

3D 프린팅 기술로 출력된 치과 보철물의 임상적 적합도 평가

김기백
대전보건대학교 치기공과

Evaluation of clinical adaptation of dental prostheses printed by 3-dimensional printing technology

Ki-Baek Kim

Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

[Abstract]

Purpose: The objectives of this study was to evaluate clinical adaptation of dental prostheses printed by 3 dimensional(3D) printing technology.

Methods: Ten study models were prepared. Ten specimens of experimental group were printed by 3D printing(3DP group). As a control group, 10 specimens were fabricated by casting method on the same models. Marginal gaps of all specimens were measured to evaluate clinical adaptation. Marginal adaptations were measured using silicone replica technique and measured at 8 sites per specimen. Wilcoxon's signed-ranks test was used for statistical analysis($\alpha = 0.05$).

Results: Means of marginal adaptations were $95.1\mu\text{m}$ for 3DP group and $75.9\mu\text{m}$ for CAST group($p < 0.000$).

Conclusion : However, the mean of the 3DP group was within the clinical tolerance suggested by the previous researchers. Based on this, dental prosthesis fabricated by 3D printing technology is considered to be clinically acceptable.

◉ **Key words:** Digital, Marginal gap, Adaptation

* 이 논문은 2017학년도 대전보건대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임.

Corresponding author	Name	김 기 백	Tel.	042-670-9184	E-mail	kimkb@hit.com	
	Address	대전시 동구 충청로21 대전보건대학교					
Received	2019. 1. 8		Revised	2019. 2. 26		Accepted	2019. 3. 8

I. 서론

최근 4차 산업혁명의 시작과 더불어 사회 다양한 분야에 걸쳐 많은 변화들이 일어나고 있다. 이는 의료 분야에도 해당되는데, 치의학 분야에서는 전반적인 진료 방식 자체가 변화되고 있다. 그 동안 많은 부분에 있어서 아날로그 방식의 진료 방식이었다면 이제는 디지털 기술을 활용한 방식으로 변화하고 있다. 이러한 변화가 가장 두드러지는 분야는 특히 치과보철물 제작 기술 분야라고 할 수 있다. 종전의 치과보철물 제작 과정은 대부분의 과정이 수작업으로 진행되었으나 오늘날 기술 발전에 힘입어 컴퓨터를 활용한 치과보철물의 제작이 가능해졌다(Miyazaki et al, 2009).

이는 주로 치과용 캐드캠(Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing; CAD-CAM)을 활용한 치과보철물의 제작 기술로 정의되는데, 이 방식은 종전의 수작업에 의하던 과정들을 컴퓨터를 활용하여 수행하게 된다. 해당 기술은 기존의 방식에 의한 제작법의 시간 및 재료의 낭비 측면, 노동력의 소요 등 많은 단점을 보완해주고 있다(Kim et al, 2014). 치과용 캐드캠을 활용한 치과보철물의 제작 과정은 다음과 같다. 진료실에서 환자의 구강을 구강 내 카메라로 직접 스캐닝 하거나 구강을 복제한 인상체 혹은 석고 모형 등을 치과용 스캐너를 활용하여 스캔하여 디지털 모형을 얻게 된다. 얻어진 디지털 모형에 근거하여 환자에게 적합한 치과보철물을 전용 프로그램과 컴퓨터를 활용하여 디자인한다. 디자인이 끝난 파일을 토대로 최종적으로 치과보철물을 제작하게 된다(Beuer et al, 2008).

