

3차원 중첩 기술 차이에 따른 디지털 치과용 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도 평가

Precision Evaluation of Scanning the Digital Dental Abutment Impression and Dental Gypsum Model according to 3-dimensional Superimposing Different Skills

전진훈

경동대학교 치기공학과

Jin-Hun Jeon(jinhun4@korea.ac.kr)

요약

본 연구의 목적은 3차원 중첩 기술 차이에 따른 디지털 치과용 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도를 비교 평가하는 것이다. 상악 제1 소구치 지대치 인상체와 경석고 모형을 제작했다. 청색광 스캐너로 스캔하여 stereolithography (STL)을 얻었다. 지대치 인상체와 경석고 모형에 대하여 스캐너 테이블에서 이동하지 않은 채로 10번의 추가 스캔을 수행하였다. no control과 best-fit-alignment 기술을 사용하여 지대치 인상체와 경석고 모형 스캐닝 데이터를 중첩시킴으로써 10개의 color-difference maps과 root mean square (RMS) 데이터를 얻었다. 서로 간의 그룹 사이에 RMS data를 가지고 독립 t 검정을 수행하였다($\alpha=0.05$). 지대치 인상체 스캐닝에 있어서 no control과 best-fit-alignment의 $RMS \pm$ Standard Deviation (SD) 값은 6.86 ± 0.94 , 5.04 ± 0.24 로 나타났고, 경석고 모형 스캐닝에 있어서는 4.98 ± 1.16 , 3.39 ± 0.07 로 나타났으며, 모든 그룹 간에 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$). 본 연구 결과를 통해 best-fit-alignment뿐만 아니라 no control은 디지털 치과캐드캠 연구 분야 및 임상 분야에 활용될 수 있다고 생각한다.

■ 중심어 : | 데이터 정확도 | 치과용 인상체 재료 | 시각화 | 3차원 | 프로그램 평가 |

Abstract

The objective of this research was to compare the precision of scanning the digital abutment impression and gypsum model according to 3-dimensional superimposing different skills. There were made with the abutment impression and gypsum model of a maxillary 1st premolar, blue light scanner scanned to obtain the stereolithography (STL) file. After the same process was performed 10 more times without moving them on the scanner table about the abutment impression and gypsum model, respectively ($n=11$, per types). By superimposing the date of scanning the abutment impression and gypsum model used with no control and best-fit-alignment skills, 10 color-difference maps and root mean square (RMS) data were obtained. The independent t-test was performed to compare RMS data between the each other groups ($\alpha=0.05$). In the scanning abutment impressions, $RMS \pm SD$ of no control, best-fit-alignment showed 6.86 ± 0.94 , 5.04 ± 0.24 . in the scanning gypsum model, 4.98 ± 1.16 , 3.39 ± 0.07 , all groups showed a significant difference ($P < 0.001$). Trough the this study's result, not only best-fit-alignment but no control is used with digital dental computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) research and clinical part.

■ keyword : | Data Accuracy | Dental Impression Materials | Imaging | Three-dimensional | Program Evaluation |

I. 서론

디지털 치과 시대로의 진입과 발맞추어 최신 캐드캠 (computer aided design/ computer aided manufacturing, CAD/CAM) 장비들이 등장하였다. 특히 그 중에 스캐너는 치과보철물 제작에 있어 가장 중요한 요소들 중 하나로 손꼽히고 있다[1][2].

최근 스캐너를 이용한 인상체와 경석고 모형 스캐닝에 대한 정밀도 연구에 대한 관심이 높아지고 있다[3]. 인상체 스캐닝의 정밀도가 경석고 모형 스캐닝보다 낮다는 연구들이 발표되기도 하였다[2]. 하지만 최근 빠른 디지털 기술의 발전과 발맞추어 스캐너의 정밀도 또한 높아졌으며, 인상체 스캐닝의 정밀도가 경석고 모형의 스캐닝 정밀도와 차이가 없다는 연구결과들이 발표된 바 있다[2][3]. 그럼에도 불구하고 인상체 스캐닝의 정밀도에 관한 연구는 모형 스캐닝의 정밀도에 대한 연구와 비교해 볼 때 아직 부족한 실정이다[1][3].

