

치과 CAD/CAM 가공방식에 따른 임시보철물의 내면 적합도 : 3차원 중첩 분석

김재홍, 김기백*

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과, 대전보건대학교 치기공과*

Internal evaluation of provisional restorations according to the dental CAD/CAM manufacturing method : Three-dimensional superimpositional analysis

Jae-Hong Kim, Ki-Baek Kim*

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan
Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology*

[Abstract]

Purpose: The purpose of the present study was to compare the internal fit of two different temporary restorations fabricated by dental CAD/CAM system and to evaluate clinical effectiveness.

Methods: Composite resin tooth of the maxillary first molar was prepared as occlusal reduction(2.0mm), axial reduction(1mm offset), vertical angle(6 degree) and chamfer margin for a temporary crown and duplicated epoxy die was fabricated. The epoxy dies were used to fabricate provisional restorations by CAD/CAM milling technique or 3D-printing technique. The inner data from all crowns were superimposed on the master die file in the 'best-fit alignment' method using 3D analysis software. Statistical analysis was performed using a Wilcoxon's rank sum test for differences between groups.

Results: It showed that the internal RMS(Root Mean Square) values of the additive group were significantly larger than those of other group. No significant differences in internal discrepancies were observed in the temporary crowns among the 2 groups with different manufacturing method.

Conclusion: All the groups had the internal fit within the clinical acceptable range (<50 μm). The continuous research in the future to be applied clinically for the adaptation of additive manufacturing technique are needed.

◉ **Key words:** Additive manufacturing, Dental CAD/CAM, Internal evaluation, Provisional crown, Subtractive manufacturing

Corresponding author	Name	김 재 홍	Tel.	051-510-0593	E-mail	kjhong@cup.ac.kr
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과				
Received	2019. 4. 26	Revised	2019. 6. 5	Accepted	2019. 6. 13	

I. 서론

지난 수십 년 동안 치의학계는 새로운 신기술에 집중하고 열광하였다. 그 중 치과 캐드캠(CAD/CAM) 기술은 전통적인 주조방식의 대안으로서 새로운 재료들을 이용하여 종전의 방식보다 효율적이고, 표준화된 치과 보철물의 제작을 목적으로 진보하였다(Miyazaki et al, 2001). 치과영역에 도입되어 사용하고 있는 캐드캠 시스템의 체계는 환자의 구강 내 정보의 3차원 입력과 수복물의 설계 및 재료 가공 3가지 구성요소로 나눌 수 있다(Tinschert et al, 2001). 첫째로 환자의 구강을 재현한 경석고 모형을 스캐너를 이용하여 디지털 데이터로 변환시키는 과정, 둘째 응용 프로그램에 따라 데이터를 환자의 구강내의 상황에 맞게 디자인하여 제품으로 가공할 수 있도록 데이터 처리를 하는 과정, 셋째 디자인된 데이터를 토대로 제품에 알맞은 재료를 선정하고 프로그램으로 설정하여 가공 시스템을 통하여 데이터를 변환 생산 할 수 있는 단계를 거치는 과정으로 3단계로 구분 할 수 있다(Rekow, 1987).

치과 캐드캠을 이용한 보철물 가공 방식으로는 절삭가공(subtractive manufacturing)과 적층가공(additive manufacturing)하는 방법이 있다. 절삭가공법은 치과 CAD/CAM 시스템의 가장 대표적인 방법이며, 디자인이 완료된 보철물의 데이터를 토대로 블록형태의 소재를 삭제하여 원하는 형상을 얻어내는 방식이다. 하지만 보철물 제작 시 사용되는 재료의 낭비가 심하고 절삭하고자 하는 재료의 물성이 좋을수록 고성능, 고가의 장비가 요구된다. 또한 가공을 위한 bur의 소모가 많아 유지비용이 발생하고 bur의 직경에 따라 언더컷의 재현능력에 차이를 보인다(Kim et al, 2014).