디자인이 완료된 파일에 근거한 치과보철물의 제작은 삭제기술(subtractive technique)과 첨가기술(additive technique)로 구분된다. 삭제기술은 블록형태의 재료를 활용하여 치과용 밀링머신 등으로 절삭하여 재료를 삭제하는 과정을 거쳐 치과보철물을 완성하게 된다(Jeon et al, 2005). 재료 선택의 폭이 넓고, 지르코니아 등의 심미 보철물의 제작이 가능한 장점이 있으나 원하는 치과보철물이 완성되기까지 버려지는 재료가 많은 점, 절삭 시 사용되는 버 등의 소모품의 교체가 필요한 점 그리고 합몰부위 재현의 부족 등의 단점이 있

다(Tinschert et al, 2001). 삭제기술의 단점들을 보완하고자 첨가기술이 도입되었는데, 최근에는 3D 프린팅(3D[dimensional] printing)이라는 용어로 널리 활용되고 있다(Kim & Kim, 2016). 이 기술은 삭제기술과 비교했을 때 블록형태의 재료 대신 액상 혹은 가루의 재료를 사용되며, 해당 재료들에 고온의 레이저 등으로 필요 부분만 조사한다. 조사된 부분은 약 20 μm 내외의 두께로 층이 형성된다. 같은 과정을 반복하여 층 위에 층을 쌓는 적층 방식으로 치과보철물을 완성하게 된다. 초창기 치과용 캐드캠의 기술은 대체로 삭제기술을 활용하였으나 최근에는 3D 프린팅 기술의 재료낭비가 적은 점, 부분의치 금속구조물과 같이 복잡한 구조물의 재현성이 우수한 점 등을 이유로 해당기술의 사용빈도가 증가하고 있는 추세이다(Kim et al, 2015).

3D 프린팅 기술의 많은 장점이 연구를 통해 보고된 것과 달리 치과보철물 제작 기술에 있어서 임상적 허용 가능성에 관한 연구는 부족한 추세이다. 때문에 본 연구에서는 치과용 3D 프린터기를 활용하여 제작된 치과보철물들의 임상적 허용 가능성을 적합도인 해당 보철물의 변연간격을 근거로 평가하여 보고, 연구 결과를 토대로 해당 분야 종사자들(치과의사, 치과기공사, 치과위생사)에게 참고자료를 제시해보고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구를 위한 시편 제작에 앞서 연구 모형을 제작하였다. 연구모형은 상악 우측 1대구치를 채택하였는데, 준비된 자연치 모형을 활용하여 지대치로 형성하였다. 지대치의 설계에 필요한 모형의 삭제 과정은 치과용 스캐너를 활용하여 자연치아 모형을 스캐닝한 후 각 치면을 프로그램을 활용하여 삭제하였다. 치면의 삭제는 1.2 mm의 깊이로 축벽의 각도는 6°로 설정하였으며, 변연부위의 형태는 chamfer type으로 설계하였다. 설계된 지대치 디자인 정보를 토대로 저장된 디자인 파일을 절삭을 위한 NC(numerical control) type의 파일로 변환한 뒤 티타늄블록을 가공함으로써 Fig. 1과 같은 연구 모형을 완성하였다(Figure 1).



Figure 1. Master model

준비된 연구모형을 토대로 치과용 실리콘(Deguform; DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)을 이용하여 10개의 몰드를 제작하였다. 제작된 몰드에 실험모형 10개를 제작하였다. 실험모형의 제작은 스캐닝을 위한 모형 제작 과정으로써 스캐닝 시 발생될 수 있는 오차를 최소화 하고자 치과용 스캐너 전용의 경석고(Everast Rock; KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Germany)를 사용하였다. 준비된 경석고를 제조사의 권장에 따른 혼수비를 준수하여 석고를 혼합 후 준비된 10개의 몰드에 진동을 주며, 주입하였다. 주입된 석고가 최종 경화 후 몰드에서 석고를 분리하는 방식으로 10개의 실험모형을 제작하였다.

