

Blue LED 방식의 스캐너로 제작된 치과용 3차원 디지털 모형의 정확도 평가

김재홍¹, 정재관², 김기백^{1*}

¹고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공, ²대전보건대학교 치기공(학)과

Evaluation of validity of three dimensional dental digital model made from blue LED dental scanner

Jae-Hong Kim¹, Jae-Kwan Jung² and Ki-Baek Kim^{1*}

¹Department of Health Science specialized on Dental Lab. Science & Engineering,
Graduate School, Korea University

²Department of Dental Laboratory Technology, Daejeon Health College

요약 본 연구의 목적은 블루 LED 기반의 치과용 스캐너를 이용하여 제작된 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하는 것이다. 본 연구를 위하여 20개의 동일한 석고 모형 제작 후 블루 LED 기반의 치과용 스캐너를 이용하여 석고 모형과 동일한 20개의 3차원 디지털 모형을 제작하였다. 정확도를 평가하기 위해 두 집단의 모형을 대상으로 6개의 측정 거리를 지정한 후 측정하였다. 통계분석은 비모수 검정법인 윌콕슨 순위 합 검정법을 이용하여 비교 분석하였다(제1종 오류수준=0.05). 비록 모든 부위에서 디지털 모형이 석고 모형보다 작은 것으로 분석되었으나($p < 0.05$), 임상적 허용 수치를 벗어나지 않았다.

Abstract The objectives of this study was to evaluate the validity of 3D digital models made from blue LED dental scanner. Twenty same cases of stone models and 3d digital models were manufactured for this study. Intercanine distance, intermolar distance, two dental arch lengths(right, left) and two diagonal of dental arch lengths(right, left) were measured for evaluation of validity. The nonparametric Wilcoxon rank sum test was used for statistical analysis ($\alpha=0.05$). Although stone models showed larger than digital models in all measured distances($p < 0.05$), none exceeded the clinically acceptable range.

Key Words : Dental CAD-CAM, Dental scanner, Digital dentistry

1. 서론

질 높은 보철물의 제작은 치과의사와 치과기공사의 협력으로부터 이루어진다. 그 동안 치과 진료 방식에는 많은 발전이 있었으나 치과 기공물 제작 과정은 여전히 노동 집약적이며, 경험 의존적이다[1]. 예를 들어 기공소에서 고정성 보철물(주조 금관, 주조 교의치 등) 제작은 1907년 Taggart가 소개한 왁스소각기술과 주조법에 의하여 보철물이 제작되는데[2], 이 방법은 치료실에서 채득된 환자의 인상을 토대로 환자의 구강과 동일한 모형을 제작한다. 전통적으로 치과용 모형 제작은 환자의

구강이 채득된 음형의 인상에 모형재료를 붓는 식으로 제작된다. 모형재료로서 대표적으로 치과용 석고가 사용되는데, 치과용 석고 모형은 파절 및 변형되기 쉬우며, 부피가 큰 만큼 많은 환자의 모형 저장을 위해서는 별도의 공간이 필요한 문제점이 있다. 모형이 제작되면 모형 위에 왁스소각기술과 주조법에 의거하여 치과용 왁스 등을 이용해 보철물을 설계한 후 통법에 의해 매몰, 소환, 주조 그리고 연마과정을 거쳐 보철물을 완성한다.

이 방법은 지난 오랜 기간 동안 고정성 보철물 제작 방식의 가장 대표적인 방법으로서 사용되어 왔고, 현재에도 많이 사용되고 있는 방법이지만 하나 보철물 제작 시

*Corresponding Author : Ki-Baek Kim(Korea Univ.)

Tel: +82-10-3160-8548 email: kimkb@korea.ac.kr

Received January 16, 2014

Revised (1st February 14, 2014, 2nd February 17, 2014)

Accepted May 8, 2014

많은 시간이 소요되며, 술자의 경험에 따라 보철물의 완성도가 좌우되는 단점이 있다. 이러한 과거 방식의 단점을 보완해주고, 양질의 보철물 제작과 함께 보철물의 표준화를 목적으로 최근 치과용 캐드캠 (CAD/CAM, computer aided design/computer aided manufacturing) 이 소개되었다[1].

