

## 레이저선택용융기술에 의해 제작된 금속 코어의 변연 적합도 분석

김원수, 김기백  
대전보건대학교 치기공과

### An analysis of marginal adaptation of metal cores fabricated by selective laser sintering

Won-Soo Kim, Ki-Baek Kim

Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

#### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study were to analysis of marginal adaptation of metal cores fabricated by selective laser sintering.

**Methods:** Main model was prepared and ten stone models were fabricated. Ten single metal cores were fabricated by selective laser sintering(SLS group) and another ten single metal cores using lost wax technique and casting method were manufactured(CAST group). The marginal adaptation of metal cores were analysis using by the silicone replica technique. Silicone replicas were sectioned two times. The marginal adaptations were measured using by digital microscope. Statistical analyses was performed with independent t-test( $\alpha=0.05$ ).

**Results:** Means of marginal adaptations were 90.3  $\beta\uparrow$  for SLS group and 65.1  $\beta\uparrow$  for CAST group. Two groups were statistically significant differences ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Marginal adaptation of metal cores fabricated by selective laser sintering were ranged within the clinical recommendation.

○ **Key words :** 3D-printing, Fitness, Margin.

\* \* 이 논문은 2016학년도 대전보건대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임

교신저자	성명	김 기 백	전화	042)670-9180	E-mail	kimkb404@naver.com
	주소	강원도 원주시 문막읍 견원로 815 경동대학교 메디컬캠퍼스 치기공학과				
접수일	2016.10.31	수정일	2016.11.22	확정일	2016. 11. 28	

## I. 서 론

제조 산업의 발달로 다양한 분야에서 많은 변화를 겪고 있다. 치과 보철물 제작 기술 또한 이러한 영향으로 변화를 겪고 있으며, 이는 치과기공 직무환경 전체를 바꾸어 놓고 있다고 해도 과언이 아니다. 이는 치과보철물 제작 과정을 포함하여 제작재료, 방법, 사용되는 기자재 등 모든 부분에 걸쳐 영향을 미치고 있다. 치아에 우식이 발생되어 치료실을 내원하게 되면 우식된 부위 삭제는 하는 지대치 형성부터, 환자 구강의 인상채득을 진행하게 된다. 채득된 인상은 치료실 혹은 기공실에서 이를 활용하여 모형 제작한다. 제작된 모형을 바탕으로 환자 구강에 적합한 보철물을 제작하게 되는데, 대표적인 치과용 보철물의 재료로는 크게 금속, 도재, 고분자계열 재료로 구분할 수 있다. 이들을 활용한 보철물의 제작 과정은 그동안 철저히 수작업에 의하여 진행되었다. 금속의 주조, 포세린의 축성 및 소결 그리고 레진의 전입 및 중합작업은 공정의 처음부터 끝까지 모두 치과기공사의 수작업으로 이루어진다.

수작업에 의한 보철물 제작 과정은 술자의 능력에 의존하게 되므로 경험의존적인 단점이 있으며, 불필요한 공정이 중간에 포함되므로, 재료와 시간의 낭비가 있다. 치과용 캐드캠(CAD/CAM, computer aided design/computer aided manufacturing)과 3D 프린팅(3-dimensional printing) 기술은 환자 모형 제작부터 치과용 보철물 제작까지 대부분의 작업이 컴퓨터를 활용하게 되는 디지털 공정에 의한다. 이는 치과기공사의 직무 환경 자체를 바꾸어 놓고 있다. 수작업에 의할 때 보다 기자재 활용범위는 다양해지고 있으며, 환자가 누릴 수 있는 의료서비스의 질이 전체적으로 향상되고 있다.

