

백색광 스캐너로 채득된 치과용 디지털모형의 정확도와 신뢰도 평가

Evaluations of the Accuracy and Reliability of Measurements Made on White Light Scanner-based Dental Digital Models

김기백, 김재홍

고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공

Ki-Baek Kim(Kimkb404@naver.com), Jae-Hong Kim(noreason07@korea.ac.kr)

요약

치과용 스캐너를 기반으로 하는 디지털 모형은 기존의 전통적인 석고모형을 대체할 만큼 발전되고 있다. 본 연구의 목적은 디지털모형의 정확도와 신뢰도를 평가하고자 하였다. 상악의 전악모형을 주 모형으로 설정하여 주 모형으로부터 석고모형을 제작하였고(N=10), 치과용 백색광 스캐너를 이용하여 10개의 디지털 모형 데이터를 채득하였다. 제작된 두 실험군(석고모형, 디지털모형)을 1명의 검사자가 2회에 걸쳐서 6 곳의 측정지점을 측정하였다. 짝 표본 t-검정과 급내 상관계수를 이용하여 통계적인 분석을 하였다. 실험 결과 측정값의 검사자 내 신뢰도는 급내 상관계수 결과 두 실험군 0.75에서 0.87의 범위를 보였다. 석고모형과 디지털 모형의 평균 오차값은 0.11mm에서 0.23mm의 범위를 나타내었고, 모든 측정지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 본 실험결과 모든 측정지점에서 적정수준의 정확성은 확보되지 않았으나, 선행연구에 비추어 볼 때 임상적인 효용성은 검증되었다. 추가적으로 임상적인 사례를 통해 평가되어야 할 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 치과용 디지털모형 | 백색광 스캐너 | 정확도 | 신뢰도 |

Abstract

Dental scanner-based dental digital models have been developed that have the potential to replace conventional stone model. The aim of this study was examine the accuracy and reliability of measurements made on digital models. A master model with the prepared upper full arch tooth was used. Stone model(N=10) were produced from master model, and on the other hands, digital models were made with the white light scanner(Identica, Korea). One examiner individually measured 6 parameters on the conventional model and the digital models on two occasions. The student's t-test for paired samples and intra-class correlation coefficient(ICC) were used for statistical analysis. At the intra-examiner reliability of measurement, ICC at the stone and digital models were 0.75 and 0.87. The mean difference between measurements made directly on the stone models and those made on the digital models was 0.11-0.23mm, and was statistically significant($P<0.05$). These in vitro studies show that accuracy of the digital model is similar to that of the stone model. These results will have to be confirmed in further clinical studies.

■ keyword : | Dental Digital Model | White Light Scanner | Accuracy | Reliability |

I. 서론

보철물 수복과정에 있어서 치과의사와 치과기공사의 협력으로 높은 질의 치과수복물이 제작되는 것에는 의심할 여지가 없지만, 치과 기공작업은 여전히 노동집약적이고 경험 의존적이다[1].

이처럼 수작업에서 발생하는 보철물 제작시의 단점들을 해결하고 일관성 있는 양질의 보철물 제작에 관한 필요성이 대두되어 치과 CAD/CAM(computer-aided design / computer-aided manufacture), 즉 기계화에 의한 자동화 기술을 치과계에 도입하는 결과를 낳게 되었다. 디지털 기술의 진보와 치과 CAD/CAM system의 도입은 전통적인 인상채득 방식 및 수작업으로 이루어지고 있는 보철물 제작 방식에 변화의 기회를 제공하였다. 치과영역에 도입되어 이용하고 있는 CAD/CAM 시스템은 환자의 인상을 3차원적으로 입력하는 디지털 인상과정과 수복물의 설계 및 재료가공으로 그 체계를 나눌 수 있다[2].

