

# 치과용 캐드캠을 이용하여 연질금속 재료로 제작한 고정성 보철물의 변연 간격 평가

김재홍 · 김원수<sup>1</sup> · 김기백<sup>†</sup>

고려대학교 보건과학대학 보건과학연구소, <sup>1</sup>대전보건대학교 치기공과

## Evaluation of Marginal Gap of Fixed Dental Prostheses Fabricated by Soft Metal Material Using Dental CAD/CAM

Jae-Hong Kim, Won-Soo Kim<sup>1</sup> and Ki-Baek Kim<sup>†</sup>

Institute for Health Science, College of Public Health Science, Korea University, Seoul 136-703,

<sup>1</sup>Department of Dental Laboratory Technology, Daejeon Health Sciences College, Daejeon 300-711, Korea

The purpose of this study was to evaluate marginal gap of fixed dental prostheses (FDPs) fabricated by soft metal material with using dental computer aided design/computer aided manufacturing (CAD/CAM) system and to compare gap of its by a conventional method. Ten same cases of study models were manufactured and scanned for digital models fabricating. Ten FDPs were fabricated by soft metal material using dental CAD/CAM (SMB group). Then, ten FDPs were fabricated by cast metal using lost wax technique and casting method (LWC group). Marginal gap was measured by silicone replica technique. Gap was measured by digital microscope ( $\times 160$ ). Mann-Whitney test for statistical analysis was executed ( $\alpha=0.05$ ). The mean (standard deviations) of marginal gap was 76.5  $\mu\text{m}$  (35.2) for the SMB group, and 82.9  $\mu\text{m}$  (22.1) for the LWC group. Statistically significant differences were not found between SMB and LWC. As results, FDPs fabricated by soft metal material were clinically acceptable range.

**Key Words:** CAD-CAM, Fitness, Soft metal

### 서론

치과용 캐드캠(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM) 시스템이 도입된 이래 시간이 흐를수록 눈부신 발전과 함께 진화를 거듭하고 있다. 그 예로 최근 진료실에서는 보철 치료 시 구강 내 카메라를 이용한 디지털 인상채득 방식을 이용한 진료가 증가하고 있다. 또한 보철물 제작 과정도 치과용 캐드캠 시스템을 이용한 자동화 제작 과정의 빈도가 증가하고 있다. 치과용 캐드캠 시스템들이 발전하고 진화함에 따라 보철물 제작 기술 및 재료들 역시 다양화되고 있는 추세다.

그러나 아직 치과용 캐드캠 시스템의 가공 방식과 신재료들을 이용하여 제작된 보철물의 완성도는 기존의 전통적인 제작 방식에 의해 제작된 보철물들과 비교하였을 때 미흡하다는 의견들이 지배적이다. 때문에 계속적으로 진화하고 있는 치과 보철 기술을 긍정적으로 받아들이기 위해서는 끊임 없는 연구가 필요하다. 연구만이 해당 기술들과 재료의 완성도를 높일 수 있을 것이며, 이는 곧 최종 보철물의 수명을 길게 유지할 수 있는 중요한 요소가 될 것이다.

고정성 보철물이 구강 내 수명을 오래토록 유지하기 위한 요소로는 여러 가지가 있겠으나 그 중 하나는 적합도이다<sup>1-3)</sup>. 적합도는 지대치와 고정성 보철물과의 간격을 의미하는데,

Received: July 30, 2014, Revised: August 21, 2014, Accepted: August 21, 2014

ISSN 1598-4478 (Print) / ISSN 2233-7679 (Online)

<sup>†</sup>Correspondence to: Ki-Baek Kim

Institute for Health Science, College of Public Health Science, Korea University, 161, Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-703, Korea  
Tel: +82-2-940-2700, Fax: +82-2-916-5943, E-mail: kimkb@korea.ac.kr

Copyright © 2014 by the Korean Society of Dental Hygiene Science

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

특히 변연 간격은 구강 내 시적인 고정성 보철물의 수명을 결정짓는 제1의 요소 중 하나이다<sup>1-3)</sup>. 변연 간격이 큰 고정성 보철물의 경우 음식 잔해물과 플라그 등이 변연 간격이 적은 보철물보다 침착할 확률이 훨씬 높기 때문에 2차 우식 증의 발생률 또한 높아진다<sup>2-4)</sup>. 때문에 적은 변연 간격을 갖는 고정성 보철물이 구강 내에서 수명을 길게 할 수 있을 것이다.