디지털 기자재에 의하면 환자의 인상을 구강 내 스캐너를 활용하여 채득하게 되고, 채득된 정보를 바탕으로 전용의 프로그램을 활용하여 디지털 모형을 채득할 수 있다. 채득된 디지털 모형은 치과용 CAD 프로그램을 활용하여 환자에게 적합한 보철물을 디자인하게 되고, 디자인이 끝난 파일은 가공장비로 전송하게 된다. 가공 단계에서는 크게 삭제법(subtractive method)과 첨가법(additive method)으로 구분되어지는데, 삭제법은 기존

공업 분야에서 흔히 사용되고 있는 CNC(computer numerical control)방식의 절삭 가공법으로써 블록 형태로 제공되는 재료를 사용하고 있다(Bidra et al, 2013). 블록형태의 재료를 기준으로 보철물의 디자인이 끝난 CAD 파일의 정보를 토대로 블록을 삭제함으로써 원하는 결과물을 얻는다. 대부분의 심미 보철재료 활용이 가능한 가공 방식이기 때문에 현재 대부분의 치과용 캐드캠이 삭제법 방식에 의해 시판되어져 있으나 제작 과정에서 불필요한 재료의 낭비가 심한 것이 단점으로 지적된다(Strub 2006).

첨가법은 재료가 가루 혹은 액상의 형식으로 공급이 되는데, 필요한 부분을 부분적으로 고온의 레이저로 조사하게 된다. 조사된 부분은 약 20 $\mu$ m의 두께로 얇은 층이 형성되는데, 이와 같은 공정을 반복함으로써 최종 보철물이 완성된다(van Noort, 2012). 심미보철재료의 활용이 삭제법보다 비교적 제한적인 단점이 있으나, 재료의 낭비가 적은 점과, 형태 재현능력이 삭제법보다 우수하다. 첨가법은 대중적인 용어로 3D 프린팅이라는 용어가 사용되고 있으며, 레이저를 활용한 해당 재료의 용융 기술은 레이저의 온도와 사용되는 재료에 따라 그 용어가 다양하게 이용되고 있다. 첨가법 기술 중 대표적인 치과보철물 제작용도로 이용되는 기술은 SLS(selective laser sintering), SLA(stereolithography) 등이 있다.

SLS는 레이저선택용융기술로 정의되는데, 금속의 가루를 고온의 레이저로 조사하는 과정을 반복함으로써 금속의 층을 적층하여 보철물을 제작하는 방식이다. 현재 이 방식을 이용하여 관교의치를 포함한 대부분의 고정성보철물 뿐만 아니라 가철성 국소의치 금속구조물 등의 제작이 가능하다. 이 방식을 활용한 보철물의 활용 범위는 점차 증가할 것으로 생각되지만, 이와 관련한 연구는 부족한 실정이다. 때문에 본 연구에서는 SLS를 활용하여 제작된 고정성 보철물의 변연적합도를 분석하고, 이를 토대로 임상적 참고자료로 제시하여 보고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 주 모형과 연구 모형

본 연구를 위해서 상악 우측 중절치 모형을 연구 모형으

로 지정하였다. 지정된 연구 모형은 환자의 지대치를 가  
장하여 삭제함으로써 지대치로 완성하였다. 삭제량은 치  
면은 1.2mm의 깊이를 설정하여 삭제하였으며, 변연부의  
디자인 챔퍼 형식으로 재현하였다. 측벽의 각도 12°로 설  
정하였고, 이를 반영한 지대치를 티타늄 블록을 이용하여  
주 모형을 완성하였다(Fig. 1).



Figure 1. The master die

주 모형을 대상으로 치과용 인상재(Deguforn; DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)를 이  
용하여 10개의 몰드를 제작하였다. 제작된 몰드에 치과용  
석고 (Everast Rock; KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Germany)를 주입하였다. 석고는 제조사  
에서 권장하는 혼수비에 의거하여 혼합한 뒤 주입하였다.  
주입된 석고는 최종 경화가 완벽히 이루어진 후 몰드에서  
분리하였다. 10개의 몰드를 활용하여 10개의 연구모형을  
제작하였다.

2. 시편 제작(실험군: SLS, 대조군: CAST)

시편 제작은 본 연구에서 평가하고자 하는 실험군(SLS  
group)과 실험군을 비교 평가하기 위한 대상인 대조군  
(CAST group)으로 구성하였다. 실험군 제작을 위해 앞서  
준비된 연구모형들을 치과용 스캐너(D-700, 3Shape  
A/S, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 디지털 모형  
으로 변환하였다. 변환된 디지털 모형들을 토대로 상악

중절치의 지대치 부분에 금속도재관(porcelain fused to  
metal crown) 제작을 위한 하부구조물(metal core) 형태  
로 디자인 하였다. 디자인은 치과용 전용 프로그램  
(Dental designer, 3Shape A/S, Copenhagen,  
Denmark)을 이용하였고, 디자인이 끝난 후 해당 디자인  
파일을 치과용 SLS 장비(EOS)에 전송하였다. SLS장비  
에서 사용된 재료는 Co-Cr alloy (EOS CobaltChrome  
MP1, EOS GmbH, Munchen, Germany)의 가루로서  
성분은 table 1과 같다. 해당 금속 가루를 레이저를 활용  
하여 적층하는 방식에 의해 금속 코어 10개를 제작하였다  
(SLS group).