그리하여 적층가공이 현재 각광을 받고 있다. 적층가공에는 3D printer가 대표적인 방법으로 가루 또는 액상 형태의 재료를 디자인된 보철물의 데이터를 토대로 필요한 부위에만 한정적으로 여러 개의 층을 쌓아 결과물을 얻는 방식이다. 적층가공은 절삭가공과 비교하여 재료의 낭비가 적고, 미세 부위 재현능력이 우수한 장점이 있다(Karaokutan et al, 2015).

이러한 절삭가공이나 적층가공을 이용한 치과보철물

제작은 디지털 시대에 발맞추어 끊임없이 발전하고 있기에 새로운 기술로 제작된 보철물에 대한 평가가 지속적으로 필요하다. 평가를 통하여 해당 기술과 재료들의 완성도를 높일 수 있으며 치과 보철물의 안정성도 확보할 수 있다. 구강 내 안정적인 치과 보철물을 얻기 위한 요소는 여러 가지 있는데, 그 중에서도 부정확한 치과 보철물은 2차 우식, 치태와 치석의 침착, 수복물의 탈락 등과 같은 임상적 문제를 야기할 수 있기 때문에 적합도는 보철 치료의 성공에서 중요한 요소이다(Anadioti et al, 2014). 그러므로 치과 보철물의 적합도 평가에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 평가하는 방법은 Cross-sectional method, Silicon replica technique, Superimposition of 3D scan data 그리고 Micro-CT 방법 등이 있다(Kim et al, 2014; Bae et al, 2017; Colpani et al, 2014). 그 중에서도 3차원 데이터 중첩 분석 방법은 전용 소프트웨어를 이용하여 지대치의 스캔 데이터와 보철물 내면의 스캔 데이터를 베스트 핏(best-fit)이 되도록 정렬시켜 보철물의 적합도를 평가하는 방법이다. 비침습적이며 방향이나 수에 제한 없이 다양한 부위의 관찰이 가능하고, 3차원적인 공간 분석이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 절삭 가공방식과 적층 가공방식을 이용하여 제작된 임시보철물의 내면 적합도를 3차원 데이터 중첩분석 방법을 이용하여 측정하고 비교함으로써 어떤 방법이 임상적 허용이 가능한지 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 주 모형 및 에폭시 작업모형 제작

금속 지대치(metal die)을 만들기 위하여 플라스틱 치아모형(Model #3017, Viade products, USA)의 상악 제 1대구치를 선택하였다. 이 치아는 광학 스캐너(Identica, Medit, Seoul, Korea)를 사용하여 스캔되었다. 디지털화된 치아는 haptic device(Phantom Desktop, Sensable Dental, USA)와 CAD 프로그램

을 이용하여 가상의 지대치로 형성되었다. 금속 지대치 형성을 위한 치아 삭제량 및 조건은 occlusal, Axial, Margin, Vertical angle을 각각 2.0mm, 1mm offset, 1.2mm(chamfer type), 6 degree로 형성하였다. 밀링 과정을 수행하기 위하여 가상 지대치의 데이터는 CAM 프로그램(powermill, Delcam Plc., Birmingham, UK)에 사용할 수 있는 적합한 형태로 변환 되었다. 주 모형인 상악 제 1대구치의 지대치는 CNC machine을 사용하여 티타늄으로 완성 되었다(Fig. 1).

작업모형을 제작하기 위한 10개의 실리콘(Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany) 몰드는 티타늄 지대치로 부터 제작되었다. 치과용 epoxy(Modralit[®] 3K, Dentamid Dreve, Unna, Germany)를 혼합하고 제작된 실리콘 몰드에 주입하여 최종적으로 10개의 주 모형이 완성되었다.



