

## 3D 프린팅법으로 제작한 브리지 패턴의 내면 적합도

김시철<sup>1</sup>, 한민수<sup>2</sup>, 최범진<sup>1</sup>, 이청재<sup>3</sup>, 이해형<sup>1,4</sup>\*

단국대학교 치과대학 생체재료학교실<sup>1</sup>, 혜전대학교 치기공과<sup>2</sup>, 신한대학교 치기공학과<sup>3</sup>, 단국대학교 조직재생 공학연구소<sup>4</sup>

### Internal fit of bridge patterns fabricated by a 3D printing technique

Si-Chul Kim<sup>1</sup>, Min-Soo Han<sup>2</sup>, Beom-Jin Choi<sup>1</sup>, Chung-Jae Lee<sup>3</sup>, Hae-Hyoung Lee<sup>1,4</sup>\*

*Department of Biomaterial Science, College of Dentistry, Dankook University<sup>1</sup>, Department of Dental Laboratory Technology, Hyejeon College<sup>2</sup>, Department of Dental Technology and Science, Shinhan University<sup>3</sup>, Institute of Tissue Regeneration Engineering, Dankook University<sup>4</sup>*

(Received: Sep. 25, 2014; Revised: Oct. 24, 2014; Accepted: Oct. 24, 2014)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.4.239>

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the marginal and internal fit of resin bridge patterns fabricated by a 3D printer system. Three type bridge models (2-, 3-, 4-unit bridge) were prepared with die stone and two types of margin, knife or chamfer were applied to the abutment teeth. The gypsum models were used to fabricate resin patterns by a 3D printer. The printed resin patterns were fixed to their master dies using zinc phosphate cement and then invested with dental stone in a box. The resin patterns were cut mesiodistally using a diamond saw and further polished with #1000 SiC paper. Internal fit of the bridge patterns was measured at areas of marginal opening (MO), marginal gap (MG) of maximum curvature area, axial gap (AG), and occlusal gap (OG) from the images of gaps captured by a stereoscope with CCD camera. Overall, mean gap dimensions of the resin patterns prepared in this study were <math>\lt; 155 \mu\text{m}</math>, except for OG. The 3D bridge patterns with chamfer margin showed a significantly higher adaptation accuracy at MO, but those with knife margin showed a better accuracy at MG. Internal fit of all patterns at AG were found to be <math>\lt; 50 \mu\text{m}</math>.

Key words: 3D printing, bridge pattern, margin type, internal fit, dental casting

## 1. 서 론

치과용 주조 보철물 제작은 환자의 치아나 지대치 모형 위에서 만들어진 왁스패턴을 주조하여 제작된다. 현재에도 porcelain-fused-to-metal crown, gold crown, gold inlay, 의치 금속 프레임 등을 제작하기 위해서는 정확한 왁스패턴 제작은 기본적으로 요구되고 있다. 이러한 수작업(manual technique)에 의한 왁스조각법은 비교적 정확한 주조 수복물의 제작이 가능하나 복잡한 과정이 요구

되고 숙련도에 따라 차이를 보일 수 있는 단점이 있다.

그러나 최근 컴퓨터를 이용한 첨단 가공기술이 소개되면서 물체의 외형을 그대로 제작하는 것이 가능해졌다([http://en.wikipedia.org/wiki/Near\\_net\\_shape](http://en.wikipedia.org/wiki/Near_net_shape)). 이러한 near net shaping 가공방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 재료를 자르거나 깎는 방식의 절삭가공법(subtractive manufacturing)과 3D 프린터와 같이 새로운 층을 계속 쌓는 방식인 적층가공법(additive manufacturing)이 있다. 적층가공 장비인 3D 프린터는 디자인된 해당 부분을 선택적으로 자외선 또는 가시광선으로 광중합체에 조사하여 약 0.025~0.05 mm의 얇은 층으로 중합하면서 CAD 모델링 형상과 동일 형상의 제품을 제작하는 방식이다

\* (우)330-714 충남 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 생체재료학 교실 이해형(haelee@dku.edu)