실험군을 제작한 것과 동일한 연구모형에 대조군을 제  
작하기 위하여 치과용 왁스를 활용하여 동일한 형태의 보  
철물을 디자인 하였다. 제작된 10개의 납형은 통법에 의  
하여 주입선 설치, 매몰, 소환 그리고 주조 과정을 통해  
대조군 10개를 제작하였다(CAST group). 주조에 활용된  
금속은 금속도재관 Co-Cr alloy(Wiroband® C, Bego  
GmbH, Bremen, Germany)로서 조성은 table 1과 같  
다.

Table 1. Composition of materials (Wt %).

Composition	SLS	CAST
Co	V60-65	63.5
Cr	26-30	24.8
Mo	5-7	5.1
Si	≤1.0	-
Mn	≤1.0	-
Fe	≤0.75	-
C	≤0.16	-
Ni	≤0.10	-
W	-	5.3

3. 변연 적합도의 정의와 측정

제작된 실험군과 대조군 총 20개 시편의 변연적합도를  
측정하였다. 변연적합도의 정의는 선행연구자들이 발표  
한 근거에 의하여 연구모형의 치경선에서 시편까지 수직  
거리를 변연적합도로 정의하였다(Fig. 2), (Kokubo Y,  
2005). 시편 1개당 순면, 설면, 근심면, 원심면 총 4군데  
에서 변연적합도를 측정하였고, 측정 부위는 fig. 3와 같

다. 측정 방법은 이미 많은 선행 연구에서 정확도와 신뢰도가 검증된 실리콘 복제 방법을 활용하였다. 이 방법은 시편과 연구모형의 간격을 실리콘으로 복제한 뒤 실리콘의 두께를 측정하는 방법으로써 구강 내, 외 모두에서 활용이 가능한 방법이다.

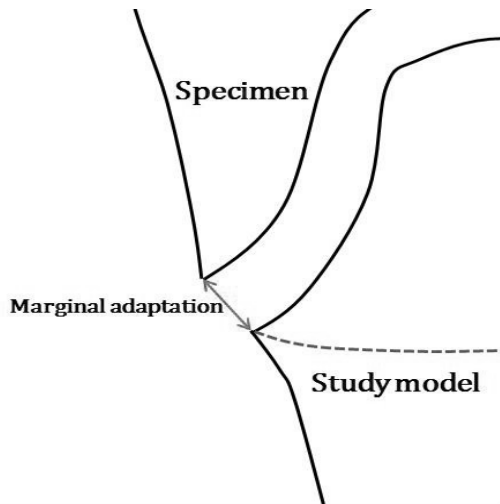


Figure 2. The concept of marginal adaptation.

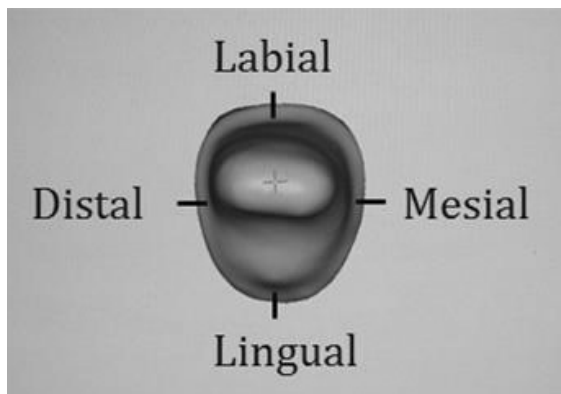


Figure 3. The measurement positions of marginal adaptation.