Figure 1. Titanium abutment model

2) 치과 CAD/CAM을 이용한 보철물 제작

디지털 모형은 10개의 작업모형을 비접촉 치과용 스캐너(Identica hybrid; Medit, Korea)를 이용하여 스캐닝을 실시하였다. 두 번째 단계로서 변환된 디지털 모형에 캐드 디자인 프로그램(exocad DentalCAD; exocad GmbH, Germany)을 이용해 보철물을 디자인하였다. 디자인이 완료된 파일은 제작 방식에 따라 첫 번째 절삭 장비(MM-140, Manix, Korea)로 전송하여 PMMA 블록으로 가공하였고(Subtractive group), 두 번째 적층 장비(Bio-3D, Nextdent, Japan)로 제작하였다(Additive group). 각 실험군 별로 보철물 10개를 완성한 후 각 보철물을 에폭시 모형 지대치에 각각 시적하였

으며, 내면의 시멘트 공간은 통상적인 방법으로 숙련된 1인의 치과기공사에 의한 제작하였다(Kim et al, 2014) (Fig. 2).



Figure 2. CAM procedures to fabricate provisional restoration

2. 실험 방법

1) 내면적합도 측정

제작이 끝난 임시 보철물은 커넥션과 지지구조물(supporter)을 제거 한 후 light-body silicone impression material(Aquasil Ultra XLV, Dentsply DeTrey GmbH)를 사용하여 보철물 내면과 주모형에 주입한 후 보철물을 주 모형에 적합 시켰다. 50N의 동일한 힘으로 silicone이 완전히 중합될 때까지 가압 시켰으며, 중합된 후 임시 보철물을 제거하고 지대치 위에 silicone의 얇은 막으로 쌓여있는 부분을 치과용 광학 스캐너(Identica[®] BLUE, Medit, Korea)로 스캔 하였다. 모든 data들은 3D analysis software(Power INSPECT, Delcam Plc., Birmingham, UK)를 사용하여 평가하였으며, 주모형과 각각 silicone replica data를 자동정렬 메뉴로 배열을 한 후, Best Fit을 통해 재 배열을 해주었다. Whole Deviation을 통해 color-map으로 나타내었고(Fig. 3), 분석을 통하여 얻은 data는 Root Mean Square(RMS) 값으로 표현하였다.

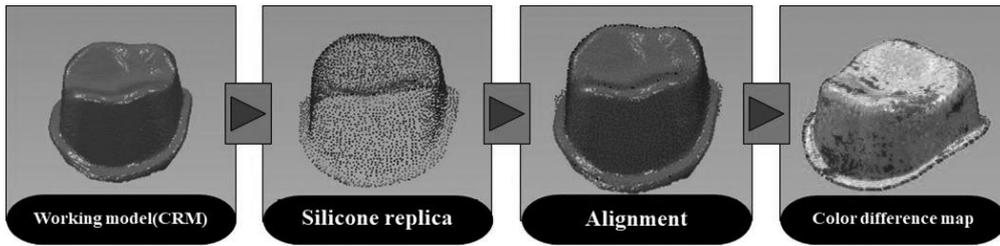


Figure 3. . Flowchart over the experimental protocol

2) 통계분석

두 그룹(Subtractive group, Additive group)을 대상으로 측정된 결과는 RMS 값, 표준편차, 95% CI 의 통계량에 의해 평가되었으며, 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 비모수 검정 방법인 윌콕스 순위 합 검정(Wilcoxon's Rank Sum Test)이 수행되었으며, 제 1종 오류 수준은 0.05로 설정하였고, 모든 통계분석은 IBM SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

III. 결과

Table 1은 두 그룹(Subtractive group, Additive group)의 RMS 평균 값, 표준 편차, 95% 신뢰구간에서의 상한 값과 하한 값을 보여 준다. 절삭 실험군의 RMS 평균(표준편차)은 42.78(1.53) μm 을 나타냈다. 적층 실험군의 RMS 평균(표준편차)은 44.94(1.19) μm 까지 이르렀으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p < 0.05$).

3D analysis software을 이용하여 얻어진 color difference map 분석결과, Subtractive group의 경우 상대적으로 오차의 색상을 보이는 파란색(-)이나 빨간색(+)¹의 분포는 Additive group에 비해 적게 측정되었

다. 반면에 Additive group은 지대치 측면에 공차 범위 이하의 값을 나타내는 파란색의 범위가 눈에 띄게 보였으며, 측벽 부위에서도 공차 범위 이상의 값을 나타내는 양의 오차를 나타내는 빨간색도 넓게 분포되었다(Fig. 4).