(Dimitrov 등, 2006; Stopp 등, 2008; Kim 등, 2012). 이러한 3D 프린팅은 1980년대 처음 개발되었는데 당시 제품을 생산하는 비용의 부담과 프린터 기기의 고가격에 대한 문제로 일부 산업분야에서만 사용되었으나, 최근 3D 프린터의 급속한 발전과 여러 산업 분야에서 적극적인 3D 프린터의 기술 도입으로 의료계에서도 관심이 높아지고 있다(Dimitrov 등, 2006). 현재 상용화 되고 있는 3D 프린터는 적층에 사용하는 물질은 왁스, 광경화성 수지, 세라믹, 금속 등 재료의 종류 및 고형화 방식 등에 따라 차이가 있다. 지금까지 3D 프린터는 주로 시제품 제작에 이용되어 왔다. 하지만 오늘날 3D 프린터는 시제품 제작을 넘어 직접 상품을 생산할 수 있는 기술로 전자, 의료, 항공, 자동차, 산업디자인 등에서도 사용되기 시작했다 (Yun, 2013).

최근 3D 프린팅에 의한 기술의 보급에 따라 치과기 공과정에도 소개되어 주조 수복물을 위한 패턴 제작도 가능하게 되면서 기존의 수작업에 의한 왁스조각법을 대체할 수 있게 되었다(<http://www.3dsystems.com/project-1200-dental-labs>). 성공적 치과용 보철물의 중요한 임상적 요구사항 중 하나는 우수한 적합도이며, 3D 프린터 시스템으로 제작한 주조용 패턴의 내면 적합도는 최종 수복물의 적합도를 결정한다. 그러나 그간 적합도면에서 3D 프린터로 제작된 resin 패턴의 적합도는 분석된 바가 거의 없다. 이에 본 연구에서는 변연의 형태(knife 변연, chamfer 변연)에 따른 구치부 2-unit, 3-unit, 4-unit 브리지의 resin 패턴을 3D 프린팅으로 제작하고 내면 적합도를 측정 비교하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 브리지 모형 제작

구치부 2-unit, 3-unit, 4-unit 브리지 모형을 제작하기 위하여 먼저 금속 모형을 제작하였다. 소구치용 지대치로는 지름 7 mm, 높이 10 mm와 대구치용 지대치는 지름 11 mm, 높이 10 mm의 스테인리스 스틸 원기둥으로 제작하고 두 지대치 사이의 간격은 자연치열의 평균거리를 산정하여 각각의 지대치 중심부로부터 2-unit는 12 mm, 3-unit는 20 mm, 4-unit는 30 mm로 설정하였다. 제작된 금속 모형은 2°와 6° Tungsten carbide bur(Hopf Ringleb & Co., Germany)를 사용하여 밀링머신(F4, Degudent, Germany)으로 각각 knife변연(2°)과 chamfer 변연(6°)을 형성하였다. 또한 교합면은 중앙 심부가 깊이 1 mm의 원뿔 모양이 되도록 하였고, axio-occlusal 변연은

45° 모따기를 실시하였다 (Fig. 1). 제작된 금속 지대치 모형은 실리콘 인상재로 복제하였고 초경석고(Fuji rock, GC, Japan)로 2종류의 변연형태(knife and chamfer)을 각각 6개씩 2-unit, 3-unit, 4-unit 주모형 총 36개를 제작하였다.

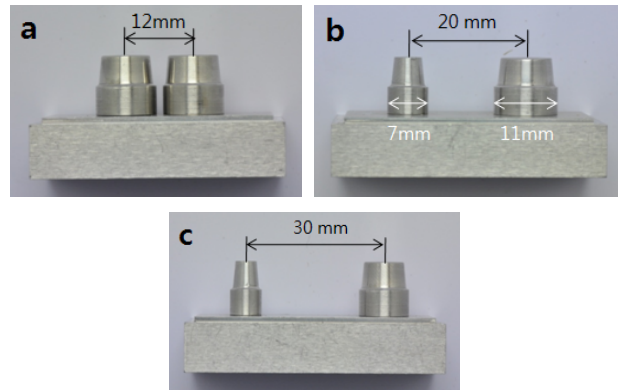


Figure 1. Dimensions of prepared bridge metal model, (a) 2-unit, (b) 3-unit, (c) 4-unit.

