

두 종의 밀링 시스템으로 제작된 3본 고정성 치과보철물의 내면 정확도 비교

김욱태
신한대학교 치기공학과

A comparison of intaglio surface trueness of 3-unit fixed dental prosthesis fabricated from two milling system

Wook-Tae Kim
Division of Dental Technology and Science, Shinhan University

요 약 연구의 목적은 두 가지 밀링 시스템으로 제작된 3본 고정성 보철물의 내면 정확도를 평가하는 것이다. 제작 방법은 부분적 디지털 워크플로인 Ray 시스템, 완전 디지털 워크플로인 CEREC 시스템을 적용하였다. 두 가지 밀링 시스템으로 제작된 3본 고정성 치과보철물의 정확도 평가는 3본 브리지 보철물의 디자인 파일인 CAD 기준 모형과 실제 제작된 3본 브리지 보철물의 내면이 스캔된 파일인 CAD 실험 모형을 검사 소프트웨어에서 중첩하여 삼차원 분석되었다 (N=15). 통계분석은 Independent t-test를 사용하여 두 그룹을 비교하였다 ($\alpha = .05$). CEREC 시스템과 Ray 시스템의 내면 정확도 측정 결과를 보면, 모든 지대치에서 CEREC 시스템의 내면 정확도가 유의하게 낮은 값을 보였다 ($P < .001$). 그리고 Ray 시스템 그룹이 CEREC 시스템 그룹보다 유의하게 높은 값을 보였다 ($P < .001$). 결과적으로 구강 스캐너를 사용하여 구강 디지털 데이터를 획득하는 CEREC 시스템 디지털 워크플로가 모형 스캐너를 사용하여 디지털 데이터를 획득하는 Ray 시스템보다 나은 3본 고정성 치과보철물 제작을 가능하게 한다.

Abstract This study evaluates the inner surface trueness of 3-unit fixed dental prostheses manufactured applying two milling systems: the Ray system, a partial digital workflow, and the CEREC system, a complete digital workflow. The trueness evaluation of the 3-unit fixed dental prostheses produced by both systems (N=15 each) was analyzed in three dimensions by superposing the CAD reference model (the design file of the 3-unit fixed dental prosthesis) and the CAD experimental model (the scanned file of the actual 3-unit fixed dental prosthesis). For statistical analysis, both groups were compared using the Independent t-test ($\alpha=0.05$). Comparing the internal trueness of the CEREC system and the RAY system, we observed that the CEREC system was significantly lower in all abutment teeth (). Prostheses manufactured using the Ray system showed significantly higher values than the CEREC system group (). Taken together, our results indicate that compared to the Ray system using a model scanner, the digital workflow of the CEREC system using an intraoral scanner produces better 3-unit fixed dental prostheses.

Keywords : Trueness, 3-Unit Fixed Dental Prosthesis, Milling System, CEREC System, Ray System

*Corresponding Author : Wook-Tae Kim(Shinhan Univ.)

email: wrdeul@hanmail.net

Received November 28, 2022

Accepted January 6, 2023

Revised December 27, 2022

Published January 31, 2023

1. 서론

CAD-CAM(Computer-aided design and computer-aided manufacturing) 시스템의 도입은 수작업으로 고정성 치과보철물을 제작하던 전통적인 워크플로에서 3차원 데이터의 획득, 디자인 과정, 그리고 3차원 가공 과정을 통한 디지털 워크플로로 고정성 치과보철물 제작이 가능하도록 만들었다[1-3]. 구강 스캐너의 도입 이전의 디지털 워크플로는 인상재를 사용하여 인상 채득을 한 후 석고 모형을 제작하고, 모형 스캐너를 사용하여 3차원 가상 모형을 획득하였다[2,4]. 반면에 구강 스캐너는 환자의 구강에 직접적인 광학 스캐닝을 통해 3차원 가상 모형을 획득할 수 있다[5]. 구강 스캐너의 도입 이후에 많은 발전을 통해서 많은 수요의 증가가 있었다[5,6].