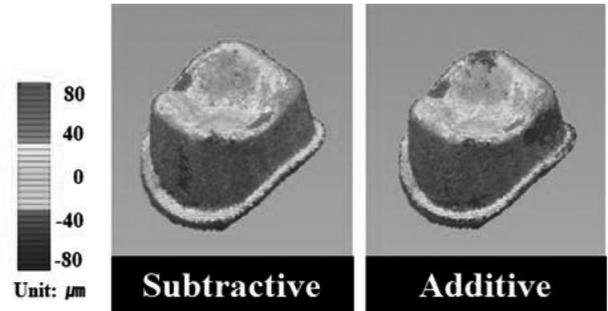


Figure 4. Three-dimensional deviation of single provisional restoration of color difference map

IV. 고찰

절삭 가공법과 적층 가공법은 컴퓨터에서 디자인된 모형을 구현하는데 있어 용어에서도 나타나듯이 정반대의 제작방법을 사용한다. 그러므로 각각의 가공 방법은 뚜렷하게 구별되는 장단점과 특징을 가지고 있다. 절삭가공법의 정확도는 절삭 축의 수와 회전 절삭 기구의 직경의 영향을 받는 반면에 적층 가공법은 레이저의 속도,

Table 1. Mean \pm SD discrepancy between the stone replica(CRM) and the silicone replica

Manufacturing method		RMS(μm)		
Classification	N	Mean \pm SD	95% Confidence Interval	
			Lower Mean	Upper Mean
Subtractive	10	40.78 \pm 1.53	38.96	42.08
Additive	10	44.94 \pm 1.19	42.06	46.81

적층 방향, 적층 하는 층의 수, 수축 후 가공과정 등의 영향을 받는다(Kim et al, 2014). 절삭 가공법은 상대적으로 재료의 선택이 자유로운 반면, 적층 가공법은 열소성이 가능하거나 광중합이 가능한 재료를 사용하여야 한다. 본 연구에서는 동일한 STL file을 바탕으로, 서로 다른 제작법인 절삭 가공법과 적층 가공법으로 제작된 치과 수복물 간의 내면 적합도를 비교하였다.

적합한 변연의 간극과 내면의 적합은 치과 수복물의 임상적 예후를 결정하는 요인으로, 넓은 변연의 간극은 변색, 시멘트의 누출, 치태의 침착, 치은의 염증을 일으킬 수 있다. 위에 언급된 합병증을 줄이기 위해, 통상적으로 요구 되는 변연의 공극은 100 μ m 미만이다(Jørgensen and Esbensen, 1968). Passon와 그의 동료 연구자들은 합착재 두께가 약 151 μ m인 경우에도 주조금관의 유지력을 저하시키는 변화는 없다고 하였다(Passon et al, 1992). 본 연구에서는 모든 그룹에서 50 μ m 이내의 축벽과 교합면의 간극을 보였기 때문에 모든 실험군은 임상적으로 받아들여질 만한 내면 적합도를 나타내었다고 볼 수 있다.

3차원 중첩 방법을 이용한 정확도 평가에서 가장 두드러진 절삭 가공과 적층 가공의 결과물의 차이는 절삭 가공은 주로 양의 오차를 보인 반면, 적층 가공은 양의 오차 아니라 음의 오차가 교합면 부위에서 보였다는 점이다. 이는 절삭 가공 시 폴리머는 낮은 강도로 인해 쉽게 절삭이 가능하지만, 높은 탄성으로 인해 재료가 절삭 기구로부터 밀려나는 현상이 나타날 수 있다(Nejatidanesh et al., 2006). 이로 인해, 부족한 절삭량이 양의 오차 결과를 야기할 수 있다. 반면 적층 가공 시 발생하는 양과 음의 오차는 안정적인 적층 가공을 위해 필요한 지지구조물(supporter)로 인해 야기된다(Tappa and Jammalamadaka, 2018). 일반적인 인공치관 제작 시 교합면이 아래에서 출력되고 그 위로 출력되는 축벽과 변연이 출력된다. 그러므로 지지 구조물은 오차를 야기하는 요인이 되며, 본 실험결과에서 적층 가공을 통한 결과물들이 교합면에서 오차 양상을 보인 요인이 되기도 하였다.