### 2.2. 3D 프린팅 패턴

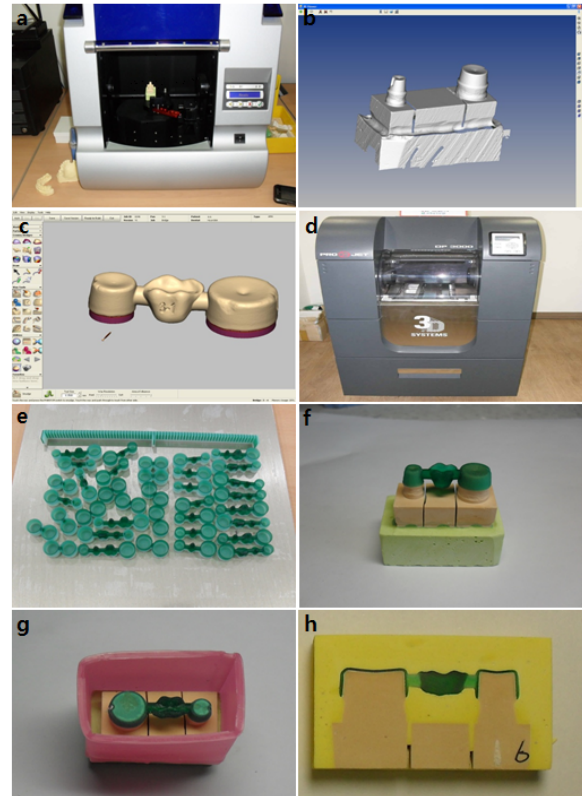
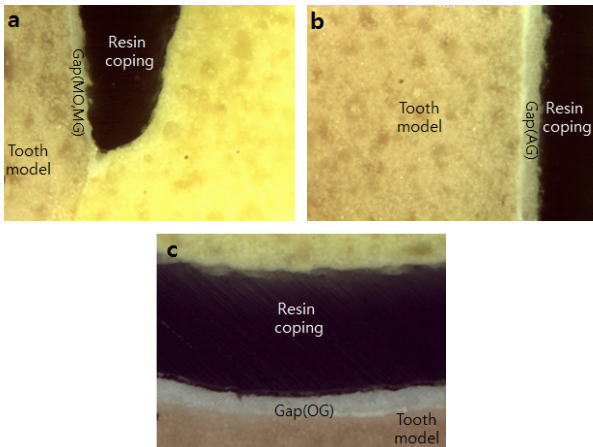


Figure 2. Process of 3D printing for bridge patterns, (a) 3D-scanner, (b) scanned model, (c) bridge pattern design, (d) 3D printer, (e) resin copings by 3D printer, (f) resin coping on the model, (g) model boxing for stone pouring, (h) sectioned model for gap measurement.

3D 프린터를 이용한 패턴 제작은 스캔 작업의 정밀성을 위하여 석고 모형에 대하여 각각 가철식 다이작업을 실시하였다. 모형에서 브리지 패턴 제작을 위하여 먼저 3차원 입력장치(3D-Scan, Sensable, USA)를 이용하여 스캐닝 하였다. 이때 변연 1 mm 상방으로 두께 40  $\mu\text{m}$ 의 시멘트 공간을 부여하고 코핑 두께 0.5 mm로 브리지 패턴을 디자인을 하였다. 디자인이 완성된 데이터는 3D 프린터(PRO JET DP3000, 3D systems, USA)를 이용하여 레진 패턴을 완성하였다 (Fig. 2).

### 2.3. 내면적합도 측정

3D 프린터에 의하여 완성된 각각의 레진 패턴들은 제조사의 지시대로 왁스제거 후 치과용 시멘트(Elite Cement, GC, Japan)를 사용하여 50 N의 정하중으로 주 모형에 합착하였다. 이때 패턴과 지대치의 합착을 돕기 위하여 잉여 시멘트가 배출 되도록 직경 1 mm의 홀을 적합도 측정과 관계 없는 교합면 우각부에 형성하였다. 시멘트가 충분히 경화 후 합착된 시편은 경석고(Hi-stone, Yoshino, Japan)로 매몰하였고 시편 절단기(DMT6, MII Co., USA)를 이용하여 중앙부에서 근·원심 방향으로 절단하였다. 시편의 절단면은 회전연마기(Labopol-5, Struers, Denmark)를 이용하여 #1000 SiC 연마지로 연마하였다.