앞서 제작된 10개의 실험모형을 이용하여 치과용 스캐너(e-3, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 활용하여 스캐닝을 실시하여 디지털 모형으로 변환하였다. 변환된 10개의 디지털 모형에 치과보철물을 디자인하였는데, 본 연구에서는 금속도재관(metal-ceramic crown) 제작을 위한 하부 코어(coping) 형태로 디자인 하였다. 시편의 디자인 과정은 모두 치과보철물 전용의 디자인 프로그램(Dental designer, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)을 이용하였으며, 디자인 관련 사항들은 회사의 권장사항에 따라서 설계 하였다. 모든 디자인 과정이 끝난 후 해당 정보는 저장되었으며, 저장된 파일을 치과용 금속 3D 프린터기(EOSINT M270, EOS GmbH, München, Germany)로 전송하였다. 전송된 파일에 근거하여 해당 장비의 전용 재료(EOS CobaltChrome MP1, EOS GmbH, München, Germany)를 사용하여 디자인한 치과보철물 10개를 출력하였다. 출력된 치과보철물의 재료는 치과용 금속도

재관 하부 코어 제작을 위한 Co-Cr 합금(Co: 60-65%, Cr: 26-30%, Mo: 5-7%, Si: ≤1.0%, Mn: ≤1.0%, Fe: ≤0.75%, C: ≤0.16%, Ni: ≤0.10%)의 분말로써 해당 부분에 국소적으로 고온의 레이저를 이용하여 20 μm내외의 층을 형성하는 과정을 반복하여 시편을 최종적으로 10개 완성하였다(3DP 집단).

3DP 집단의 제작이 끝난 후 3DP 집단의 시편들을 비교평가하기 위한 대조군 집단을 제작하였다. 대조군은 종전의 제작방식인 왁스소각기술과 주조법을 활용하였다. 3DP 집단을 제작한 동일한 10개의 실험모형에 치과용 모델링 왁스(THOWAX Sculpturing wax, YETI DENTAL, Engen, Germany)를 이용하여 금속도재관 제작을 위한 하부 코어 형태로 납형을 제작하였다. 제작된 납형은 통법에 따라 비기능 교두인 협측 교두정 부근에 주입선을 설치하였으며, 비귀금속 주조를 위한 매몰재(Bellavest® SH, Bego GmbH, Bremen, Germany)를 이용하여 매몰하였다. 매몰 시 혼수비 등은 모두 제조사의 권장사항에 준했으며, 혼합은 진공혼합법을 이용하였다. 시편 한 개당 한 개의 매몰용 링을 사용하는 방식으로 모두 10개의 링을 사용하여 매몰을 완료하였다. 매몰재가 최종 경화된 후 950℃로 소환과정을 진행하였으며, 소환 후 주조를 수행하였다. 주조는 실험군인 3DP 집단과 마찬가지로 치과용 Co-Cr 합금(Wirobond® C, Bego GmbH, Bremen, Germany)을 이용하였는데, 치과용 고주파 주조기(Fornax® T, Bego GmbH, Bremen, Germany)로 1400℃의 온도를 설정한 후 주조하였다. 주조가 끝난 후 10개의 링을 활용하여 매몰재만 제거하였으며, 주입선만 절단한 후 외면에 별다른 연마과정은 진행하지 않았다. 이는 연마과정 중에서 발생될 수 있는 변연부의 변형 등의 위험을 사전에 막고자 함이다. 모든 과정을 거쳐 대조군을 완성하였다(CAST 집단).

준비된 시편들을 대상으로 변연간격을 측정하기에 앞서 변연간격에 대한 정의를 내렸다. 본 연구에서는 변연간격의 정의으로써 선행연구들을 근거로 연구 모형에서 보철물 내면까지 수직적인 거리로 Fig. 2와 같이 정의하였다(Figure 2), (Kokubo et al, 2005). 변연간격 측정을 위한 방법으로는 이미 많은 연구에서 신뢰성이

검증된 실리콘 복제 기법을 이용하였다(Kim JH et al, 2016). 본 방법은 연구모형과 시편과의 공간을 치과용 연질실리콘으로 복제한 뒤 복제된 실리콘 필름의 두께를 측정하는 방식이다.

