

적층 가공방식에 따른 고정성 치과보철물의 변연 및 내면 적합도 평가연구

김재홍, 김기백*

동남보건대학교 치기공과, 대전보건대학교 치기공과*

Evaluation the clinical acceptability of the marginal and internal gaps of fixed partial denture fabricated with additive manufacturing technology

Jae-Hong Kim, Ki-Baek Kim*

Department of Dental Technology, Dongnam Health University
Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology*

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the clinical acceptability of the marginal and internal gap of Co-Cr metal copings fabricated with stereolithography (SLA).

Methods: Titanium master dies were milled after scanning of the prepared tooth (n=30). For group I, Co-Cr metal copings were made from conventional lost-wax technique(LWT, n=10). For group II, the master dies were scanned and designed with CAD system. Then, metal copings were milled with Co-Cr(SUB, n=10). For group III(ADD, n=10), the scanning and design procedures were same as group II and burn-out resins were fabricated with SLA device. The marginal and internal discrepancies were measured under an optical microscope(100x) on ten reference points and were statistically analyzed with one-way ANOVA($\alpha=.05$).

Results: The mean total discrepancies were $53.76 \pm 12.42 \mu\text{m}$ in the LWT group and $69.82 \pm 15.48 \mu\text{m}$ in the ADD group. The SUB group showed the largest total mean value $110.33 \pm 13.77 \mu\text{m}$. There was statistically significant difference between the SUB and the other groups($P < 0.05$).

Conclusion : Co-Cr metal copings fabricated with SLA technology showed clinically acceptable value on marginal and internal gap and there was no statistically significant difference between conventional lost-wax technique and SLA.

● **Key words:** Stereolithography; Rapid prototyping; Marginal and internal fit; Metal ceramic crown

Corresponding author	Name	김 재 홍	Tel.	031-249-6491	E-mail	kjhong@dongnam.ac.kr
	Address	경기도 수원시 장안구 천천로 74번길 50, 동남보건대학교 치기공과 해운관 2층				
Received	2018. 7. 31	Revised	2018. 10. 5	Accepted	2018. 12. 7	

1. 서론

쾌속 조형 기술(Rapid Prototyping, RP)은 컴퓨터 지원 설계 시스템에 의해 3 차원 모델링 데이터로부터 직접 3D 제품을 생성하는 기술로 정의된다(Yan et al, 1996). 소형화 된 RP 장비는 사무실이나 집에 설치할 수 있어 '3D 프린터' 라고도 한다. RP는 밀링(milling) 방법과 같은 절삭(subtractive) 공정이 아니라 첨가 제조(additive manufacturing)라고 볼 수 있다. 절삭 제조는 몇 가지 단점이 존재하게 되는데, 표면만 밀링 할 수 있으며 기하학적 정확도가 결여 되어 있다. 하지만 첨가 제조법은 공구 간섭이 없기 때문에 최종 제품의 형상에는 제한이 없으며 내부의 복잡한 형상도 제작 할 수 있다(Petzold et al, 1999). 의학 분야의 쾌속 조형 기술은 CAD에 적용 할 수 있는 컴퓨터 단층 촬영(CT), 자기 공명 영상(MRI)과 같은 이미징 기술 및 장치를 기반으로 발전되어 왔다. 쾌속 조형 기술은 수술 계획, 수술 시뮬레이션, 의료 팀과 환자 간의 의사소통, 수술 전 및 수술 후 장치 제작에 사용되고 있으며, 구강 악안면 수술, 치과 보형물, 정형외과 등의 의료 및 치과 치료에 적용되고 있다(Gateno et al, 2000; Winder et al, 2005).