**Figure 3.** Gap formation between resin patterns and stone die. (a) MO and MG at knife margin, (b) AG, (c) OG.

연마된 시편은 실체현미경(SMZ 1500, Nikon)과 3.0 megapixel CCD를 이용하여 x125배로 촬영한 후 이미지 분석 소프트웨어(Motic 2.0, Taiwan)를 사용하여 내면 적합도를 측정하였다. 측정 전 소프트웨어는 거리조정 표준 슬라이드를 이용하여 픽셀의 거리값을 조정하였다 (Lee 등, 2010). 측정부위는 변연 시작 틈을 marginal opening이라 하여 MO, MO으로부터 약 400  $\mu\text{m}$  상방에

거리를 marginal gap이라 하여 MG, 지대치 측면은 편평한 3부분의 측정 평균값을 AG로 하였다. 또한 교합면의 중앙부를 occlusal gap으로써 OG로 하였다 (Kim 등, 2010). 측정은 좌우 지대치에서 부위별로 각각 하였고 MO, MG, AG는 소구치와 대구치 지대치에서 좌우 측정값의 평균값으로 시편의 적합도를 구하였다. 이때 AG, OG는 시멘트 스페이스 공간 40  $\mu\text{m}$ 만큼 평균값에서 제외하고 값을 구였다. Fig. 3은 본 연구에서 지정한 측정 부위를 실체현미경으로 촬영한 사진이다.

### 2.4. 통계분석

각 영역에서 지대치 유형과 변연의 형태가 미치는 영향을 알기 위하여 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 또한 각 그룹 간 평균값들의 통계적 차이를 알아보기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과 Scheffe's test를 시행하였다. 통계분석은 SPSS version 21 (SPSS Inc., USA)를 이용하여 유의수준은  $p < 0.05$ 수준으로 결정하였다.

## 3. 결 과

제작한 브리지 패턴의 지대치 유형과 변연 형태에 따른 각 영역에서 틈의 평균값은 Table 1에 정리하였으며, Fig. 4는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 전체적으로 생성된 틈의 평균값은 chamfer 3-unit OG(215 $\pm$ 79  $\mu\text{m}$ )를 제외하고 <155  $\mu\text{m}$ 로 나타났다. 또한 chamfer 변연의 MO, knife 변연의 MG에서는 브리지 유형에 상관없이 <100  $\mu\text{m}$ 의 높은 적합성을 보였다. Table 2는 각 내면 적합 측정부위에서 지대치 유형과 변연의 형태에 따른 이원배치분산분석 결과이다. MO는 지대치 유형과 변연 형태에서 유의한 영향을 받았고 MG는 변연형태에서만 유의한 영향을 받았다 ( $p < 0.05$ ). AG는 변연형태가 유의한 영향을 미쳤으나 전체적으로 50  $\mu\text{m}$  이하로 나타나 매우 우수한 적합도를 보였다. OG에서는 지대치 유형과 변연형태에 모두 유의한 영향을 받았다. 모든 지역에서 변연 틈에 대한 지대치 유형과 변연의 형태의 상호작용이 나타나지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

평균 변연 틈에 대한 일원배치분산분석 결과는 Table 1에 첨가하였다. 평균값의 비교에서 모든 chamfer 변연 브리지의 평균 MO는 47~75  $\mu\text{m}$ 의 범위로 knife 변연 브리지 MO의 평균값(99~139  $\mu\text{m}$ )보다 통계적으로 우수한 적합도를 보였다. OG에서는 전체적으로 61~215

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

Gap area	Knife			Chamfer		
	2-unit	3-unit	4-unit	2-unit	3-unit	4-unit
MO	99(33) <sup>bcd</sup>	133(41) <sup>cd</sup>	139(49) <sup>d</sup>	47(26) <sup>a</sup>	88(32) <sup>abc</sup>	75(20) <sup>ab</sup>
MG	68(24) <sup>a</sup>	58(23) <sup>a</sup>	67(20) <sup>a</sup>	144(32) <sup>b</sup>	155(20) <sup>b</sup>	148(59) <sup>b</sup>
AG	25(18) <sup>a</sup>	19(15) <sup>a</sup>	22(3) <sup>a</sup>	49(42) <sup>a</sup>	34(16) <sup>a</sup>	20(12) <sup>a</sup>
OG	61(48) <sup>a</sup>	133(58) <sup>ab</sup>	114(41) <sup>ab</sup>	99(42) <sup>ab</sup>	215(79) <sup>c</sup>	151(74) <sup>bc</sup>