주로 고정성 보철물 제작을 위한 재료로는 합금이 사용된다. 합금의 경우 그동안 주조 방식에 의해 제작이 되었는데, 이 방법의 경우 제작 과정이 다소 복잡하며, 시간이 오래 소요되는 단점이 있다. 그러나 치과용 캐드캠 시스템을 이용하면 종전보다 빠르고, 손쉽게 제작이 가능하다. 치과용 캐드캠 시스템을 이용한 합금재료의 고정성 보철물의 제작은 크게 두 가지로 구분되는데, 첫 번째는 경질금속블록을 절삭하여 원하는 보철물을 제작하는 방법, 두 번째는 금속 가루를 레이저를 이용하여 선택적으로 용융시켜 적층하는 기법이 있다. 앞서 설명한 두 가지 방식을 이용하여 완성된 고정성 보철물의 적합도를 평가한 연구의 경우 이미 여러 선행 연구들에서 발표되었다<sup>1,5-8)</sup>.

최근에는 경질금속블록 외에 연질금속블록이 새로운 치과용 캐드캠 재료로 소개되었다. 이 재료 역시 경질금속블록과 마찬가지로 절삭하는 방식에 의해 제작된다. 그러나 경질금속블록이 매우 단단하여 가공에 어려움이 있어 아직까지 쉽게 치과용 캐드캠 시스템에 적용되지 못하였다면 연질금속블록의 경우 경질금속블록보다 단단하지 않고, 치과용 왁스블록과 같은 물리적 특성을 갖고 있기 때문에 가공이 매우 용이하며, 소형 가공기로도 가능하기 때문에 치과용 캐드캠 시스템으로 적용이 간편하다. 가공이 끝나면 왁스와 같은 물리적 성질이므로 지르코니아처럼 소결 과정을 거쳐야만 금속과 같은 물리적 성질을 갖는 최종 보철물로서 제작이 완료된다. 재료의 특성상 소결 전 손쉬운 수정 작업이 가능하며, 냉각수 등이 필요 없는 건식 가공으로서 가공 후 따로 냉각이 필요 없으며, 발열 등이 적기 때문에 재료 오염의 위험이 적다. 때문에 캐드캠 시스템의 가공 장비에 과부하가 줄어들어 버와 같은 소모품의 수명이 길고, 가공 시간 역시 경질금속블록을 가공할 때보다 단축되는 장점이 있다.

여러 장점이 있음에도 불구하고 최근 신재료로서 소개된 연질금속블록을 가공하여 제작된 고정성 보철물의 변연간격 평가는 아직 이루어지지 않은 실정이다. 제작된 실험군과 대조군의 변연 간격을 측정하여 비교 평가함으로써 연질금속블록을 가공하여 제작된 3본 고정성 보철물의 임상적 허용 가능성을 변연 간격을 기준으로 가능하여 보고자 한다. 그리하여 치과의사, 치과위생사, 치과기공사 등 해당 임

상가들에게 임상적 참고자료를 제시하여 보고자 한다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

#### 1) 연구 모형 제작

본 연구를 위해 상악 우측 제1대구치를 지대치로 설계하였다(Frasaco GmbH, Tettngang, Germany). 지대치의 형태는 CAD program을 이용하여 치면은 1.2 mm의 깊이로 삭제되었으며, 변연부의 형태는 360°의 chamfer 형태로 각도는 12°를 부여하였다. 설계가 완료된 정보를 토대로 티타늄 블록을 가공하여 Fig. 1과 같은 티타늄 본 모형을 완성하였다. 본 모형을 중심으로 치과용 실리콘(Deguform; DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)을 이용하여 몰드를 제작하였다. 총 10개의 몰드를 제작하였으며, 몰드에 치과용 석고(Everast Rock; KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Germany)를 주입하여 10개의 연구모형을 제작하였다.

#### 2) 3차원 디지털 모형의 제작과 시편의 3차원 디자인

준비된 10개의 연구 모형을 이용하여 실험군을 제작하기 위해 치과용 스캐너(D-700; 3shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 디지털 모형을 제작하였다. 보다 정밀한 디지털 모형의 제작을 위하여 한 모형당 여러 번의 스캐닝을 실시하였다. 각각의 스캐닝 과정에서 획득된 영상들을 전용 프로그램(3shape Dental Designer; 3shape A/S)을



Fig. 1. The titanium master model.

