

# 왁스 밀링 방법 및 디지털 광 프로젝션 방법으로 제작된 3본 금속 구조물의 적합도 비교

이정환, 안재석  
광주보건대학교 치기공과

## Comparison the fit of three-unit metal framework fabricated by wax milling method and digital light projection method

Jung-Hwan Lee, Jae-Seok Ahn

Department of Dental Lab Technology, Gwangju Health University

### [Abstract]

**Purpose:** This study was conducted to comparative evaluate the marginal and internal gap of three-unit metal frameworks(Co-Cr) fabricated by wax milling method and digital light projection method of CAD/CAM systems.

**Methods:** All the specimens were fabricated by three different fabrication methods: conventional wax up with casting(CWC), milled wax block with casting(MWC), digital light projection with casting(DLPC) (n=10 each). The marginal and internal fits of specimens were examined using a replica technique. The light-body silicone thickness was measured at 8 reference points(each abutment: 16 measurements). All measurements were conducted by a stereomicroscope. Digital photo were taken at 150× magnification and then analyzed using a measurement software. The Mann-Whitney test was used for analyzing the results.

**Results:** Statistically significant differences were found between the fabrication methods( $p<0.001$ ). The mean(SD) is  $\mu\text{m}$  for fabrication methods, the mean marginal fit were recorded respectively, CWC 63(38), MWC group 50(33), DLPC 103(54) and the mean internal fit CWC 96(47), MWC group 116(41), DLPC 138(66).

**Conclusion :** The marginal and internal fit were statistically different according to the fabrication methods( $p<0.001$ ). In all fabrication methods, the greatest misfit was found the occlusal area of all specimens.

○ **Key words:** Accuracy, Marginal and internal fit, Marginal discrepancies, Metal framework, Three unit substructure.

\* 이 논문은 2018년도 광주보건대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임.

Corresponding author	Name	안 재 석	Tel.	062-958-7697	E-mail	jsahn@ghu.ac.kr
	Address	광주광역시 광산구 북문대로 419번길 73 광주보건대학교				
Received	2019. 2. 7	Revised	2019. 2. 28	Accepted	2019. 3. 15	

## 1. 서론

모든 보철치료의 기본적인 목표는 정확하게 적합이 되는 수복물을 환자에게 제공하는 것이다. 따라서 수복물의 변연과 내부에서의 틈을 최소화하는 것은 보철물의 장기적 성공을 결정짓는 주요한 요인이다(Holmes et al, 1989; White et al, 1992; Bhaskaran et al, 2013). 아직까지 과학적 증거를 기반으로 한 변연과 내부적합도의 기준은 없지만, McLean과 von Fraunhofer(1971)는 임상 조건에서 80  $\mu\text{m}$  보다 작은 틈을 갖게 하는 것이 쉽지 않다는 것을 보고하였고, 임상적으로 수용할 수 있는 단일 치관의 변연적합은 접착 후 120  $\mu\text{m}$ 를 넘지 않아야 한다고 주장하였다. 현재 이 한계를 여러 연구에서 임상적 변연적합도의 기준으로 삼고 있는 경우가 많다. 반면에 다른 연구에서는 수복물의 장기적인 성공을 위해서 100  $\mu\text{m}$ 이하의 간격을 제시하고 있다(Holmes et al, 1992). 그러나 이 또한 단관의 경우 이고 브리지 구조물의 적합도 연구는 거의 찾아보기 어렵다.

내부적합도는 측정지점에 따라 여러 값을 얻을 수 있지만 크게 측벽과 교합면으로 나눌 수 있다. 측정영역에 따라 적합도 평균값의 차이가 큰데 이를 하나의 값으로 제시한다면 연구 간에 객관적인 비교가 어려운 점이 있다. 또한 연구자마다 지대치의 형태, 측정위치, 측정방법 등이 달라 직접적인 비교가 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 내부적합도를 삼퍼(chamfer), 측벽(axial wall), 교합면(occlusal)으로 나누어 조사하였다.

치과용 지르코니아 수복물의 대중화로 금속-도재 수복물의 수요가 많이 감소하고 있지만 여전히 보철 수요의 상당부분을 차지하고 있다. 금속-도재 수복물의 하부구조물을 제작하기 위한 전통적인 방법은 석고모형에 wax-up하여 납형제작 후 매몰, 소환 및 주조과정을 거치는 것이다. 그러나 최근엔 wax-up 과정 없이 CAD 소프트웨어를 기반으로 하여 디자인 후 왁스 블록을 밀링 하거나 3D 프린팅 방법으로 납형을 제작하기도 한다. 여러 가지 3D 프린팅 방식이 있지만 본 연구에서는 현재 치과분야에서 많이 사용되고 있는 디지털 광 프로젝션(Digital Light Projection)방식의 장비를 선택하여 평가하였다. 본 방식에 사용되는 액상 수지는 자외

선(ultraviolet light)과 가시광선에 민감하게 반응하며, 저장용기에 담겨진 액상 수지에 빛을 조사하면 수십 마이크로 두께의 얇은 층이 프린트된다. 이어서 와이퍼 블레이드가 작업대를 가로질러 액상재료를 균일하게 펼치며, 다시 빛을 조사하게 된다. 이러한 과정을 반복하여 각각의 층이 합해져 입체의 형상이 제작된다.