구강 악안면 수술에 사용되는 RP 모형은 외과 의사가 수술 계획을 세우고 복잡한 수술을 시뮬레이션 하는데 도움이 된다. 또한, RP 모형은 외과 의사가 수술 전에 해부학 적 구조를 시각화하고 복제된 유형의 모델로 새로운 수술 방법을 연습 할 수 있게 되었다. SLA 방식은 Bill과 그의 동료 연구자들이 1987년 구강 악안면 수술에 SLA 방식을 도입 한 이래로 수술 전 또는 수술 후 CT 데이터에서 확립 된 3차원 RP 모형을 만들기 위해 적용 되었다(Bill et al, 1995). SLA(Stereolithography) 방식은 초정밀의 해상도와 마이크로 단위의 정밀성으로 보철물을 세부적인 형태로 정교하게 제작할 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 digital light processing(DLP)보다 더욱 정밀한 제작이 가능하다고 한다. 또한 보철물 제작시간도 빠르다는 특징이 있으며, 광경화방식으로 레진 계열의 보철물 제작이 가능하다(Azari and Nikzad, 2009). RP 모형의 정확성은 CT 스캐닝, CAD 모델링

및 모델 절차 제작에 따라 달라진다. Taft 등(2011)은 좌표 측정기를 이용하여 SLA 방식으로 제작된 두개골 모델의 정확도를 분석하였는데 그들은 모델의 불일치가 MDCT 스캔의 직교 복셀 체적에 상응하여 증가 하였지만 오차의 절대 크기가 환자 치료에 대해 일반적으로 허용되는 허용 오차 내에 있다고 결론지었다. 최근 3D 프린터 활용은 스캐너를 이용하여 3차원의 모델 데이터를 형성한 후 소프트웨어 상에서 디자인한 3차원 입체 보철모형을 3D 프린터로 출력하여 레진 패턴을 얻어 낼 수 있다. 또한 치과의원이나 치과기공소에 보급되어 있는 치과용 3D 스캐너 등과 연계할 경우, 개인에 맞는 제품을 생산하기는 더욱 쉬워질 것이다. 현재 3D 프린터로는 금속소부도재관용 resin coping, 관교의치용 resin crown, 국소의치용 resin frame, 교정용 모델 등이 제작 가능하다. 그러나 대부분의 연구는 구강 악안면 수술에만 국한되어 왔으며 세밀한 정확성이 요구되는 보철 분야에 대한 연구가 부족한 편으로 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

변연 및 내면 간격은 고정성 치과보철물(FDP)의 성공을 위한 가장 중요한 요소 중 하나이다. 적절한 변연 및 내면 간격은 치태 축적, 2차 우식 및 치주 질환의 위험을 최소화 한다(Sorensen, 1990; Kim et al, 2013). 변연적합도가 낮을수록, 치과용 시멘트의 미세누출이 더 많이 발생하게 된다. 또한, 지대치와 고정성 치과보철물 사이의 간격은 적절한 기능과 내구성을 위해 중요하다.

이에 본 연구의 목적은 SLA 방식의 rapid prototyping machine(Digital Wax System® 028D, Italy)으로 제작된 Co-Cr 금속 코핑의 변연 및 내부 간격의 임상적 수용성을 비교하는 것이었다. 본 실험의 귀무가설은 '제조 방법이 다른 Co-Cr 금속 코핑의 변연 및 내면 간격에는 차이가 없다'이다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 주 모형 제작

본 연구를 위하여 적합도 측정 시 여러 부위의 반복 측정의 용이함을 위해 치아 중 상악 제2소구치를 선택하였다. 주 모형의 제작을 위해 표준형태의 전악 치아 모형(Nissin Dental Products, Inc., Japan)을 선정 후 지대치 형성을 하였다. 이 치아는 광학 스캐너(Identica, Medit, Korea)를 사용하여 스캔 되었다. 디지털화된 치아는 haptic device(Phantom Desktop, Sensable Dental, USA)와 CAD 프로그램을 이용하여 가상의 지대치로 형성되었다. 지대치 형성을 위해 해당 치아 마다 치축면은 1.5 mm, 교합면과 절단면은 1.5 mm offset을 부여하는 동시에 축벽의 각도는 12도를 부여하였다. 변연의 디자인은 chamfer type으로 설정하였다. 저장된 STL 파일을 가공장비(Myplant, Raphabio, Korea)를 이용하여 티타늄 절삭 공정으로 주 모형을 제작하였다(Fig. 1).