앞서 준비된 실험군과 대조군의 20개 시편을 대상으로 변연적합도를 측정하였는데, 측정하고자 하는 시편의 내면에 연질의 실리콘을 주입하였다(Aquasil Ultra XLV, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany). 연질의 실리콘으로 가득 채워진 시편은 해당 연구모형의 치관 부위에 치아 장축방향으로 시적하였고, 손가락의 힘을 이용하여 연질 실리콘이 최종 경화될 때까지 압박을 가하였다. 연질 실리콘의 경화가 끝난 후 연구모형에서 시편만

조심스레 제거한 뒤 치과용 putty를 활용하여 연질 실리콘을 감싸줌으로써 실리콘을 보강하였다.

Putty를 활용한 보강목적은 다음과 같은데, 내면이 복제된 연질의 실리콘을 활용하여 적합도를 측정하려면 절단이 이루어져야 한다. 그러나 그 두께가 매우 얇아 절단이 쉽지가 않으며 설사 절단이 이루어졌다하더라도 형태 유지가 힘들기 때문에 측정에는 무리가 있기 때문이다. Putty가 최종 경화한 뒤 보강한 연질 실리콘을 연구모형에서 제거하였다. 제거된 실리콘은 측정을 위해 총 4조각으로 절단하였고, 해당 조각을 활용하여 디지털 전자 현미경으로 확대하여 연질 실리콘의 두께를 측정하였다.

#### 4. 통계 분석

본 연구에서는 실험군(SLS group)과 대조군(CAST group)에서 총 80군데가 측정되었고, 두 집단의 비교 평가를 위해 평균과 표준편차를 산출하였다. 산출된 평균을 근거로 두 집단의 변연적합도는 서로 유의한지 알아보기 위하여 정규성 검정 후 독립표본 t-검정일 실시하였다(제 1종 오류수준: 0.05). 시행된 모든 통계분석은 전용 통계 프로그램(IBM SPSS statistics ver. 22.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)을 활용하였다.

### III. 결 과

SLS집단과 CAST 집단에서 측정된 변연적합도의 평균과 표준편차는 fig. 4와 같다. SLS 집단의 순면은  $93.7 \pm 6.5 \mu\text{m}$ , 설면은  $89.1 \pm 8.9 \mu\text{m}$ , 근심면  $86.9 \pm 7.3 \mu\text{m}$  그리고 원심면은  $91.6 \pm 9.1 \mu\text{m}$ 으로 조사되었고, CAST 집단에서는 순면  $66.1 \pm 5.6 \mu\text{m}$ , 설면  $59.8 \pm 5.1 \mu\text{m}$ , 근심면  $69.1 \pm 7.8 \mu\text{m}$  그리고 원심면에서  $65.4 \pm 6.3 \mu\text{m}$ 로 조사되었다(Fig. 4). 두 집단에서 측정된 4군데의 평균을 비교 평가하고자 독립표본 t-검정을 수행하였다. 독립표본 t-검정 결과에서는 측정된 4군데에서 모두 두 집단의 평균이 통계적으로 유의하였다( $P < 0.05$ ), (Fig. 4).

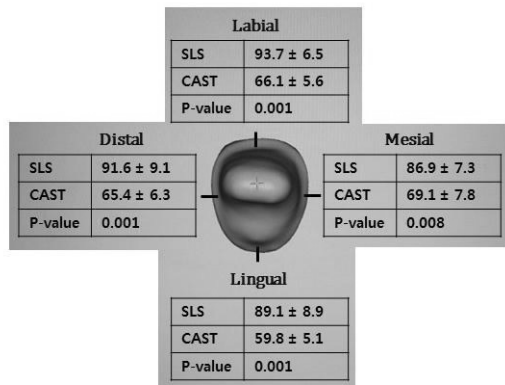


Figure 4. Mean ± standard deviations of marginal adaptations of SLS group and CAST group at four positions (unit= μm), (n=10).