이용하여 겹치고, 합쳐진 영상을 획득하여 정밀한 총 10개의 디지털 모형의 제작을 완료하였다.

제작이 완료된 디지털 모형을 중심으로 해당 분야에 중추적인 전문가가 고정성 보철물의 디자인을 실시하였다. 디자인 과정은 전용 프로그램(3shape Dental Designer, 3shape A/S)을 이용하였으며, 금속 도재관 제작을 위한 코어 형태로 시편을 디자인하였다. 디자인의 세부적인 사항은 프로그램 권장사항에 맞도록 시편의 두께는 0.5 mm로 설정하였으며, 접착을 위한 내면의 시멘트 필름 두께는 변연선 상방 0.5 mm에서부터 30 µm의 간격을 부여하였다. 디자인이 모두 끝난 후 각 모형별로 standard template library (STL) 파일 형식으로 저장되었다. STL 형식의 파일들은 개방형 접근 방식을 채택하고 있는 치과용 캐드캠 장비라면 회사에 구해 받지 않고 자유롭게 제작이 가능한 형식의 파일이다.

### 3) 실험군 제작(연질금속블록 절삭)

보철물의 디자인이 완료된 STL 파일을 기준으로 실험군 제작을 위하여 전용 프로그램(Ceramill Mind; Amann Girrbach AG, Koblach, Austria)으로 STL 파일을 실행시켰다. 실행시킨 후 가공하기 전 보철물의 삽입로와 변연부를 다시 재검토하였다. 재검토된 보철물의 정보를 토대로 가공장비(Ceramill Motion2; Amann Girrbach AG)를 이용하여, 코발트 크롬 계열의 합금으로 이루어진 연질금속블록(Ceramill Sintron 71 xxs [10 mm], Amann Girrbach AG)을 이용하여 가공하였으며, 사용된 연질금속블록의 성분은 Table 1과 같다.

가공이 완료된 시편들을 소결하기 위하여 소결 장비(Ceramill Argotherm; Amann Girrbach AG)의 전용 용기(Ceramill Sinter box; Amann Girrbach AG)에 시편들을 위치시킨 후 소결을 실시하였다.

소결은 1,280°C에서 진행되었으며, 승온 시작부터 최종

냉각 완료까지 5시간이 소요되었다. 소결 중에는 소결 용기 내부에 시편의 산화를 방지하기 위하여 아르곤 가스가 채워진 상태에서 소결이 실시되었다. 소결이 완료되고 최종 실험군인 연질금속블록을 이용한 고정성 보철물 10개의 제작이 완료되었다(soft metal block [SMB] 집단).

### 4) 대조군 제작(왁스소각기술과 주조)

실험군의 제작이 끝난 후 실험군의 비교 평가를 위한 대조군을 제작하기 위하여 실험군을 제작한 동일한 모형에 왁스소각기술과 주조를 이용하여 고정성 보철물을 제작하였다. 관교의치 제작을 위한 치과용 왁스를 이용하여 고정성 보철물 형태의 납형을 완성하였다. 납형 제작 후 기공용 현미경(AIS-10L; Daemyung optical PRODUCT, Daejeon, Korea; ×10)을 이용하여 변연부는 최종 점검이 되었으며, 완성된 총 10개의 납형을 통법에 따라 주입선 부착, 매물 그리고 소환을 실시하였다. 소환이 끝난 후 코발트 크롬 계열의 금속 도재관용 합금(WirobondC; BEGO GmbH, Bremen, Germany)을 이용하여 주조하는 과정을 거쳐 대조군 10개를 완성하였으며(lost wax technique and casting [LWC] 집단), 사용된 합금의 조성은 Table 1과 같다.

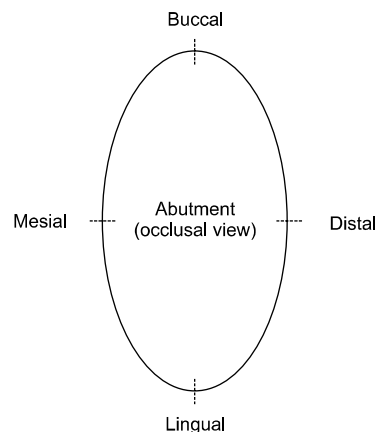
## 2. 연구 방법

### 1) 변연 간격 측정

지대치별로 협, 설, 근, 원심 방향의 4지점의 변연 간격을 측정하였으며(Fig. 2), 한 시편당 4군데, 두 그룹의 시편 20개를 총 80회에 걸쳐 변연 간격을 측정하였다. 모든 측정부위는 지대치 모형으로부터 시편까지 수직적인 거리로 변연 간격을 정의하며 측정하였다<sup>9,10)</sup>(Fig. 3).