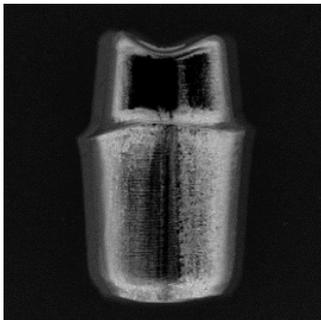


Figure 1. Milled titanium master model

2) 금속 코어 제작

금속 코어의 제작은 3가지 그룹으로 나뉘었다(Table 1). 첫 번째 그룹(Lost Wax technique, LWT, n=10)에서 금속 코어는 왁스 소환법으로 제작하였다. 왁스 소환법으로 제작 시 인산염 결합 매몰재(Deguvest® impact, DeguDent GmbH, Germany)를 제조회사의 사용설명서에 의한 혼수비에 따라 정확히 측정 후, 30초 간 진공 혼합하였다. 매몰 시 ring 내부에 기

포가 생기지 않도록 매몰재를 주입하였고 매몰을 완료하였다. 소환은 매몰재와 금속도재관용 합금(StarLoy C, DeguDent GmbH, Germany)의 제조회사 사용설명서에 명시된 스케줄에 따랐다. 주조는 고주파 주조기(Fornax® T, Bego, Germany)를 사용하여 합금의 일정한 용융온도를 유지하여 안정적인 주조가 되도록 하였다. 두 번째 그룹(Milled Co-Cr, SUB, n=10)은 치과 기공용 모델스캐너(D700, 3Shape, Denmark)로 주 모형을 스캔하고 CAD 시스템(Dental Designer 2013, 3Shape, Denmark)으로 디자인하였다. 디자인이 완료된 데이터는 STL file로 저장하여 milling machine 으로 전송하였고 절삭과정을 통해 wax coping을 제작하였다. 제작이 완료된 wax coping은 LW 그룹의 과정과 동일하게 진행하였다. 세 번째 그룹(Stereolithography, ADD, n=10)의 스캐닝과 CAD 디자인 절차는 두 번째 그룹(SUB)과 동일하게 진행하였다. 디자인이 완성된 데이터는 3D printer(Projet 1200, 3D system, USA)를 이용하여 resin coping을 제작하였다. 전용의 resin(Visijet® FTX Green; 3Dsystems, Rock hill, USA)으로 10개의 resin coping을 제작하였다. 이 과정에서 SLA system에 내장되어 있는 UV 램프를 이용하여 최종 정확도를 시키고 resin support를 제거하기 위해서 후 가공처리를 하였다. 슬라이스 두께는 0.05 mm(50 µm)로 지정하였으며, 제작된 resin coping은 통상적인 방법으로 소환 및 주조, 마무리 과정을 거쳤다. 전체 절차는 숙련된 치과 기공사가 수행하였다.

Table 1. Composition of the experimental groups

Group	N	abbreviation	Core design	Methods of fabrication
I	10	LWT	Wax-up	lost wax tech
II	10	SUB	scanning and CAD design	subtractive + lost wax tech
III	10	ADD	scanning and CAD design	additive + lost wax tech

2. 실험 방법

1) 측정지점 선정

변연 및 내면 간격을 측정함에 있어서 적합도에 대한 정의를 내리는 것이 중요하다. Werrstein 등과 Borba 등의 연구(Werrstein et al, 2008; Borba et al, 2011)에서 각 abutment 당 총 10 point를 측정하였다. 측정된 10 point는 다시 margin(point 1, 10), axial wall(point 2, 3, 4, 7, 8, 9), occlusal(point 5, 6)로 분류하였다. 또한 모든 부위에서의 gap의 측정은 모형으로부터 코어까지의 수직적인 거리를 측정하였다(Fig. 2).