지대치의 자료를 입력하기 위해 CEREC[®] system (Sirona dental system, Germany)과 같이 intra-oral scanner을 이용하여 구강 내에서 촬영을 통해 직접 입력하는 방법[3]과 석고모형을 제작한 후 입력하는 간접 입력법이 있는데, Procera[®] system(Nobel biocare, Sweden)처럼 탐침봉(touch probe)을 이용하여 직접 닿게 하여 기계적으로 선(line-by-line)들을 인식하고 붙이 주는 위치 값과 3축에서 주는 좌표 값을 환산하여 정보를 획득함으로써 3차원 구조를 측정하는 방법이 있다[4]. 하지만 탐침봉을 이용한 접촉식 방법은 정밀도가 우수한 반면, 측정 범위가 좁고 시간이 오래 걸리는 단점으로 비접촉식 방법을 이용한 스캔방법을 도입하게 되었다. 비접촉식 방법은 레이저 방식과 백색광 방식으로 나누어진다. 레이저 방식은 광원을 이용하여 구하고자 하는 치수를 삼각측량법을 통해 3차원 형상에 닿은 레이저빔이 측정 파라미터인 CCD(Charge Coupled Device) Array의 눈금에 닿아 레이저와 렌즈 초점의 길이와 거리를 알 수 있게 된다. 그리고 동시에 레이저 투영 줄무늬(laser projecting stripes)를 이용하여 물체의 정확한 면적을 측정하는 원리이다[5].

가장 최근에 개발되어 도입된 백색광을 이용한 방식

은 특정 패턴을 물체에 투영하고 그 패턴의 변형 형태를 파악하여 3차원 정보를 얻어내는 원리인데, 처음에는 큰 폭의 격자를 사용하고 다음에는 폭을 1/2씩 줄여가면서 여러 차례에 걸쳐 빛을 영사하게 된다. 이렇게 영사된 여러 장의 이미지를 순차적으로 측량하고 계산하여 삼각측량법을 이용해 데이터 값을 확보한 뒤, 여러 방향에서 얻어진 원근의 이미지를 합하여 최종 데이터를 완성하는 방식이다[6]. 기존에 사용하였던 레이저 방식에 비해 백색광을 사용하여 더욱 깨끗하고 정확한 이미지 데이터를 얻을 수 있는 장점과 보다 빨라진 스캔 시간으로 현재 치과용 스캐너 시장에서 각광을 받으며 현재 치과 임상분야에서 많이 사용되고 있다. 하지만 대부분의 치과용 스캐너의 연구들이 주로 레이저 방식만이 검증만 되어 있을 뿐 백색광 방식에 대한 정확도에 대한 연구는 전무한 실정이다[7][8].

보철물은 채득된 인상에 의거하여 제작되므로 입력된 지대치 자료의 정확도가 제작된 보철물의 정확도에 절대적인 영향을 미칠 것임은 자명하다. 현재까지 디지털 인상을 이용하여 제작된 보철물과 기존 방식의 인상 채득법으로 제작된 보철물의 적합도를 비교하여 3차원적으로 입력된 지대치 데이터의 정확도를 평가하였다. 대부분의 연구에서 기존 방식과 비교하였을 때 임상적으로 적절하다는 결론을 내었다[9][10].

그러나 이러한 연구방법은 원천적으로 보철물 제작과정의 가능한 오류요인이 구분되지 못하는 방법이기 때문에, 이는 실질적인 정확도의 평가와는 거리가 있다고 생각이 든다. 반면 치과 교정학 영역에서는 보철물 제작에 관련된 지대치 자료가 아닌 환자의 진단용 모형을 3차원 디지털 인상으로 전환하여 그 정확도에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 석고모형을 제작한 후 간접 입력법을 통해 채득된 모형과 석고모형의 측정치에 대한 오차를 평가하여 검증하였는데, 임상적으로 받아들일 수 있는 허용범위에 값으로 평가되었다[11-13].

이에 본 연구는 기존의 전통적 방식으로 제작한 석고 모형과 이를 백색광 스캐너를 통하여 채득된 3차원 디지털 모형의 계측치를 디지털 밀립자(digital caliper)로 계측한 결과와 비교 검증하여 3차원 디지털 모형의 정확도와 신뢰도를 평가하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 모형 준비

유치악 자연치를 재현한 아크릴릭 구강모형(Nissin dental product, Japan)을 기준 모델로 선정하였다. 상악 모형은 결손치가 없으며 수복물을 위한 지대치가 형성되지 않은 모형이며, 치아의 배열이나 총생이 전혀 없는 이상적인 치열이다[그림 1].