한편 스캐닝의 정밀도는 3차원 중첩프로그램을 활용하여 두 데이터간의 오차를 정성적·정량적 데이터로 보여지는데, 일반적으로 3차원 중첩 프로그램의 best-fit-alignment 기능을 활용하여 두 데이터간의 가

장 오차가 적은 위치로 이동시켜 보정된 결과로 나타난다[4]. 하지만 이는 프로그램 자체에서 실제 데이터에서 발생한 오차를 무시하고 얻은 데이터이므로 사실상 참값이라고 보기 어렵다는 연구 결과들이 있다[5-7].

따라서 본 연구의 3차원 중첩 기술차이에 따른 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도 평가를 통해 디지털 치과 연구 분야 및 임상 분야에 유용한 정보를 제시하고자 한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 시편 제작

본 실험에서 사용된 지대치 인상체와 경석고 모형 시편 제작 과정은 다음과 같다[그림 1].

지대치는 상악치아 가운데 예비 실험을 통해 스캐닝이 가능한 치아들 가운데 상악 제1 소구치를 대상으로 하였다. 상악 제1소구치는 전치부의 특성과 대구치의 특성을 고루 갖춘 대표적인 치아이므로 본 연구에서 선정하게 되었다. 합성수지로 제작된 표준화 치열모형 (AG-3; Frasco, GmbH, Tettang, Germany)의 상악

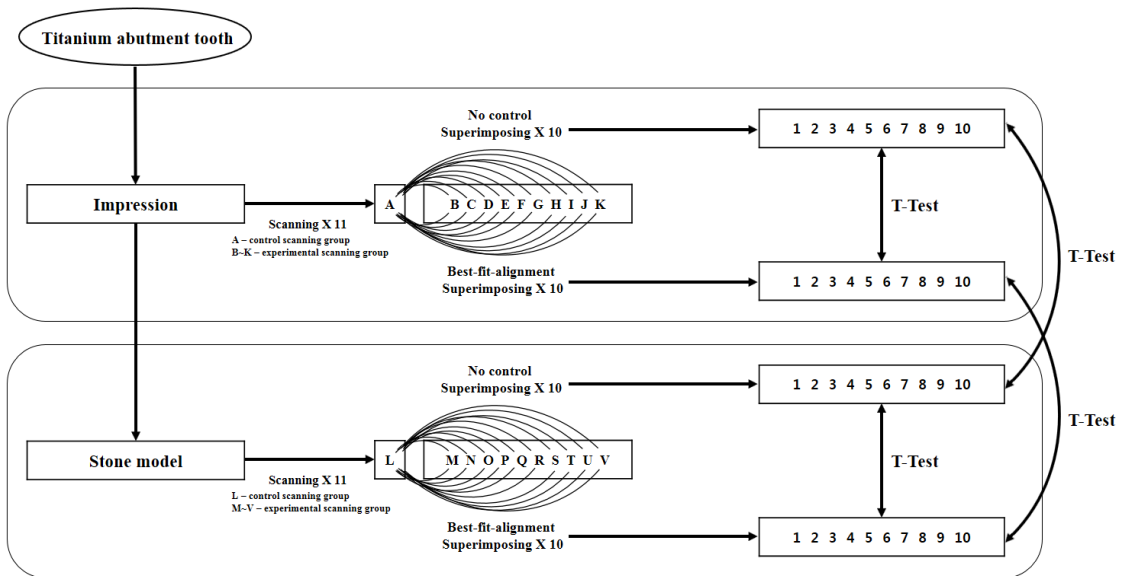


그림 1. Schematic diagram of this research

제1 소구치를 선택한 후, 전부도재관을 위한 지대치를 형성하였는데 지대치의 특징은 다음과 같았다.