치과용 캐드캠은 보철물의 설계부터 최종 완성까지 컴퓨터의 도움을 받아 기존의 방식보다 간편하게 제작이 가능하며[3], 동일한 형태의 보철물도 대량 생산이 가능하다. 현재 상용되고 있는 대부분의 치과용 캐드캠은 환자의 구강이 재현된 3차원 디지털 모형을 제작하기 위하여 구강 내 환경이 복제된 석고 모형 등을 그들의 시작점으로 지정한다. 다양한 측정 도구를 이용하여 석고 모형의 면을 측정하고 측정된 정보를 이용하여 환자의 구강을 디지털화 한다. 이러한 측정 도구를 흔히 스캐너라 부르며, 디지털화 하는 방식은 현재 다양하게 소개되어 있다.

직접 모형과 도구를 접촉시켜 정보를 얻는 접촉식 방법에는 탐침봉(touch probe)을 이용하여 모형을 접촉시켜 정보를 얻는 방법이 있다. 탐침봉을 모형 표면에 직접 닿게 하여 기계적으로 선(line-by-line)들을 인식하고 탐침봉 끝에 볼이 습득하게 되는 위치 정보와 x, y, z 축의 좌표 값들을 환산하여 정보를 획득하여 3차원 구조를 측정하는 방법[4]인 이 방법은 매우 정밀하지만 모형의 데이터를 얻기까지 소요되는 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 모형과 접촉시키지 않고도 모형의 정보를 얻을 수 있는 비접촉식 방법이 소개되었다.

비접촉식 방법에는 크게 레이저와 백색광 그리고 블루 LED 방식으로 구분된다. 레이저 방식은 레이저 변위 값을 측정하는 방법, 선형 레이저 빔과 CCD 카메라를 이용하는 방법이 있다. 레이저를 이용한 측정 방법은 탐침을 이용한 접촉식 방법과 비교하였을 때 시간이 적게 소요된다는 장점이 있으나, 레이저를 이용하는 만큼 어두운 환경에서 사용하여야하므로 스캐닝 시 항상 스캐너의 덮개를 덮은 상태에서 스캐닝이 진행되어야 한다. 때문에 스캐닝의 단계에서 관찰이 불가능하다. 또한 레이저로 인한 빛 반사가 생기기 때문에 모서리 부분 등의 정밀한 스캐닝이 어려운 단점이 있다[1]. 백색광을 이용하는 방식은 앞선 레이저를 이용한 두 가지 방식보다 스캐닝 시간이 더 빠르나, 백색광의 빛 반사 등으로 인해 모형재의 색

상 그리고 재료 등의 선정에 한계가 있는 단점이 있다.

가장 최근에 소개된 블루 LED를 이용한 스캐닝 방식은 기존의 방식의 단점들을 보완한 새로운 방식으로 소개되었다[5]. 블루 LED 방식은 주변 조명 조건에 영향을 받지 않고, 자유로운 상황에서 사용이 가능하다. 때문에 레이저 방식과 같이 덮개를 덮지도 않고도 주변이 100% 노출된 상태에서도 선명한 이미지와 날카로운 부분 등의 재현 능력이 뛰어나다. 또한 백색광을 이용할 때 보다 에너지 절감 효과가 약 60%이상이며, 백색광 기반의 스캐너보다 수명이 약 6배가량 높다[5]. 많은 장점으로 인해 현재 치과 임상분야에서 사용 빈도가 증가하고 있으나 그 정확도를 평가하는 연구는 전무한 실정이다. 기존의 치과용 스캐너의 정확도를 분석한 연구는 대부분 레이저 [6,7], 백색광 방식들이 주로 검증되었으며[8], 블루 LED 기반의 스캐너에 의해 제작된 디지털 모형의 정확도를 분석하는 연구는 전무한 실정이다.

보철물은 채득된 인상에 의거하여 제작되는 만큼 환자의 구강이 복제된 모형의 정보가 환자와 정확히 일치해야만 정밀한 보철물의 제작이 가능하다. 때문에 치과용 캐드캠을 이용하여 초정밀 보철물을 제작하기 위해서는 여러 가지 요소들이 필요하겠으나, 가장 중요한 하나는 환자의 구강과 동일한 디지털 모형을 제작하는 것이다[9].