치과분야에서 CAD를 기반으로 한 왁스 밀링과 3D 프린팅 제작방식의 활용이 증가할 것으로 판단되지만 이러한 방식으로 제작된 금속 구조물의 변연과 내부적합도에 관한 정보는 많지 않으며, 있다고 하더라도 거의 단관 위주의 연구에 한정되어 있다(Ucar et al, 2009; Bhaskaran et al, 2013). 따라서 위에서 언급한 제작방식들이 전통적인 wax-up 방식을 대체할 수 있을지 3본 브리지 구조물에 적용하여 적합도를 평가해볼 필요가 있다고 생각된다.

고정성 보철물의 변연과 내부적합도를 측정하는 방법에는 직접 눈으로 관찰하는 방법, 접착 후 절단하여 측정하는 방법, 인상재로 복제하여 두께를 측정하는 방법, 인상재의 무게를 달아서 계산하는 방법, 탐침으로 평가하는 방법 등이 적용되어왔다(Nawafleh et al, 2013; Vojdani et al, 2013). 최근에는 Micro-CT 기술을 이용한 방법도 사용되고 있다(Borba et al, 2013). Moon 등(1998)은 절단하여 관찰하는 방법이 가장 정확하지만 측정부위를 추가하려면 정밀한 시편을 많이 만들어야 하기 때문에 한계가 있다고 보고하였다. 인상재로 복제하여 두께를 측정하는 Replica technique은 Molin과 Karlsson 등(1993)이 인레이(inlay)의 적합도를 평가하기 위해 제시한 방법이다. 이 방법은 시편 절단 시 발생하는 변연의 변형을 제거할 수 있으며, 측정부위의 수를 쉽게 늘릴 수도 있다. 또한 시편을 훼손시키지 않고 제작과정에 따른 단계별 측정이 가능하다. 과거에는 이 방법의 정확도에 확신을 갖지 못했지만 부가 중합 실리콘 인상재의 흐름성과 정밀도 향상으로 직접 절단하여 측정한 결과와 거의 동일한 결과를 얻었다는 보고가 있으며(Rahme et al, 2008) 최근 이 방법이 적합도 연구에서 많이 사용되고 있다.

본 연구의 목적은 CAD/CAM시스템을 이용하여 구조물을 디자인한 후 왁스 블록을 밀링하는 방식과 디지털

광 프로젝션 방식으로 제작된 납형을 Co-Cr 합금으로 주조하여 완성된 3본 금속 구조물의 적합도를 비교, 평가하는 것이다. 본 연구의 귀부가설은 각 제작 방법 간에 적합도의 차이가 없다는 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 주모형의 설계 및 제작

본 연구에서는 상악 제1소구치(#14)와 제1대구치(#16)에 3본 금속-도재 수복물을 위한 지대치 삭제(교합면 1.5-2 mm, 측면 1.2-1.5 mm 삭제, 측면의 각도 6°, 변연 1 mm의 삼퍼 형성)를 시행하여 주모형을 완성하였다(Figure 1).

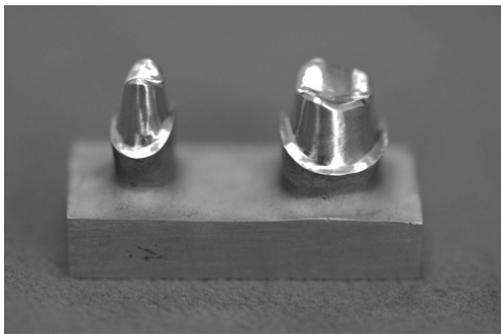


Figure 1. Labial view of Master model.

### 2. 작업모형의 제작

복제용 실리콘(elite double 32 extra fast, Zhermack SpA, Badia Polesine, Italy)을 이용하여 금속 주모형을 복제하였으며, 복제된 실리콘 주형에 사용설명서에 따라 모형 제작용으로 사용되는 폴리우레탄 레진(Polyurock, Cendres+metaux SA, Biel, Swiss)을 주입하여 작업모형을 완성하였다. 제작된 모형은 군별로 색상을 다르게 10개씩, 총 30개의 모형을 제작하였다(Figure 2). 중합 수축으로 인한 체적의 변화가 발생할 가능성이 있으므로 작업모형은 제작 48시간 후 사용하였다.

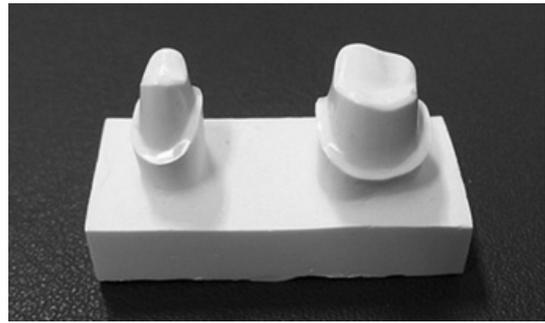


Figure 2. Polyurethane resin working model.

### 3. 3본 금속 구조물의 제작

제작 방법에 따라 3개의 군으로 나누어 각 군마다 10개의 패턴을 제작하였으며, 통상적인 매몰과 주조 과정을 거쳐 금속 구조물을 완성하였다. 사용된 재료는 Table 1에 제시하였다. 대조군으로 사용한 전통적인 wax-up 방식의 CWC 군을 제외한 2개의 군은 3D Scanner(3shape D700, 3shape A/S, copenhagen K, Denmark)로 각각의 작업모형을 스캔하여 코어 두께 1 mm, 연결부 단면적 9 mm<sup>2</sup>, 마진에서 0.5 mm 떨어진 지점부터 50 μm의 시멘트 공간을 갖도록 CAD소프트웨어(CAMbridge™, 3shape A/S, copenhagen K, Denmark)를 사용하여 동일하게 디자인(Figure 3)한 후 각각의 가공 장비로 전송하였다. MWC 군은 CAD로 디자인된 파일을 치과용 5축 가공기(ZENOTEC®, Wieland Dental GmbH, Pforzheim, Germany)로 전송, 왁스 블록을 밀링하여 납형을 제작하였다(Figure 4).