지대치의 길이는 표준화 치열모형을 기준으로 정하였고 협설근원심 치경부는 deep chamfer margin으로 설정하였으며 협측 및 설측 치측면의 삭제량은 1~1.5 mm, 교합면 및 절단면의 삭제량은 1.5~2 mm로 제작하였다. 협설근원심면은 치측면과 6°의 각도를 이루도록 하였고, margin angle과 point angle은 동일하게 다듬었다 [3][6].

합성수지를 이용한 상악 제1 소구치 지대치 형성 후 이를 복제 밀링 작업을 통하여 티타늄 지대치 모형을 제작하였다[8][9]. 이 티타늄 지대치 모형 제작 이유는 인상 채득 시 경석고 모형 지대치와 비교해볼 때 표면 마모를 최소화 할 수 있으며 정확한 인상채득이 가능하기 때문이다[10]. 이 후 스캐닝 및 정교한 인상채득이 가능한 extra light body의 고무인상재 (Aquisil Ultra plus XLV; Dentsply, St. York, PA, USA)를 이용하여 상악 제1 소구치 지대치 인상체를 제작하였다.

마지막으로 복제한 인상체를 이용하여 상악 제1 소구치 지대치 경석고 모형(Snow rock 3D scan stone; DK mungyo, Gimhae, Korea)을 제작하였다.

2. 스캐닝작업

위와 같이 제작된 지대치 인상체와 경석고 모형의 스캐닝 정밀도 평가를 위해 구강 외 스캐너 중 하나인 청색광 스캐너(Identica blue; Medit, Seoul, Korea)를 사용하였는데, 이는 스캐닝 시 빠른 속도, 적은 오차 및 외부환경의 영향을 받지 않는 스캐너로 잘 알려져 있다 [11].

각각 인상체와 경석고 모형을 스캐너 테이블 위에 고정시킨 후 반복적으로 각각 11번의 스캐닝 작업을 하였다. 각각 인상체와 경석고 모형의 3차원 STL(stereolithography) file을 얻었다. 또한 모든 STL file들에서 부정확하고 불필요한 부분들은 삭제하였다 [12-14].

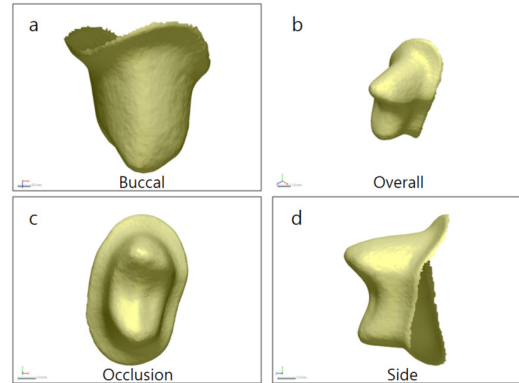


그림 2. 3-dimensional scan data

3. 3차원 데이터 분석

3차원 중첩 소프트웨어(Geomagic Verify 2015; 3D Systems, Cary, NC, USA)를 이용하여 지대치 인상체와 모형 스캐닝의 정밀도를 확인방법은 다음과 같다.

일반적인 있는 그대로의 데이터를 비교하는 검증방법인 no control 검증방법과 두 데이터간의 최소 오차 위치로 보정해주는 best-fit-alignment 검증방법 두 가지를 비교하였다.

지대치 인상체와 모형 스캐닝을 통해 얻은 11개씩의 STL file을 일대일 중첩시킴으로써 위의 두 가지 방법을 활용하여 각각 10개씩의 정성적 데이터인 color-difference-map과 정량적(report) 데이터인 RMS 값을 얻었는데 공식은 다음과 같다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^n (x_{1,a} - x_{2,a})^2}{n}}$$

3차원 공간좌표상(x, y, z축)에 있는 2개의 데이터를 서로 중첩시켰을 때 2개의 점의 위상 차를 모두 제공한 값의 합을 구한다. 그 후 그 값을 점의 총 갯수로 나눈 뒤 제곱근을 취하면 RMS값(기하평균)이 구해지게 되는데, 이는 일반적으로 총 갯수의 합을 총 갯수로 나누는 mean(산술평균) 값과 비교하여 볼 때 더욱 신뢰도가 높고 정확한 값이라고 할 수 있다[15].