**Table 1.** The Composition of Alloy Using Specimen Fabricating

Components	Soft metal block (%)	Cast metal (%)
Cobalt (Co)	66	61
Chrome (Cr)	28	26
Molybdenum (Mo)	5	6
Tungsten (W)	-	5
Silicon (Si)	< 1	1
Cerium (Ce)	-	0.5
Iron (Fe)	< 1	0.5
Niobium (Nb)	-	-
Manganese (Mn)	< 1	-
Carbon (C)	-	< 0.02



**Fig. 2.** Occlusal view of abutment (dotted line: measurement part).

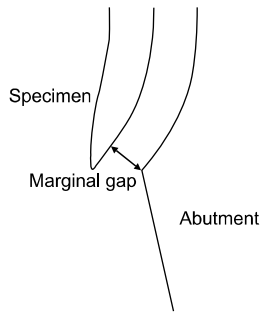


Fig. 3. The definition of marginal gap.

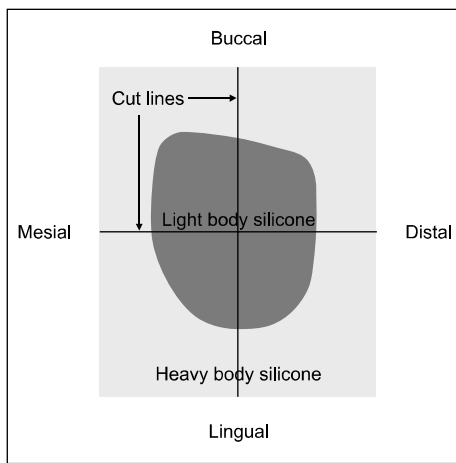


Fig. 4. Sectioning of silicone replica.

본 연구에서는 변연 간격을 측정하기 위하여 이미 선행 연구를 통하여 측정 방법으로서 정확도가 검증된 실리콘 복제 기술을 사용하였다<sup>11)</sup>. 이 방법은 시편과 지대치와의 공간을 연질 실리콘을 이용하여 복제한 후 실리콘의 두께로 간격을 측정하는 방법이다. 이 방법에 의하여 연질 실리콘(Fresh; Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany)을 시편의 내면에 채운 후 지대치에 치아 장축방향으로 압력을 가하였다. 본 연구에서는 약 50 N의 힘으로<sup>7,8)</sup>, 연질 실리콘의 경화가 끝날 때까지 압력을 유지하였다.

연질 실리콘의 경화가 끝난 후 조심스럽게 시편만 모형에서 제거한 후 경질 실리콘(Fresh; Dreve Dentamid GmbH)을 이용하여 연질 실리콘을 보강하였다. 보강한 이유는 얇은 연질 실리콘의 경우 정밀한 절단이 어려우며, 측정에 무리가 있기 때문이다. 경질 실리콘의 경화가 끝나고, 복제된 실리콘을 Fig. 4와 같이 협-설, 근-원심 방향으로 절단하여 4 조각으로 분리하였다. 분리된 실리콘은 눈금 조정이 완료된 디지털 전자 현미경(KH-7000; HIROX, Hackensack, NJ, USA)을 이용하여 160 배율로 적합도를 측정하였다(Fig. 5).

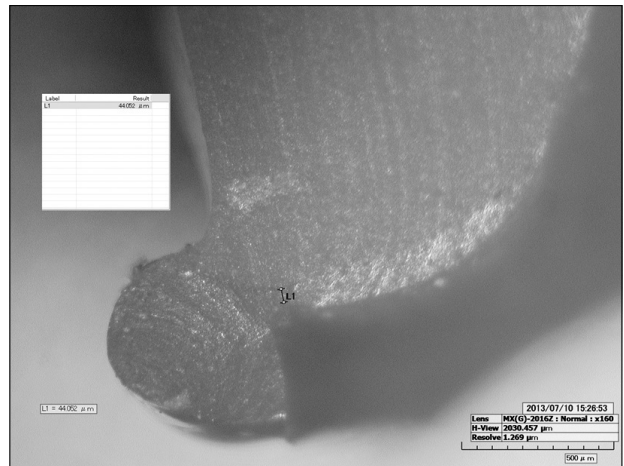


Fig. 5. Measurement of marginal gap using the digital microscope ( $\times 160$ ).