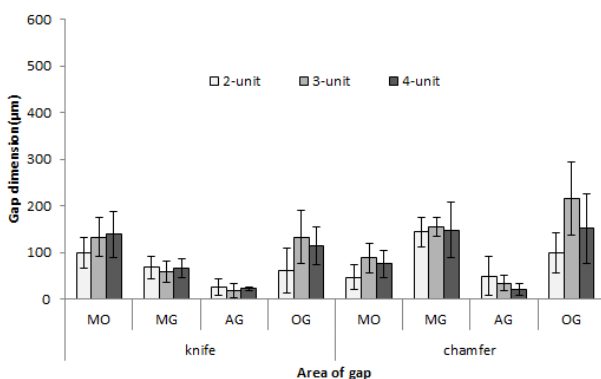
Means with same superscripts are not statistically different at p<0.05.

**Table 2.** Results of two-way ANOVA

Gap location	Source	P-value
MO	Margin*	.000
	Configuration #	.000
	Margin x Configuration	.570
MG	Margin	.000
	Configuration	.958
	Margin x Configuration	.295
AG	Margin	.027
	Configuration	.058
	Margin x Configuration	.152
OG	Margin	.000
	Configuration	.000
	Margin x Configuration	.269

\* knife or chamfer, # 2-unit, 3-unit, 4-unit

µm의 큰 편차와 높은 값을 보였으며 chamfer 변연의 3-unit이 가장 큰 평균값(215 µm)을 보였다.



**Figure 4.** Mean gap dimensions of resin patterns.

## 4. 고 찰

치과 보철물은 기능성, 심미성, 변연적합성, 구조적 견고성, 색조 안정성 등의 여러 가지 조건들을 만족시켜야 한다. 그중에서도 변연 적합도는 치과보철물의 임상적

성공에 중요한 역할을 한다. 새로운 적층가공법인 3D 프린터를 이용한 적합도 측정은 임상적 적용여부를 평가하는데 중요하다. 일반적으로 변연 적합도는 인상체 또는 주모형의 정확도, 치아형성과정, 수복재료의 종류와 제작 방법, 접착제의 종류, 변연의 형태와 위치, 지대치의 측면의 경사도 등에 의해 영향을 받게 된다 (Shillingburg 등, 1973). 변연 적합도의 객관적 비교를 위해서는 동일한 조건으로 삭제된 지대치 모형이 필요하다. 지대치 모형으로 자연치아를 사용하는 것은 보관하는 여건과 발치 후 경과 시간에 따라 물리적인 성질 변화가 발생하여 시편의 동일성을 이루기 어려운 측면이 있고, 동일한 상태의 다수 시편을 확보할 수 없다(Carter 등, 1983). 따라서 본 연구에서도 금속으로 제작한 지대치 주모형을 실리콘으로 복제한 석고모형 시편을 사용하였다. 이때 브리지의 형상은 자연치의 크기를 참고하였고, 변연의 형태도 균일하게 밀링하여 제작하였다.

보철물의 적합도 측정에 중요한 것은 측정 방법뿐 아니라 측정부위도 포함된다. 현재까지 적합도의 측정에 규격화된 방법은 아직 없으나, 선행연구에서 측정방법은 단순히 보철물을 적합시킨 후 변연에서의 틈을 외관적으로 관찰하는 경우와 절단 후 내면 적합도까지 평가하는 방법, 인상재를 사용하여 치관 전체의 적합도를 평가하는 방법 등이 있다 (Sorensen JA 등, 1990; Moon 등, 1998). 보철물과 지대치 사이의 틈을 측정하는 방법으로는 광학 또는 전자현미경으로 측정하는 방법(Abduo 등, 2010)들이 있으며, 그 외 CT촬영에 의한 비파괴적 측정 방법들이 소개되어 있다 (Pelekanos 등, 2009; Lee 등, 2010). 다양한 측정방법 중 어느 것이 좋다고 할 수는 없으나, 사용한 방법마다 각각의 한계와 임상적 의미는 줄 수 있다.