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \geq \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

4. 통계처리 및 분석

3차원 중첩 기술 차이에 따른 지대치 인상체와 경석고 모형 스캐닝의 정밀도 차이 비교를 위하여 각각 10개씩의 RMS 데이터들을 통계 프로그램(IBM SPSS Version 22.0 for win; IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 활용하여 독립 t검정을 시행하였다. 이 때, 제 1종 오류 수준은 0.05로 정하였다.

III. 결과

1. 정성적 데이터

[그림 3]는 3차원 중첩 기술차이에 따른 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도에 대한 정성적 데이터를 color-difference-map을 통하여 보여주고 있다.

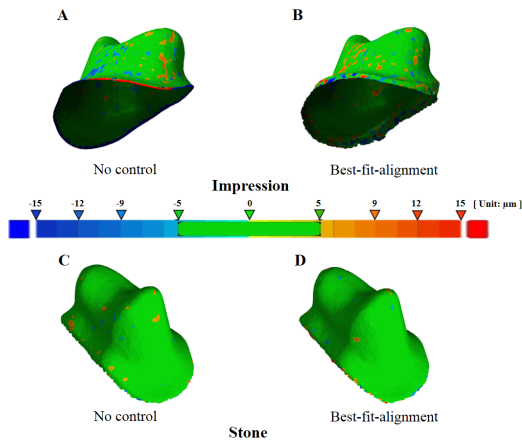


그림 3. Qualitative comparison data utilized with three-dimensional color-difference-map of abutment impression and stone model; no control versus best-fit-alignment

color-difference-map은 기준이 되는 모델보다 비교하려는 모델이 바깥쪽으로 큰 경우를 양(red)의 오차, 안쪽으로 적은 경우를 음(blue)의 오차를 나타내며 오차가 0에 가까울 수록 연두색을 나타낸다. 인상체의 경우 no control에서 치아의 장축 부분에서 양(red)의 오차와 음(blue)의 오차가 보이고 있으며 margin부분에서

양(red)의 오차가 보이고 있다[그림 3A]. 한편 best-fit-alignment에서는 장축부분에서 약간의 양(red)의 오차와 음(blue)의 오차를 보이고 있다[그림 3B].

다음으로 경석고 모형의 경우 no control에서 치아 표면 전체에서 약간의 오차만을 보이고 있으며[그림 3C], best-fit-alignment에서는 no control보다도 더 적은 오차만을 보이고 있다[그림 3D].

2. 정량적 데이터

[표 1]은 3차원 중첩 기술차이에 따른 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도에 대한 정량적 데이터를 RMS±SD 값을 통하여 보여주고 있다. 지대치 인상체 스캐닝에 있어서 no control과 best-fit-alignment의 RMS±SD 값은 6.86±0.94, 5.04±0.24로 나타났다. 한편, 경석고 모형 스캐닝에 있어서는 no control과 best-fit-alignment의 RMS±SD는 4.98±1.16, 3.39±0.07로 나타났다.

지대치 인상체와 경석고 모형 스캐닝의 no control과 best-fit-alignment 모두 유의한 차이를 보이고 있다 (P<0.05).

표 1. Comparisons RMS±SD (µm) Quantitative Values of Discrepancies of Scanning Abutment Tooth Impression and Stone Model according to Three-dimensional Superimposing Different Skills (n=10, respectively)

	Impression	Stone	P-value
No control	6.86±0.94	4.98±1.16	<0.001
Best-fit-alignment	5.04±0.24	3.39±0.07	<0.001
P-value	<0.001	<0.001	

RMS: root mean square, SD: standard deviation

IV. 고찰

본 연구는 3차원 중첩 기술 차이에 따른 지대치 인상체 및 경석고 모형의 스캐닝 정밀도 평가는 유의한 차이가 없다는 귀무가설로 출발하였다.

