

국산 치과용 구강스캐너(e-scanner)와 모델스캐너의 정확도 비교

김부섭, 김정호
부산가톨릭대학교 치기공학과

Comparison of the accuracy of domestic dental intra-oral scanner(e-scanner) and model scanner

Busob Kim, Jungho Kim

Department of Dental Laboratory Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the discrepancy of scan process in dental intra oral scanner by comparing model scanner and anticipate possibility to introduce intra oral scan technique.

Methods: 3D superimposition test was conducted to compare the scan discrepancy. The scanners used in this study are the e-oral scanner, the D750 model scanner, and the high precision CMM(3D Coordinate Measuring Machine). The standard of accuracy verification is ISO 5725-1; trueness and precision. Master model was manufactured by dental stone and scanned 5 times by intra oral, model scanner. Reference data was scanned 5 times by high accuracy CMM to evaluate the trueness.

Results: Trueness of D750 scanner were 7.4 μm 5.1 μm 6.8 μm at an abutment, an occlusal, a specific area. and trueness of e-scanner were 20.2 μm 27.4 μm 37.8 μm at an abutment, an occlusal, a specific area. Precision of D750 scanner was 7.04 μm , e-scanner was 15.95 μm .

Conclusion: When conducting in vitro test, The mean difference of trueness between e-scanner and D750 were 12.8 μm at an abutment area, 22.3 μm at an occlusal area, 31.0 μm at a specific area and 8.91 μm in precision. The scan discrepancies are within the range of clinical acceptance.

● **Key words:** accuracy, dental CAD/CAM system, fitness, intra-oral scanner, model scanner

* 이 연구는 2018년도 부산가톨릭대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었음.

Corresponding author	Name	김 부 섭	Tel.	051-510-0593, 0599	E-mail	buskim@naver.com
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과				
Received	2019. 3. 5	Revised	2019. 6. 20	Accepted	2019. 6. 23	

1. 서론

디지털 인상법은 시간적인 측면에서 전통적인 인상법보다 빠르고, 환자의 부담을 감소시키며, 진료와 시술 준비에 용이한 기술이다. 또한 환자와 시술자의 균 오염을 방지해주고, 시술받은 환자의 만족도도 전통적인 인상법보다 높다고 보고하고 있다(Yoon et al, 2016). 구강스캐너의 활용은 모형작업이라고 하는 인상체에 경석코를 부어 구강상태를 경석코 양형으로 재현하는 과정이 생략될 수 있어 작업 환경 개선에 도움이 된다. 구강 스캔 자료는 진료 후 보관할 수 있는 기록물이 되고 데이터를 쉽게 주고 받을 수 있어 치과관련 전문가들 간의 협업에 효율을 높여줄 수 있다.

구강스캐너의 발달에 따라, 구강 스캐너를 이용한 디지털 인상 방식이 인상재를 이용하여 환자의 구강 상태를 인기하는 방식을 대체할 수 있는가에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 구강스캐너의 정확도를 측정하는 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 하나는 선상 비교 방법으로 구강 스캔과 전통적인 방식의 인상을 채득한 후 제작된 모형의 뒤틀림 정도를 비교할 때 사용할 수 있다. 실험 방식은 표준모형을 기준으로 2가지 인상을 채득한 후 특정 거리를 측정하고 스캔 전 후 오차를 비교하는 방법을 사용한다(Kim et al, 2012; Choi et al, 2012; Kim et al, 2014; Kim et al, 2014; Kim et al, 2015; Lee et al, 2015). 그리고 두 번째는 스캐너를 이용하여 취득된 3차원 데이터를 중첩하여 스캔과정에서 발생된 오차를 3차원적으로 분석하는 방법이 있다(Nedelcu et al., 2014; Renne et al, 2017). 이 방법은 다른 두 데이터 간 중첩을 통해 수많은 점들의 오차를 알 수 있다는 장점이 있다. 또한 중첩 과정에서 모형 데이터의 특정 점을 지정하여 선상 오차도 측정할 수 있다(Choi et al, 2014; Kuhr et al, 2016).

구강스캐너의 정확도를 평가하는 실험방식에 대한 기준은, ISO 5725-1에 의하면 진도(trueness)와 정밀도(precision) 2가지로 나누어 정의하고 있다. 진도(trueness)는 진실한 값과 스캔된 데이터의 차이를 나타내며, 고성능의 스캐너로 스캔한 데이터(data)를 기준으로 대상이 되는 스캐너의 데이터 오차를 평가한다.