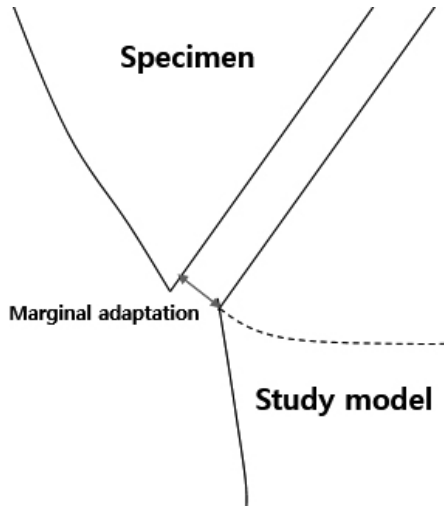


Figure 2. The definition of marginal adaptation

측정을 위해 준비된 시편의 내면에 연질실리콘(Aquasil Ultra XLV, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 채웠다. 연질실리콘으로 채운 시편을 해당 연구모형에 시적 후 최종 경화가 끝날 때까지 손가락으로 압력을 지속하였다. 최종적으로 경화가 끝난 후에는 연구모형에서 시편만 제거하였다. 연구모형 위에 위치한 복제된 연질실리콘 필름은 두께가 너무 얇아 측정을 위한 절단 작업에 무리가 있다. 때문에 연질실리콘의 필름을 경질실리콘(Aquasil Ultra Monophase, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 이용하여 감싸는 형태로 보강해 주었다. 보강이 끝난 후 치과용 메스로 8조각으로 분리 하였다. 분리된 연질실리콘 필름의 두께를 측정하는 방식으로 한 시편 당 8부위(P1-P8)를 측정하였고(Figure 3), 8부위의 평균을 해당 시편의 변연 간격으로 정의 하였다. 측정에는 한명의 전문가가 측정을 하였으며, 절단된 실리콘의 단면을 전자현미경으로 160배 확대하여 간격을 분석하였다. 총 두 집단 20개의 시편을 대상으로 160회의 측정을 수행하였다.

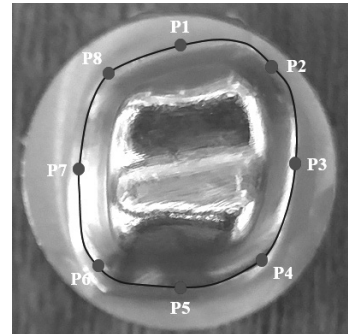


Figure 3. The measurement points of marginal gaps(black line: margin, red points: measurement point)

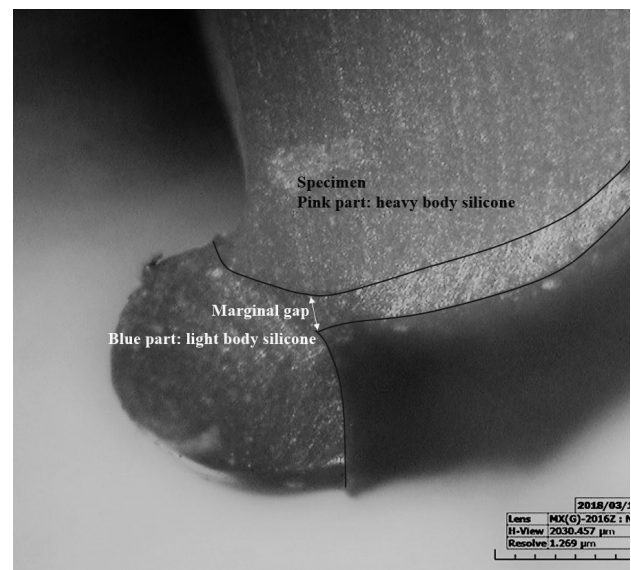


Figure 4. A photo measured at 160-magnification using the digital microscope. This study measured the marginal gap. The pink color consists of the heavy body silicone and the blue color consists of the light body silicone.