[표 1]은 지대치 인상체와 경석고 모형의 스캐닝 정밀도를 두 가지(no control과 best-fit-alignment) 3차원 중첩 기술 차이에 따라 RMS±SD 값을 통하여 정량적 데이터로 보여주고 있으며, 또한 SPSS를 활용한 통계분석을 통하여 지대치 인상체와 경석고 모형 스캐닝의 no control과 best-fit-alignment 데이터들 사이에서 모두 유의한 차이를 보여주고 있다($P < 0.001$). 먼저 스캐닝 정밀도는 지대치 인상체가 경석고 모형보다 낮은 결과를 보이고 통계적 유의한 차이를 나타냈지만 서로간의 오차는 약 $1.7 \mu\text{m}$ 정도의 경미한 차이만을 보이고 있다. 이는 스캐닝 시 지대치 경석고 모형에 비해 인상체는 좁고 깊은 곳에서 발생하는 오차를 설명할 수 있다[7]. 하지만 선행 연구들에 따르면 스캐닝의 오차는 $10 \mu\text{m}$ 이내의 값은 높은 정밀도로 볼 수 있다고 발표하바 있다[3][15].

3차원 중첩 기술 차이에 따른 지대치 인상체와 경석고 모형의 스캐닝 정밀도에 있어서 no control이 best-fit-alignment에 비해 낮은 결과를 보이고 통계적 유의한 차이를 나타냈지만 이 또한 약 $1.6 \mu\text{m}$ 정도의 경미한 오차를 보이고 있다. 이 결과는 3차원 중첩 프로그램의 best-fit-alignment 검증 시 지대치 인상체와 경석고 모형 모두 스캐닝 정밀도에 있어서 발생하는 오차를 설명할 수 있다. 왜냐하면 no control은 있는 그대로의 두 데이터 비교를 통해 참값에 가까운 결과를 얻는 중첩기술인데 반해 best-fit-alignment는 두 데이터의 최소 오차 위치로 보정하는 중첩기술이기 때문이다.

한편 [그림 3]은 지대치 인상체와 경석고 모형의 스캐닝 정밀도를 두 가지(no control과 best-fit-alignment) 3차원 중첩 기술 차이에 따라 color-difference-map을 통하여 정성적 데이터로 보여주고 있다. 지대치 인상체는 경석고 모형 스캐닝 정밀도에 비해 두 가지 3차원 중첩 기술의 차이에 관계없이 치아 표면에 양(red)의 오차와 음(blue)의 오차가 발생한 것을 볼 수 있다[그림 3A][그림 3B]. 이는 지대치 인상체 스캐닝 시 광원이 물체에 단위면적 당 도달하는 범위가 치아 장축(z축) 방향으로 넓어짐으로써 정확한 스캐닝 데이터 확보가 비교적 어렵기 때문이다[6]. 또한 no control이 best-fit-alignment에 비해 지대치 인상체

와 경석고 모형의 color-difference-map이 모두 치아 전반에 걸쳐 양(red)의 오차와 음(blue)의 오차를 보이고 있는데[그림 3] 이는 위에서 설명하였듯이 no control에 비하여 best-fit-alignment 시 두 데이터의 최소 오차 위치로 보정되기 때문에 비교적 높은 정밀도를 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 신뢰도 높은 연구 결과를 얻기 위하여 다음과 같은 노력을 기울였다. 첫 번째로 지대치 인상체와 경석고 모형 제작에 사용된 재료들은 최근 치과용 스캐너의 스캐닝에 최적화되어 개발된 공인력 있는 제품들이다[6][7]. 다음으로 본 연구에서 사용된 3차원 중첩 소프트웨어인 Geomagic Verify 2015는 치의학 분야 뿐만 아니라 의학, 약학, 공학, 자연과학 등 다양한 연구 분야에서도 활용되고 있는 국제 공인 프로그램이다 [16-18].