고정성 치과보철물 제작을 위한 디지털 워크플로는 인상 채득 및 석고 모형 제작의 전통적인 워크플로를 혼용해서 작업하는 부분적 디지털 워크플로와 치과 진료실 내 환경에서 환자의 구강을 직접적으로 스캔하는 완전 디지털 워크플로로 구분할 수 있다[7]. 구강 스캐너의 발전과 많은 이전 연구의 검증으로 완전 디지털 워크플로의 사용은 점차 늘고 있는 추세이다[8]. 그러나 구강 스캐너의 가격 부담과 치과기공소를 통한 보철물의 제작 요구로 인해서 부분적 디지털 워크플로를 선호하기도 한다[6,9].

과거 연구에서는 변연 및 내면 적합도 평가를 통해 고정성 치과보철물을 검증하였다[10-16]. 좋지 못한 변연 적합은 치주 질환, 시멘트 용해 등의 원인이 되며, 오랫동안 건강하게 치아를 유지할 수 없다[11,14]. 특히 최적의 내면 적합도는 고정성 치과보철물의 유지를 증가시킨다[7,15]. 이러한 이유로 변연 및 내면적합도의 많은 연구가 수행되고 있다.

디지털 워크플로에서 CAD 소프트웨어에서 디자인된 가상 고정성 치과보철물은 CAM 과정을 통해 실제 고정성 치과보철물로 제작된다. 디자인된 가상 고정성 치과보철물과 실제 고정성 치과보철물을 비교하여 CAM 과정에서 발생하는 가공 정밀도를 분석하는 연구는 많이 보고되고 있다[17-19]. 통상적으로 CAM 과정을 통한 세라믹 소재의 고정성 치과보철물은 지르코니아(zirconia)와 리튬디실리케이트(litium de silicate) 소재의 절삭과정(milling)을 통해 제작되고 있다[20-22]. 밀링기의 부정확한 정확도는 고정성 치과보철물의 내면을 계획된 디자인으로 형성하기 어렵고, 내면 적합도에 영향을 줄 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 부분적 디지털 워크플로 방식인 Ray 시스템과 완전 디지털 워크플로 방식인 CEREC 시스템으로 제작된 치과보철물을 최근 사용되어지는 소프트웨어 분석법으로 정확도 차이를 비교 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 시편모형 제작

본 연구는 하나의 작업 모형에서 평가가 이루어 질 수 있도록 금속 모형을 제작하였다. 3본 고정성 치과보철물을 제작하기 위해서 상악 우측 제1소구치와 제1대구치를 지대치로 형성한 상악 기본 모형(AG-3 ZPVK, Frasco GmbH, Tett nang, Germany)을 준비하였다. 지대치의 변연은 1.2mm의 chamfer, 수렴각은 12°가 부여되었다. 그리고 광학식 스캐너 (E3 scanner, 3Shape, København, Denmark)로 스캔하고, 크롬-코발트(co-cr)소재의 3D 프린트(FS271M, Farsoon Technologies, Hunan, China)로 최종 모형을 제작하였다(Fig. 1A).

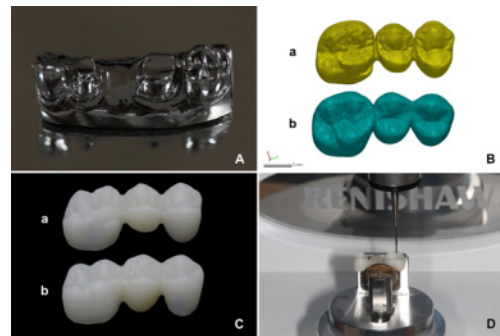


Fig. 1. Three-unit fixed dental prosthesis fabricated using two milling machines.