두 집단에서 측정된 변연간격을 비교 분석하기 위하여 총 160회 측정값의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 정규성 분포 여부를 알아보기 위해 샤피로-윌크 검정을 수행하였다. 정규성 검정 결과에 의하여 비모수 검정법인 윌콕슨 부호 순위 검증법을 이용하여 두 집단간의 평균은 유의한지 알아보았다 ($\alpha = 0.05$). 모든 통계 검증은 통계 프로그램 SPSS(IBM SPSS statistics ver. 22.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)를 활용하였다.

III. 결과

두 집단의 각각의 시편에서 측정된 8부위 변연간격의 평균과 표준편차는 table 1과 같다. Table 1에 따르면 측정된 모든 부위에서 3DP 집단의 시편들이 CAST 집단 시편들의 변연간격보다 큰 값으로 조사되었고, 두 집단의 평균은 유의한지 알아보기 위하여 시행한 윌콕슨 부호순위 검증법 결과에서는 10개 시편 모두에서 두 집단이 통계적으로 유의하였다.

시편 별 구분 없이 각 집단에서 80회씩 측정된 변연간격의 평균과 표준편차는 table 1의 total과 같으며, 역시 3DP 집단이 CAST 집단보다 큰 값으로 조사되었다. 윌콕슨 부호순위 검증법 결과 두 집단의 평균이 서로 통계적으로 유의하였다 ($p < 0.001$).

기 위한 대조군으로 기존의 주조방식을 이용하여 시편들을 제작하여 두 집단의 변연간격을 비교 평가하였다. 그 결과에서 3D 프린팅 방식을 이용하여 제작된 시편들의 변연간격이 주조방식에 의해 제작된 시편들 보다 더 큰 값으로 조사되었는데, 이 결과는 임상적으로 중요한 부분이라 생각된다.

고정성 보철물에서 변연간격은 해당 보철물의 임상적 성패를 결정짓는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 과거 보고된 연구결과에 따르면 적합도가 우수한 고정성 보철물 즉, 변연간격의 수치가 작은 고정성 보철물의 경우 그렇지 못한 것들보다 2차 플라그의 침착 가능성이 낮다고 보고되었다(Foster, 1990). 더불어 2차 플라그의 침착이 낮은 것은 결과적으로 고정성 보철물의 수명에 긍정적인 영향을 미치는 요인으로써 보고되었

Table 1. Mean(SDs) of clinical gaps of 3DP group and CAST group at specimens

(unit= μm)

Specimen number	N	3DP group	CAST group	MD ^a	P-value
S - 01	8	97.1 (11.0)	79.1 (14.6)	18.0	0.014
S - 02	8	96.8 (10.5)	70.9 (9.9)	25.9	0.000
S - 03	8	93.9 (10.4)	72.1 (8.7)	21.8	0.000
S - 04	8	94.8 (14.1)	81.1 (11.0)	13.7	0.049
S - 05	8	96.5 (10.8)	79.4 (14.9)	17.1	0.020
S - 06	8	88.3 (8.9)	70.1 (11.7)	18.2	0.004
S - 07	8	98.4 (10.8)	78.3 (13.4)	20.1	0.005
S - 08	8	87.8 (7.4)	69.5 (8.4)	18.3	0.000
S - 09	8	98.8 (9.2)	76.6 (10.7)	22.2	0.000
S - 10	8	98.5 (9.4)	81.5 (13.0)	17.0	0.009
Total	80	95.1 (10.5)	75.9 (12.0)	19.2	0.000

^a Mean outcome difference: 3DP group - CAST group

IV. 고찰

본 연구에서는 최근 많은 변화를 겪고 있는 치과보철물의 제작 방식에 따른 보철물의 임상적 적합도를 평가해보고자 하였다. 적합도로서 변연간격을 중점적으로 평가하고자 하였으며, 특히 치과용 보철물 제작기술로 소개된 3D 프린팅 기술을 통해 제작된 고정성 보철물의 변연간격을 평가하였다. 측정된 변연간격을 비교평가하

다(Foster, 1990). 이와 같은 원인으로 고정성 보철물의 변연간격이 매우 클 경우 임상적으로 허용이 불가능할 것으로 보고되었고(McLean and von Fraunhofer, 1971), 허용될 수 있는 범위에 대해서는 많은 선행연구들을 통해 논의되었다(Fonseca et al, 2003; Shokry et al, 2010).