DLPC군은 CAD로 디자인된 파일을 3D 프린터(ULTRA® DDP™, EnvisionTEC GmbH, Gladbeck, Germany)로 전송, 왁스가 함유된 광중합 액상 레진(WIC300, Envisiontec, Germany)에 빛을 조사하여 25~50 μm 해상도로 프린트하여 납형을 제작하였다(Figure 4).

CWC군은 CAD로 디자인된 군들과 동일한 시멘트 공간을 부여하기 위해 20 μm의 다이 스페이서(Tecno skin, Smile line, St-Imier, Switzerland)를 두 번 도포한 후 10 μm의 다이 스페이서(Die spacer)를 추가로 한번 도포하였다. 그 후 왁스 분리제(Slick-Fit Die Lube pen, Talladium, Inc, USA)를 바르

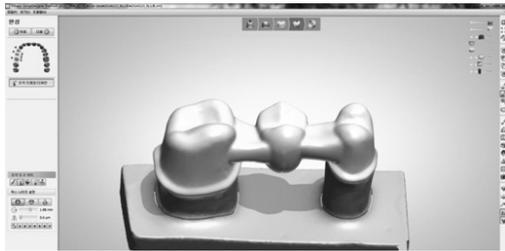


Figure 3. Designed framework by CAD system.

고 Dip wax technique(Renfert hotty; Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)을 이용하여 코핑(Super dipping type A, Hi-tech wax, USA)을 형성하고 전기 조각도(Waxlectric II, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)로 약 1 mm 두께가 되도록 왁스(Yeti IQ Sculpturing Wax, Keystone Industries GmbH, Singen, Germany)를 첨가하였다(Figure 4). 왁스 두께를 측정(Iwanson crown wax caliper, Surgical instrument, Deer Park, NY)하여 적절한 두께가 되도록 추가하거나 삭제를 시행하였다. CWC군의 납형은 CAD 디자인을 이용한 다른 군의 납형과 가능한 동일한 형태와 크기를 갖도록 가공치(pontic)와 연결부를 복제

하여 사용하였다. 특히 매몰과 주조 과정으로 인한 적합도의 변화를 확인하기 위해 주조 전 납형의 적합도와 주조 후 금속 구조물의 적합도를 각각 측정하였다.

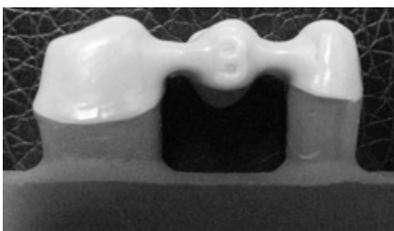
완성된 모든 납형들은 협측 교두에 45° 각도로 지름 3 mm의 주입선을 부착하였고, 주형 내에 존재하는 가스의 배출을 가능하게 하면서 보다 우수한 주조결과를 얻기 위해 왁스 납형의 설측 변연 1 mm 상방에 에어벤트를 부착하였다.

Ringless system을 이용하여 제조회사의 설명서에 따라 인산염계 매몰재(uniVest plus, Cendres<sup>+</sup>metaux SA, Biel, Swiss)로 매몰을 한 후 900℃까지 예열을 하였고, Co-Cr 합금(Wirobond C, Bego Medical GmbH, Bremen, Germany)으로 고주파 주조기(Ducatron serries 3, UGin dentalre, seyssins, France)를 이용하여 주조를 하였다.

매몰재 제거를 위해 알루미늄(Cobra 50 μm white, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)를 3bar의 압력으로 분사(Basic master, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany) 처리하였다.

Table 1. Fabrication methods and used materials for three specimen groups

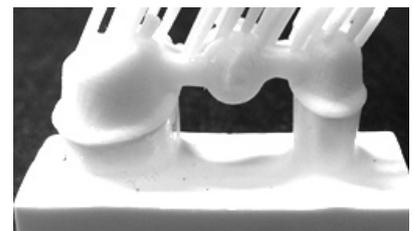
Code	Fabrication methods	Casting before/after	Used material	Manufacturer
CWC	Conventional Wax Up with casting	Before casting	Super dipping type A Yeti IQ Sculpturing wax	Hi-tech wax, USA Keystone Industries GmbH, Singen, Germany
		After casting	Wirobond C (Co-Cr)	Bego Medical GmbH, Bremen, Germany
MWC	Milled Wax Block with casting	Before casting	Zenotec wax	Wieland Dental GmbH, Pforzheim, Germany
		After casting	Wirobond C (Co-Cr)	Bego Medical GmbH, Bremen, Germany
DLPC	Digital Light Projection with casting	Before casting	WIC300	Envisiontec GmbH, Gladbeck Germany
		After casting	Wirobond C (Co-Cr)	Bego Medical GmbH, Bremen, Germany



CWC(Conventional Wax Up)



MWC(Milled Wax Block)



DLPC(Digital Light Projection)

Figure 4. Fabricated pattern of three different groups.

주조된 3분 금속 구조물은 치과기공용 확대경(Stereo Microscope S300 II, TAUB Product, Jersey City, USA)으로 관찰하여 내면에 양형 기포가 발생했을 시에만 삭제를 시행하였고, 알루미늄옥사이드(Cobra 50  $\mu\text{m}$  white, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)를 3 bar의 압력으로 분사 처리 후 증기 세척하였다.