(A) Metal cast. (B) Virtual 3-unit FDP (CAD). (C) 3-unit fixed dental prosthesis. (D) Touch-probe scanning. a: Ray group. b: CEREC group.

2.2 3본 고정성 보철물 제작

3본 고정성 치과보철물의 제작방법은 디지털 워크플로에 따라서 Ray 시스템과 CEREC 시스템 그룹으로 구분하였다 Ray 시스템 group은 부분적 디지털 워크플로에 따라서 장비가 사용되었다. 준비된 금속 모형은 개인 인상트레이에 heavy body 인상재 (Aquasil Ultra Rigid, Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA)

를 채우고 동시에 지대치 주위에 light body 인상재를 주입하면서 인상을 채득하였다. Type IV 경석고 (Fujirock, GC, Leuven, Belgium)를 인상체에 붓고, 경석고가 경화된 후 인상체에서 제거하였다. 경석고 모형은 모형 스캐너 (E3 scanner)를 사용하여 3차원 가상 모형으로 변환하였다. 획득된 3차원 가상 모형을 CAD 소프트웨어 (exocad, exocad GmbH, Darmstadt, Germany)에 불러와 3본 고정성 치과보철물을 디자인하였다(Fig. 1B). 소프트웨어에서 3본 고정성 치과보철물의 시멘트 공간 설정 값은 지대치 변연의 1 mm 상방부터 120 µm으로 하였다. 디자인이 완료된 가상 3본 고정성 치과보철물은 STL (standard tessellation language) 파일로 저장하였다. 그리고 STL 파일은 밀링기 (RAYDENT Mill 4X, Ray, Seoul, Republic of Korea)에 불러와 lithium disilicate block (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 사용하여 3본 고정성 치과보철물로 제작하였다. 그리고 도재 소성 전기로(Multimat NTX, Dentsply Sirona)를 사용하여 제조사의 권장 설정에 맞추어 밀링 된 3본 고정성 치과보철물을 결정화하였다(Fig. 1C).

CEREC 시스템 그룹은 완전 디지털 워크플로에 따라서 장비가 사용되었다. 금속 모형에 반사 방지 분말을 약 2µm의 두께로 균일하게 도포하고, 구강 스캐너(CEREC Omnicam, Dentsply Sirona)를 사용하여스캔 하였다. 구강 스캐너의 제조사 권장 사항에 따라서 스캔을 진행 하였으며, 숙련된 한 명의 연구자 (W.K.)에 의해 스캔되었다. 획득된 3차원 가상 모형을 CAD 소프트웨어 (CEREC S/W 4.4.4, Dentsply Sirona)에 불러와 3본 고정성 치과보철물을 디자인하였다. 소프트웨어에서 3본 고정성 치과보철물의 시멘트 공간 설정 값은 Ray 시스템 그룹과 동일하게 하였다. 디자인이 완료된 가상 3본 고정성 치과보철물은 STL file로 저장하였다. 그리고 STL 파일은 밀링기 (CEREC MC XL, Dentsply Sirona)에 불러와 Ray 시스템 그룹과 동일한 소재를 이용해 제작하였으며, 동일한 후가공을 통해 3본 고정성 치과보철물을 최종적으로 완성하였다 (Fig. 1C). 이 연구에서 제시한 Ray 시스템과 CEREC 시스템의 디지털 워크플로를 통해 그룹당 15개의 3본 고정성 치과보철물을 제작하였다.

2.3 정확도 측정

밀링기의 정확도를 평가하기 위해서 다음과 같이 진행 되었다. 접촉식 스캐너 (DS10, Renishaw plc, Gloucestershire, UK)를 이용하여 3본 고정성 치과보

철물의 내면을 스캔하였다 (Fig. 1D). 접촉식 스캔 과정에서 언더 컷으로 인해 스캔이 방해되지 않도록 숙련된 한 명의 연구자 (W.T.)가 확인을 하면서 스캔하였다. 접촉식 스캐너는 사용 전에 제조사의 권장사항에 따른 교정을 통해 정확도를 검증하였다. 스캔된 가상의 3본 고정성 치과보철물은 STL 파일로 저장하였다 (Fig. 2A). 그리고 Ray 시스템과 CEREC 시스템 그룹의 크라운 디자인 과정에서 디자인된 가상의 3본 고정성 치과보철물도 마찬가지로 STL 파일로 저장하였다(Fig. 2B).