정밀도(precision)는 비교대상 없이 한 스캐너의 반복된 스캔과정에서 발생하는 오차를 측정한 것이다.

구강스캐너의 정확성 실험은 스캐너 개발과 출시에 필수적인 요소이며, 국산 스캐너도 정확도 평가가 이루어지고 있으나 그 자료는 부족한 실정이다. 또한 통제되는 변수를 최대한 줄여 스캔과정에서 발생할 수 있는 오차를 명시하고, 스캔과정이 보철물의 적합도에 미치는 영향을 판단할 수 있어야 한다. 연구에 따르면 CAD/CAM으로 제작된 치관의 오차는 50~200 μm 까지 다양하며, 이는 실험과정에서 발생하는 변인들 때문에 일반화하기 어렵다고 보고된 바 있다(Papadiochou and Pissiotis, 2017).

그러나 실험에 사용되는 모형의 규격화로 발생 오차의 범위를 줄일 수 있다. ADA 132 또는 ISO 12836에는 정확도 실험에 사용할 수 있는 모델이 명시되어 있다. Jeon(2017) 등에 의하면 ISO 규격의 모델을 Identica Blue (Medit, Korea) 스캐너로 스캔했을 때 평균 반복측정성(스캐너의 반복 측정 시 발생하는 오차)을 14.7 μm 로 보고하였고, Kim(2017) 등에 의하면 ADA 132의 규격 모델을 Trios (3shape, Denmark) 스캐너로 스캔하였을 때, 7.95 mm 길이의 원뿔대 윗지름에서 발생한 선상 오차(trueness)를 약 170 μm 로 보고하였다. 이 모형들은 원기둥 또는 원뿔대 등 기하학적인 단순모형을 대상으로 하여 임상적인 적용이 힘들다는 단점이 있다. 실제 임상적인 형태와 비슷한 지대치를 제작하고 3차원 중첩을 통해 스캔과정의 발생 오차를 연구한 실험에서 Bohner(2017) 등은 Trios 스캐너의 진도(trueness)를 32.8 μm 로 보고하였고, Dahl(2017) 등은 Trios스캐너로 스캔하여 만들어진 보철물의 변연 적합도를 78 μm 로 보고하였다.

본 연구에서 모형은 주위 구강상태를 반영하여 지대치에 인접치를 포함하여 제작하였다. 또한 중첩범위를 지대치 전체 범위와 교합면 범위, 인접면 범위로 나누어 3차원 중첩하여 복합적인 범위에서 발생하는 구강스캐너의 오차를 알아보려고 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 모형 제작

이상적인 치아 모양과 악궁을 재현한 표준모델(A50 series, Nissin, Japan)에 #16을 지대치로, 나머지를 완전치로 식립하여 고정 한 후 실리콘 인상재(Elite double, Zhermack, Italy)를 1:1 비율로 혼합하여 제조사의 지시에 따라 경화 후 치과용 경석고(New Hi-stone, Yosino Co., Japan)를 부어 모형을 제작하였다. #14~17 부분만 남기고 트리밍하여 편측 악궁 범위의 주모형을 제작하였다. 중첩의 편의성을 위해 모형의 상악 제2 소구치에서 제2대구치까지 자를 범위에 선을 그었으며, 선 부분의 스캔이 되도록 표시를 위해서 홈을 형성하였다(Fig. 1). 중첩 시 홈 부분을 잘라 중첩하였다(Fig. 5).

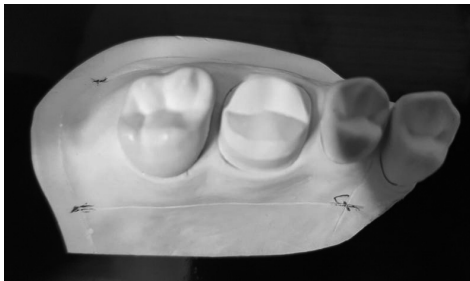


Figure 1. Master cast.

2) 스캔 데이터 취득

주모형을 3가지 스캐너로 스캔하였다. 고정밀도(3~15 μm)의 CMM(Coordinate Measuring Machine)으로 스캔한 데이터를 기준 데이터로 삼았으며, e-구강스캐너(eZIS PO-DDS Inc., Korea)로 모형을 5회 스캔하였다. 비교를 위하여 모델스캐너 D750(3 shape, Denmark)으로 5회 스캔하였고, 스캔된 모형 데이터를 디자인 과정을 거치지 않고 .stl 파일로 변환 저장하였다.

