연 보다 더 좋은 적합도를 보였다. AG의 내면 적합도는 가장 좋은 값을 나타내었다(<38 μm).

Abstract The purpose of this study is to compare the marginal and internal fit of metal and zirconia coping which is fabricated by manual and CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing). The model is prepared with Urethane material and two abutment teeth are fabricated with a knife and chamfer margin. Silicon replica technique is used to measure the marginal fit of manually fabricated and the CAD/CAM coping. Internal fitting level is measured with a microscope and the image is captured with a CCD camera. The distance between abutment teeth and coping is measured with a calibrated image analyzer software; marginal opening (MO), marginal gap (MG), internal gap (IG) at maximum curvature area, axial gap (AG), and occlusal gap (OG). Two-way ANOVA test is applied to compare fabrication technique and to analysis of abutment pattern. In addition, one-way ANOVA and Scheffe's test is used to analyze each parameter of the test. The result shows that the fit is <120 μm except OG of CAD/CAM and MO of knife margin. The CAD/CAM fabricated coping showed higher fit level at chamfer margin. However, knife margin showed better fitness compared to chamfer margin at MG. AG showed the minimum dimension with a constant result (<38 μm).

Keywords : marginal gap, internal gap, CAD/CAM

*Corresponding Author : Si-chul Kim(Hyejeon College)

Tel: +82-10-4325-6608 email: iyoseb@naver.com

Received July 1, 2015

Revised August 7, 2015

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

1. 서론

치과 주조용 보철물은 통상적으로 환자 치아나 지대치 모형에서 형성된 왁스패턴을 매몰, 소환, 주조의 과정을 거쳐 제작된다[1]. 최근에도 골드 크라운, 골드 인레이, 금속도재관, 국소의치 금속 프레임, 임플란트 등의 치과 보철물을 제작하기 위해서는 정밀한 왁스패턴 제작은 기본적으로 요구되고 있다. 이러한 수작업으로 제작한 치과 주조 보철물은 정밀한 보철물 제작이 가능하지만 여러 단계의 기공제작 과정이 요구되고 치과기공사의 숙련도에 따라 차이가 나타나는 단점이 있다.

그러나 최근 IT 기술이 발달되면서 3차원 스캐너 장비와 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터의 모니터 안에서 보철물을 디자인 후 완성된 데이터 외형 그대로 제작하는 것이 가능해 졌다. 이러한 컴퓨터 기술을 사용한 물체의 외형을 제작하는 가공방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 3D 프린터와 같이 새로운 층을 계속 쌓는 방식인 적층가공법(additive manufacturing)과 재료를 자르거나 깎는 방식의 절삭가공법(subtractive manufacturing)이다. 이중 절삭 가공법 중에 가장 대표적인 것이 치과용 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 시스템이다. 1980년대 초 치과 영역에 처음 소개 되면서 CAD/CAM 시스템은 수작업에 의한 주조방식에 필요한 많은 기공과정을 줄여주고 치과수복물의 작업자 숙련도에 따른 정밀도의 차이를 줄일 수 있는 대안으로 제시 되었다[2]. 그러나 초기 과도한 장비비용과 변연 적합도가 수작업의 주조 방식에 미치지 못한다는 문제점이 있었다[3]. 그러나 이러한 문제점은 IT 기술과 첨단 과학기술의 꾸준한 발전으로 CAD/CAM 장비 비용도 저렴해 지고 다양한 재료들을 절삭가공법으로 제작할 수 있게 되었다[4]. 치과 보철물 제작에 CAD/CAM시스템이 보급되면서 주조용 metal coping을 대체할 재료 중 가장 많이 사용되는 재료는 zirconia 소재이다. 지르코니아는 금속과 유사한 강도를 가지고 있으며 치과보철물의 심미성과 생체친화력이 좋아 가장 많이 쓰이고 있다. 초기 지르코니아는 완전 소결된 블록을 사용하여 가공하였으나 최근에는 부분 소결된 블록을 사용하여 절삭가공 후 소결을 하여 제작한다. 완전 소결된 블록은 단단하고 가공이 어려워 밀링 bur의 소모가 많고 정밀도가 떨어지지만 부분 소결된 블록은 가공이 쉽고 bur 소모가 적어 현재는 가장 많이 사용되고 있는 방법

이다[5,6].