그림 1. Master model(Nissin dental product, Japan)

2. 석고모형 제작

Stone model 제작을 위해 vinyl polysiloxane-based material(GC Corp, Japan) two-step method으로 석고 모형 제작을 위한 복제과정을 진행하였다. 제조사의 지시에 의거하여 working time을 5분으로 준수하였고, 채득된 인상체 내면에 석고 주입 시 기포발생 억제와 표면을 매끄럽게 하기 위해 wetting agent를 도포하였다. Type IV 치과용 석고(GC Corp, Belgium)을 사용하여 제조사 지시에 따른 혼수비(Water/powder ratio)로 vacuum mixer system을 이용하여 인상체에 석고 주입을 하였다. 완전히 경화될 시간을 감안하여 인상체에 모형을 분리하였고, 총 10개의 석고모형을 제작하였다.



그림 2. Stone model(N=10)

3. 백색광 스캐너를 이용한 디지털 모형 채득

3차원 디지털 모형으로 전환하기 위해 3D dental scanner(Medit, Korea)을 이용하여 각각 10개의 모형을 스캔하였다. White light source를 사용하기에 기존의 방식에 비해 정밀도 높은 data를 얻을 수 있다. 구동 테이블 위에 모형을 위치시킨 후 전악(full arch)의 스캔 선택을 설정하여 스캔을 시작하였다. 피사체에 반사된 white light를 점과 면으로 인식하여 합성한 점과 면을 연결하여 계산한 후 완전한 모형의 형성을 얻었다. 추가로 데이터가 부족한 부분을 보완하여 완성된 3차원 디지털 모형을 획득하였다[그림 3].

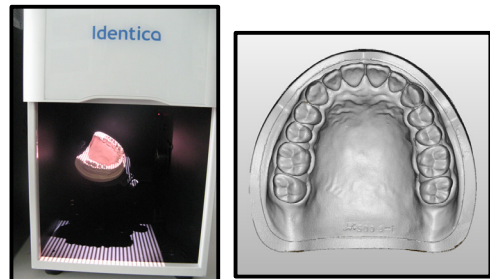


그림 3. White light scanner-based dental digital model(N=10)

4. 선계측 지점

전악 모형의 정확도와 신뢰도를 평가하기 위해 Creed 등의 연구[14]에서 사용한 계측지점을 참고하여 총 4곳의 측정지점을 선정하였다. 상악 좌측 견치 교두정을 'A' point로 상악 우측 견치 교두정을 'B' point로 상악 좌측 제2대구치 근심협측 교두정을 'C' point로 상악 우측 제2대구치 근심협측 교두정을 'D' point로 정의하였다[그림 4].

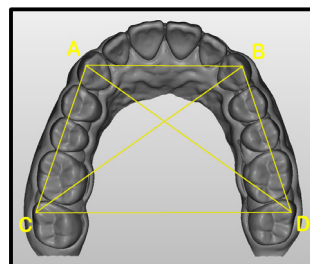


그림 4. Reference points and linear measurements on the master model

측정 항목을 다음과 같다[표 1].

- 견치간 폭경(A-B) : 좌우 견치 교두정간의 거리. 해부학적 정의에 의해 최대 직선거리를 측정.
- 구치간 폭경(C-D) : 좌우 제2대구치의 근심협측 교두정간의 거리. 견치간 폭경의 방법과 동일하게 최대 직선거리를 측정.
- 치열궁 장경(A-C, B-D) : 양측 견치교두정과 제2대구치의 근심협측 교두정을 최대 직선거리로 측정하여 판단.
- 대각선 치열궁 장경(A-D, B-C) : 치열궁 장경과 동일한 방법으로 적용하여 반대편의 두 계측지점을 연결한 최대 대각선거리로 측정하여 판단.