## 2) 통계분석

실험군(SMB group)과 대조군(LWC group)에서 측정된 변연 간격을 비교 평가하기 위하여 통계 분석을 실시하였다. 분석 방법으로는 비모수 검정 방법인 만 위트니 검정(Mann-Whitney test)이 수행되었으며(유의수준 95%), 모든 통계 분석에는 IBM SPSS Statistics version 20.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)이 사용되었다.

## 결 과

두 집단에서 측정된 각 부위별 변연 간격의 평균과 표준 편차는 Fig. 6과 같으며, 협면의 변연 간격을 제외한 모든 부위의 변연 간격은 SMB 집단의 변연 간격이 적게 조사됨에 따라 적합도가 더 우수하였으나 측정된 4부위(협면, 설면, 근심면, 원심면) 모두에서 통계적으로 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ).

4부위 구분 없이 조사한 결과 SMB 집단의 변연 간격의 평균(표준편차)이  $76.5 \mu\text{m}$  (35.2), LWC 집단은  $82.9 \mu\text{m}$  (22.1)로 조사되었으나, 통계적으로 유의하지는 않았다( $p=0.181$ ).

## 고 찰

본 연구에서는 최근 합금을 이용한 고정성 보철물의 제작 방식으로서 새롭게 소개된 연질금속블록을 가공하고 소결하는 과정에 의해 제작된 고정성 보철물(SMB 집단)의 임상적 허용 가능성을 변연 간격 기준으로 가늠해보고자 기존의

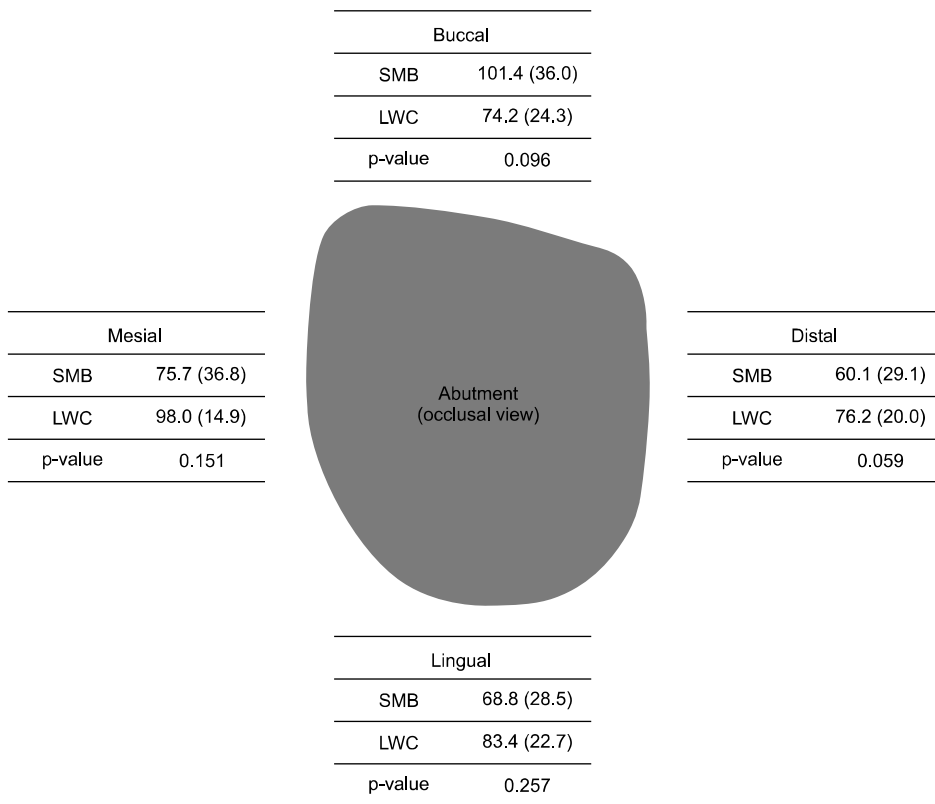


Fig. 6. Mean (standard deviation) of the marginal gap of fixed dental prostheses fabricated by soft metal block (SMB) and lost wax technique and casting (LWC) (unit:  $\mu\text{m}$ ).