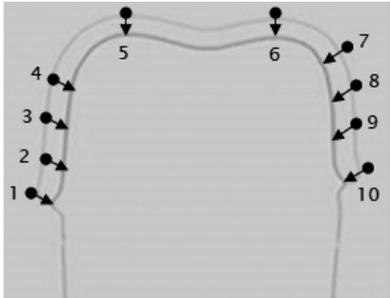


Figure 2. Ten reference points for measurement

2) 측정방법

변연 및 내면 간격의 측정은 단면 절단법(cross-section)을 사용하였다. 접착 전용 시멘트를 채우기 전에 금속 코어는 스템 세척을 시행하였으며, 각 금속 코핑은 제조사의 지시에 따라 self-adhesive 레진 시멘트(Rely X Unicem, 3M ESPE, St. Paul, USA)를 사용하여 고정시켰다. 시멘트 적용 후, 주 모형 다이에 금속 코핑을 설치하고 접착과정 동안 50N의 압력을 가하였다. 접착된 금속 코어는 폴리에스테르 수지로 제조된 섬유강화 플라스틱에 매몰하였다. 매몰된 시편은 모델 트리머를 이용하여 절단하였으며 최종적인 단면은 grinder-polisher(ECOMET III, Buehler, USA)와 silicone carbide sandpaper를 이용하여 마무리 하였다. 분석을 위하여 광학 현미경(Axio Imager, Alm, Zeiss, Germany)을 사용 하였다. 금속 코어와 주 모형 사이의 간격에 대한 측정을 위해 100배율을 확대 사용

하였으며, 분석 프로그램(i-Solution, IMT i-Solution Inc., Canada)으로 결과 값을 산출하였다. 10개의 측정 지점은 1명의 관찰자가 지속적으로 측정하였다.

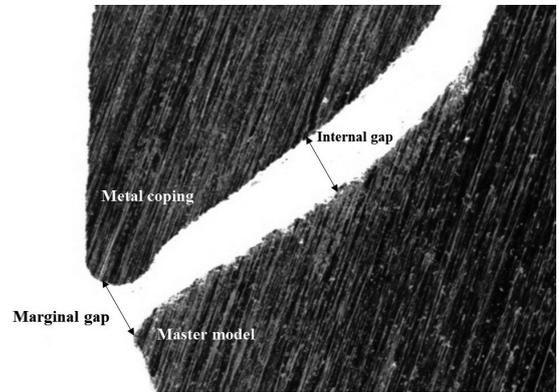


Figure 3. Measurement of gaps at margin and internal gaps by optical microscope (magnification x100).

3. 통계분석

통계적 유의성을 검증하기 위하여 SPSS Version 12.0 for win(SPSS Inc., USA)을 이용하였으며, 금속 코어 제작방법 간의 서로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해서 평균, 표준편차 기술 통계량을 제시하였고, 모수 검정인 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 시행하였으며, 다중비교검정(Tukey's HSD)을 실시하여 사후분석 하였다. 제 1종 오류 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 결과

각기 다른 제작방법에 따라 금속 코어와 주 모형과의 변연 및 내면 간격을 측정한 결과 margin 부위에서 occlusal 부위까지의 평균±표준편차는 Table 2와 같다. 모든 부위에서 LWT 실험군에서 제작된 금속 코어의 변연 및 내면 간격이 가장 작았다. 세 그룹에서 각각 측정된 부위의 평균을 one-way ANOVA를 실시하여 분석한 결과 제작 방법에 의해 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 전체적인 변연 및 내면 간격 비교를 위하여 시편의 모든 부위를 측정된 결과를 비교하였다.