본 연구 결과 두 실험군을 토대로 제작된 임시보철물은 임상적으로 허용할 만한 수준의 내면 적합도와 균일

한 가공면을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 시편의 개수가 극히 제한적이고 실험실에서 규격화된 모형을 가지고 측정된 결과인 점, 그리고 각 연구마다 내면 적합도를 측정하는 부위와 기준이 다르고 실험 조건이 다르기 때문에 RMS 결과로 비교하는 것은 일반화에 일정 정도의 한계를 내포한다.

V. 결론

본 연구는 최근 치과 진료 시 많이 활용되는 CAD/CAM system을 이용하여 서로 다른 가공방식으로 임시보철물을 제작하였으며, 3차원 중첩분석을 토대로 각 실험군별 내면 적합도를 측정하여 비교분석하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

두 실험그룹에서 모두 50 μ m 이내의 축벽과 교합면의 간극을 보였으므로 임상적으로 받아들여질 만한 내면 적합도를 나타내었으나, 상이한 가공방식으로 인해 교합면 부위에서 오차의 양상이 차이를 확인할 수 있었다. 그 이유는 적층 가공 시 발생하는 지지구조물로 기인한 결과라 판단되며, 향후 연구에서는 임상 모형이나 지대치를 이용하여 심도있는 연구가 필요하다 사료된다.

REFERENCES

Anadioti E, Aquilino SA, Gratton DG, Holloway JA, Denry I, Thomas GW, Qian F. 3D and 2D marginal fit of pressed and CAD/CAM lithium disilicate crowns made from digital and conventional impressions. *J Prosthodont*, 23(1), 610–617, 2014.

Bae SY, Park JY, Jeong ID, Kim HY, Kim JH, Kim WC. Three-dimensional analysis of marginal and internal fit of copings fabricated with polyetherketoneketone(PEKK) and zirconia. *J Prosthodont Res*, 61(2), 106–112, 2017.

Colpani JT, M Borba Á, Della Bona. Evaluation of

- marginal and internal fit of ceramic crown copings. *Dent Mater* 29(4), 174–180, 2014.
- Jørgensen KD, Esbensen AL. The relationship between the film thickness of zinc phosphate cement and the retention of veneer crowns. *Acta Odontol Scand*, 26(3), 169–175, 1968.
- Karaokutan I, Sayin G, kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont*, 7(1), 27–31, 2015.
- Kim JH, Jeong JH, Lee JH, Cho HW. Fit of lithium disilicate crowns fabricated from conventional and digital impressions assessed with micro-CT. *J Prosthet Dent*, 116(6), 551–557, 2014.
- 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(6), 1432–1436, 2014.
- Kim SC, Han MS, Choi BJ, Lee CJ, Lee HH. Internal fit of bridge patterns fabricated by a 3D printing technique. *Korean J Dent Mater*, 41(4), 239–244, 2014.
- 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(1), 44–56, 2001.
- Nejatidanesh F, Lotfi HR, Savabi O. Marginal accuracy of interim restorations fabricated from four interim autopolymerizing resins. *J Prosthet Dent*, 95(5), 364–367, 2006.
- Passon C, Lambert RH, Lambert RL, Newman S. The effect of multiple layers of die-spacer on crown retention. *Oper Dent*, 17(2), 42–49, 1992.
- Rekow D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art. *J Prosthet Dent*, 58(4), 512–516, 1987.
- Tappa K, Jammalamadaka U. Novel biomaterials used in medical 3D printing techniques. *J Funct Biomater*, 9(1), 17, 2018.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice K. Marginal fit of alumina- and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper Dent*, 26(4), 367–374, 2001.