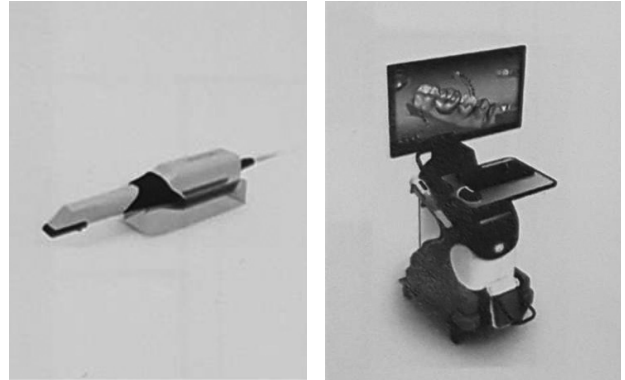


Figure 2. Intra oral scanner used in this study (eZIS PO, DDS Inc., Korea).



Figure 3. Model scanner used in this study (D750, 3shape, Denmark).



Figure 4. CMM used in this study (ATOS plus, Gom, Germany).

2. 실험 방법

1) 3차원 중첩 분석

ISO 5725-1에 명시된 방법으로 모형 데이터를 중첩하여 진도(trueness)와 정밀도(precision)를 산출하여 정리하였다.

진도(trueness)는 CMM(Coordinate Measuring Machine)으로 스캔한 데이터를 기준으로 1:1 비교 중첩한 결과로서 e-scanner와의 오차, D750과의 오차가 된다(Fig. 6). 정밀도(precision)는 동일 스캐너의 스캔 데이터를 모든 경우의 수(combination)로 중첩 시행하였다. 중첩에 사용한 프로그램은 산업용 정밀검사로 쓰이는 Geomagic control X(3D systems, USA)로 최적 중첩 알고리즘(best fit algorithm)을 통해 중첩하였다. 그리고 중첩 범위를 선택하여 지대치, 교합면, 인접 영역(Fig. 5)으로 나누어 중첩하였고, 결과를 평균 오차값 분석 및 색지도(color map)로 나타내었다.

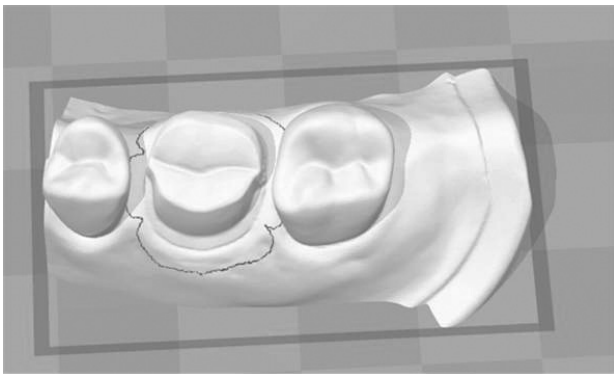


Figure 5. Specific area for superimposition.

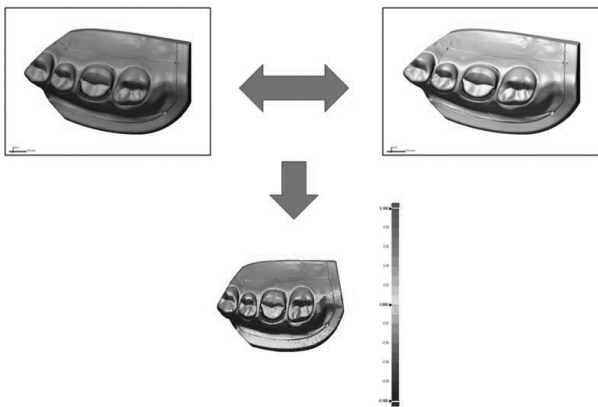


Figure 6. Summary of 3D superimposition

III. 결과

1. 지대치 중첩 결과

산업용 중첩 프로그램(Geomagic control X, 3D systems, USA)으로 지대치 부분을 영역으로 지정하여 중첩하였다. 그 결과 RMS값의 평균은 e-scanner 20.2 μm , D750 7.4 μm 로 나타났다(Table 1). e-scanner는 전체적으로 음(negative)의 오차가 더 발생하는 편이었으며 교합면과 치경부에 양(positive)의 오차가 빈번하게 발생하는 경향을 보였다(Fig. 7).

D750은 교합면 전 범위에 걸쳐 양(positive)의 오차가 발생하였으며, 근원심 측벽 부위에서 특징적인 양(positive)의 오차가 발생하는 모습을 보였다(Fig. 8).