때문에 본 연구에서는 블루 LED를 이용하여 제작된 디지털 모형의 정확도를 평가하기 위하여 모형에 계측지점을 선정하고 측정하고자 한다. 측정은 석고 모형 상태와 변환된 디지털 모형 상태에서 각각 측정을 한 후, 각 측정값을 통계적 분석법에 의해 비교하여본다. 그리하여 블루 LED를 이용하여 제작된 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하여 모형의 임상적 허용 여부를 가늠해보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 시편 제작

본 연구를 위하여 지대치 또는 결손치가 없는 Fig. 1과 같은 상악 모형(500B-1, Nissin Dental Product, Kyoto, Japan)을 주 모형으로 선정하였다.

주 모형을 대상으로 연구 모형을 제작하기 위해 치과용 실리콘(Deguform, DeguDent GmbH, Germany)을 이

용하여 20개의 몰드를 제작하였다. 제작된 20개의 몰드에 치과용 스캐너 전용 석고(Everest®Rock, KoVo Dental GmbH, Biberache/Riß, Germany)를 이용하여 석고 모형 20개를 제작하였다.

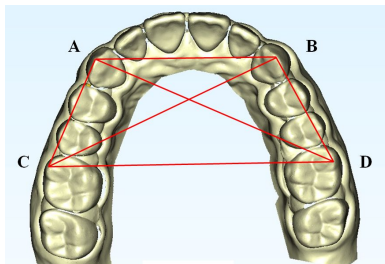


[Fig. 1] Maxillary master model

제작된 20개의 석고 모형을 이용하여 디지털 모형을 변환하고자 Fig. 2 와 같은 블루 LED 기반의 스캐너 (Identica Blue, Medit, Seoul, Korea)를 이용하였다. 스캐너를 이용하여 20개의 모형을 각각 스캐닝하는 방식을 통해 Fig. 3과 같은 20개의 디지털 모형을 제작 완료하였다.



[Fig. 2] Blue LED dental scanner



[Fig. 3] Digital model and four reference point

2.2 정확도 평가를 위한 계측지점의 선정

계측지점의 선정은 선행 연구[8,10]에 근거하여 Fig. 4 와 같이 선정하였다. 총 4군데를 선정하였으며, 'A'는 상악 우측 견치 첨두점, 'B'는 상악 좌측 견치 첨두점, 'C'는 상악 우측 제1대구치의 근심 협측 교두점, 'D'는 상악 좌측 제1대구치의 근심협측교두점을 선정하였다. 4군데의 선정된 점을 기준으로 측정 거리는 Fig. 3과 Table 1과 같이 총 6거리를 선정하였다.

A-B는 견치간폭경(좌우측 견치의 첨두점 연결한 선), C-D는 구치간폭경(좌우측 제1대구치의 근심협측교두점을 연결한 선), A-C, B-D는 치열궁장경(좌우측 각각 견치의 첨두점과 제1대구치의 근심협측교두점을 연결한 선), A-D, B-C는 대각선 치열궁장경(좌우측 각각 서로 반대 방향의 견치의 첨두점과 제1대구치의 근심협측 교두점의 거리)을 의미한다. 두 집단(석고모형집단(stone), 디지털모형집단(digital)의 측정은 치아의 해부학적 형태에 근거하여 직선적인 거리를 측정하였다.

[Table 1] Measurements distances.

Distances	Definitions
A-B	Inter-canine distance: straight distance between tips of cusp of canine.
C-D	Inter-molar distance: straight distance between mesiobuccal cusps of first molar.
A-C	Dental arch length (right): straight distance between the right tip of cusp of canine and right mesiobuccal cusp of first molar
B-D	Dental arch length (left): straight distance between the left tip of cusp of canine and left mesiobuccal cusp of first molar
A-D	A diagonal of dental arch (right): straight distance between the right tip of cusp of canine and left mesiobuccal cusp of first molar
B-C	A diagonal of dental arch (left): straight distance between the left tip of cusp of canine and right mesiobuccal cusp of first molar

2.3 석고 모형 집단의 측정 (stone group)