제작방법에 따른 금속 코어의 변연 및 내면 간격은 그룹 별로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

LWT 그룹과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며($P > 0.05$), LWT 군(평균: $55.05 \mu\text{m}$ /SD: 16.31)보다

Table 2. Mean±SD in(μm) of gaps for total measurement points of the three production method

	PARTS			Total	p-value	Tukey HSD analysis*
	Margin (1, 10)	Axial (2, 3, 4, 7, 8, 9)	Occlusal (5, 6)			
LWT	55.05±16.31	45.23±12.62	76.14±15.70	53.76±12.42		A
SUB	109.42±16.99	91.26±19.53	104.67±18.98	110.33±13.77	<0.001	B
ADD	51.57±17.74	40.51±11.37	89.93±17.33	69.82±15.48		A

*Different letters within each column indicate statistically significant differences at $p < 0.05$.

IV. 고찰

본 연구의 목적은 적층 가공을 이용하여 제작된 resin pattern을 토대로 매몰, 소환, 주조 등의 과정으로 완성된 Co-Cr 코어와 기존의 왁스 소환법으로 제작된 wax pattern과 절삭 가공 방법으로 제작된 wax pattern으로 완성된 Co-Cr 코어의 적합도를 비교하는데 있다.

SLA 방식으로 제작된 고정성 치과보철물의 정확성에 대한 연구는 드문 편이다. 대부분의 연구는 Co-Cr 합금을 이용한 선택적 레이저 소결 용융기술(SLS)의 정확성을 보고하였다(Kim et al, 2013). Quante 등은 SLS 기술에 의해 만들어진 금속 세라믹 크라운의 변연과 내면 간격을 측정했다. 평균 변연 간격은 Co-Cr 합금의 경우 $76 \sim 99 \mu\text{m}$, Au-Pt의 경우 $67 \sim 73 \mu\text{m}$ 였다. 내면 간격은 Co-Cr의 경우 $252 \sim 249 \mu\text{m}$, Au-Pt의 경우 $284 \sim 392 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 그리하여 레이저 용융 기술로 제작된 크라운이 허용 범위 내에서 임상적으로 적합하다는 결론을 내었다(Quante et al, 2008). Ucar 등은 레이저 소결 된 Co-Cr 합금 크라운의 내부 간격을 기존의 Co-Cr 및 Ni-Cr 합금의 내부 간격과 비교하여 평가된 세가지 그룹 사이에 유의한 차이가 없다는 결론을 내었다(Ucar et al, 2009).

본 연구에서는 SLA 방식으로 resin pattern을 제작한 후 통상적인 방법에 의해 Co-Cr 합금 코어를 완성하여 변연 및 내면 간격을 비교하였다. ADD 군의 marginal gap의 평균값은 $51.57 \mu\text{m}$ (SD: 17.74)였다. 이 값은

훨씬 작았다. 또한 McLean 등이 제안한 임상허용치인 $120 \mu\text{m}$ 보다 적은 경향을 보였다. SUB군의 측정결과는 모든 실험군과 비교하였을 때 변연 및 내면 간격이 가장 크게 나타났다. 요약하면, SLA 기술로 제작된 메탈 코어는 기존의 왁스 소환법과 비교하여 비슷한 정확도를 보였으며, 절삭 가공방법에 비해 우수한 정확성을 보였다($P < 0.05$).

SLA 및 SLS 기술은 제조 공정뿐 아니라 사용되는 재료의 유형도 다르다. SLS 기술은 금속 크라운을 만들기 위해 분말을 사용하지만 SLA는 감광성 수지 액을 중합하고 수지 제품을 제조한다(Kim et al, 2013). 따라서 SLA는 매몰 및 주조 절차와 같이 최종 금속 보철물을 만들기 위해 추가 제작과정 단계가 필요하다. SLA는 가철성 국소소의치와 같은 복잡한 디자인의 치과 보철물 제작을 용이하게 한다(Paniz et al, 2013). 이 연구에서 사용된 SLA 시스템은 새로 개발된 레이저를 사용하여 수지 액을 중합시키고 $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$ 슬라이스 두께를 갖게 하였으며, 본 시스템은 일관되고 매끄러운 표면을 가진 매우 정확한 제품을 출력한다. 임시 보철물, 치아모형, 복잡한 프레임 워크와 같은 광범위한 임상적 활용이 가능하다.