#### 4. 시편의 적합도 측정

3분 금속 구조물 내면에 부가 중합 실리콘 인상재 Light body(Aquasil Ultra XLV, Densply Caulk, Milford, USA)를 채우고 나서 작업 모형에 안착시켰다. 이어서 미리 제작한 Putty jig를 교합면 부위에 위치시키고 인상재가 완전히 경화될 때까지 5분 동안 29 N의 힘을 유지하였다(Figure 5). 이러한 과정은 납형의 상태에서도 동일하게 진행하였다.

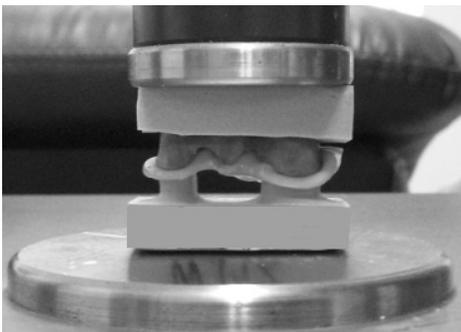


Figure 5. The constant seating force(29 N) was maintained on special device for 5 min.

Light body 인상재가 완전히 경화된 후 3분 금속 구조물의 내면에서 분리되지 않게 작업모형으로부터 조심스럽게 분리한 후 내면에 부가 중합 실리콘 인상재 Regular body(Aquasil Ultra Monophase, Densply Caulk, Milford, USA)를 Automix gun을 이용하여 채운 다음 평평한 유리판 위에 놓고 경화시켰다. Holmes 등(1989)이 서술한 측정방법에 따라 광학 현미경(GX41, Olympus Corporation, Japan)으로 150 배율을 적용하여 적합도를 확인하였다(Figure 6).



Figure 6. GX 41 with a microscope digital camera.

소구치와 대구치 각 치아의 중앙에서 근·원심과 협·설 방향으로 절단하였으며(Figure 7). 각 단면의 8개의 지점(Figure 7)에서 측정하였다. 결과적으로 하나의 지대에서 16개의 측정값을 얻었으며, 3개의 군(n=10)으로 납형과 주조체 각각 960개의 측정을 수행하였다. 또한 측정된 각 지점 중 근·원심과 협·설단면의 1과 8의 위치를 변연, 2와 7의 위치를 삼피, 3과 6의 위치를 측벽, 4와 5의 위치를 교합면 영역으로 분류하였다(Figure 7).

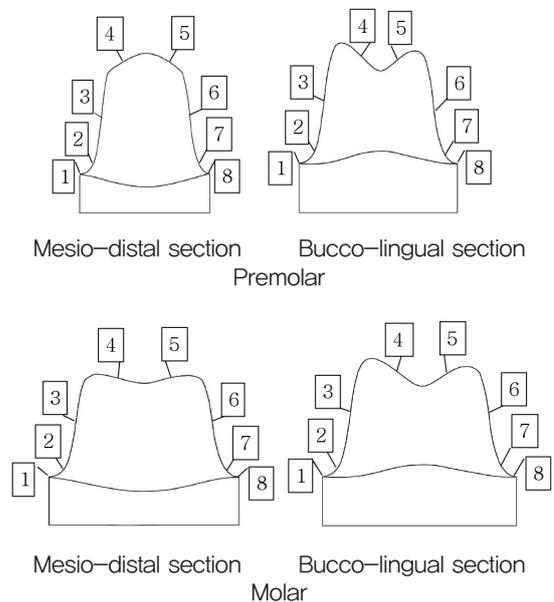


Figure 7. Schematic illustration of the measurement points.

#### 5. 통계적 분석

통계적 분석은 SPSS version 18.0(SPSS Inc.)을 사용하였으며, 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 하였다. 정규성

검정결과 각 요인에 따른 모집단의 분포가 정규분포를 따르지 않았기 때문에 비모수적 방법으로 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney test)과 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 시행하였고, 사후검정은 Tukey test using ranks를 적용하였다. 또한 주조 전·후 차이를 확인하기 위해 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed ranks test)을 실시하였다.

### III. 결과

통계 검정결과 제작방법에 따라 변연과 내부적합도에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ). 따라서 귀무가설은 기각되었다. 또한 지대치의 위치(소구치, 대구치), 절단면의 방향(근·원심단면, 협·설단면), 측정영역(변연, 삼퍼, 측벽, 교합면), 주조 전·후(납형, 주조체)에 따라 적합도에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ).

#### 1. 제작방법에 따른 비교 분석

제작방법에 따른 각 측정영역에서의 평균 간격은 Table 2에서 확인할 수 있다.

모든 측정의 평균값 비교결과 전통적인 wax-up 방식인 CWC군, 왁스블록을 밀링하는 방식인 MWC군, 3D 프린터를 이용하여 적층하는 방식인 DLPC군 순서로 우수하게 나타났다. 또한 각 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.001$ )(Figure 8).

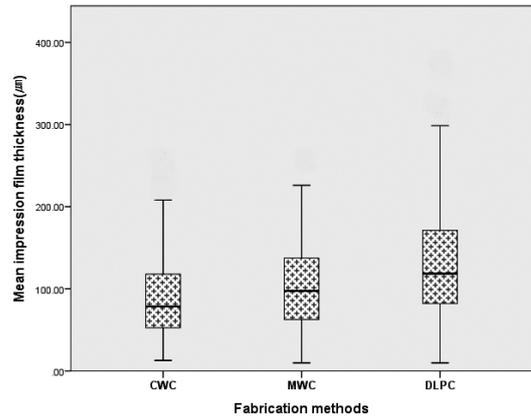


Figure 8. Mean impression film thickness for total measuring point.