Table 1. Result of discrepancy to abutment area

(Unit: μm)		
Specimens	e-Scanner	D750
RMS	20.2 \pm 1.5	7.4 \pm 0.2

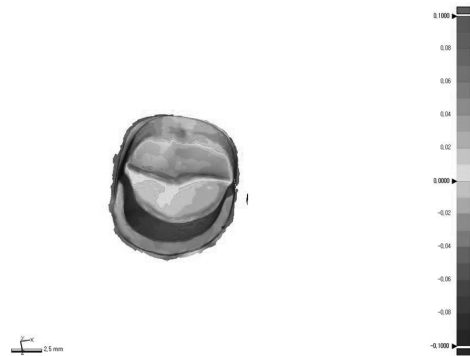


Figure 7. Superimposition of abutment area (e intra-oral scanner).



Figure 8. Superimposition of abutment area (D750 model scanner).

2. 교합면 중첩 결과

교합면 부분을 영역으로 지정하여(Fig. 11) 중첩한 결과 RMS값의 평균으로 e-scanner는 27.4 μm , D750은 5.1 μm 로 나타났다(Table 2). 색지도 상의 특정 패턴은 발생하지 않았다.

Table 2. Result of discrepancy to occlusal area

Specimens	e-Scanner	D750
RMS	27.4 \pm 3.0	5.1 \pm 0.3

(Unit: μm)

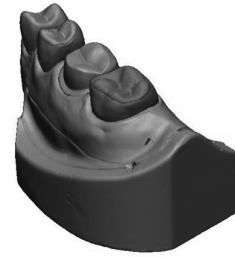


Figure 11. Occlusal area for superimposition.

3. 인접 영역 중첩 결과

인접 영역을 중첩한 결과 RMS 값의 평균은 e-scanner는 37.8 μm , D750은 6.8 μm 로 나타났다(Table 3). e-scanner는 교합면, 치조제 부위에서 음(negative)의 오차가 발생하는 양상을 보였으며, D750은 교합면과 치조제 부위에서 양(positive)의 오차가 발생하는 양상을 보였다. 각 스캐너는 교합면 우각 부위에서 많은 오차가 발생하였다.

Table 3. Result of discrepancy to specific area

Specimens	e-Scanner	D750
RMS	37.8 \pm 4	6.8 \pm 0.5

(Unit: μm)

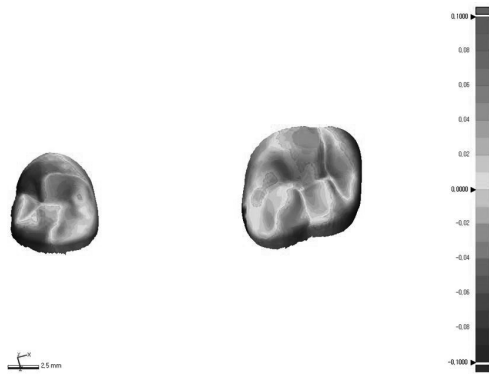


Figure 9. superimposition of occlusal area (e intra-oral scanner).

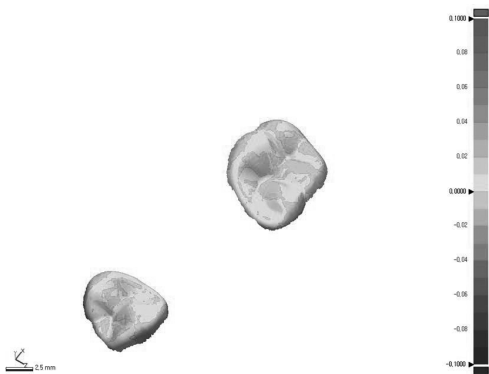


Figure 10. Superimposition of occlusal area (D750 model scanner).



Figure 12. Specific area for superimposition.

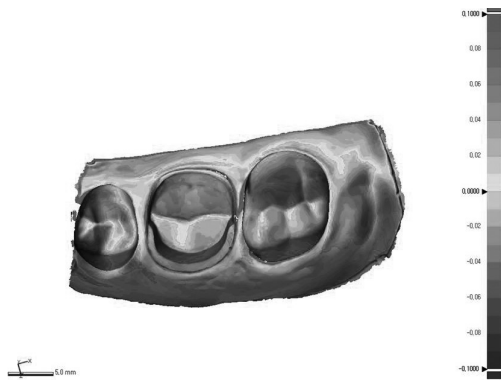


Figure 13. Superimposition of specific area (e intra-oral scanner).