#### IV. 고찰

여러 학문 분야의 경계가 무너지고 융합과 상생이 강조되는 4차 산업혁명의 영향으로 제조기술의 발전이 빠른 속도로 이루어지고 있다. 이는 치의학 분야에도 영향을 미치고 있으며, 특히 보철물 제작 기술에 가장 많은 영향을 미치고 있다. 치과용 3D 프린터기와 치과용 캐드캠 장비뿐만 아니라 디지털 기자재들은 전반적인 치의학 분야 자체를 바꾸어 놓고 있다. 디지털 기자재들은 치과용 의료 기기와 재료의 발전을 주도하고 있으며, 이로 인해 치료실 내 진료 시스템 방식은 물론 기공실, 기공소 내 제작 기술이 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 진화하고 있다. 최신 기자재들의 발전이 빠른 만큼 이런 기자재들의 임상적 허용 가능성을 가늠하는 평가와 관련한 연구는 매우 중요하며, 필요하다고 생각된다. 본 연구의 목적은 3D 프린팅 기술 중에 하나인 레이저 선택 용융 기술(Selective Laser Sintering, 닐)로 제작된 금속 코어의 변연적합도를 평가해봄으로써 해당 기술의 임상적 허용 가능성을 가늠하여 보고, 해당 임상가들에게 참고자료를 제시하는 것이다.

본 연구를 위해 SLS 기술로 금속 도재관 제작을 위한 금속 코어의 형태로 10개를 제작하여 실험군으로 지정하였다(SLS group). 제작된 실험군을 비교 평가하기 위한 대조군으로써 왁스소각기술과 주조방식을 이용하여 같은 형태의 금속 코어를 10개 제작하였다 (CAST group). 총

20개의 시편을 대상으로 각 시편 별 4군데, 총 80군데의 변연적합도를 측정하였고, 측정된 값을 비교평가 하는 방식으로 본 연구를 수행하였다. 본 연구 결과 측정된 모든 면에서 레이저 선택 용융 기술에 의해 제작된 SLS 집단보다 전통적인 방식인 왁스소각 기술과 주조 방식에 의해 제작된 CAST 집단의 변연적합도가 더 우수한 것으로 조사되었고, 이는 모두 통계적으로 유의하였다( $P < 0.05$ ).

본 연구에서 변연적합도의 측정 방법으로 실리콘 복제 기술을 이용하였다. 실리콘 복제 기술은 연질의 실리콘을 시편의 내면을 채워 모형과 시편의 간격을 복제 후 실리콘의 두께를 측정하는 기술이다. 구강 내 측정이 가능하고, 비교적 측정이 간편한 장점 등이 있는 반면 실리콘을 절단하여 측정하므로 다양한 방향에서의 측정이 불가능한 것과 사용되는 실리콘의 수축 등으로 측정이 부정확할 수 있는 단점 등이 있다. 특히 여러 지점의 변연적합도를 측정할 수 없는 가장 큰 단점으로 지적되며, 선행 연구자의 연구 결과에 따르면 고정성 보철물의 적합도를 논하기 위해서는 단관을 기준으로 50군데 이상에서 측정이 되어야 한다고 보고되었다(Groten et al, 2000). 실리콘 복제 기술은 이러한 요구 조건을 충족하지는 못하지만(Beuer et al, 2009), 측정법의 정확도와 신뢰성이 매우 높은 방법이고(Kim and Kim, 2012), 시편과 모형이 파괴되지 않는 장점이 있어 적합도 관련 연구에서 가장 많이 활용되는 방법 중 하나이다(Kohorst et al, 2010; Laurent et al, 2008).

이러한 단점의 보완하려면 시편을 모형에 시적한 상태에서 변연부를 현미경으로 관찰하는 direct measuring method를 이용하거나 컴퓨터를 활용한 측정법을 이용하여야 한다. 그러나 direct measuring method의 경우 수직적인 관계만 측정이 가능하며, 수평적인 거리는 측정에 무시가 되므로 신뢰높은 측정법이라고 보기에는 무리가 있다(Martinez-Rus, 2011). 또한 컴퓨터를 활용한 측정법의 경우 내면적합도의 측정은 비교적 손쉬우나 정확한 변연부의 측정이 어려운 단점이 있다(Kim et al, 2014). 반면 실리콘 복제 기술은 수평적인 거리도 확인이 가능하며, 정확한 변연부의 측정이 편리한 것이 장점이다.