본 연구에서와 같이 시편을 매몰하고 절단하여 내면의 적합도를 관찰하는 측정법은 적합성의 평가에 가장 일반적으로 사용되고 있다. 측정부위에 대한 연구는 Holmes 등(1989)가 지대치의 측면에서 수복물 내면까지의 수직 거리를 internal gap이라 하고 변연부에서 동일한 측정치를

marginal gap이라고 하였다. 또한 지대치의 변연과 수복물 변연사이의 거리를 absolute marginal discrepancy(AMD)라고 하였다. Bindle 과 Mormann(2005)은 올세라믹 변연 8곳과 교합면을 지나는 중앙부위를 절단하여 11부위의 내면 틈을 측정하였다. 또한 Beuer등(2009)은 두 종류의 지르코니아를 제작하고 지르코니아 변연 끝에서 지대치 변연 사이를 marginal opening(MO)로 하고, chamfer 변연의 가장 깊은 곳에서 지르코니아 내면까지의 거리를 CA라 하여 근원심면, 순면, 설면 4곳을 측정하였다. 본 연구의 내면 적합도 측정부위 MO는 Holmes(1989)의 AMD에 해당되며 이 영역에서의 틈을 측정은 오류의 여지가 없다. 그러나 변연의 입구에서 가장 오목한 부위에서 틈의 수직거리인 MG(marginal gap)는 측정 위치에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서 사용한 브리지 지대치의 MG는 MO에서 약 400 μm 상방에서 위치하였다. 따라서 본 연구에서는 이 거리를 참고하여 chamfer/knife 변연 모두 동일 위치에서 측정하였다. AG 및 OG은 각각 이름은 다르지만 Beuer등(2009)의 측정위치와 같다.

본 연구의 이원배치 분산분석의 결과에서 제작된 resin 패턴의 적합도는 지대치 유형과 변연 형태 사이의 통계적 상호작용이 없었다. 그러나 두 요인들은 변연 영역마다 다르게 작용하였다. MO에서는 chamfer변연이 knife 변연보다 유의하게 작았다. 그러나 MG에서는 chamfer 변연이 knife변연보다 유의하게 큰 평균값을 보였다. 이것은 chamfer변연의 상대적 큰 함몰로 인하여 3D 스캐닝 또는 프린팅에서 충분히 재현되지 못하였기 때문인 것으로 예상된다. 그러나 지대치 측면 적합도인 AG는 전체적으로 49μm 이하로 나타났으며 지대치 유형과 변연의 형태에서 유의성이 없이 매우 우수한 적합도를 보였다.

한편 변연 간격의 임상적 수용 값에 대해서는 많은 논란이 있다. Assif(1987)는 평균적인 변연틈(MO)이 약 140 μm라고 보고 하였고, Mclean등(1971)은 1000개의 5년 이상 경과한 보철물을 조사하여 120 μm이하의 변연 간격은 임상적으로 허용할 수 있다고 하였다. Kydd등(1996)은 치주질환으로 발치된 치아에 대한 변연 누출 연구에서 평균 74 μm의 시멘트 피막 후경과 432 μm의 미세 누출이 관찰되었으며, 변연 간격이 244 μm인 보철물도 20년 이상 사용되었다고 보고하였다. Fransson B 등(1992)은 이들의 연구결과를 종합하여 최대 200 μm까지는 임상적으로 허용 가능한 변연 적합도 수준이 될 수 있다 하였다.