성공적인 치과 보철물의 중요한 임상적 요구사항에 하나는 우수한 적합도이다. CAD/CAM 시스템으로 제작한 지르코니아 패턴의 내면 적합도는 최종 수복물의 적합도를 결정한다. 최근 CAD/CAM 시스템으로 적합도 분석이 많이 보고 되고 있다. 그러나 변연 형태에 따른 적합도 비교 분석은 거의 보고된 바가 없다. 변연의 형태는 치과 의사가 환자 치아를 수복하기 위해 수복되는 재료에 따라 형성을 하게 된다. 그중 chamfer 변연과 knife 변연은 가장 많이 임상에서 형성되어지는 변연이다. 이에 본 연구에서는 주조용 metal coping과 CAD/CAM 시스템을 이용한 지르코니아 coping을 제작하여 knife 변연 chamfer 변연에 따른 적합도 측정을 하여 어떤 변연이 적합도에 좋은지 비교분석 하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 주모형 제작

적합도 측정을 위해 치아 모형인 덴티폼(A50-Assortment, Nissin dental, Japan)을 사용하였다. 이중 상악 우측 1대구치 치아 knife 변연 160번과 chamfer 변연 162번을 선택하여 레진 치아들이 지평면과 수직이 되도록 경석고로 고정하였다. 고정된 레진치아는 실리콘 인상재(Deguforn, Degudent, Germany)로 복제하였고 복제된 몰드를 사용하여 우레탄 모형재(Polyurock, Metaux, Germany)로 2종류의 변연형태(knife and chamfer)를 각각 6개씩 주모형 24개를 제작하였다.

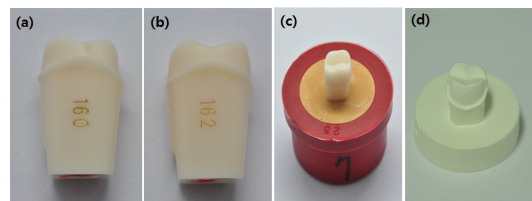


Fig. 1. specimen fabrication process (a)model of chamfer margin (b)model of knife margin (c)master model (d)urethane cast.

2.2 수작업에 의한 주조 패턴 제작

수작업에 의한 주조패턴을 제작하기 위하여 각 모형에 왁스 분리제(Yeti Lube, Yeti dental, Germany)를 도포 후 디핑 포트(Vario E, Lenfert, Germany)에 왁스(Gio-dip, Lenfert, Germany)를 넣어 dipping하였다. 이후 인레이 왁스(Inlay wax, GC, Japan)를 사용하여 두께 0.5 mm가 되도록 조각하여 왁스 패턴을 제작하였다. 제작된 왁스 패턴은 통상적 방법으로 주입선 부착, 매몰, 소환을 하여 주조하였다. 이때 주조는 고주파 주조기(Millennium R-hd, MANFREDI, Italy)로 금속(VeraBond2V, Aalloadent, USA)을 녹여 chamfer와 knife 변연 6개씩 12개의 금속 coping 패턴을 완성하였다.

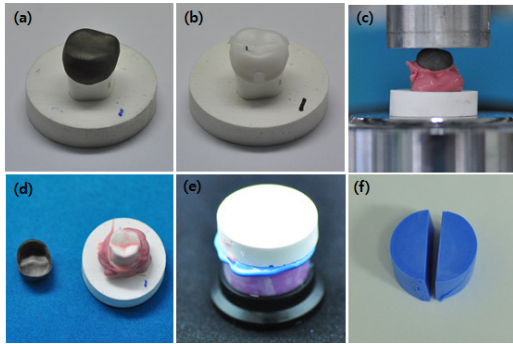


Fig. 2. Measuring process (a)Co-Cr coping (b)zirconia coping (c)50N Pressure of Standard weight device (d)Co-Cr crown is removed from the model (e)investment of heavy body silicone (f)final cut specimens

