

치과용 3D 프린터를 활용해 제작된 레진 단일치관보철의 변연적합 평가

김기백

대전보건대학교 치기공과

An evaluation of marginal fit of resin single crown manufactured using a dental 3D printer

Ki-Baek Kim

Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon, Korea

Article Info

Received November 28, 2022

Revised December 6, 2022

Accepted December 13, 2022

Corresponding Author

Ki-Baek Kim

Department of Dental Lab Technology,
Daejeon Health Institute of Technology, 21
Chungjeong-ro, Dong-gu, Daejeon 34504,
Korea

E-mail: kimkb@hit.ac.kr

https://orcid.org/0000-0003-3821-9764

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the quality of dental fixed prostheses fabricated by 3DP (three-dimensional printing).

Methods: Ten main models were prepared for the study. Ten specimens were printed by 3DP (3DP group). Ten specimens were fabricated by the lost wax technique and casting method to complete the control group (LWC group). The marginal fit was measured for 20 specimens. The measurement of marginal fit was performed using the silicon replica technique. Finally, the marginal fit of 10 specimens from each group was calculated. An independent sample t-test was run to see if the calculated averages for the two groups were mutually significant ($\alpha=0.05$).

Results: According to the experimental results, the mean marginal fit of the 3DP group was 71.9 μm , and the LWC group was 55.3 μm . The means of the two groups were found to be significantly different ($p<0.001$) in the results of the independent sample t-test.

Conclusion: The marginal fit of fixed dental prostheses produced by 3DP technology was examined with values greater than those fabricated by traditional technology. However, as it appeared to be a value within the range of clinically acceptable range recommended by numerous studies, it was determined that clinical application would be feasible.

Key Words: Dental prosthesis, Marginal adaptation, Three-dimensional printing

INTRODUCTION

최근의 치과보철물 제작 기술은 많은 발전을 거듭하였다. 특히 4차 산업혁명 시대의 진입과 직접적인 영향으로 사회 전반에 걸쳐 많은 분야에서 변화가 있었는데, 제조기술에서는 기존의 아날로그 공정의 일부 또는 전부가 디지털화되었다[1]. 치과기공 직무 또한 치과보철물을 제작하는 영역에서 디지털 기술이 도입되었으며, 컴퓨터와 연계된 많은 기술이 소개되었고, 이미 많은 분야에서 활발히 이용되고 있다. 컴퓨터를 이용한 모형의 디지털화, 치과보철물의 설계 그리고 치과보철물의 완성 등 다양한 과정에서 적용이 되었다.

컴퓨터를 활용한 치과모형의 디지털화 그리고 보철물의 설계는 CAD (computer-aided design) 과정으로 분류되며, 이미 소프트웨어의 발전이 많은 부분에서 진행되었다. CAD 과정을 통해 완성된 치과보철물의 설계 이미지 데이터를 토대로 최종 치과보철물의 완성단계에 이르게 되는데, 완성 과정에서는 치과보철물의 절삭과 출력 두 가지 중에 선택이 가능하다. 현재 컴퓨터 수치 제어 방식(computer numerical control)의 절삭을 통한 결과물 제작방식(CAM, computer-aided manufacturing)이 많이 이용되고 있다. 최근에는 컴퓨터와 연계한 치과보철물 설계와 절삭 기술을 합쳐 치과용 캐드캠(CAD/CAM)의 용어가 활용되고 있다 [2].

보철물 제작방식의 다른 하나는 치과용 첨가방식(additive manufacturing)이다. 이 방법은 전용의 장비를 이용하여 결과물을 출력하는 방식으로 결과물을 완성한다. 이 기술은 1980년대부터 연구를 통해 개발되었으며, 지속적인 발전을 통해 개선되었다. 최근에는 해당 기술에 대한 일반적인 용어로 삼차원 프린팅 기술(3DP, three-dimensional printing)의 용어가 사용되고 있고, 대중들에게 익숙한 용어로 활용되고 있다. 한편 이 기술은 산업 전반에 걸쳐 제조기술의 혁명으로 인정되고 있으며, 최근에는 의료분야에서도 다양하게 활용되고 있다[3].