Fabrication methods: conventional wax up with casting(CWC), milled wax block with casting(MWC), digital light projection with casting(DLPC). Statistically significant differences between groups( $p < 0.001$ ).

#### 2. 측정 영역별 적합도 비교분석

측정영역별로 나누어 비교한 결과 변연에서의 적합도는 MWC군이 가장 우수하였고, 다른 측정영역(삼퍼, 측벽, 교합면)에서는 CWC군이 우수하게 나타났다( $p < 0.001$ )(Figure 9). DLPC군은 MWC군과 비교하여 변연과 교합면에서 상당한 간격(인상재 두께)을 확인하였다( $p < 0.001$ )(Figure 9).

Table 2. Mean(SD) in  $\mu\text{m}$  of impression film thickness for each measurement area in three fabrication methods

Measurement area	Group								
	CWC(mean(SD), $\mu\text{m}$ )			MWC(mean(SD), $\mu\text{m}$ )			DLPC(mean(SD), $\mu\text{m}$ )		
	premolar	molar	Total	premolar	molar	Total	premolar	molar	Total
Margin	51(36)	74(37)	63(38)	42(25)	59(37)	51(33)	93(56)	114(51)	103(54)
Chamfer	83(37)	114(39)		109(23)	144(32)		127(51)	159(44)	
Axial wall	63(25)	69(27)	96(47)	80(32)	102(38)	116(41)	90(44)	82(38)	138(66)
Occlusal	107(51)	138(49)		103(31)	158(36)		158(44)	209(69)	
Total	76(43)	99(48)		83(38)	116(52)		117(56)	141(70)	

Methods: Conventional wax up with casting(CWC), Milled wax block with casting(MWC), Digital light Projection with casting(DLPC)

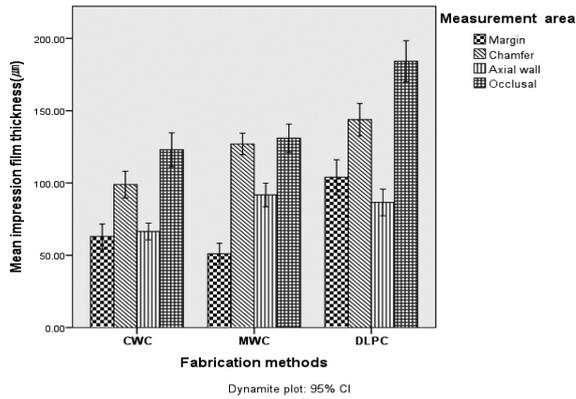


Figure 9. Mean impression film thickness for each measurement area.

### 3. 절단 방향과 지대치의 위치에 따른 비교 분석

모든 군에서 근·원심단면보다 협·설단면의 적합도가 우수하게 나타났다( $p < 0.001$ )(Figure 10).

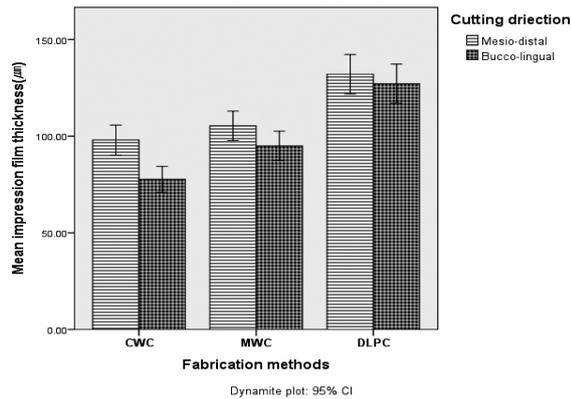


Figure 10. Mean of impression film thickness for each section.

또한 대구치보다 소구치의 적합도가 우수한 경향을 보였다( $p < 0.001$ )(Figure 11).

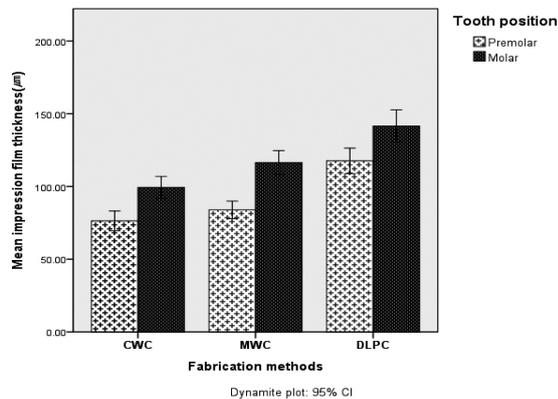


Figure 11. Mean impression film thickness for each tooth position.

### 4. 주조 전·후의 적합도 비교

매몰과 주조 과정에서 발생하는 적합도의 변화를 확인하기 위해 주조 전과 후로 나누어 적합도를 비교하였다. 주조 후 모든 군에서 인상재 두께가 증가한 것을 볼 수 있었으며, 주조 전과 비교하여 적합도의 유의한 차이가 있었다( $p < 0.001$ ) (Figure 12).