2.3 치과용 CAD/CAM을 이용한 지르코니아 패턴 제작

CAD/CAM을 이용한 패턴 제작은 knife 변연와 chamfer 변연 각각 6개씩 광학식 입력장치(inEox X5, Sirona, Germany)를 이용하여 시편모형을 스캐닝하였다. 스캔된 3차원 모형은 프로그램(Sirona cerec inlab, Sirona, Germany)을 이용하여 margin 상방으로 40 μm의 디스페이스 공간 부여하였다. 그리고 일반적인 coping을 디자인한 다음 밀링머신(DWX-50, Rolland, Germany)를 이용하여 지르코니아 블록(Zirpremium-WDS12-UT, Heraeus, Netherlands)을 밀링하였다. 이때 사용된 밀링 bur는 디자인 형태에 따라 자동 교체하

였다. 밀링 후에는 신터링 퍼네스(Infire htc speed, Sirona, Germany)로 소결(sintering)을 실시하여 chamfer와 knife 변연 6개씩 12개의 지르코니아 coping 패턴을 완성하였다.

2.4 내면 적합도 측정

수작업과 CAD/CAM으로 제작된 보철물은 실리콘 복제법을 이용하여 적합도를 측정하였다. 보철물과 모델 시편 사이에 light body 실리콘(Smart sil, Seilglobal, Korea)을 채운 후 지대치 모형과 보철물에 손가락 압력을 일차 가압 후 50 N의 정하중기 압력으로 실리콘이 경화할 때 까지 유지 하였다. Light body 실리콘의 경화가 끝난 후에는 조심스럽게 보철물을 제거하였다. Light body 실리콘은 형태 유지가 어렵고 측정하기가 어렵기 때문에 파라핀 왁스로 박싱하여 Regular body 실리콘(Charmflex, denkist, Korea)을 채운 후 매몰하였다. Regular body 실리콘이 경화된 후 근원심 중앙이 위치하도록 협설 방향으로 절단하여 분리하였다 (Fig. 2). 분리된 실리콘 시편은 실체현미경(S39A, MIC, USA)과 현미경 디지털 카메라(Eyecam, MIC, USA)를 이용하여 x100배로 촬영한 후 이미지분석 소프트웨어(Toupview 3.5, MIC, USA)를 사용하여 내면 적합도를 측정하였다. 측정 전 소프트웨어는 거리조정 표준 슬라이드를 이용하여 픽셀의 거리값을 조정하였다. 측정부위는 보철물의 끝 모서리 부분과 지대치 변연의 부분에 틈을 marginal opening이라 하여 MO, 지대치 변연에서 보철물까지 수직 거리를 marginal gap이라 하여 MG, 지대치 변연으로부터 약 400 μm 상방에 거리를 internal gap이라 하여 IG이라 하였다. 또한 지대치 측면은 편평한 3부분의 측정 평균값을 AG, 교합면의 중앙부를 occlusal gap으로써 OG로 하였다. 측정은 지대치에서 협설방향으로 하여 측정하였다. 이때 AG, OG는 시멘트 스페이스 공간 40 μm만큼 평균값에서 제외하고 값을 구였다. Fig. 3은 본 연구에서 지정한 측정부위를 실체현미경으로 촬영한 사진이다.

2.5 통계분석

각 영역에서 지대치 유형과 제작방법이 미치는 영향을 알기 위하여 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 또한 각 그룹 간 평균값들의 통계적 차이를 알아보기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과

Table 1. Mean gap dimensions (μm) and standard deviation

Gap area	Manual		CAD/CAM	
	knife	chamfer	knife	chamfer
MO	73(39) ^a	80(36) ^{ab}	152(35) ^c	111(52) ^b
MG	58(37) ^a	62(36) ^a	44(29) ^a	53(25) ^a
IG	75(30) ^{ab}	95(48) ^b	58(32) ^a	86(31) ^{ab}
AG	27(26) ^a	38(33) ^a	22(16) ^a	20(19) ^a
OG	57(36) ^a	86(48) ^a	201(86) ^c	136(62) ^b

MO: marginal opening, MG: marginal gap, IG: internal gap, AG: Axial gap, OG: occlusal gap

Duncan's test를 시행하였다. 통계분석은 SPSS version 21 (SPSS Inc., USA)를 이용하여 유의수준은 $p < 0.05$ 수준으로 결정하였다.