치의학 분야에서는 주로 제조기술에 많이 활용되고 있는데, 환자의 구강 모형 제작 또는 치과보철물 제작에 활용되고 있다. CAM과 비교했을 때 상대적으로 결과물 완성을 위해 버려지는 재료가 적은 편이므로 재료의 보존에서 유리한 장점이 있다. 또한 절삭방식의 경우 주어진 블록을 절삭하는 과정에서 절삭 툴의 이동 경로 등에 의해 형태 재현 능력의 한계가 있으나 첨가방식은 해당 부분에 대해서 자유롭다. 또한 절삭을 위한 툴의 소모 등에 대한 부담이 적은 것도 장점이다. 그러나 절삭방식보다 재료선택의 폭이 좁은데, 때문에 심미 보철 재료는 아직 활용이 제한적인 단점이 있다[4].

이러한 제작기술들은 치과기공 분야의 많은 기자재 발전에 영향을 미쳤으며, 최근에는 직무영역 전반에 많은 변화를 가져왔고, 매우 중요한 역할을 하게 되었다. 기술이 변화함에 따라 술자는 아날로그 방식보다 제작시간과 재료의 절감 및 노동력절감의 효과를 얻었고, 직무환경이 다양해지는 계기가 되었다. 첨가방식은 고온의 레이저를 이용하여 준비된 재료를 용융시켜 축성하는 방법에 의해 적층시킴으로써 결과물이 완성된다. 출력 방식에 따라 레이저 소성방식(selective laser sintering), 디지털 광원 기술(digital light processing), 광조형 공정방식(stereo lithography apparatus), 필라멘트 분출방식(fused deposition modeling), 레이저 소성방식(selective laser sintering) 등으로 정의되며, 여러 방식을 활용한 치과용 3D 프린터가 현재 개발 및 시판되고 있다[5].

치과용 3D 프린팅 기술과 관련한 연구가 최근 많이 보고되고 있는데[6-8], 출력방식의 차이에 의한 재료의 수축 문제를 포함하여 품질분석 등이 다양한 형태로 보고되고 있다. 하지만 기술의 발전만큼이나 결과물의 품질 분석과 관련한 연구는 계속적으로 필요하다고 생각한다. 이번 연구에서는 디지털 광원 기술을 통해 고정성 치과보철물을 출력하고, 출력된 결과물의 품질을 변연적합을 기준으로 분석하여 보고자 한다. 나아가서는 연구의 결과를 통해 관련 분야 치과기공사 및 치과의사 등 현장 종사자들에게 유익한 정보를 제시하는 것이 연구의 목적이다.

MATERIALS AND METHODS

본 연구 진행을 위한 연구 설계는 Fig. 1과 같으며, 각 단계에 근거하여 연구를 진행하였다.

1. 연구모형 제작 및 치과용 CAD 과정

본 연구를 위해 주 모형을 선정하였는데, 상악 중절치가 지대치인 치형을 주 모형으로 선정하였다. 준비된 치형을 복제하는 방식으로 연구모형을 제작하였으며, 총 10개의 연구모형을 완성하였다. 연구모형 10개를 스캐닝하는 방식으로 디지털 치형으로 변경하였고, 스캐닝 과정은 치과용 스캐너(E3; 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 이용하였다. 디지털 치형 이미지를 활용하여 전치부 단일 치관보철 형태로 컴퓨터 프로그램(3Shape Dental System; 3Shape A/S)으로 설계하였으며, 설계 과정에서 치형의 마무리선 설정과 적합제 공간 설정(25 μ m) 등은 프로그램에서 제시하는 기본 값으로 적용하였다. 설계가 완료된 후 이미지 파일은 다음 작업을 위해 STL (stereo lithography) 파일로 재추출하였다. 각각은 모형 별로 나누어 진행하였고, 총 10개의 STL 파일을 획득하였다.