표 1. Measurement definitions

Reference point	Measurement	Definition
A - B	Intercanine distance	Straight distance between the crown tips of the canines
C - D	Intermolar distance	Straight distance between the mesio-buccal cusp of the 2nd molar.
A - C	Dental arch length (left)	Straight distance between the left canine cusp and left 2nd molar mesio-buccal cusp.
B - D	Dental arch length (right)	Straight distance between the right canine cusp and right 2nd molar mesio-buccal cusp.
A - D	a diagonal of dental arch (left)	Straight distance between the left canine cusp and right 2nd molar mesio-buccal cusp.
B - C	a diagonal of dental arch (right)	Straight distance between the right canine cusp and left 2nd molar mesio-buccal cusp.

5. 계측지점 측정

석고모형의 계측은 0.01mm 오차범위를 갖는 디지털 밀립자(Mitutoyo Corp, Japan)을 사용하였다. 계측지점의 부위를 명확하게 접근하기 위해 surveyor table을

모델에 고정하여 측정하였다[그림 5].



그림 5. Stone model measurement

디지털 모형의 계측은 Delcam[®] power-SHAPE software(Delcam plc, UK)를 사용하여 각 계측지점의 직선거리를 석고모형과 동일하게 시행하였다. ‘모델분석’이라는 도구 메뉴를 선택하여 디지털 모형에 좌표를 지정한 후 두 좌표간의 거리를 계산하여 측정값을 도출하였다[그림 6].

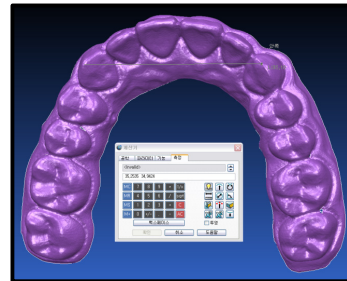


그림 6. Digital model measurement

계측 시 검사자 내의 신뢰도를 평가하기 위해 동일한 측정자가 1주일 간격을 두어 2회 측정하였으며, 각각 10개 실험군의 반복 측정한 계측 값을 토대로 모형간의 정확도와 신뢰도를 평가하였다.

6. 통계 분석

검사자내 신뢰도는 급내 상관계수(ICC, Intra-class Correlation Coefficient)를 구하였다. 급내 상관계수는 측정자와 측정값 사이의 상호작용이 없는 가정 하에 이원배치 변량효과모형(two-way random effect model)을 사용하여 산출하였다. 급내 상관계수는 0에서 1까지의 숫자로 신뢰도를 표현하며, 급내 상관계수가 1은 완

격한 신뢰도를 의미하고, 1에 가까울수록 신뢰도가 높음을 의미한다[15]. 각 실험군 모형의 각 계측치의 평균, 표준편차 및 계측치 차이의 평균 등의 기술적 통계량을 제시하였고 정확도 검정을 위해 짝 표본 t검정(paired t-test)을 시행하였으며, 신뢰도 평가를 위해 급내 상관 계수를 구하였다. 모든 통계 처리와 분석은 SPSS 12.0 통계처리 프로그램(SPSS Inc, USA)을 사용하여 시행하였으며, 제 1종 오류 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 검사자 내 신뢰도

각 실험군의 계측 시 검사자 내 신뢰도의 차이가 있는지 평가하기 위해 시행한 급내 상관분석 결과 stone 모형에서는 0.75-0.85의 범위를 나타내었고, digital 모형은 0.78-0.87의 범위를 보였다. 각 지점간의 평균적 급내 상관계수(ICC)는 digital 모형이 stone 모형보다 높은 수치를 나타내었다[표 2].

표 2. Intra-examiner ICC to evaluate reliability of measurements between stone and digital models.