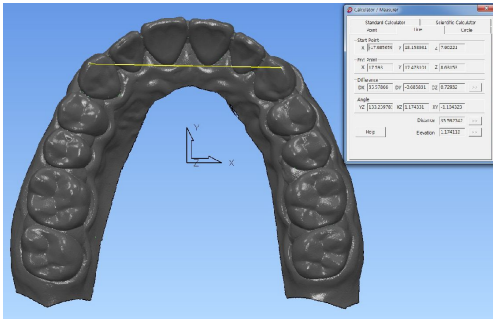
석고 모형의 측정을 위하여 mm의 단위로 소수점 둘째 자리까지 측정이 가능한 디지털 밀립자(CD-20PSX, Mitutoyo Corp, kawasaki, Japan)를 이용하였다. 측정 시 모형이 흔들리는 것을 방지하기 위하여 치과용 고정 table을 이용하였다. 모형을 정확히 고정 후 4군데의 계측지점을 0.3mm의 샤프 펜을 이용하여 표시하였다. 표시된 계측지점을 근거로 디지털 밀립자로 Fig. 4와 같이 앞서 명시한 6 거리를 측정하였다.



[Fig. 4] Measurements of stone models (N=20)

2.4 디지털 모형 집단의 측정 (digital group)

제작된 20개의 디지털 모형을 계측하기 위하여 컴퓨터 프로그램(Delcam copy CAD, Delcam plc, Birmingham, UK)을 이용하였다. 측정에 방해가 되는 디지털 모형의 바닥 부분과 치은 부분은 삭제한 후 치아 부분만 남겨둔 채로 Fig. 5와 같이 측정하였다.



[Fig. 5] Measurements of digital models (N=20)

2.5 통계 분석

두 집단의 총 40개의 시편에서 측정된 6 거리를 비교 분석하기 위하여 비모수검정인 윌콕슨 순위합 검정법을 이용하였다. 제1종 오류는 0.05로 설정하였으며, 모든 통계 분석은 IBM SPSS statistics 20 프로그램을 사용하였다.

3. 연구 결과

디지털 모형과 석고 모형에서 4개의 계측지점으로부

터 측정된 6개의 거리의 평균과 표준편차는 Table 2와 같다. 디지털 모형과 석고 모형의 A-B(견치간폭경)의 평균(표준편차)은 각각 35.60(0.56), 35.72(0.93) mm이었고, C-D(구치간폭경)은 55.57(0.22), 56.03(0.88) mm이었다. A-C(우측 치열궁장경)은 디지털 모형과 석고 모형 각각 22.67(0.65), 22.86(0.47) mm이었고, B-D(좌측 치열궁장경)은 각각 22.70(0.39), 23.08(0.95) mm이었다. 끝으로 디지털 모형과 석고 모형의 대각선 치열궁장경은 A-D가 각각 50.42(0.59), 50.66(0.91) mm이었고, B-C는 49.10(0.47), 49.83(0.48) mm이었다.

[Table 2] Mean(SDs) for distances made from stone and digital models (unit: mm)

Distances	N	Digital	Stone	p-value
A-B	20	35.60(0.56)	35.72(0.93)	0.048
C-D	20	55.57(0.22)	55.83(0.88)	0.003
A-C	20	22.67(0.65)	22.86(0.47)	0.001
B-D	20	22.70(0.39)	22.98(0.95)	0.000
A-D	20	50.42(0.59)	50.66(0.91)	0.002
B-C	20	49.10(0.47)	49.33(0.48)	0.012

측정된 6개의 모든 부위에서 디지털 모형이 원본 모형인 석고 모형보다 더 작게 측정되었으며, 윌콕슨 순위합 검정 결과 6개의 거리 모두 통계적으로 유의하였다 (p<0.05).