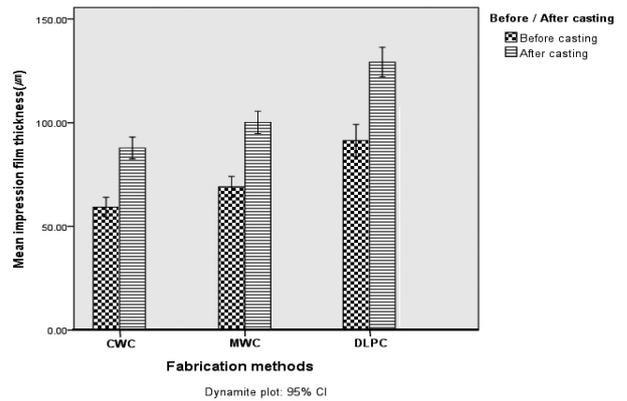


Figure 12. Mean impression film thickness for before and after casting.

측정영역별로 주조 전·후 비교결과 주조 후에 모든 측정영역에서 인상재 두께가 증가하였으나 측벽에서는 큰 차이를 보이지 않았고 교합면에서는 크게 증가한 것을 볼 수 있다(Figure 13).

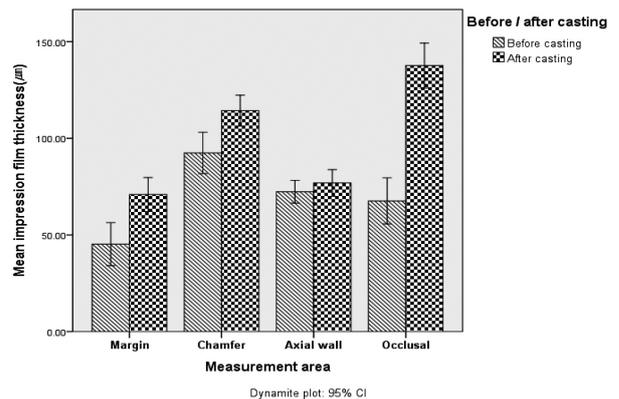


Figure 13. Mean impression film thickness for before and after casting in each measurement area.

#### IV. 고찰

본 연구에서는 왁스 블록을 밀링하는 방식과 디지털 광 프로젝션 방식 및 전통적인 wax-up 방식으로 제작된 3본 금속 구조물의 적합도를 비교함으로써 다양한 정보를 얻을 수 있었다.

실험결과, 모든 측정지점의 평균값은 CWC군 87(47)  $\mu\text{m}$ , MWC군 100(48)  $\mu\text{m}$ , DLPC군 129(65)  $\mu\text{m}$  순으로 나타났다(Figure 8). 그러나 각 측정영역별로 비교할 경우 변연적합도는 MWC군 51(33)  $\mu\text{m}$ 이 가장 우수한 결과를 보여주었으며 CWC군 63(38)  $\mu\text{m}$ , DLPC군 103(54)  $\mu\text{m}$  순이었다(Figure 9). 이러한 결과를 볼 때 3개의 제작법 모두에서 임상적 기준인 120  $\mu\text{m}$ 이하의 평균값을 얻었지만 각 지대치별로 나누어 생각하면 DLPC군의 구치부 변연적합도는 임상적 기준에 미달 하는 것으로 나타났다(Table 2).

Vojdani 등(2013)은 아크릴 블록을 밀링하여 제작한 코핑보다 전통적인 방법으로 wax-up하여 제작한 코핑의 적합도가 변연과 내부에서 모두 우수하게 나타났다고 보고하였다. 그러나 Örtorp 등(2011)은 3본 금속 구조물의 적합도 연구에서 전체적인 적합도는 왁스 밀링 방식의 그룹(117  $\mu\text{m}$ )이 전통적인 wax-up 방식의 그룹(133  $\mu\text{m}$ )보다 우수한 결과를 보였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다고 보고하였다.

전통적인 wax-up 방식은 다른 군들 보다 적합도가 낮아질 수 있는 위험요인을 가지고 있다. 예를 들면, 용융된 왁스가 응고되는 동안에 일어나는 납형의 수축, 지대치에서 분리 시 발생하는 변형 및 시간의 흐름에 따른 탄성회복 및 변형에 큰 영향(Takao, 1959)을 받을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 Örtorp 등(2011)의 연구와 달리 전통적인 제작방식의 CWC군이 왁스 밀링 방식의 MWC군보다 우수한 적합도를 얻을 수 있었다.

CAD/CAM 시스템을 이용한 방법은 전통적인 제작방법과 비교하여 보철물의 적합도에 영향을 줄 수 있는 몇 가지 위험 요인이 존재한다. 일차적으로, 지대치의 스캔 정확도와 오차 보상을 위한 컴퓨터 프로그래밍 과정에 기인할 수 있고(Sturdevant et al, 1999), 이외에도 절삭공구 형태의 결함, 절삭 과정중 기계의 떨림, 회

전축의 불안정으로 인해 변연 및 내부적합도가 달라질 수 있는 점이 보고된 바 있다(Huh et al, 2011). 그러나 CAD/CAM 시스템으로 왁스 블록을 밀링하여 제작한 MWC군은 대조군인 CWC군보다 다소 우수한 변연적합도를 보였다(Figure 8). 이러한 결과로 미루어 볼 때 왁스 밀링 제작방식은 CAD/CAM 시스템의 정확도 개선으로 믿고 사용할 수 있는 수준에 도달하였다고 판단된다. 또한 일률적인 품질 및 표준화된 납형을 형성할 수 있는 장점도 있기 때문에(Strub et al, 2006; Abduo et al, 2010) 많이 사용될 것으로 여겨진다.