하지만 본 연구에서는 몇 가지 한계성이 존재한다. 우선 실험에서 사용된 청색광 스캐너는 광학방식으로 써, 스캐닝 시 대상물에서 발생하는 빛의 산란, 굴절 그리고 반사 등으로 인한 오차 등을 설명하기 어려운 부분이 있다[19][20]. 다음으로 스캐닝 데이터를 3차원 중첩 프로그램의 no control, best-alignment 기술 적용 시, 얻은 데이터의 오차들이 연구 과정 중 어느 부분에서 일어난 것인지를 판단하기가 어려운 부분이 있다 [5][7][12].

따라서 앞으로의 연구에서는 스캐너의 인상체 및 경석고 모형 스캐닝에 대한 정밀도 개선에 대한 부분 그리고 3차원 중첩 프로그램에서의 오차 제어 기술에 관한 연구가 필요할 것으로 사료되며, 나아가 디지털 치과 캐드캠 의료장비들의 정밀도 개선을 위한 평가에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 생각된다.

V. 결론

3차원 중첩 기술 차이 (no control, best-fit-alignment)를 이용한 스캐닝 정밀도 평가는 지대치 인상체보다 경석고 모형에서 조금 높은 정밀도를 보였으나, 두 가지 모두 높은 스캐닝 정밀도를 나타내었다. 또

한 본 연구 결과를 통하여 best-fit-alignment뿐만 아니라 no control는 디지털 치과캐드캠 연구 분야 및 임상 분야에 활용될 수 있다고 생각한다.

참고 문헌

- [1] L. Sun, J. S. Lee, H. H. Choo, H. S. Hwang, and K. M. Lee, "Reproducibility of an intraoral scanner: A comparison between in-vivo and ex-vivo scans," *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Vol.154, No.2, pp.305-310, 2018.
- [2] R. Nedelcu, P. Olsson, I. Nyström, J. Rydén, and A. Thor, "Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method," *J Dent*, Vol.69, No.2, pp.110-118, 2018.
- [3] J. H. Jeon, B. Y. Choi, C. M. Kim, J. H. Kim, H. Y. Kim, and W. C. Kim, "Three-dimensional evaluation of the repeatability of scanned conventional impressions of prepared teeth generated with white- and blue-light scanners," *J Prosthet Dent*, Vol.114, No.4, pp.549-553, 2015.
- [4] I. Hamanaka, K. Isshi, and Y. Takahashi, "Fabrication of a nonmetal clasp denture supported by an intraoral scanner and CAD-CAM," *J Prosthet Dent*, Vol.120, No.1 pp.9-12, 2018.
- [5] B. Yilmaz, E. Kale, and W. M. Johnston, "Marginal discrepancy of CAD-CAM complete-arch fixed implant-supported frameworks," *J Prosthet Dent*, Vol.120, No.1, pp.65-70, 2018.
- [6] J. H. Jeon, D. Y. Kim, J. J. Lee, J. H. Kim, and W. C. Kim, "Repeatability and reproducibility of individual abutment impression, assessed with a blue light scanner," *J Adv Prosthodont*, Vol.8, No.3, pp.214-218, 2016.
- [7] J. H. Jeon, I. D. Jung, J. H. Kim, H. Y. Kim, and W. C. Kim, "Three-dimensional evaluation of the repeatability of scans of stone models and impressions using a blue LED scanner," *Dent Mater J*, Vol.34, No.5, pp.686-691, 2015.
- [8] S. Fukazawa, C. Odaira, and H. Kondo, "Investigation of accuracy and reproducibility of abutment position by intraoral scanners," *J Prosthodont Res*, Vol.61, No.4, pp.450-459, 2017.
- [9] B. Yilmaz, F. A. Alshahrani, E. Kale, and W. M. Johnston, "Effect of feldspathic porcelain layering on the marginal fit of zirconia and titanium complete-arch fixed implant-supported frameworks," *J Prosthet Dent*, Vol.120, No.1, pp.71-78, 2018.
- [10] I. D. Jeong, J. J. Lee, J. H. Jeon, J. H. Kim, H. Y. Kim, and W. C. Kim, "Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study," *J Prosthet Dent*, Vol.115, No.6, pp.755-759, 2016.
- [11] H. Hayama, K. Fueki, J. Wadachi, and N. Wakabayashi, "Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible," *J Prosthodont Res*, Vol.62, No.3, pp.347-352, 2018.
- [12] R. Okada, M. Asakura, A. Ando, H. Kumano, S. Ban, T. Kawai, and J. Takebe, "Fracture strength testing of crowns made of CAD/CAM composite resins," *J Prosthodont Res*, Vol.62, No.3, pp.287-292, 2018.
- [13] B. Yilmaz, "CAD-CAM high-density polymer implant-supported fixed diagnostic prostheses," *J Prosthet Dent*, Vol.119, No.5, pp.688-692, 2018.
- [14] P. Ausiello, S. Ciaramella, A. Fabianelli, A. Gioria, M. Martorelli, A. Lanzotti, and D. C. Watts, "Mechanical behavior of bulk direct composite versus block composite and lithium