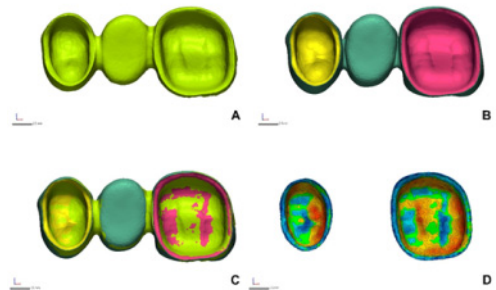


Fig. 2. Process for the 3-dimensional analysis of trueness. (A) CAD test model (CTM). (B) CAD reference model (CRM). (C) Superimposition of CRM and CTM. (D) Color difference map

3차원 검사 소프트웨어 (Geomagic Control X, 2018.0.1, 3D Systems, Rock Hill, SC, USA)에서 스캔과 디자인된 가상의 3본 고정성 치과보철물의 STL 파일을 불러왔다. 그리고 디자인된 가상의 3본 고정성 치과보철물을 참조 데이터로 설정하고, 보철물 마진을 기준으로 내면을 지정하였다. 참조 데이터의 지정된 내면을 기준으로 스캔된 가상의 3본 고정성 치과보철물을 초기 정렬, 최고로 잘 맞는 정렬 순으로 참조 데이터와 중첩을 하였다 (Fig. 2). 소프트웨어의 3차원 비교 기능을 통해 중첩된 데이터의 일치도를 보았다. 참조 데이터의 3본 고정성 치과보철물 내면에 모든 포인트 클라우드와 스캔된 가상의 3본 고정성 치과보철물 내면에 모든 포인트 클라우드는 RMS (root mean square) 값으로 계산 되었으며, 아래의 (1)과 같다.

$$S = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i})^2} \quad (1)$$

여기서, $X_{1,i}$ 은 기준 데이터 값, $X_{2,i}$ 는 측정 데이터 값, 그리고 n 은 분석에 사용된 샘플 수이다. 측정된 RMS 값

은 0에 가까울수록 높은 삼차원적 일치도를 나타낸다. 정확도의 차이를 보다 쉽게 보기 위해 색상 차이 지도(color difference map)로 나타냈다(Fig. 2C, Fig. 2D). 색 지도에서 적색구역(10 ~ 100 μm)은 양의 오류를 나타내며, 즉 밀링이 목표한 위치까지 되지 않았음을 의미한다. 파란색 구역(-10 ~ -100 μm)은 음의 오류를 나타내며, 즉 밀링이 목표한 위치보다 많이 되었음을 의미한다. 녹색 구역 ($\pm 10 \mu\text{m}$)은 매우 정밀한 가공 정밀도를 나타낸다.

2.4 통계분석

모든 데이터는 SPSS 통계 소프트웨어 (release 23.0, IBM, Chicago, USA)를 사용하여 분석하였다.

우선 Shapiro-Wilk 시험을 통해 데이터의 정규 분포를 확인하였다. 정규 분포를 이루었기 때문에는 Independent t-test를 이용하여 그룹 간의 차이점을 분석하였다 ($\alpha=.05$).

3. 연구 결과

정확도 측정 결과에서, 모든 지대치에서 CEREC 시스템 군의 정확도가 유의하게 낮은 값을 보였다 (P<.001) (Table 1). CEREC 시스템 그룹이 27.9 \pm 3.7 μm , Ray 시스템 그룹이 40.6 \pm 6.1 μm 으로 유의한 차이를 보였다 (P<.001).