4. 고찰

치과용 3차원 디지털 모형을 기존의 모형재를 이용하여 제작된 모형과 비교하였을 때 여러 가지 장점이 있다. 먼저 컴퓨터를 이용하는 만큼 보관 및 관리가 간편하며, 손상 가능성이 없다. 또한 필요 시 언제라도 사용이 가능하며, 데이터베이스 구축이 가능하다. 뿐만 아니라 치과와 e-mail 등으로 환자의 구강 정보를 공유할 수 있다. 많은 장점이 있음에도 불구하고, 디지털 모형의 정확도가 우수하지 못하다면 완성된 보철물의 품질 또한 저하될 것이다. 때문에 정확한 디지털 모형의 제작은 보철물의 완성도를 좌우하는 매우 중요한 요소 중에 하나이다. 그러나 현재 디지털 모형의 정확도를 분석하는 연구는 매우 제한적이다[6-8]. 본 연구에서는 최근 새롭게 소개된 블루 LED를 이용한 치과용 스캐너에 의해 제작된 치과용 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하여보았다는

점에서 의의가 있다고 사료된다.

정확도를 평가하기 위하여 3차원 디지털 모형 집단과 이 모형의 시작점인 석고 모형 집단으로 구분한 뒤 모형당 각각 4개의 계측지점을 선정하였다. 선정된 4개의 계측지점으로부터 총 6개의 거리(견치간폭경, 구치간폭경, 좌·우측 치열궁장경, 좌·우측 대각선 치열궁장경)를 측정하여 두 집단을 비교 평가하는 방식으로 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하였다. 종합하여 볼 때 디지털 모형의 근간인 석고 모형이 3차원 디지털 모형보다 측정된 모든 부위에서 약간 큰 것으로 분석되었으며, 이는 통계적으로 모두 유의하였다 ($p < 0.05$).

이와 같은 이유는 여러 가지가 있겠으나, 스캐너의 정밀성 결여가 하나의 이유로 사료된다. 선행 연구에서는 디지털 모형이 원본 모형보다 작게 재현되는 이유는 치아와 치아 사이에 날카로운 공간(embrasure)과 같은 부위의 재현 능력이 아직 부족하기 때문이라고 보고되었다[11]. 이러한 선행연구 결과를 근거로 추론하여 보았을 때 본 연구결과 또한 디지털 모형이 원본 모형보다 더 작게 재현된 이유 중 하나는 위와 같은 원인 때문인 것으로 사료된다.

또한 비 접촉식 스캐너(블루 LED, 레이저, 백색광 등)를 이용한 스캐닝 작업 시 모형에서 빛이 난반사를 일으키며 정상적인 스캐닝 작업을 방해하게 되므로, 부정확하게 재현될 수 있고, 치아의 기하학적인 형태에 존재하는 작은 틈 등에서 빛이 산란을 일으켜 디지털 모형의 정밀성을 방해하게 된다. 특히 본 연구에서는 단일 치아, 혹은 부분 치열 모형을 연구 모형으로 한 것이 아니라 결손 치 혹은 지대치가 없는 상악 악궁 전체를 대상으로 디지털 모형을 제작하였기 때문에 치아의 우각과 인접치아 간의 접촉상태 그리고 치아에 존재하는 함몰부위 등에 영향을 받아 디지털 모형이 원본 모형보다 더 작게 재현된 것으로 사료된다.

또 다른 이유는 두 집단의 측정 방법의 차이 때문인 것으로 사료된다. 디지털 모형의 경우 견치의 침투와 구치의 교두경이 실제 모형과 같이 날카롭게 재현되는데 한계가 있다. 때문에 컴퓨터 프로그램 상에서 측정 시 계측 지점 선정 시 다소 부정확할 수 있다[12]. 석고 모형의 경우 디지털 밀립자를 이용하여 측정자가 직접적으로 측정을 하였다. 이때 손 떨림, 디지털 밀립자의 안정성 등의 문제 등이 측정값에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 비록 디지털 밀립자를 이용한 석고 모형 계측법이 간

편하고, 비교적 정확한 방법이기 때문에 많이 이용되고 있기는 하지만[8,9], 그보다 더욱 정확한 원본 모형 측정을 위한 안정적인 측정방법이 새롭게 소개되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서 6개의 모든 계측 거리를 볼 때 비록 디지털 모형이 원본 모형인 석고 모형보다 앞서 서술한 원인들 때문에 작은 것으로 조사되었으며, 평균의 절대 값 차이는 0.12-0.28 mm 정도로 조사되었다. 사실 이전의 연구들에서 원본 모형과 원본 모형이 복제된 디지털 모형 사이의 임상적으로 허용할 수 있는 측정값의 차이는 명확히 정해져 있지 않다. 그러나 몇몇 연구들에서는 측정값의 차이에 대한 임상적 허용 수치를 간접적으로 제시하였는데, 제시된 수치에 대한 근거는 디지털 밀립자를 이용한 수동 측정 시 발생할 수 있는 오차 정도로 제시되어 있다. 즉 디지털 밀립자를 이용한 수동 측정 시 측정의 신뢰성을 위해 허용되는 오차 수준이 두 모형 간 계측 지점 차이의 임상적 허용 가능한 수치로서 제시되었다[13-16].