3. 연구결과

제작한 coping 패턴의 변연 형태와 제작방법에 따른 각 영역에서 틈의 평균값은 Table 1에 정리하였으며, Fig. 4는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 전체적인 틈의 평균값은 CAD/CAM knife OG($201 \pm 86 \mu\text{m}$)를 제외하고 $< 150 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 또한 MG, IG, AG의 평균값은 $< 100 \mu\text{m}$ 의 값을 보였다. 각 부위별 일원배치분산분석 결과 평균값의 비교에서 MO에서는 수작업에 의한 knife 변연이 가장 작은 값을 나타냈으며, CAD/CAM에 의한 knife 변연의 값이 가장 큰 평균값을 나타냈다. MG와 AG는 수작업과 CAD-CAM으로 제작한 knife 변연과 chamfer 변연에서의 값은 큰 차이가 없었으며, AG의 값은 다른 측정부위보다 제일 작은 값($< 38 \mu\text{m}$)을 나타내었다. IG, OG는 수작업으로 제작한 coping 패턴의 값이 CAD/CAM으로 제작한 coping 패턴의 값보다 좋은 적합도를 보였다. 또한 CAD/CAM으로 제작한 coping 패턴은 MO, OG에서는 knife 변연보다 chamfer 변연의 값이 좋은 적합도를 보였다.

Table 2는 각 내면적합 측정부위에서 변연 형태와 제작방법에 따른 일원배치분산분석 결과이다. MO와 OG는 변연의 형태와 제작방법의 상호작용 효과가 나타났으며, 변연 형태에 따른 유의한 차이는 보이지 않았으나 제작방법에 따른 유의한 차이는 보였다. 또한 IG는 변연 형태에서만 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).

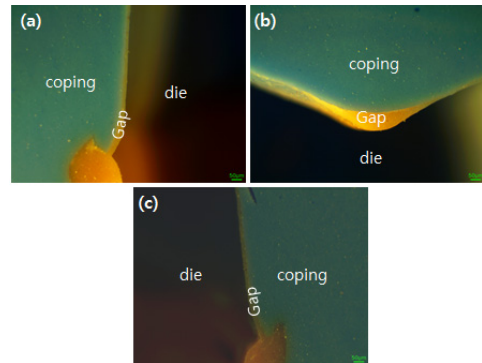


Fig. 3. Gap formation between coping patterns and Urethane die (a) MO and MG at knife margin, (b) AG, (c) OG.

Table 2. Results of two-way ANOVA

Gap location	Source	P-value
MO	Margin	.151
	Technic	.000
	Margin x Technic	.048
MG	Margin	.490
	Technic	.243
	Margin x Technic	.799
IG	Margin	.023
	Technic	.213
	Margin x Technic	.680
AG	Margin	.478
	Technic	.098
	Margin x Technic	.350
OG	Margin	.321
	Technic	.000
	Margin x Technic	.011

Margin: knife or chamfer, Technic: manual or CAD/CAM, MO: marginal opening, MG: marginal gap, IG: internal gap, AG: Axial gap, OG: occlusal gap