Reference point	Stone			Digital		
	ICC ^a	95% CI ^b		ICC	95% CI	
		Lower	Upper		Lower	Upper
A - B	0.77	0.65	0.86	0.78	0.60	0.83
C - D	0.75	0.67	0.89	0.79	0.62	0.87
A - C	0.82	0.75	0.93	0.85	0.77	0.90
B - D	0.85	0.72	0.96	0.87	0.76	0.92
A - D	0.83	0.74	0.93	0.85	0.75	0.91
B - C	0.76	0.62	0.87	0.81	0.72	0.89

^a ICC indicates Intra-class Correlation Coefficient

^b CI indicates 95% confidence interval

2. 각 모형에 대한 정확성 분석

Stone 모형은 디지털 밀립자를 통하여, digital 모형은 전용 3D software를 사용하여 총 2회 측정하여 각 계측지점간의 계측치의 평균과 표준편차를 구하여 두 모형간의 차이의 평균값을 기준으로 정확도를 평가하였다[표 3]. 각 계측지점간의 오차 값은 0.11-0.23의 범위를 보였으며, 모든 지점에서 digital 모형이 작게 계측

되는 경향을 나타내었다. 각 모형 별 동일한 계측지점의 수치 값의 차이가 있는지 알아보기 위해 짝 표본 t검정(paired t-test)의 시행 결과, 모든 계측지점에서 통계적으로 유의한 차이가 있음이 판명되었으며, 적정수준의 정확도를 나타내지 않았다(P<0.05).

표 3. Mean for measurements made on stone, digital models(N=10).

Reference point	Descriptive				Mean difference	Paired t - test P - value
	Stone		Digital			
	Mean	Sd	Mean	Sd		
A - B	36.43	0.85	36.31	0.49	0.12	0.003
C - D	59.82	0.51	59.71	0.43	0.11	0.005
A - C	33.29	0.27	33.13	0.37	0.16	0.001
B - D	34.07	0.93	33.93	0.45	0.14	0.002
A - D	57.44	0.74	57.21	0.62	0.23	0.001
B - C	57.12	0.86	56.91	0.73	0.21	0.001

IV. 고 찰

구강 내에서 지대치 형성 후 인상채득, 모형제작, 왁스 성형에 이은 소환 및 주조에 이르기까지 보철물 제작을 위한 전체의 과정이 간단하지 않지만 시행착오를 거쳐 장기간 사용에 무리가 없는 보철물 제작이 가능한 현재의 수준에 이르게 되었다. 하지만 대부분의 과정이 수작업에 의한 방식으로 진행되다 보니 개인차에 의한 보철물의 질적 차이가 야기될 수밖에 없고, 동일인에 의한 작업 역시 일관성을 견지하기가 여간 어려운 게 아니다. 이처럼 수작업에 의한 보철물 제작의 단점들을 해결하고 일관성 있는 양질의 보철물 제작에 대한 필요가 치과용 CAD/CAM, 즉 기계화에 의한 자동화 테크놀로지를 치과계에 도입하는 결과를 낳게 되었다[16].

특히 3차원 디지털 모형의 전환으로 인해 기존 석고 모형에 비해 저장이 간단하고, 데이터베이스 구축이 가능하며, 검색이 용이한 장점이 있다. 또한 모형의 자료를 복사하거나 전자우편(e-mail) 등을 통해 전송함으로써, 여러 사람과 공유가 가능하고, 파절이나 분실을 막을 수 있는 장점이 있다[17]. 비록 이러한 장점이 있더라도 3차원 디지털 모형의 해상도나 정밀도가 떨어진다면 사용에 많은 제약이 따를 것이다. 외국의 경우 다

각적인 검증이 활발히 이루어지고 있으나, 국내에서는 아직 구체적인 검증이 거의 전무한 실정이다. 더구나 치과에서 사용되는 석고모형의 경우 상대적으로 작은 크기로 치아의 입체적 구조 및 undercut 존재 등으로 인해 3차원 재구성이 상대적으로 어려우며 또한 모형을 통해 보철물 제작이 이루어져 환자에게 적용되어야 하는 만큼 더 큰 정밀도가 요구된다는 특성이 있다.