방식인 왁스소각기술과 주조방식에 의해 제작된 고정성 보철물(LWC 집단)과 비교 평가해 보았다.

측정된 모든 변연 간격의 값을 기준으로 보았을 때 LWC 집단의 평균 (표준편차) 간격은  $82.9 \mu\text{m}$  (22.1)였고, SMB 집단은  $76.5 \mu\text{m}$  (35.2)로 근소한 차이로 SMB 집단의 변연 간격이 더 우수한 것으로 확인되었으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 때문에 연질금속블록을 가공하여 제작된 고정성 보철물은 변연 간격을 기준으로 보았을 때, 임상적으로 허용이 가능할 것으로 생각된다.

또한 현재 고정성 보철물 변연 간격의 임상적 허용 한계 수치로 대부분  $120 \mu\text{m}$ 를 제시하고 있는데, McLean과 von Fraunhofer<sup>12)</sup>는 5년 이상 된 1,000개 이상의 고정성 보철물의 변연 간격을 평가한 결과 간격이  $100 \mu\text{m}$ 는 되어야 임상적으로 아무 문제가 되지 않으며, 적어도 임상적으로 허용이 가능하기 위해서는  $120 \mu\text{m}$ 를 넘지 말아야 한다고 보고하였다. McLean과 von Fraunhofer<sup>12)</sup>가 제시한 임상적 허용 수치에 근거하였을 때 연질금속블록을 가공하여 제작한 고정성 보철물은 임상적으로 허용이 가능할 것으로 생각된다.

고정성 보철물의 변연 간격을 평가하기 위하여 보철물과 지대치의 간격을 측정하는 방법으로 여러 가지가 있는데 첫 번째는 시편과 모형 등을 묻은 후 절단한 뒤 단면에서 간격

을 현미경으로 측정하는 방법이다<sup>5,13-16)</sup>. 이 방법의 경우 시편이 파괴되는 단점이 있으며, 묻은 후 절단하는 과정 등이 다소 불편하다. 또한 절단하기 때문에 다양한 지점에서의 측정이 불가능하다.

두 번째 방법으로 시편을 모형에 시적한 상태에서 현미경으로 변연부를 측정하는 방법이 있는데<sup>17,18)</sup>, 이 방법의 경우 여러 지점에서의 측정이 가능하며, 시편과 모형이 파괴되지 않는 장점이 있으나 내면 간격의 측정이 불가능하다. 또한 변연 간격의 경우 수직적인 거리로만 측정이 되므로 측정값의 정확도가 비교적 떨어진다.

본 연구에서 사용한 실리콘 복제 기술은 이미 그 정확도와 신뢰성이 확인되어<sup>11)</sup> 많은 선행 연구에서 사용되었다<sup>1,5,7,8)</sup>. 이는 지대치와 보철물의 간격이 복제된 연질 실리콘을 절단한 뒤 단면의 두께를 현미경을 이용하여 측정하는 방법이다.

이 방법의 장점으로는 적합도 측정 방법으로 비교적 간편하고, 정확하며, 보철물과 지대치 또는 모형이 파괴되지 않는 비파괴적인 방법인 장점이 있다. 또한 구강 내 적합도 측정 시 사용될 수 있는 유일한 방법이다. 그러나 사용되는 실리콘의 양 또는 수축 등이 측정값에 영향을 미칠 수 있으며, 2차원 적인 방법이기 때문에 3차원적인 분석은 불가능하다. 또한 복제된 실리콘을 절단하여 측정하게 되므로 다양한 부

분의 측정에 한계가 있다.

사실 고정성 보철물의 적합도의 경우 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 지대치의 형태, 인상채득 시 사용된 재료, 구강 내 시적 시 사용한 치과용 시멘트의 종류, 적합도를 측정하는 방법 등에 영향을 받게 된다. 때문에 고정성 보철물의 적합도를 정확히 규명하기란 힘들다고 생각된다.