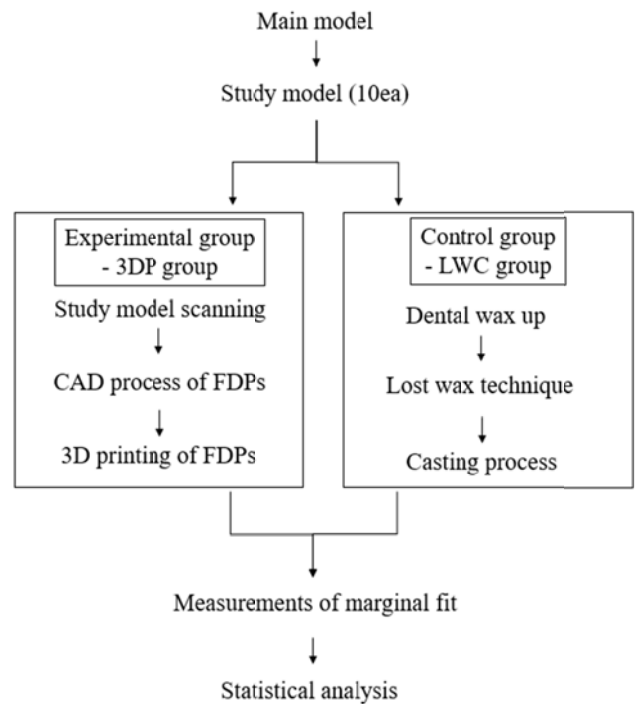


Figure 1. Work flow of study. 3DP: three-dimensional printing, CAD: computer-aided design, FDP: fixed dental prosthesis, LWC: lost wax technique and casting.

2. 실험군 및 대조군 제작

실험군 제작을 위해 치과용 3D 프린터(Zenith D; Dentis, Daegu, Korea)를 활용하였는데, 해당 장비는 디지털 광원 기술을 활용한 방식으로 보편적인 치과모형 출력과 간단한 치과보철물의 출력이 가능한 장비로 활용되고 있다. 전 과정에서 진행된 STL 파일을 출력을 위한 데이터로 변환하였는데, 이 작업은 STL 파일의 이미지 데이터를 층별로 나누는 작업이다. 3D 프린팅을 위해서는 출력하고자 하는 치과보철물의 이미지를 층별로 나누어야 하는데, 이는 슬라이싱된 이미지를 순차적으로 축성함으로써 결과물을 완성하는 방법에 의하기 때문이다. 슬라이싱은 층별로 100 μm로 설정하여 진행하였고, 슬라이싱이 끝난 파일을 준비된 치과용 3D 프린터로 해당 재료를 활용하여(ZMD-1000B; Dentis) 치과보철물을 출력하였다(3DP group). 출력 후 서포터 등은 후처리 과정에 모두 제거하였으며, 내면 연마 등과 같은 변연적합에 영향을 줄 수 있는 작업은 별도로 시행하지 않았다.

앞서 제작된 3DP group의 변연적합의 비교평가를 위한 대조군은 왁스소각기술과 주조방식(lost wax technique and casting method, LWC)에 근거하여 제작하였다. 연구모형 10개를 대상으로 치과용 왁스로 전부 치관보철 형태로 조각하였다. 완성된 납형은 주입선 부착 후 매몰과정을 진행하였는데(Bellavest SH; Bego, Bremen, Germany), 매몰과정은 제조사에서 제시하는 혼수비 등을 준수하며, 진공혼합기를 이용하여 매몰과정을 진행하였다. 매몰 후 소환과정을 진행하여 왁스를 소각하였고, 소각 완료 후 주조를 시행하였다(Wirobond C; Bego). 주조가 끝난 뒤 제작된 주조체는 주입선 절단 등 최소한의 후처리 과정만 진행하여 최종 대조군을 제작하였다(LWC group).