disilicate indirect Class II restorations by CAD-FEM modeling,” Dent Mater, Vol.33, No.6, pp.690-701, 2017.

- [15] C. M. Kim, J. H. Jeon, J. H. Kim, H. Y. Kim, and W. C. Kim, “Three-dimensional evaluation of the reproducibility of presintered zirconia single copings fabricated with the subtractive method,” J Prosthet Dent, Vol.116, No.2, pp.237-241, 2016.
- [16] M. Moser, R. Schmid, R. Schindel, and G. Hildebrandt, “Patient-specific polymethylmethacrylate prostheses for secondary reconstruction of large calvarial defects: A retrospective feasibility study of a new intraoperative moulding device for cranioplasty,” J Craniomaxillofac Surg, Vol.45, No.2, pp.295-303, 2017.
- [17] L. Liu, H. Li, Y. Cui, R. Li, F. Meng, Z. Ye, and X. Zhang, “Calcium Channel Opening Rather than the Release of ATP Causes the Apoptosis of Osteoblasts Induced by Overloaded Mechanical Stimulation,” Cell Physiol Biochem Vol.42, No.2, pp.441-454, 2017.
- [18] B. Vecsei, G. Joós-Kovács, J. Borbély, and P. Hermann, “Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study,” J Prosthodont Res, Vol.61, No.2, pp.177-184, 2017.
- [19] T. V. Flügge, S. Schlager, K. Nelson, S. Nahles, and M. C. Metzger, “Repeatability of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner,” Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol.144, No.3 pp.471-478, 2013.
- [20] M. Martorelli, P. Ausiello, and R. Morrone, “A new method to assess the accuracy of a cone beam computed tomography scanner by using a

non-contact reverse engineering technique,” J Dent, Vol.42, No.4, pp.460-465, 2014.

저 자 소 개

전 진 훈(Jin-Hun Jeon)

정회원



- 2014년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학석사)
- 2016년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학박사)

- 2014년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 치기공학과/보건정책관리학부 외래강사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 경동대학교 치기공학과 교수
- 2016년 11월 ~ 현재 : 치과카드캠기자재 품질평가연구회 감사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 대한치과기공사협회 국제이사
- 2018년 8월 ~ 현재 : 중소기업기술개발 지원사업 평가위원

<관심분야> : 디지털 치의학, 치과 CAD/CAM, 치과 보철학, 치과재료학, 치아형태학, 치과기공학, 치위생학, 의공학