이 수치로서 어떠한 연구자는 0.20 mm이내를 제시하였고, 또 다른 연구를 보면 디지털 모형이 원본 모형보다 0.16-0.49 mm 정도 작게 재현된다고 보고되었으며[17], 또 다른 연구에서도 디지털 모형이 원본 모형보다 0.2-0.3 mm 정도 작게 재현된다고 보고하였다[18]. 선행 연구들에서는 이 정도의 수치 차이들이 완성된 교정 장치물이나 보철물이 임상적으로 사용되는데, 악영향을 미치지 않는다고 공통적으로 보고하였다. 선행 연구 결과들로 미루어 볼 때 비록 블루 LED를 이용하여 제작된 3차원 디지털 모형이 그 원본 모형인 석고 모형보다 작긴 했으나 이는 임상적으로 허용이 가능한 정도의 오차로 사료된다.

본 연구에서는 블루 LED 기반의 치과용 스캐너로 제작된 3차원 디지털 모형의 정확도를 평가하여 보았다. 그 결과 원본 모형보다 비교적 작긴 하였으나, 그 차이가 몇몇 연구자들이 제시하였던 임상적 허용 범위 내에 존재하는 것으로 조사되었다. 그러나 본 연구결과를 일반화하기에는 무리가 있을 것으로 사료되는데, 그 이유는 본 연구에서는 하나의 증례의 시편만을 이용하였으며, 단순히 모형들간의 계측 거리를 갖고, 판단하였기 때문이다. 추후에 진행될 연구에서는 이와 같은 제한점이 보완되어야 할 것으로 사료된다.

한편 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 치아 건강에

대한 관심을 더욱 고조시키고[19], 이는 곧 의료 질 향상에 근본적인 원인이 된다. 3차원 디지털 모형을 이용한 진료 방식은 종전보다 여러 가지 장점이 있으며, 의료 질의 수준 또한 높여줄 수 있다. 때문에 디지털 모형 제작 방식에 대한 정확성 평가가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 사료되며, 추후에 이루어질 연구에서는 보다 다양한 증례를 기준으로 분석하고, 디지털 모형으로부터 제작된 실제 완성된 보철물이 환자의 구강 내에서 어떠한 결과를 나타내었는지에 대해 평가하는 연구 또한 동반되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

제한된 조건하에서 수행된 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다. 블루 LED 기반의 스캐너를 이용하여 제작된 3차원 디지털 모형이 원본 모형인 석고 모형보다 작게 재현되었으며, 이는 통계적으로 유의하였다. 그러나 두 모형간의 수치 차이가 선행연구자들이 제시하였던 임상적으로 허용 가능한 범위 내에 존재하기 때문에 임상적 허용 가능할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 결과만 가지고 일반화하기에는 무리가 있기 때문에 보다 철저한 규명을 위하여 차후에는 블루 LED 기반의 스캐너로부터 제작된 디지털 모형에 의해 완성된 보철물이 환자에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

References

[1] T. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunji, S. Kuriyama, Y. Tamaki, "A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience", *Dental Materials Journal*, Vol. 28, No. 1, pp. 44-56, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.28.44>

[2] K. J. Anusavice, "Phillips' science of dental materials. 11th ed", pp. 621-654, Philadelphia: W. B. Saunders, 2003.

[3] G. J. Christensen, "Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling", *Journal of the American Dental Association*, Vol. 140, No. 6, pp. 1301-1304, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2009.0054>

[4] K. B. May, M. M. Russel, M. E. Razzoog, B. R. Lang, "Precision of fit: the Procera AllCeram crown", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 80, No. 2, pp. 394-404, 1993.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70002-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70002-2)

[5] Dental CAD-CAM eshop, Idenrica Blue Led information, Germany, Available From: <http://www.dentalcadcameshop.com/Identica-Blue-Led>, accessed on January 6, 2014.