3. 변연적합의 정의 및 측정

고정성 보철물의 변연적합은 일반적으로 지대치와 보철물 사이의 거리 또는 간격으로 정의된다. 본 연구에서는 시편들의 변연적

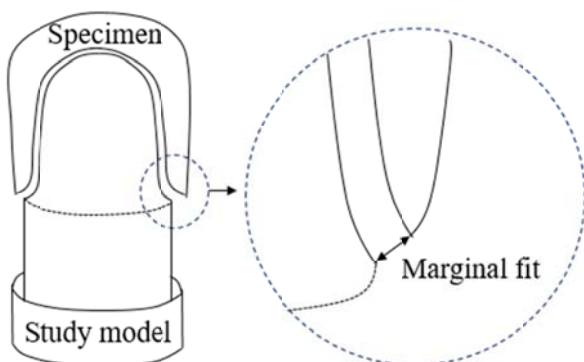


Figure 2. Definition of marginal fit.

합을 위한 정의를 기존의 이론을 참고하여 설정하였고, 선행 보고된 많은 연구들의 정의에 근거하였다[9]. 지대치에서부터 시편 내면의 변연까지의 직선 거리를 변연적합으로 정하였고, Fig. 2와 같다.

변연적합의 측정은 많은 선행연구를 통해 측정 방법으로써 신뢰성과 정확성이 검증된 실리콘 복제법을 이용하였다[10]. 실리콘 복제법은 흐름성이 높은 연질의 실리콘을 이용하여 시편 내면에 채우고(Aquasil Ultra; Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany), 지대치에 시적하여 가압하는 방식으로 내면간격을 실리콘으로 복제하게 된다. 실리콘의 경화가 끝나면 시편과 분리하여 실리콘의 두께를 측정하여 변연적합을 측정한다. 본 연구에서도 준비된 20개의 시편을 대상으로 변연적합을 측정하였으며, 각각 실험군과 대조군으로 나누어 10개씩 진행하였다.

내면 간격이 복제된 연질의 실리콘은 측정 시 위치 관계를 고정하기 위해 단단한 실리콘으로 보강하였으며, 실리콘 단면을 확인할 수 있도록 절단하여 연질의 실리콘의 두께를 측정하고자 하였다(Fig. 3). 측정은 전자 현미경을 이용하여 확대하는 방법으로 실리콘의 두께를 측정하였다(Fig. 4).

4. 통계 분석

두 group에서 측정된 변연적합을 비교평가하고, group 간 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위하여 통계분석을 시행하였다. 두 group의 단순비교를 위한 각각의 평균과 표준편차를 알아보고, 산출된 평균값을 토대로 두 group 간 독립표본 t 검정을 수행하였다. 제1종 오류수준은 0.05로 설정하고, 수행된 연구의 통계 분석은 Microsoft Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA)을 사용하였다.

RESULTS

두 group에서 준비된 시편들의 변연적합을 측정하였고, 이

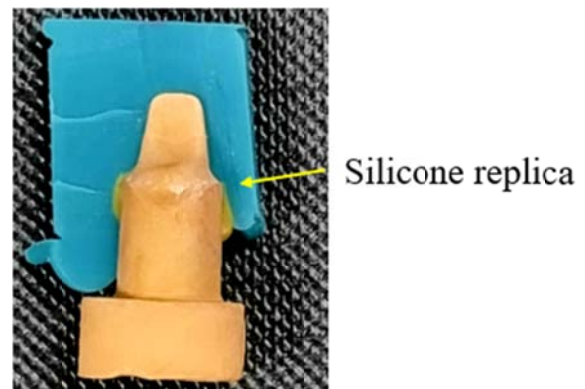


Figure 3. Silicone replica with cloned marginal fit.