이 연구는 비접촉식 방법 중 백색광 방식의 스캐너를 이용하여 3차원 디지털 모형으로 채득한 후 지정된 계측지점의 계측 값을 통해 기존 방식의 석고모형과 비교하여 그 정확성을 평가하였다. 각 실험군의 오차값을 통해 정확성 분석에 앞서서 본 실험에 사용된 측정방법을 시행한 검사자의 신뢰도가 검증되어야 할 것이다. 급내 상관계수(ICC)를 구하여 측정값의 신뢰도를 평가하였는데, 동일한 계측지점을 기준으로 측정된 결과 급내 상관계수는 두 실험군 모두 0.75 이상의 결과를 보였다[표 2]. 일반적으로 급내 상관계수 0.20 이하는 매우 낮은 신뢰도(poor reliability), 0.20-0.40 사이는 낮은 신뢰도(fair reliability), 0.41-0.60 사이는 보통 신뢰도(moderate reliability), 0.61-0.80 사이는 높은 신뢰도(good reliability), 그리고 0.81-1.00 사이는 매우 높은 신뢰도(very good reliability)로 간주된다[15]. 또한 선행연구의 결과 급내 상관계수가 0.75 이상일 때 임상적으로 허용 가능한 결과라고 보고한 바 있다[18]. 그러므로 선행 연구에 비추어 볼 때 본 연구의 신뢰도는 높은 신뢰도를 보이는 실험 결과로 판명되었으며, 이는 검사자의 측정 시 요인이 결과 값에 통계적으로 유의한 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 또한 임상적으로 충분히 타당한 결과라 할 수 있다.

본 연구는 전악(full arch)의 치과 모형에서 4곳의 계측 지점을 통해 6지점의 계측치를 통해 stone 모형과 디지털 모형의 정확성을 검증하였다. 그 오차는 0.11-0.23mm 정도의 수치를 나타냈으며[표 3], 각 모형별 동일한 계측지점에 대한 차이의 평균값 모두 paired t-test 결과 모든 지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 2003년 santoro와 그의 동료 연구자들이 발표한 연구결과에 의하면 76개의 치과 교정 진단용 모형에서 개개 치아의 폭경과 치아간 거리를 계측한 결

과 디지털 모형이 석고모형에 비해 0.16-0.49mm정도 작게 계측되었다는 보고를 하였으며, 이 수치는 미비한 수치라는 표현으로 임상적 허용도를 판단하였다[11]. 또한 레이저 스캐너를 이용하여 비교한 연구에서도 디지털 모형의 인접면이나 접촉부가 소실되는 경향을 보여 석고모형에 비해 작게 계측되는 결과를 보였다는 연구결과도 보고되었다[19]. 그 오차는 0.23-0.36mm의 범위로 나타내어 임상적으로 문제가 없다는 결론을 내었다. 이와 같은 선행 연구는 본 연구의 결과와 크게 다르지 않은 결과이며, zilberman 등이 발표한 연구에서는 석고모형과 디지털모형의 오차는 0.2-0.3mm 내로 존재하며, 이는 환자의 진료나 보철물을 제작하는데 지장이 없을 거라는 주장을 하였는데[12], 본 연구결과와 타당성을 뒷받침하고 있다.