선행 연구에 따르면 임상적 허용 수치로써 50 μm 로 제시하였다(Ottslund, 1985). 고정성 보철물의 변연간격으로써 50 μm 을 벗어나는 것은 임상적으로 허용이 불가능

하다 하였으나, 후에 다른 연구에서는 해당 수치는 현실적으로 무리가 있는 수치로 보고되었다(Moldovan et al, 2006). 이 밖에도 많은 연구자들이 변연간격의 임상적 허용 수치로 다양한 연구 결과를 보고하였는데, 한 연구에서는 100 μm 이면 좋고, 120 μm 까지도 허용이 가능하다고 보고하였다(Sulaiman et al, 1997). 이외에 200~300 μm 까지도 임상적 허용 수치로 보고된 경우도 있다(Moldovan et al, 2006). 최근 해당 분야 연구자들의 추세를 보면 McLean과 von Fraunhofer가 제시한 수치인 120 μm 을 허용 수치로 제시하는 연구자가 많다(McLean and von Fraunhofer, 1971). 본 연구 결과를 앞서 언급한 선행연구들의 결과에 비추어 보았을 때 McLean과 von Fraunhofer가 제시한 임상적 허용 수치를 벗어나진 않았으나 Otslund가 제시한 임상적 허용 수치를 기준으로 보았을 때에는 벗어난 경우로 해석될 수도 있다. 그러나 이들 수치들은 주로 과거에 논의된 수치로써 현대 치과보철물 제작 기술이 발전된 만큼 재정립될 필요가 있다고 생각된다.

한편 고정성 보철물의 변연간격은 많은 변수들에 의해 영향을 받는다고 생각한다. 지대치의 형태, 변연의 형태, 보철물의 재료, 보철물의 형태, 변연간격을 측정하는 방법 및 기술 등의 다양한 방법에 영향을 받는다. 또한 최근 캐드캠을 이용하는 제작에서는 모형 스캐닝 과정과 전용 디자인 프로그램을 활용하여 디자인하는 과정에서 오차 등이 완성된 최종 보철물의 변연간격에 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각한다. 많은 변수들을 모두 제어 하는 것은 매우 어려운 일이라고 생각한다. 그러나 본 연구에서는 조금이나마 해당 변수들이 미치는 영향을 줄이고자 두 집단의 시편 제작 시 동일한 시편 모형을 채택함으로써 지대치의 형태가 미치는 영향을 최소화 하고자 하였다. 또한 변연간격 측정법으로는 앞서 많은 연구에서 정확도가 검증된 실리콘 복제기술을 이용하여 두 집단 시편들의 변연간격을 측정하는 등의 노력을 통해 측정방법에서 미치는 영향도 최소화 하고자 하였다(Kim et al, 2014).

그러나 시편의 종류가 다양하지 못한 것과 한 시편 당 8군데의 변연간격을 대상으로 적합도를 평가한 점 등은 해당 연구의 한계점으로 지적된다. 추후 진행될 연구에

서는 이러한 한계점들을 극복하여 보다 다양한 종류의 시편을 대상으로 변연간격 등을 평가하여야 할 것으로 생각한다. 또한 최근 치과용 3D 프린팅 방식이 다양해짐에 따라 사용되는 재료의 폭도 빠르게 증가하고 있다. 본 연구에서는 금속재료(Co-Cr alloy)로 프린팅된 보철물을 평가하였으나 다른 재료를 활용하여 출력된 보철물의 평가가 이루어질 필요가 있다. 변연간격의 측정에 있어서는 보다 많은 부위에서 측정하여 분석한다면 지금보다 신뢰할 수 있는 값이 마련될 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 치과용 3D 프린팅 기술로 출력된 치과 보철물의 임상적 적합도를 평가하고자 하였다. 임상적 적합도로써 해당 기술에 의해 제작된 보철물의 변연간격을 측정하고, 그 결과를 해당 분야 종사자들(치과의사, 치과기사, 치과위생사)에게 참고자료로 제시하고자 하였다. 연구 결과에 따르면 3D 프린팅 기술에 의해 제작된 치과 보철물의 변연간격은 전통적인 방식에 의해 제작된 것들보다 더 큰 간격으로 조사되었는데, 이는 적합도가 아직 전통적인 방식에 의하는 것만큼 우수하지 못한 결론으로 풀이된다.