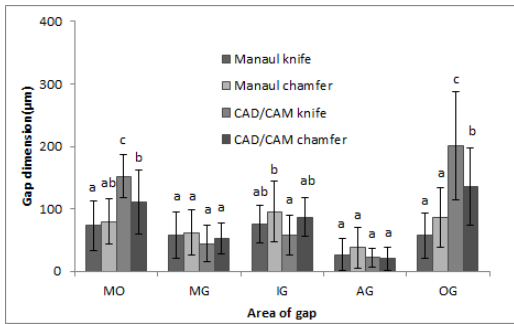


Fig. 4. Mean gap dimensions of prosthetic restorations

4. 고찰

치과 보철물의 기능적 만족을 시키기 위해서는 구조적 견고성, 생체 친화성, 변연 적합성, 구강내 색조 안정성 등의 여러 조건들을 갖추어야 한다. 그중에서도 적합도는 보철 수복물을 평가하는데 있어서 가장 중요한 항목이다. 적합도가 좋을수록 보철물 수복 후 치아 우식증과 변연 주위의 치태 축적으로 인한 치은·치주염을 예방할 수 있다. 따라서 보철물의 임상적 적용을 위해서는 적합도에 대한 평가가 선행 되어야 하고 평가 기준이 객관성을 갖기 위해서는 변연의 형태와 위치, 주모형의 정확도, 수복재료의 종류와 제작방법, 시멘트 공간, 적합도 측정 방법, 측정부위 등이 고려되어야 한다[7].

적합도 측정을 하기 위해서는 삭제된 동일한 조건의 자연치아가 필요하다. 하지만 자연치아는 발치 후 시간 변화, 보관 여건에 따른 물리적 성질 변화와 동일한 형태의 시편을 제작 할 수 없다[8]. 이에 본 연구에서는 레진 치아 모형을 실리콘으로 복제하여 우레탄 모형재로 주모형을 제작하였다.

적합도 측정방법과 측정부위에 대한 국제적인 표준 기준은 아직 없다. 하지만 선행연구에서 측정 방법으로 첫 번째, 보철물을 시편에 적합시킨 후 변연의 틈을 관찰하는 방법과 두 번째, 시편 절단 후 내면 적합도까지 관찰하는 방법 그리고 세 번째, 인상재를 이용한 치관 전체의 적합도를 평가하는 방법이 있다[9,10]. 또한 측정 장비로는 광학 현미경, 전자현미경, 마이크로 CT, 비파괴 검사를 통해 측정하였다[11,12]. 본 연구에서는 수작업과 CAD/CAM을 이용한 보철물은 강도 및 경도가 강하여 시편 절단이 어렵고 지대치 모형의 파손 방지와 내면의 측정 부위를 수월하게 증가 시키며 여러 부분을 동시

에 측정할 수 있는 replica technique을 사용하여 실제 현미경으로 측정 분석하였다.

측정 부위에 대한 선행연구는 Beuer 등(2009)은 서로 다른 2종류의 지르코니아 보철물을 제작하고 지대치 변연에서 변연 끝 사이를 marginal opening(MO)로 하고, chamfer 변연의 가장 깊은 곳에서 지르코니아 내면까지의 거리를 CA(chamfer area)라 하여 근원심면, 순면, 설면 4곳을 측정하였다[13]. 또한 Holmes 등(1989)은 지대치의 변연과 수복물 변연사이의 거리를 absolute marginal discrepancy(AMD)라 하였고 지대치 변연 또는 수복물 변연에서 가장 가까운 거리를 marginal gap이라고 하였다. 또한 지대치 측면에서 수복물 내면까지의 수직 거리를 internal gap이라 하였다[14]. 본 연구의 내면 적합도 측정부위는 MO와 MG는 Holmes 등(1989)의 AMD와 MG에 해당되며, IG (internal gap)는 일률적인 측정을 위해 변연 상방 400 µm에서 측정하였다. 또한, AG 및 OG는 각각 이름은 다르지만 Beuer 등(2009)의 측정위치와 같다. 보철물의 적합도 측정을 위하여 시편에서 MO 2곳, MG 2곳, IG 2곳, AG 4곳, OG 2곳을 각각 합하여 평균값으로 변연 형태에 따른 적합도를 분석하였다.

적합도 간격의 임상적 허용 값에 대한 연구도 많았다. 변연 적합도가 떨어질수록 미세누출이 증가하여 치태 및 치석이 증가하고 음식물 침착과 치은 주위 조직에 염증이 발생할 수 있다고 하였고, 미세한 변연간격의 틈으로 시멘트 용해가 생겨 지각과민과 이차우식이 발생하여 보철물의 수명과 잔존 치아의 수명을 감소시키는 원인이 될 수 있다[15,16]. 선행연구에서 Jenkins 와 Phillips (1971), Chan 등(1998)은 전통적인 주조법에 의해 제작된 수복물은 50 µm 이하의 변연적합을 보인다고 하였고 [17,18], Mclean 등(1971)은 1000개의 5년 이상된 보철물을 조사하여 120 µm이하의 변연간격을 수용할 수 있다고 하였다[19]. 대부분의 선행연구에서는 100-120 µm 변연 간격을 적정 변연 간격이라고 보고하고 있다 [19-21]. 이에 본 연구에서는 120 µm의 간격을 기준으로 하여 비교 분석하였다.