본 연구 결과에 따르면 레이저 선택 용융 기술에 의해 제작된 보철물의 변연적합도가 종전의 방식에 의해 제작

된 것보다 우수하지 못한 결과로 조사되었는데, 원인으로 매우 다양한 변수들이 존재하는 것으로 사료된다. 모형 스캐닝 과정, 프로그램을 활용한 디자인 등 다양한 제작 과정에서 발생할 수 있는 작은 오차들이 결국엔 적합도에 영향을 미치는 것이라고 생각한다. 뿐 만 아니라 지대치 설계, 변연 형태, 보철물의 두께, 시편의 재료, 측정 방법 등 보철물의 적합도에 영향을 미치는 요인들이 다양하므로 정확한 원인을 규명하는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 이들 많은 변수들을 모두 제어하지는 못하였으나 두 집단의 모형을 동일한 형태의 모형을 사용한 점, 시편의 재료도 성분이 최대한 비슷한 재료를 선정한 점 등은 최대한 많은 변수를 제어하기 위함이었다. 반면 증례가 단순 증례 1개뿐인 점과 측정 시 실리콘의 변형 등에 대해 정확한 규명을 못한 것은 본 연구의 한계점으로 사료된다.

추후에 진행될 연구에서는 보다 다양한 증례를 대상으로 레이저 선택 용융 기술로 제작된 보철물들의 적합도를 평가가 필요할 뿐 만 아니라 다양한 변수들을 과학적으로 제어하여 보다 신뢰성 높은 평가들이 끊임없이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 본 연구의 의의는 레이저 선택 용융 기술로 제작된 고정성 보철물의 적합도를 평가함으로써 임상가들에게 참고 자료를 제시하였다는 점이며, 비록 전통적인 주조 방식에 의해 제작된 보철물들보다 적합도가 우수하지는 못하였으나 McLean과 von Fraunhofer가 제시한 임상적 허용 수치 안에 존재함에 따라 임상적으로는 허용이 가능할 것으로 생각된다(McLean and von Fraunhofer, 1971).

## V. 결 론

본 연구에서는 레이저 선택 용융 기술에 의해 제작된 금속 코어의 변연적합도를 측정하고, 동일한 증례를 대상으로 주조 방식에 의해 제작된 것들과 비교평가 해보았다. 그 결과레이저 선택 용융 기술로 제작된 금속 코어가 주조를 통해 제작된 것들보다 변연 적합도 보다 우수하지 못하였고, 측정된 모든 부위에서 통계적으로 유의하였다.

그 차이는 비교적 큰 차이는 아닌 것으로 생각되고, 특

히 선행 연구자가 제시하였던 임상적 허용 수치 내에 존재함에 따라 임상적으로 허용은 적합도를 기준으로 평가하여 보았을 때 가능할 것으로 생각된다. 그러나 기존의 방식만큼의 완성도를 위해서는 끊임없는 연구를 통한 개선이 필요해 보인다.

## REFERENCES

- Beuer F, Aggstaller H, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen J. Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers. *Dent Mater*, 25, 94-102, 2009.
- Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent*, 109,361-6, 2013.
- Groten M, Axmann D, Probst L, Weber H. Determination of the minimum number of marginal gap measurements required for practical in-vitro testing. *J Prosthet Dent*, 83, 40-9, 2000.
- Kim JH, Kim KB. An evaluation validity of the silicone replica technique at measurement on fit of fixed dental prostheses. *J Dent Hyg Sci*, 12, 566-71, 2012.
- Kohorst P, Brinkmann H, Dittmer MP, Borchers L, Stiesch M. Influence of the veneering process on the marginal fit of zirconia fixed dental prostheses. *J Oral Rehabil*, 37, 283-91, 2010.
- 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, 753-8, 2005.
- 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, 1432–6, 2014.
- Laurent M, Scheer P, Dejou J, Laborde G. Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns—validation of the silicone replica method. *J Oral Rehabil*, 35, 116–22, 2008.
- Martinez–Rus F, Suarez MJ, Rivera B, Pradies G. Evaluation of the absolute marginal discrepancy of zirconia–based ceramic copings. *J Prosthet Dent*, 105, 108–14, 2011.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107–11, 1971.
- Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer–aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *J Am Dent Assoc*, 137, 1289–96, 2006.
- van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*, 28, 3–12, 2012.