하지만 큰 차이는 아니었으며, 몇몇 선행연구자들이 제시한 변연간격의 임상적 허용 수치 내에 존재한 값으로 조사되었던 것을 근거로 치과용 3D 프린팅 기술에 의해 출력된 치과 보철물은 임상적으로 허용이 가능할 것으로 보인다. 하지만 기존의 주조방식을 대체하기 위해서는 많은 연구를 통해 개선되어야 할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J, 204, 505-511, 2008.

- Fonseca JC, Henriques GE, Sobrinho LC, de Goes MF. Stress-relieving and porcelain firing cycle influence on marginal fit of commercially pure titanium and titanium aluminum vanadium copings. *Dent Mater*, 19, 686-691, 2003.
- Foster LV. Failed conventional bridge work from general dental practice: clinical aspects and treatment needs of 142 cases. *Br Dent J*, 168, 199-201, 1990.
- Jeon MH, Jeon YC, Jeong CM, Lim JS, Jeong HC. A study of precise fit of the CAM zirconia all-ceramic framework. *J Korean Acad Prosthodont*, 43, 611-621, 2005.
- Kim JH, Kim KB, Kim SH. Comparison of marginal gap of monolithic CAD/CAM - generated crowns according to the ceramic materials for CEREC® system. *J Kor Aca Den Tec*, 38, 119-125, 2016.
- Kim JH, Kim WS, Kim KB. Evaluation of Marginal Gap of Three Unit Metal Cores Fabricated by 3-Dimensional Printing Technique. *J Dent Hyg Sci*, 15, 196-201, 2015.
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent*, 112, 1432-1436, 2014.
- Kim WS, Han MS, Jung JK, Kim KB. Analysis of quality for fixed prostheses fabricated by dental CAD-CAM system. *J Kor Aca Den Tec*, 36, 159-164, 2014.
- Kim WS, Kim KB. An analysis of marginal adaptation of metal cores fabricated by selective laser sintering. *J Kor Aca Den Tec*, 38, 305-311, 2016.
- Kokubo Y, Nagayama Y, Tsumita M, Ohkubo C, Fukushima S, Vult von Steyern P. Clinical marginal and internal gaps of in-ceram crowns fabricated using the GN-I system. *J Oral Rehabil*, 32, 753-758, 2005.
- McLean JM, von Fraunhofer JA. The estimation of cementfilm thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107-111, 1971.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28, 44-56, 2009.
- Moldovan O, Rudolph H, Quaas S, Bornemann G, Luthardt RG. Internal and external fit of CAM-made zirconia bridge frameworks - a pilot study. *Dtsch Zahnärztl Z*, 61, 38-42, 2006.
- Ostlund LE. Cavity design and mathematics: their effect on gaps at the margins of cast restorations. *Oper Dent*, 10, 122-137, 1985.
- Shokry TE, Attia M, Moslehd I, Elhosary M, Hamza T, Shen C. Effect of metal selection and porcelain firing on the marginal accuracy of titanium-based metal ceramic restorations. *J Prosthet Dent*, 103, 45-53, 2010.
- Sulaiman F, Chai J, Jameson LM, Wozniak WT. A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns. *Int J Prosthodont*, 10, 478-484, 1997.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spickmann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina- and zirconia- based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Open Dent*, 26, 367-374, 2001.