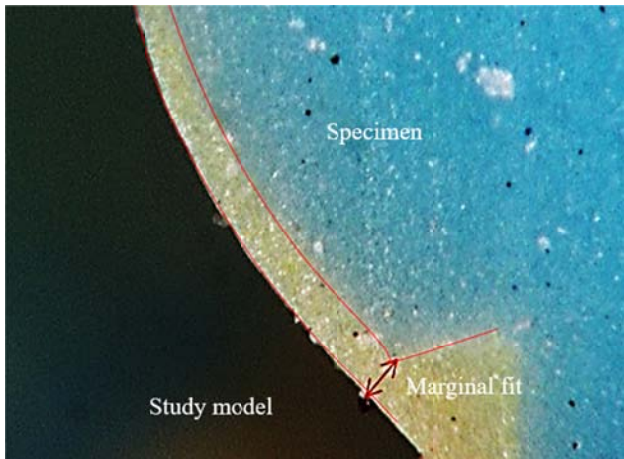


Figure 4. Method of measuring marginal fit using a microscope.

들 값이 평균은 Table 1과 같이 나타났다. 대조군이었던 LWC group의 경우 변연적합의 평균이 55.3 μm 로 나타났고, 표준편차는 9.2 μm 로 나타났다. 한편 실험군인 3DP group은 변연적합 평균이 71.9 μm 로 조사되었으며, 표준편차는 8.0 μm 로 산출되었다. 실험군과 대조군의 변연적합 평균값 간에 통계적으로 유의미한지 알아보기 위하여 독립표본 t 검정을 수행하였는데, 수행 전 등분산검정(F 검정)을 수행하였다. F 검정 결과 $p=0.3$ 으로 조사되었고, 0.05보다 큰 값으로 나타남에 따라 실험군과 대조군은 등분산을 갖는 결론을 얻었다. F 검정 결과를 반영하여 독립표본 t 검정(등분산 가정 두 group)을 수행하였다. 수행 결과에서 $p<0.001$ 로 나타났고, 두 group의 평균은 유의미한 차이를 보이는 결과를 얻었다. 즉 LWC group의 변연적합은 3DP group의 값보다 유의미하게 작은 것으로 나타났다($p<0.001$).

DISCUSSION

본 연구에서는 요즘 사용 빈도가 증가하고 있는 신기술을 적용하여 제작된 고정성 치과보철물의 품질을 분석해보고자 하였다. 치의학에서의 치과보철물 제작 기술의 신기술은 컴퓨터와 연계하여 다양한 방식으로 발전이 되었는데, 이번 연구에서는 특히 디지털 광원기술을 활용해 치과보철물을 출력하는 방식으로 제작된 결과물의 품질을 분석하였다. 치과보철물 품질의 결정은 많은 변수가 반영된다. 치과보철물 종류에 따라 또는 환자의 증례에 따라 품질을 평가하는 기준이 약간의 차이는 있겠으나 고정성 치과보철물에서 가장 중요한 요소 중 하나는 변연적합이라 생각한다 [11].

앞서 보고된 연구에 따르면 변연적합이 좋지 못한 고정성 치과보철물의 경우 변연적합이 우수한 것보다 2차 우식이 빠르게 진행된다고 보고되었다. 2차 우식의 진행이 빨라지는 만큼 고정성

Table 1. Mean \pm SD of marginal fit of 3DP group and LWC group at specimens (unit= μm)

Measurement	Groups	N	Mean \pm SD	t-value	p-value
Marginal fit	LWC	10	55.3 \pm 9.2	-4.75	<0.001
	3DP	10	71.9 \pm 8.0		

SD: standard deviation, LWC: lost wax technique and casting, 3DP: three-dimensional printing.