3D 프린팅 방법을 이용한 DLPC군은 측면을 제외한 모든 측정역역(변연, 삼퍼, 교합면)에서 다른 군들 보다 낮은 적합도를 보여주었다(Figure 9). 그러한 이유는 DLPC군에 사용된 액상 레진(WIC300)이 왁스 성분을 기반으로 한 광중합 폴리머이기 때문이다. 따라서 컴퓨터 소프트웨어에 의해 중합 수축에 대한 정확한 보상이 어려우며, 출력이 끝났다고 하더라도 빛에 노출되면 추가적인 중합 수축이 발생할 위험이 있다. 또한 입체형상을 만들어가기 위해 액상 레진에 빛(light)을 조사할 때 빛의 번짐과 액상 레진의 적층(layering) 두께에 따라서도 표면조도나 적합도에 영향을 받을 수 있다고 생각한다. 따라서 고정성 보철물 제작용으로 사용되는 3D프린팅용 광경화성 액상 레진의 상당한 가능성은 확인하였지만 지속적인 연구가 필요하다고 생각한다.

본 연구에서 내부적합도는 전통적인 wax-up 제작방식의 소구치에서 84(43)  $\mu\text{m}$ , 대구치에서 107(48)  $\mu\text{m}$  이었으며, 왁스 밀링 방식은 소구치에서 97(31)  $\mu\text{m}$ , 대구치에서 135(42)  $\mu\text{m}$ 이었다. 3D프린팅 제작방식은 소구치에서 125(54)  $\mu\text{m}$ , 대구치에서 150(74)  $\mu\text{m}$ 이었다. 이전의 연구에서 내부적합도의 임상적 기준은 존재하지 않았지만 Vojdani 등은 단관의 적합도 연구에서 전통적인 제작방식의 내부적합도는 76(10)  $\mu\text{m}$ , 왁스 밀링 방식의 내부적합도는 110(5)  $\mu\text{m}$ 를 제시하고 있다. 또한 Örtorp 등은 3본 금속 구조물의 연구에서 전통적인 제작방식의 내부적합도의 범위는 소구치에서 70-287  $\mu\text{m}$ , 대구치에서 27-227  $\mu\text{m}$ 이었으며, 왁스 밀링 방식의 내부적합도는 소구치에서 23-170  $\mu\text{m}$ , 대구치에서 21-258  $\mu\text{m}$ 이었다. 이렇게 같은 제작방법의 적합도 연구라고 하더라도

연구자마다 측정값에서 큰 차이를 보일 수 있다. 그러한 이유는 실험에 이용된 시편의 길이, 지대치의 형태, 측정 방법 등이 다른 것이 원인일 수 있지만 내부적합도의 차이가나는 중요한 이유 중 하나는 측정지점의 선정이 서로 다르기 때문인 것으로 판단된다. 내부적합도는 변연적합도와 달리 측정되어야 할 범위가 넓고 각 영역(삼패, 측벽, 교합면)에 따라 수복물과 지대치 사이의 간격이 다른 양상을 나타내기 때문이다(Figure 9). 측정영역이 다르면 측정값에 큰 영향을 주게 되므로 향후 연구에서는 측정영역과 영역 내에서도 대략적인 측정지점에 대한 의견일치가 필요하리라고 생각한다. 또한 내부적합도를 하나의 값으로 표시하는 것 보다는 측정역역별로 표시하는 것이 다른 연구자의 이해와 연구 간의 객관적인 비교에 용이할 것으로 판단된다.

근·원심과 협·설 단면에서 측정지점에 따른 분석결과 모든 군에서 변연(1, 8)과 측벽(3, 6)의 간격에 비해 삼패(2, 7)와 교합면(4, 5)의 간격이 큰 경향을 보였다( $p < 0.05$ )(Figure 9). 다른 적합도 연구들에서도 측벽의 간격이 작고 교합면의 간격이 큰 현상은 공통적으로 보고되었다(Örtorp et al, 2011; Vojdani et al, 2013; Svanborg et al, 2014).

절단면 방향에 따른 분석결과 모든 군에서 근·원심 단면에서의 간격이 협·설 단면에서의 간격보다 크게 나타났다(Figure 10). 이러한 원인을 명확하게 설명할 수는 없지만 아마도 지대치의 크기 및 코핑이 아닌 브리지 구조물이기 때문에 협·설보다는 근·원심에서의 오차가 더 많이 발생되었으리라 생각된다. 따라서 보철물의 적합도 평가 시 가능한 여러 방향에서 절단하여 많은 측정값을 얻으면 좋겠지만 상황이 그렇지 못할 경우 적어도 근·원심과 협·설면에서 측정이 이루어져야 적합도의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

지대치 위치에 따른 분석결과 모든 군에서 소구치보다는 대구치에서 낮은 적합도를 보였다(Figure 11). Huh 등(2011)은 CAD/CAM으로 제작한 지르코니아 코어의 적합도 연구에서 견치보다 소구치에서 큰 간격을 보고하였으며, 다른 연구들에서도 소구치보다 대구치에서 상대적으로 큰 간격을 보고하였다(Örtorp et al, 2011; Svanborg et al, 2014). 그러한 이유는 지대치의 크기

가 클수록 더 큰 오차가 생길 수 있다고 판단된다.