Fig. 3의 색상 차이 지도를 비교해보면, 교합면 영역에서 CEREC 시스템 그룹의 푸른색(blue) 구역 (과도한 가공)이 많음을 볼 수 있고, 비교적 Ray 시스템 그룹에서는 적색 부분(부족한 가공)의 영역이 많음을 볼 수 있다.

Table 1. Comparison of intaglio surface trueness of 3-unit bridge dental fixed prosthesis fabricated by two types of milling machines(μm)

| Tooth preparation type | Milling machine | Mean | SD | t | P |
|------------------------|-----------------|------|-----|--------|---------|
| Premolar | CEREC | 30.6 | 3.4 | -5.683 | <0.001* |
| | Ray | 41.9 | 6.2 | | |
| Molar | CEREC | 27.7 | 3.8 | -4.906 | <0.001* |
| | Ray | 36.8 | 5.4 | | |
| Premolar and molar | CEREC | 27.9 | 3.7 | -6.339 | <0.001* |
| | Ray | 40.6 | 6.1 | | |

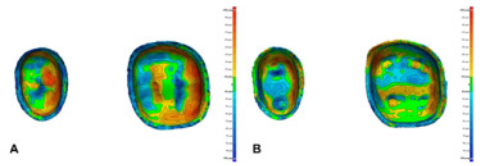


Fig. 3. Comparison of the color difference map of trueness. A: Ray system group. B: CEREC system group.

4. 고찰

본 연구의 목적에 따라서 두 가지 밀링시스템으로 제작된 3-unit FDP의 정확도를 평가하였다. 정확도는 CAD 소프트웨어에서 처음 디자인되었던 것(CAD reference model)과 제작된 보철물 (CAD test model)이 얼마나 유사하게 제작되었는지를 나타낸다[19]. 이전의 연구에서는 CAM 과정의 정확도를 평가하였다[19]. Kim[23]은 2개의 밀링 버(mill burs)보다는 3개의 밀링 버(mill burs)에서 낮은 정확도가 나왔다. Kirsch[24]의 연구에서는 4축 밀링기보다 5축 밀링기에서 더 낮은 정확도가 나왔다. 이 연구에서는 CEREC 시스템 (closed type)과 Ray 시스템 (open type) 그룹 모두 4축 밀링기에 2개의 밀링 버(mill burs)를 사용하였으며, 연구결과에 따르면 밀링기의 제조사에 따라서 정확도에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 그리고 추가적인 연구로 다양한 밀링 버 (mill burs)의 개수와 5축 밀링기를 사용한 정확도의 평가가 필요하다.

적합도를 측정하기 위해서는 반드시 참조 데이터가 있어야 한다. 참조 데이터를 획득하는 방법은 매우 중요하다. 이전의 연구에서는 접촉식 스캐너에서 참조 데이터의 좌표로 거리를 계산하여 데이터를 분석하였고[25], 다른 연구에서는 정밀한 산업용 스캐너를 이용하여 삼차원 참조 데이터를 획득하여 정확도를 측정하였다[1]. 접촉식 스캐너는 광학식 스캐너보다 정확하고 안정적이었으며, 레이저 스캐너보다 지대치 변연을 재현하는 것이 더 효율적이었다[26]. 그리고 지대치를 광학 스캐너와 접촉식 스캐너로 촬영하여 반복 재현성을 측정하였는데 접촉식 스캐너에서 우수한 반복 재현성을 보여주었다[27]. 이 연구에 사용된 접촉식 스캐너는 제조사에서 말하는 우수한 반복 재현성으로 정확도가 정밀하게 분석되었다. 그러나 다른 이전의 연구에 비해 본 실험에서는 크라운 외면의 정확도는 평가되지 못하였으나, 크라운의 외면이 평가되지 못한 이유는 좁고 깊은 부위와 언더컷이 존재하는 부

위는 접촉식 스캔이 불가능하기 때문이다. 그리고 추가적인 이유로 블록에서 크라운을 분리할 때에 외면의 연결부는 정확도에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 추가 연구를 통해 크라운 외면의 정확도를 분석하는 연구도 필요하다.