치과보철물의 수명이 단축되며, 보철물의 철거와 후속 치료가 필요한 사례 발생이 높다고 보고되었다[12]. 이러한 선행 연구의 결과들을 참고하였을 때 고정성 치과보철물의 변연적합은 임상적으로 적용 가능 여부를 판단하는 중요한 지표라고 생각한다. 측정 부위에 있어서는 이번 연구에서는 내면 간격을 제외한 변연 부분을 중점적으로 측정하였는데, 이는 내면 부분의 경우 2차 우식에 영향을 미치는 정도가 변연 부위 보다는 덜 중요하다는 판단에 의해서이다. 이러한 근거로 본 연구에서는 신기술을 이용하여 제작된 고정성 치과보철물의 품질 분석을 변연적합 값의 기준으로 평가하였고, 연구의 귀무가설로서 신기술인 3D 프린팅 기술을 활용해 제작된 치과보철의 변연적합은 주조기술로 제작된 것과 차이가 없다는 것으로 설정하였다. 가설 검증을 위해 3D 프린팅 방식 중에 하나인 디지털 광원기술을 통해 시편을 제작하였고(3DP group), 비교분석을 위해 기존의 왁스소각기술과 주조기술을 활용해 제작된 시편들(LWC group)과 비교평가 하였다.

측정된 값을 비교한 결과에 의하면 평균에서 3DP group이 더 큰 것으로 조사되었고, 대조군인 LWC group이 더 작은 것으로 나타났다. 평균값 비교를 위한 독립표본 t 검정에 따라 두 group 간 평균값은 서로 유의미한 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 변연적합으로써 임상적으로 허용이 가능한 범위에 대해서는 많은 연구를 통해 다양한 의견이 제시되었다. 50 μm 를 제시한 연구자도 있었고, 해당 수치의 비현실성을 주장하며 100~300 μm 의 범위를 주장하는 연구까지 다양한 의견이 제시되었다[13,14]. 한편 많은 연구자들이 신뢰하는 임상적 한계 값으로 120 μm 를 주로 제시한다. 해당 값을 주장한 선행연구자에 따르면 환자에게서 철거된 많은 고정성 치과보철물의 수명과 변연적합과의 연관성을 조사한 결과 120 μm 를 기준으로 그보다 미만일 경우 수명이 길었고, 반대로 초과할 경우 수명이 짧았다고 보고하였다[15].

관련한 많은 연구들에 대한 본 연구자의 생각으로는 50 μm 의 수치는 다소 현실적으로 무리가 있다고 생각한다. 전통적인 주조 방식으로 제작된 고정성 치과보철물에도 부여하기 힘든 값으로 보이며, 본 연구의 대조군에서도 평균값이 50 μm 를 넘는 값으로 조사되었다. 반면 300 μm 는 너무 큰 값으로 예후가 좋지 못할 것으로 우려되며, 100~120 μm 의 수치가 임상적으로 받아들일 수 있는 적절한 값으로 생각된다. 선행 연구자가 진행한 철거된 고

정성 치과보철물을 분석한 결과를 참고하였을 때 해당 값의 신뢰는 높다고 판단된다. 본 연구에서는 대조군이 실험군보다 우수한 변연적합을 보였으나 절대 값을 가지고 판단하였을 때에는 두 group 모두에서 앞서 제시한 임상적 한계 수치 안에 존재하였다. 이에 따라 실험군인 디지털 광원기술로 제작된 고정성 치과보철물이 임상적으로 허용이 가능하다고 판단된다.