본 실험에서 각각의 금속 코어 제작방법에는 상이한 절차가 포함되어 있으며, 숙련된 치과기공사라도 작업을 수행하면서 오차는 충분히 발생할 수 있다. 이러한 차이점으로 인해 3가지 기술을 비교하는 것은 어려우며 본 연구의 한계점이라 볼 수 있다. 이러한 차이와 관

계없이 SLA 방식으로 제작된 금속 코어는 기존 왁스 소환법과 비교하였을 때, 유사한 변연 및 내면 간격을 보였다. 하지만 절삭 방법으로 제작된 금속 코어는 2 가지 실험군(LWT과 ADD)과 비교하여 큰 변연 및 내면 간격을 보였다. 그리하여 '다른 방법으로 제작된 금속 코어의 변연 및 내면 간격에 차이가 없다' 라는 귀무가설은 부분적으로 기각된다.

V. 결론

제한된 연구 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SLA 방식으로 제작된 Co-Cr 코어의 변연 및 내면 간격 모두 임상적 허용수치 내에 있었다(120 μm).
2. SLA 방식으로 제작된 Co-Cr 코어는 기존 왁스 소환법으로 제작된 금속 코어와 유사하였으며, 절삭 방식으로 제작된 보철물 보다 월등한 정확성을 보였다.
3. 이에 3D printer로 제작된 주조용 resin 패턴은 치과 보철물 제작과정 중 한 부분에 불과하여 최종 완성된 보철물이 제작되기 까지 주입선 설치, 매몰, 소환, 주조 등의 과정을 통한 오차가 발생될 여지가 있다. 이에 향후 resin 패턴에 대한 적합도의 세분화적인 연구가 추가되어야 한다고 사료된다.

REFERENCES

- Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyp J*, 15, 216-225, 2009.
- Bill JS, Reuther JF, Dittmann W, Kübler N, Meier JL, Pistner H, et al. Stereolithography in oral and maxillofacial operation planning. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 24, 98-103, 1995.
- Borba M, Cesar PF, Griggs JA, Della Bona A. Adaptation of all-ceramic fixed partial dentures. *Dent Mater*, 27, 1119-1126, 2011.
- Gateno J, Allen ME, Teichgraeber JF, Messersmith ML. An in vitro study of the accuracy of a new protocol for planning distraction osteogenesis of the mandible. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 58, 985-990, 2000.
- 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.
- 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, e91-96, 2013.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107-111, 1971.
- Paniz G, Stellini E, Meneghello R, Cerardi A, Gobbato EA, Bressan E. The precision of fit of cast and milled full-arch implant-supported restorations. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 28, 687-693, 2013.
- Petzold R, Zeilhofer HF, Kalender WA. Rapid prototyping technology in medicine-basics and applications. *Comput Med Imaging Graph*, 23, 277-284, 1999.
- 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.
- Sorensen JA. A standardized method for determination of crown margin fidelity. *J*

- Prosthet Dent, 64, 18–24, 1990.
- Taft RM, Kondor S, Grant GT. Accuracy of rapid prototype models for head and neck reconstruction. *J Prosthet Dent*, 106, 399–408, 2011.
- 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. *The Prosthet Dent*, 102, 253–259, 2009.
- Werrstein F, Sailer I, Roos M, Hammerle CH. Clinical study of the internal gaps of zirconia and metal frameworks for fixed partial dentures. *Eur J Oral Sci*, 116, 272–279, 2008.
- Winder J, Bibb R. Medical Rapid Prototyping Technologies: State of the Art and Current Limitations for Application in Oral and Maxillofacial Surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 63, 1006–1015, 2005.
- Yan X, Gu P. A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer-Aided Design*, 28, 307–318, 1996.