5. 결론

구강 스캐너를 사용하여 구강 디지털 데이터를 획득하는 CEREC 시스템 (Closed type) 디지털 워크플로가 모형 스캐너를 사용하여 디지털 데이터를 획득하는 Ray 시스템(open type) 보다 정확도가 높은 3본 고정성 치과보철물 제작을 가능하게 한다.

References

- [1] G. H. Park, K. Son, K. B. Lee, "Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.121, No.5, pp.803-810, May 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.07.014>
- [2] J. Abduo, "Accuracy of casts produced from conventional and digital workflows: A qualitative and quantitative analyses", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.11, No.2, pp.138-146, Apr. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2019.11.2.138>
- [3] J. H. Jeon, S. S. Hwang, J. H. Kim, W. C. Kim, "Trueness and precision of scanning abutment impressions and stone models according to dental CAD/CAM evaluation standards", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.5, pp.335-339, Oct. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.5.335>
- [4] D. Y. Kim, K. E. Lee, J. H. Jeon, J. H. Kim, W. C. Kim, "Evaluation of the reproducibility of various abutments using a blue light model scanner", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.4, pp.328-334, Aug. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.4.328>
- [5] A. Arezoobakhsh, S. S. Shayegh, A. J. Ghomi, S. M. R. Hakimaneh, "Comparison of marginal and internal fit of 3-unit zirconia frameworks fabricated with CAD-CAM technology using direct and indirect digital scans", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.123, No.1, pp.105-112, Jan. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.023>
- [6] J. M. Park, R. J. Y. Kim, K. W. Lee, "Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.123, No.1, pp.113-120, Jan. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.025>
- [7] E. A. Yus, J. M. A. Cantarell, A. M. Alonso, "Comparison of the marginal fit of milled yttrium stabilized zirconium dioxide crowns obtained by scanning silicone impressions and by scanning stone replicas", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.3, pp.236-244, Jun. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.3.236>
- [8] H. Alqarni, A. AlHelal, M. T. Kattadiyil, C. J. Goodacre, "Selective implant scan body modification to restore severely tilted adjacent implants: A completely digital workflow", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol.123, No.1, pp.38-41, Jan. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.012>
- [9] F. Mangano, A. Gandolfi, G. Luongo, S. Logozzo, "Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature", *BMC Oral Health*, Vol.17, No.1, p.149, Dec. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
- [10] R. Sadid-Zadeh, A. Katsavochristou, T. Squires, M. Simon, "Accuracy of marginal fit and axial wall contour for lithium disilicate crowns fabricated using three digital workflows", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol.123, No.1, pp.121-127, Jan. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.11.003>
- [11] K. Son, S. Lee, S. H. Kang, J. Park, K. B. Lee, et al., "A Comparison Study of Marginal and Internal Fit Assessment Methods for Fixed Dental Prostheses", *Journal of Clinical Medicine*, Vol.8, No.6, p.875, Jun. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm8060785>
- [12] H. W. Woo, S. A. Cho, C. H. Lee, K. B. Lee, J. H. Cho, D. H. Lee, "Precision of the milled full-arch framework fabricated using pre-sintered soft alloy: A pilot study", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.2, pp.128-131, Apr. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.2.128>
- [13] N. Şen, I. B. Şermet, N. Gürler, "Sealing capability and marginal fit of titanium versus zirconia abutments with different connection designs", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.11, No.2, pp.105-111, Apr. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2019.11.2.105>
- [14] M. K. Ji, J. H. Park, S. W. Park, K. D. Yun, G. J. Oh, H. P. Lim, "Evaluation of marginal fit of 2 CAD-CAM anatomic contour zirconia crown systems and lithium disilicate glass-ceramic crown", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.7, No.4, pp.271-277, Aug. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2015.7.4.271>
- [15] W. S. Lee, W. C. Kim, H. Y. Kim, W. T. Kim, J. H. Kim, "Evaluation of different approaches for using a laser scanner in digitization of dental impressions", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.6, No.1,