주조과정이 적합도에 영향을 주는지 평가하기 위해 납형과 금속 구조물의 적합도를 비교한 결과 주조 후 모든 영역에서 간격이 커지는 것을 확인할 수 있었다(Figure 12). 이러한 결과로 미루어 볼 때, 주조과정을 거치는 제작방법은 주조 후 변연 및 내부에서 간격이 증가하여 적합도의 저하를 유발할 수 있다. 특이한 점은 주조 전·후 측벽의 간격은 큰 변화가 없었지만 교합면의 간격이 다른 측정영역 보다 상대적으로 크게 증가하였다는 것이다(Figure 13). 그러한 원인으로 매몰재의 경화 팽창과 열팽창, 용융금속의 주조수축 등을 생각해볼 수 있지만 이러한 요인들을 임의로 조절하기에는 어려움이 있다. 따라서 매몰재와 주조과정을 거치는 제작방법에서 적합도 개선을 위해 교합면의 시멘트 공간은 줄이고 측벽의 시멘트 공간을 좀 더 부여해 볼 필요가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 왁스 블록을 밀링하는 방식과 디지털 광 프로젝션 방식으로 제작된 3분 금속 구조물의 적합도를 비교 평가하는 것이 목적이었으므로 신뢰도 있는 연구를 위해 주조 후 양형기포 발생 시에만 제거하는 수준으로 내면 조정을 최소화하였다.

## V. 결론

본 연구에서는 왁스 블록을 밀링하는 방식(MWC), 디지털 광 프로젝션(DLPC)방식 및 전통적인 wax-up 방식(CWC)으로 제작된 3분 금속 구조물의 적합도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변연적합도는 비교결과 임상적 허용기준(120 μm) 내에 포함되었지만 MWC군의 적합도가 가장 우수했고, DLPC군은 CWC군보다 적합도가 낮게 나타났으며 상당한 차이를 보였다. 내부적합도 또한 DLPC군이 가장 낮은 적합도를 보였다. 따라서 디지털 광 프로젝션 방식은 적합도 개선을 위해 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

2. 주조 전 · 후 적합도 비교결과 모든 군에서 주조 후 적합도가 낮아지는 것을 확인하였다. 특히 교합면의 간격이 크게 증가 하였다.
3. 지대치별 적합도는 모든 군에서 대구치보다 소구치에서 우수하게 나타났다. 즉 지대치의 크기에 따라서도 적합도의 차이가 있음을 확인하였다.
4. 모든 군에서 근 · 원심단면보다 협 · 설단면의 적합도가 우수하게 나타났다. 즉 시편의 절단방향에 따라 적합도의 차이가 있는 것을 확인하였다.

## References

- Abduo J, Lyons K, Swain M. Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *J Oral Rehabil*, 37, 866–876, 2010.
- Borba M1, Miranda WG Jr, Cesar PF, Griggs JA, Bona AD. Evaluation of the adaptation of zirconia-based fixed partial dentures using micro-CT technology. *Braz Oral Res*, 27(5), 396–402, 2013.
- Bhaskaran E, Azhagarasan NS, Miglani S, Ilango T, Krishna GP, Gajapathi B. Comparative Evaluation of Marginal and Internal Gap of Co-Cr Copings Fabricated from Conventional Wax Pattern, 3D Printed Resin Pattern and DMLS Tech: An In Vitro Study. *J Indian Prosthodont Soc* 13, 189–195, 2013.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent* 62, 405–408, 1989.
- Holmes JR, Sulik WD, Bayne SC. Marginal fit of castable ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 67, 594–9, 1992.
- Huh JB, Kim US, Kim HY, Kim JE, Lee JY, Kim YS, Jeon YC, Shin SW. Marginal and internal fitness of three-unit zirconia cores fabricated using several CAD/CAM systems. *J Korean Acad Prosthodont* 49, 236–244, 2011.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 131, 107–111, 1971.
- Molin M1, Karlsson S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand* 51, 201–206, 1993.
- Moon BH, Yang JH, Lee SH, Chung HY. A study on the marginal fit of all ceramic crown using ccd camera. *J Korean Acad Prosthodont* 36, 273–292, 1998.
- Nawafleh NA1, Mack F, Evans J, Mackay J, Hatamleh MM. Accuracy and Reliability of Methods to Measure marginal Adaptation of Crowns and FDPs: A Literature Review. *J Prosthodont* 22, 419–428, 2013.
- 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 invitro study. *Dent Mater* 27, 356–363, 2011.
- Rahme HY, Tehini GE, Adib SM, Ardo AS, Rifai KT. In vitro evaluation of “replica technique” in the measurement of the fit of Procera crowns. *J Contemp Dent Pract* 9, 25–32, 2008.
- Sturdevant JR, Bayne SC, Heymann HO. Margin gap size of ceramic in-lays using second-generation CAD/CAM equipment. *J Esthet Dent* 11, 206–214, 1999.
- Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future

possibilities. *J Am Dent Assoc* 137, 1289–1296, 2006.

Svanborg P, Skjerven H, Carlsson P, Eliasson A, Karlsson S, Ortorp A. Marginal and internal fit of cobalt–chromium fixed dental prostheses generated from digital Takao F. Factors and technique of precision casting part I. *J Prosthetic Dent* 9, 468–485, 1959.

Ucar Y, Akova T, Akyil M, Brantley W. 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.

Vojdani M, Torabi K, Farjood E, Khaledi A. Comparison the Marginal and Internal Fit of Metal Copings Cast from Wax Patterns Fabricated by CAD/CAM and Conventional Wax up Techniques. *J Dent* 14, 118–129, 2013.

White SN, Sorensen JA, Kang SK, Caputo AA. Microleakage of a new crown and fixed partial denture luting agent. *J Prosthet Dent* 67, 156–161, 1992.