본 연구에서 3D 프린팅으로 제작한 보철물 패턴의 MO는 <140 μm로 나타났다. 따라서 앞선 선행연구들의

기준에서 본 연구의 결과는 3D 프린팅법이 보철물 패턴 제작에 충분히 사용될 수 있음을 나타낸다. 그러나 본 연구의 3D 프린팅 브리지 패턴은 선행연구에서의 수작업과 CAD-CAM 절삭가공에 의하여 제작된 왁스 패턴들에 비교하여 전반적으로 낮은 적합도를 보였다 (Kim 등, 2010). 3D 프린팅법에 의한 제작물의 정밀도가 상대적으로 낮은 이유는 각 층의 오차가 누적되어 나타나기 때문일 것이다. 따라서 적층 세밀도가 높은 제품일수록 최종 제품의 정밀도는 높아질 것이다. 본 실험에서 사용한 3D 프린터는 25 μm의 정밀도를 가지고 있는 제품을 사용하였으나, 현재 회사별로 10~200 μm 까지의 다양한 제품이 출시되고 있다. 따라서 더 높은 정밀도의 3D 프린터를 사용한다면 좀 더 높은 정밀도를 갖는 보철물을 제작할 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 3D 프린터에 의한 구치부 2-unit, 3-unit, 4-unit 브리지의 Resin 패턴을 제작 후 변연의 형태에 따른 적합도를 측정, 비교하였다. 본 연구에 제한된 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 제작된 resin coping의 적합도는 Chamfer 3-unit OG를 제외하고 전체적으로 <155μm의 적합성을 보였다.
2. 브리지 패턴의 변연 형태에 따른 비교에서 MO는 chamfer 변연이, MG는 knife 변연이 상대적으로 우수한 적합도를 보였다 (p<0.05)
3. 측면 적합도(AG)는 지대치 유형과 변연의 형태에 관계없이 모두 우수하였다.

## 참 고 문 헌

Abduo J, Lyons K, Swain M (2010). Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *J Oral Rehabil* 14:1-11.

Assif D, Rimer Y, Aviv I (1987). The flow of zinc phosphate cement under a full-coverage restoration and its effect on marginal adaptation according to the location of cement application. *Quintessence Int* 18:765-774.

- Belser UC, Mecentee MI, Richter WA (1985). Fit of three porcelain-fused to metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent* 53:24-29.
- Bindl A, Mormann WH (2005). Marginal and internal fit of all ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil* 32:441-447.
- Beuer F, Naumann M, Gernet W, Sorensen J (2009). Precision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig* 13:343-349.
- Boening KW, Walter MH, Reppel PD (1992). Non-cast titanium restoration in fixed prosthodontics. *J Oral Rehabil* 19:281-287.
- Carter JM, Sorensen SE, Johnson RR, Teitelbaum RL, Levine MS (1983). Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth. *J Biomech* 16:841-848.
- Dimitrov D, Schreve K, Beer N De (2006). Advances in three dimensional printing- state of the art and future perspectives. *J New Generation Sci* 4:21-49.
- Fransson B, Oilo G, Gjeitanger R (1985). The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study. *Dent Mater J* 1:197-199.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD (1989). Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent* 62:405-408.
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim HY, Kim JH (2012). Marginal fit evaluation of 3 unit fixed dental prostheses fabricated by rapid prototyping method. *Kor Acad Dent Tech*, 34:105-111.
- Kim SC, Bae JY, Lee HH (2010). Comparative fit of 3-unit bridge wax patterns fabricated by manual and CAD-CAM techniques. *J Korea Res Soc Dent Materials* 37(4):305-312.
- Kelly JR (1999). Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 81(6):652-661.
- Kydd WL, Nicholls JI, Harrington G, Freeman M (1996). Marginal leakage of cast gold crowns luted with zinc phosphate cement : an in vivo study. *J Prosthet Dent* 75:9-13.
- Lee CJ, Bok SB, Bae JY, Lee HH (2010). Comparative adaptation accuracy of acrylic denture bases evaluated by two different methods. *Dent Mater J* 29(4):411-7.
- Moon BH, Yang JH, Lee SH, Chung HY (1998). A study on the marginal fit of all-ceramic crown using ccd camera. *J Kor Acad Prosthodont* 36:273-292.
- McLean JW, Von Fraunhofer JA (1971). The estimation of cement film thickness by in vivo technique. *Br Dent J* 131:107-111.
- Stopp S, Wolff T, Irlinger F, Lueth T (2008) A new method for printer calibration and contour accuracy manufacturing with 3D-print technology. *Rapid Prototyping J* 14:167-172.
- Shillingburg HT Jr, Hobo S, Fisher DW (1973). Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. *J Prosthet Dent* 29:276-84.
- Sorensen JA (1990). A standardized method for determination of crown margin fidelity. *J Prosthet Dent* 64:18-24.
- Yun SH (2013). A study on Manufacturing Personal Ornaments Using Personal Portable 3D printer -Focused on Method to Use Ottchil. *Kor Soc Basic Design & Art* 14(5):299-308.