- pp.22-29, Feb. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2014.6.1.22>
- [16] S. J. Ha, J. H. Cho, "Comparison of the fit accuracy of zirconia-based prostheses generated by two CAD/CAM systems", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.8, No.6, pp.439-448, Dec. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2016.8.6.439>
- [17] S. Y. Kang, J. H. Park, J. H. Kim, W. C. Kim, "Accuracy of provisional crowns made using stereolithography apparatus and subtractive technique", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.5, pp.354-360, Oct. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.5.354>
- [18] I. D. Jeong, W. C. Kim, J. Park, C. M. Kim, J. H. Kim, "Ceramic molar crown reproducibility by digital workflow manufacturing: An in vitro study", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.9, No.4, pp.252-256, Aug. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.4.252>
- [19] W. Wang, H. Yu, Y. Liu, X. Jiang, B. Gao, "Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.121, No.2 pp.285-291, Feb. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.04.012>
- [20] A. Aladağ, D. Oğuz, M. E. Çömlekoğlu, E. Akan, "In vivo wear determination of novel CAD/CAM ceramic crowns by using 3D alignment", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.11, No.2, pp.120-127, Apr. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2019.11.2.120>
- [21] P. Weigl, A. Sander, Y. Wu, R. Felber, H. C. Lauer, M. Rosentritt, "In-vitro performance and fracture strength of thin monolithic zirconia crowns", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.10, No.2, pp.79-84, Apr. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.2.79>
- [22] J. W. Choi, S. Y. Kim, J. H. Bae, E. B. Bae, J. B. Huh, "In vitro study of the fracture resistance of monolithic lithium disilicate, monolithic zirconia, and lithium disilicate pressed on zirconia for three-unit fixed dental prostheses", *The journal of advanced prosthodontics*, Vol.9, No.4, pp.244-251, Aug. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.4.244>
- [23] C. M. Kim, S.R. Kim, J. H. Kim, H. Y. Kim, W. C. Kim, "Trueness of milled prostheses according to number of ball-end mill burs", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.115, No.5, pp.624-9, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.10.014>
- [24] C. Kirsch, A. Ender, Attin, "Trueness of four different milling procedures used in dental CAD/CAM systems." *Clinical oral investigations* Vol 21, No.2, pp. 551-558, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1916-y>
- [25] A. Izadi, F. Vafaei, A. Shishehian, G. Roshanaei, B. F. Afkari, "Evaluation of dimensional accuracy of dental bridges manufactured with conventional casting technique and CAD/CAM system with Ceramill Sintron blocks using CMM", *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, Vol.12, No.4, pp.264-271, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.15171/joddd.2018.041>
- [26] A. Persson, M. Andersson, A. Oden, G. Sandborgh-Englund, "A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.95, No.3, pp.194-200, Mar. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.01.003>
- [27] A. Persson, M. Andersson, A. Oden, G. Sandborgh-Englund, "A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner", *The Journal of prosthetic dentistry*, Vol.95, No. 3, pp. 194-200, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.01.003>

김 욱 태(Wook-Tae Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 인제대학교 의학과 (의학석사)
- 2006년 2월 : 인제대학교 의학과 (의학박사)
- 2019년 6월 ~ 현재 : 대한상사중재원 중재인
- 2022년 8월 ~ 현재 : 한국보건산업진흥원 의료기기 분과 자문위원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 신한대학교 치기공학과 교수

<관심분야>

치과보철, 재료, 구강해부학, 치과의료, 보건의료