석고모형에 비해 디지털모형이 계측지점마다 작게 계측된 것은 디지털모형 자체의 오차만이 아닐 것이다. 디지털 밀립자 사용 시 tip의 위치나 각도에 따라 계측치의 차이가 생길 수 있을 것이라 생각이 되며, 반복 측정으로 인한 디지털 밀립자 tip에 의해 모형 손상에 대한 부분도 감안할 수 있다. 따라서 본 실험 결과의 일반화에는 일정정도의 한계를 내포한다. 추가적으로 더욱 객관적이며 정확한 측정도구를 사용한 실험이 필요하다 사료되며, 실제 임상에서 사용하는 치과 모형에 대한 연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 비접촉 방식의 백색광 스캐너를 이용하여 석고모형과 디지털 모형의 정확도를 평가하기 위해 6곳의 계측지점을 통해 분석한 결과, 석고모형과 디지털 모형에서 적정수준의 정확도는 나타나지 않았다. 하지만 두 모형의 오차수준은 선행연구와 비교하여 볼 때 임상적으로 수용 가능한 오차라 생각된다. 결론적으로 치과용 전악 모형의 디지털화에 대한 정확도는 검증이 되었으나, 보다 세분화된 계측과 절대적인 측정도구를 사용한 후속연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 생각되며, 보철물 제작에 관련한 인접치와 지대치에 대한 평가도 이루어져야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii, S. Kuriyama, and Y. Tamaki, "A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience," *Dent Mater J*, Vol.28, No.1, pp.44-56, 2009.
- [2] E. D. Rekow, "High-technology innovations and limitations for restorative dentistry," *Dent Clin North Am*, Vol.37, No.2, pp.513-524, 1993.
- [3] G. J. Christensen, "Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling," *J Am Dent Assoc*, Vol.140, No.6, pp.1301-1304, 2009.
- [4] K. B. May, M. M. Russell, M. E. Razzoog, and B. R. Lang, "Precision of fit:the Procera AllCeram crown," *J Prosthet Dent*, Vol.80, No.2, pp.394-404, 1993.
- [5] A. Mehl, W. Gloger, K. H. Kunzelmann, and R. Hickel, "A new optical 3D device for the detection of wear," *J Dent Res*, Vol.76, No.5, pp.1799-1807, 1997.
- [6] H. Rudolph, "Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology," *Computer in biology and medicine*, Vol.37, No.6, pp.579-587, 2007.
- [7] T. Kuroda, N. Motohashi, R. Tominaga, and K. Iwata, "Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning," *Am J Orthod*, Vol.110, No.1, pp.365-369, 1996.
- [8] N. Motohashi, and T. Kuroda, "A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery," *European J Orthod*, Vol.21, No.3, pp.263-274, 1999.
- [9] E. A. Tsitrou, S. E. Northeast, and N. R. Van, "Evaluation of the marginal fit of three margin designs of resin composite crowns using CAD/CAM," *J Dent*, Vol.35, No.1, pp.68-73, 2007.
- [10] A. Bindl and W. H. Mörmann, "Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM generated partial crowns," *Eur J Oral Sci*, Vol.111, No.2, pp.163-169, 2003.
- [11] M. Santoro, S. Galkin, M. Teredesai, O. F. Nicolay, and T. J. Cangialosi, "Comparison of measurements made on digital and plaster models," *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Vol.124, No.1, pp.101-105, 2003.
- [12] O. Zilberman, J. A. Huggare, and K. A. Parikakis, "Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three - dimensional virtual orthodontic models," *Angle Orthod*, Vol.73, No.3, pp.301-306, 2003.
- [13] M. L. Quimby, K. W. Vig, R. G. Rashid, and A. R. Firestone, "The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models," *Angle Orthod*, Vol.74, No.2, pp.298-303, 2004.
- [14] B. Creed, H. K. Chung, D. E. Jeryl, J. X. James, and A. Lee, "Comparison of the accuracy of linear measurement obtained from cone beam computerized tomography images and digital models," *Semin Orthod*, Vol.17, No.2, pp.49-56, 2011.
- [15] J. M. Bland and D. G. Altman, "Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement," *Int J Nurs Stud*, Vol.47, No.3, pp.931-936, 2010.
- [16] R. G. Luthard, A. Weber, H. Rudolph, S. Quaas, and M. Walter, "Design and production of dental prosthetic restoration: basic research on dental CAD/CAM technology," *Int J Comput Dent*, Vol.5, No.3, pp.165-176, 2009.

- [17] R. DeLong, M. Heinzen, J. S. Hodges, C. C. Ko, and W. H. Douglas, "Accuracy of a system for creating 3D computer models of dental arches," J Dent Res, Vol.90, No.1, pp.434-440, 2003.
- [18] L. K. Lin, "A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility," Biometrics, Vol.45, No.3, pp.255-268, 1989.
- [19] J. Asquith, T. Gillgrass, and P. Mossey, "Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study," Eur J Orthod, Vol.29, No.5, pp.517-522, 2007.

저 자 소 개

김 기 백(Ki-Baek Kim)

정회원



- 2011년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (보건과학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공(박사학위 과정)
- 2010년 8월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공학과 외래강사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 치기공학과 외래강사
<관심분야> : 치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학

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 외래강사
- 2012년 8월 ~ 현재 : 신구대학교 치위생과 외래강사
<관심분야> : 치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학