본 연구의 이원배치분산분석 결과 변연 형태와 제작방법에 따른 MO와 OG는 변연의 형태와 제작방법의 상호작용 효과가 나타났으며, 변연 형태에 따른 유의한 차이는 보이지 않았으나 제작방법에 따른 유의한 차이는 보였다. 수작업으로 제작한 보철물은 선행 연구에서의

50 μm 보다 다소 크게 제작 되었지만 변연형태와 상관없이 임상적 허용 기준 간격(120 μm)보다는 작은 값을 나타내었다. 하지만, CAD/CAM으로 제작한 보철물은 chamfer 변연에서의 값은 임상적 허용기준에 근접하였으나, knife 변연에서의 값은 MO, OG에서 임상적 허용 기준 간격(120 μm)보다 큰 값을 나타내었다. 특히 CAD/CAM으로 제작한 knife 변연 OG에서는 평균값이 201 μm 로 다른 군에 비하여 매우 큰 값을 보여 주어 제작 시 주의가 요구 되었다. 또한 MO에서의 틈은 보철물과 지대치의 미세 누출의 직접적인 영향을 주기 때문에 좋은 적합도가 필요하다. 이에 CAD/CAM으로 치과보철물을 제작 할 때에는 knife 변연 보다는 chamfer 변연을 형성하여 보철물을 제작하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 또한 다른 CAD/CAM장비를 사용하여 이번 실험과 같은 변연 형태가 적합도에 차이를 나타나는지 추후 실험이 더 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 변연 형태에 따른 수작업과 CAD-CAM을 이용하여 보철수복물을 제작한 후 변연 형태에 따른 내면 적합도를 측정, 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 제작된 치과 보철물의 적합도는 CAD/CAM으로 제작된 knife 변연에서 MO, OG를 제외하고 전체적으로 <120 μm 로 임상적 허용 한계 이내에 있었다.
2. 변연 형태에 따른 비교에서 수작업은 모두 좋은 적합도를 보였으나 CAD/CAM으로 제작된 보철물은 knife 변연 보다 chamfer 변연이 더 높은 적합도를 보였다.
3. MG, AG는 제작 방법과 변연의 형태에 관계없이 모두 우수하였다.
4. 수작업은 CAD/CAM으로 제작된 보철물 보다 우수한 내면 적합도를 나타냈다.

전체적으로 CAD/CAM에 의한 보철물은 수작업에 비교할 만한 적합도를 보여주었다. 그러나 CAD/CAM에 의한 OG에서의 틈은 다소 큰 값을 보여 주의와 향후 개

선이 요구되었다.