[6] T. Kuroda, N. Motohashi, R. Tominaga, K. Iwata, "Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning", *American Journal of Orthodontics*, Vol. 110, No. 1, pp. 365-369, 1996.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406\(96\)70036-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406(96)70036-7)

[7] N. Motohashi, T. Kuroda, "A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery", *European Journal of Orthodontics*, Vol. 21, No. 3, pp. 263-374, 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/21.3.263>

[8] K. B. Kim, G. T. Lee, J. H. Kim, "Comparison of the accuracy of digital models made from white light scanner by scanning method", *Journal of Korean Society of Dental Hygiene*, Vol. 12, No. 6, pp. 1082-1089, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13065/jksdh.2012.12.6.1082>

[9] K. B. Kim, S. J. Kim, J. H. Kim, J. H. Kim, "An evaluation of validity of three dimensional digital model fabricated by dental scannable stone", *The Journal of Korean Academy of Dental Technology*, Vol. 35, No. 1, 2013.

[10] B. Creed, H. K. Chung, D. E. Jeryl, J. X. James, P. Robert, "A comparison of the accuracy of linear measurements obtained from cone beam computerized tomography images and digital models", *Seminars in Orthodontics*, Vol. 17, No. 1, pp. 49-56, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.sodo.2010.08.010>

[11] S. I. Bak, "The comparison between manual and 3D-digital measurement in dental cast measurements according to the degree of crowding", *Korea University Graduate School of Clinical Dentistry, Department of Orthodontics, Maters degree*, 2006.

[12] M. N. Lowey, "The development of a new method of cephalometric and study cast mensuration with a computer controlled, video image capture system. Part II: study cast mensuration", Vol. 20, No. 4, pp. 315-331, 1993.

- [13] M. Mayers, A. S. Firestone, R. Rashid, K. W. Vig, "Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 128, No. 4, pp. 431-434, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.04.035>
- [14] M. L. Quimby, K. W. Vig, R. G. Rashid, A. R. Firestone, "The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models", The Angle Orthodontist, Vol. 74, No. 3, pp. 298-303, 2004.
- [15] P. A. Costalos, K. Sarraf, T. J. Cangialosi, S. Efratiadis, "Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 128, No. 5, pp. 624-629, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.08.017>
- [16] J. Asquith, T. Gillgrass, and P. Mossey, "Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study", European Journal of Orthodontics, Vol. 29, No. 5, pp. 517-522, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjm044>
- [17] M. Santoro, S. Galkin, M. Teredesai, O. F. Nicolay, T. J. Cangialosi, "Comparison of measurements made on digital and plaster models", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 124, No. 1, pp. 101-105, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00152-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00152-5)
- [18] O. Zilberman, J. A. Huggare, K. A. Parikakis, "Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models", The Angle Orthodontist, Vol. 73, No. 3, pp. 301-306, 2003.
- [19] H. J. Moon, "State of education on the use of oral hygiene supplies among dental prosthesis mounted", Journal of the Korea Academia- Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 12, pp. 5648-5654, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.12.5648>

김 재 홍(Jae-Hong Kim)

[정회원]



- 2012년 7월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공(이학석사)
- 2012년 8월 ~ 현재 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (박사학위 과정)
- 2012년 8월 ~ 현재 : 신구대학교 치기공과 외래교수
- 2012년 8월 ~ 현재 : 신구대학교 치위생과 외래교수

<관심분야>

치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학

정 재 관(Jae-Kwan Jung)

[정회원]



- 2007년 2월 : 건양대학교 보건대학원 보건학과(보건학석사)
- 2012년 8월 : 충북대학교 의과대학원 의공학과(의학박사)
- 1999년 9월 ~ 2008년 2월 : 건양대학교병원 치과진료부 실장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 교수

<관심분야>

치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학

김 기 백(Ki-Baek Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (보건과학석사)
- 2014년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 겸임교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 치기공학과 외래교수
- 2014년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 보건과학연구소 연구교수

<관심분야>

치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학