본 연구에서는 고정성 보철물 제작을 위한 모형을 대상으로 두 지대치를 챔퍼 형태의 변연부와 12°의 total occlusal convergence를 부여하여 제작하였다. 제작된 모형에 LWC 집단과 SMB 집단의 시편을 10개씩 제작하여 변연 간격을 평가하였는데, 본 연구의 제한점은 동일한 증례의 보철물만 갖고, 적합도를 평가하였다는 점이다. 때문에 추후에 진행될 연구에서는 다양한 증례를 대상으로 지대치의 형태 또한 다양한 형태의 지대치를 대상으로 여러 보철물을 제작하여 해당 보철물의 적합도를 평가하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 연질금속블록이 새로 개발된 신재료인 만큼 해당 재료를 이용하여 제작된 보철물의 임상적 허용 가능성을 평가하는 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 최근 치의학계 전반적으로 치과용 캐드캠 시스템의 사용이 증가함에 따라 새로운 재료의 개발도 활발히 이루어지고 있는 현실을 반영하였다. 최근 새롭게 개발된 고정성 보철물의 제작 재료인 연질금속재료를 이용하여 제작된 고정성 보철물의 변연 간격을 평가하여 봄으로써 신재료의 임상적 허용 가능성을 변연 간격을 기준으로 가늠하여 보고자 하였으며, 나아가서는 치과의사, 치과위생사 및 치과기공사 등 해당 분야 임상가들에게 참고자료를 제시하고자 하였다.

연구 결과에 따르면 연질금속블록을 가공하여 제작된 집단이 전통적인 방식에 의해 제작된 집단보다 우수한 변연 간격을 보였으나, 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 연질금속블록을 가공하여 제작된 보철물들의 변연 간격이 임상적 허용 수치로 제시되고 있는 120 μm를 넘지 않는 것으로 보아 변연 간격을 기준으로 하였을 때 임상적으로 허용이 가능할 것으로 생각된다.

## References

1. Kim KB, Kim WC, Kim HY, Kim JH: An evaluation of marginal fit of three-unit fixed dental prostheses fabricated by direct metal laser sintering system. *Dent Mater* 29:

- e91-e96, 2013.
2. Han MS, Kim KB: Comparison of the marginal and internal fit on the cast and CAD-CAM cores. *J Dent Hyg Sci* 12: 368-374, 2012.
3. Kim JH, Kim KB: Influence of high temperature of the porcelain firing process on the marginal fit of zirconia core. *J Dent Hyg Sci* 13: 135-141, 2013.
4. 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.
5. Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim HY, Kim JH: Evaluation of the marginal and internal gap of metal-ceramic crown fabricated with a selective laser sintering technology: two- and three- dimensional replica techniques. *J Adv Prosthodont* 5: 179-186, 2013.
6. Ucar Y, Akova T, Akyil MS, Brantley WA: Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabrication technique: laser-sintered Co-Cr crowns. *J Prosthet Dent* 102: 253-259, 2009.
7. Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, Vult von Steyern P: The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: a comparative in vitro study. *Dent Mater* 27: 356-363, 2011.
8. Quante K, Ludwig K, Kern M: Marginal and internal fit of metal-ceramic crowns fabricated with a new laser melting technology. *Dent Mater* 24: 1311-1315, 2008.
9. Kokubo Y, Tsumita M, Kano T, Sakurai S, Fukushima S: Clinical marginal and internal gaps of zirconia all-ceramic crowns. *J Prosthodont Res* 55: 40-43, 2011.
10. Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD: Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent* 62: 405-408, 1989.
11. 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: 566-571, 2012.
12. McLean JW, von Fraunhofer JA: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 131: 107-111, 1971.
13. Blackman R, Baez R, Barghi N: Marginal accuracy and geometry of cast titanium copings. *J Prosthet Dent* 67: 435-440, 1992.
14. Gavelis JR, Morency JD, Riley ED, Sozio RB: The effect of various finish line preparations on the marginal seal and

- occlusal seat of full crown preparations. *J Prosthet Dent* 92: 1-7, 2004.
15. Oruc S, Tulunoglu Y: Fit of titanium and a base metal alloy metal-ceramic crown. *J Prosthet Dent* 83: 314-318, 2000.
16. 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.
17. Witkowski S, Komine F, Gerds T: Marginal accuracy of titanium copings fabricated by casting and CAD/CAM techniques. *J Prosthet Dent* 96: 47-52, 2006.
18. Tan PL, Gratton DG, Diaz-Arnold AM, Holmes DC: An in vitro comparison of vertical marginal gaps of CAD/CAM titanium and conventional cast restorations. *J Prosthodont* 17: 378-383, 2008.