References

- [1] K. J. Anusavice, "Phillips' science of dental materials", 11th ed, pp.565, 2006.
- [2] K. B. Kim, S. H. Kim, J. H. Kim, "Marginal adaptation of zirconium dioxide core according to the abutment teeth", *J Dent Hyg Sci*, 1:54-59, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0396>
- [3] D. Rekow, "Dental CAD/CAM systems: A 20-year success story", *J Am Dent Assoc*, 137: 5S-6S, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0396>
- [4] J. R. Strub, E. D. Rekow, S. Witkowski, "Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities", *J Am Dent Assoc*, 137(9):1289-1296, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0389>
- [5] C. E. Besimo, H. P. Spielmann, H. P. Rohner, "Computerassisted generation of all-ceramic crowns and fixed partial dentures", *Int J Comput Dent*, 4:43-62, 2001.
- [6] K. B. Kim, G. T. Lee, H. Y. Kim, J. H. Kim, "The influence of different gypsum materials on the accuracy from complete arch digital impression", *J Dent Hyg Sci*, 12:617-623, 2012.
- [7] H. T. Shillingburg, S. Hobo, D. W. Fisher, "Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations", *J Prosthet Dent*, 29:276-84, 1973. DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0389>
- [8] J. M. Carter, S. E. Sorensen, R. R. Johnson, R. L. Teitelbaum, M. S. Levine. "Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth", *J Biomech*, 16:841-848, 1983. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(83\)90008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(83)90008-8)
- [9] J. A. Sorensen, "A standardized method for determination of crown margin fidelity" *J Prosthet Dent*, 64:18-24, 1990. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(90\)90147-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(90)90147-5)
- [10] B. H. Moon, J. H. Yang, S. H. Lee, H. Y. Chung, "A study on the marginal fit of all-ceramic crown using ccd camera" *J Kor Acad Prosthodont*, 36:273-292, 1998.
- [11] S. Pelekanos, M. Koumanou, S. O. Koutayas, S. Zinelis, G. Eliades, "Micro-CT evaluation of the marginal fit of different In-Ceram alumina copings", *Eur J Esthet Dent*, 4:278-292, 2009.
- [12] C. J. Lee, S. B. Bok, J. Y. Bae, H. H. Lee, "Comparative adaptation accuracy of acrylic denture bases evaluated by two different methods", *Dent Mater J*, 29(4):411-417, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2009-105>
- [13] F. Beuer, M. Naumann, W. Gernet, J. Sorensen, "Precision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses", *Clin Oral Investig*, 13:343-349, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-008-0224-6>
- [14] J. R. Holmes, S. C. Bayne, G. A. Holland, W. D. Sulik,

"Considerations in measurement of marginal fit", *J Prosthet Dent*, 62:405-408, 1989.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(89\)90170-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(89)90170-4)

- [15] D. A. Felton, B. E. Kanoy, S. C. Bayne, G. P. Wirthman, "Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health", *J Prosthet Dent*, 65:357-364, 1991.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(91\)90225-L](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(91)90225-L)
- [16] J. Grasso, J. Nalbandian, C. Sanford, H. Bali, "Effect of restoration quality on periodontal health", *J Prosthet Dent*, 53:14-19, 1985.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90056-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(85)90056-3)
- [17] C. B. G. Jenkins, R. W. Phillips, "An evaluation of five inlay investing techniques employed with different types of wax patterns", *J Prosthet Dent*, 25:211-220, 1971.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(71\)90110-7](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(71)90110-7)
- [18] D. C. N. Chan, R. Blackman, D. A. Kaiser, K. Chung, "The effect of sprue design on the marginal accuracy of titanium casting", *J Oral Rehabil*, 25:424-429, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2842.1998.00268.x>
- [19] J. W. McLean, J. A. Von Fraunhofer, "The estimation of cement film thickness by an invivo technique", *J Br Dent*, 131:107-111, 1971.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bdj.4802708>
- [20] G. J. Christensen, "Marginal Fit of Gold Castings", *J Prosthet Dent*, 16:297-305, 1966.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913\(66\)90082-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3913(66)90082-5)
- [21] S. C. Kim, M. S. Han, B. J. Choi, C. J. Lee, H. Lee, "Internal fit of bridge patterns fabricated by a 3D printing technique" *J Korea Res Soc Dent Materials*, 4:239-244, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.4.239>

한 민 수(Min-Soo Han)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 도자기 기술학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 공주대학교 식품공학과(공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 혜전 대학교 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, 치과재료, 식품공학

권 은 자(Eun-Ja Kwon)

[정회원]



- 2000년 2월 : 단국대학교 보건행정학과 (보건행정학석사)
- 2007년 8월 : 배재대학교 재료공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 혜전대학교 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, 치과재료

최에스더(Esther Chio)

[정회원]



- 2004년 8월 : 중앙대학교 보건학과 (보건학석사)
- 2014년 2월 : 원광대학교 치의학과 (치의학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 혜전 대학교 치기공과 교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, CAD-CAM

김 시 철(Si-Chul Kim)

[정회원]



- 2014년 8월 : 단국대학교 대학원 구강보건학 (구강보건학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 혜전 대학교 치기공과 겸임교수

<관심분야>

치과기공, 생체재료, CAD-CAM