비록 임상적 허용 수치 안에는 존재하였으나 주조 기술만큼의 적합성을 보이지 못한 만큼 다양한 부분에서의 후속 연구가 필요하다고 생각한다. 측정 부위도 보다 고차원적인 기술을 활용하여 내면 간격까지 확장해서 평가해볼 필요가 있겠다. 한편 변연간격을 결정짓는 변수는 매우 다양한데, 모든 변수들을 통제해가며 연구를 진행할 필요성이 있다. 본 연구에서는 제조사의 지시나 술자가 단독으로 진행한 점 등에서 발생할 수 있는 변수들을 통제해보고자 노력하였으나 재료의 수축 문제[2,16], 실리콘 가압 시 일률적인 가압 부재[10] 등은 해결하지 못한 한계점으로 생각한다. 또한 제조기술에 따른 방법으로 가공 방식에 의해 제작된 것들과도 적합도를 비교하는 연구가 진행된다면 다양한 방법을 비교하는 질 높은 연구가 될 것으로 생각된다. 때문에 추후 진행될 연구에서는 한 단계 개선된 변수 통제를 반영하는 한편 제작기술의 다양화도 추가된 연구를 진행할 필요가 있다고 생각한다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 디지털 광원기술을 활용하여 출력한 고정성 치과보철물의 품질을 평가해보고자 하였다. 품질 평가를 위한 요소로 변연적합을 평가하였으며, 비교 대상은 기존의 전통적인 방식을 통해 제작된 시편을 이용하였다. 결과에 따라 디지털 광원기술을 활용해 제작한 고정성 치과보철물이 주조방식을 통해 제작된 것보다 변연적합 값이 더 큰 것으로 조사되었으나 연구자들이 제시한 임상적 허용 범위 안에는 존재하였다. 이에 따라 임상적으로 허용이 가능하다고 판단되는 것으로 연구의 결론을 도출하였고, 해당 임상 종사자들에게 연구 결론을 공유하고자 한다.

FUNDING

None to declare.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was supported by Daejeon Health Institute of Technology in 2022.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Ki-Baek Kim, <https://orcid.org/0000-0003-3821-9764>

REFERENCES

1. Lee HE, Moon HR. Recognition and awareness of the need for education among dental laboratory technology students during the 4th industrial revolution of the healthcare field. *J Tech Dent.* 2022;44:47-52.
2. Kim DY, Lee GY. Comparison of polymerization by time of light curing for dental 3D printing. *J Tech Dent.* 2022;44:76-80.
3. 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.* 2009;28:44-56.
4. Kim JH, Kim KB. Internal evaluation of provisional restorations according to the dental CAD/CAM manufacturing method: three-dimensional superimpositional analysis. *J Korean Acad Dent Technol.* 2019;41:81-86.
5. Kim JH, Kim KB. Evaluation the clinical acceptability of the marginal and internal gaps of fixed partial denture fabricated with additive manufacturing technology. *J Korean Acad Dent Technol.* 2018;40:209-215.
6. Park YD, Kang W. Comparative evaluation of the fitness of anterior and posterior interim crowns fabricated by additive manufacturing. *J Tech Dent.* 2021;43:153-159.
7. Noh MJ, Lee HB, Kim JH. Evaluation of marginal and internal accuracy of provisional crowns manufactured using digital light processing three-dimensional printer. *J Tech Dent.* 2022;44:31-37.
8. Kim DY, Lee GY. Evaluation of dimension stability according to UV-C ultrasonic cleaning of full arch artificial teeth made with DLP printer for photopolymerization. *J Tech Dent.* 2021;43:84-92.

9. 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* 2005;32:753-758.
10. Kim JH, Kim KB. An evaluation validity of the silicone replica technique at measurement on fit of fixed dental prostheses. *J Dent Hyg Sci*. 2012;12:566-571.
11. Hamza TA, Ezzat HA, El-Hossary MM, Katamish HA, Shokry TE, Rosenstiel SF. Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent*. 2013;109:83-87.
12. Foster LV. Failed conventional bridge work from general dental practice: clinical aspects and treatment needs of 142 cases. *Br Dent J*. 1990;168:199-201.
13. Ostlund LE. Cavity design and mathematics: their effect on gaps at the margins of cast restorations. *Oper Dent*. 1985;10:122-137.
14. Moldovan O, Rudolph H, Quaas S, Bornemann G, Luthardt RG. [Internal and external fit of CAM-made zirconia bridge frameworks - a pilot study]. *Dtsch Zahnärztl Z*. 2006;61:38-42. German.
15. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*. 1971;131:107-111.
16. Kim DY, Kim JH. Comparison of shrinkage according to thickness of photopolymerization resin for 3D printing. *J Tech Dent*. 2021;43:1-5.