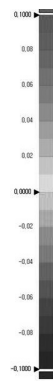


Figure 14. Superimposition of specific area (3shape model scanner).

4. 정밀도(precision) 분석 결과

ISO 5725-1에 명시된 방법으로 정밀도를 구하였다. 5회의 스캔데이터를 겹치지 않는 경우의 수로 서로 중첩한 결과 기준 스캐너인 CMM(ATOS plus, Gom, Germany)은 평균 5.69 μm 로 가장 정확했고, D750 모델 스캐너는 7.04 μm , DDS사 e-스캐너는 15.95 μm 순으로 오차를 보였다(Table 4).

Table 4. Result of precision to total area

		(Unit: μm)	
Specimens	CMM	e-Scanner	D750
Precision	5.69	15.95	7.04

IV. 고찰

구강스캐너의 정확도와 스캔과정에서 발생하는 오차를 알아보기 위해 3차원 중첩법을 통해 오차의 절대값 평균(RMS)값을 구하고 색지도(color map)로 표현하였다. 또한 지대치, 교합면, 인접 영역을 나누어 중첩하였다.

CMM 데이터(data)를 기준으로 중첩하는 방법인 진도(trueness)에서, e-스캐너는 인접 영역, 교합면, 지대치 순으로 오차가 많이 발생하였다. 인접치의 언더컷이 있는 상태에서 구강스캐너가 인접면 범위를 스캔하는 과정에 어려움이 있어 구강스캐너의 오차가 앞선 연구, Jeon 등(2015)은 33.4 μm , Bohner(2017) 등은 32.8 μm 의 오차에 비해 다소 큰 값(37.8 μm)을 보였다. 그러나 앞서 지대치만 스캔한 연구에 비해, 인접치를 포함함으로써 지대치를 스캔할 때 인접치의 방해 요소가 있을 것을 고려하면 수긍할 만한 결과로 보인다. 또한 교합면 중첩 오차에서 값이 크게 나왔는데 이는 인접면 스캔 과정에서 각도를 틀어 교합면을 여러 컷 찍을 때 발생한 병합 오류 때문이라 추정된다. 그 이유는 #15~17 인접영역을 중첩한 결과는 유사한 범위의 모델을 스캔한 다른 연구들 Renne(2017) 등의 연구에서 진도(trueness) 68.8 μm , 정밀도(precision) 98.0 μm , Ararkida 등(2018)의 연구에서 진도(trueness) 51.8 μm 에 비해 작은 오차를 보였기 때문이다.

대조군 D750 모델 스캐너의 진도(trueness)를 중첩법을 통해 계산한 결과 지대치, 인접영역, 교합면 순으로 오차가 크게 발생했다. 이는 모델 스캐너의 특성 상 인접면의 스캔이 어렵기 때문으로 보인다. Hayama(2018) 등의 부분의치를 3차원 중첩한 연구에서는 정확도가 연조직 부분 76~180 μm , 전체 영역 115~158 μm 으로 범위가 커질수록 오차가 증가하였고, Fukazawa(2017) 등의 연구에서 짧은 지대주 사이의 거리 1~8 μm , 긴 지대주 사이의 거리 5~32 μm 로 거리가 증가할수록 오차가 증가 하였다. 본 연구의 구강스캐너 역시 스캔영역이 증가함에 따라 오차가 증가하는 일반적인 패턴을 보였다.

2가지 스캐너의 진도(trueness)를 비교했을 때 모든 범위에서 모델스캐너의 정확도가 높게 나왔다.

정밀도 비교 결과 산업스캐너, 모델스캐너, 구강스캐너 순으로 오차가 크게 나타났다.

구강스캐너에서 발생한 오차는 임상적인 허용 범위 내 (80 μm)였다(Whale et al, 2018). 최종 적합도는 스캔 오차와 같지 않으나 연관성이 있다. 보철물의 최종 적합도는 본 연구 결과인 스캔과정의 오차에 더하여 가공과정 등 이외의 변인에서 발생하는 오차가 포함된다. 접착제 두께(ADA규격 상 최대 접착제 필름막 두께 40 μm)와 보철물의 가공 오차 10 μm 등을 감안하여 임상적인 허용 범위를 50 μm 정도로 볼 수도 있으며 본 연구의 지대치에서 발생한 스캔과정 오차(20.2 μm)는 범위 이내였다.

각 스캐너로 인해 발생한 진도(trueness)와 정밀도(precision) 값을 보았을 때 모델스캐너(D750, 3shape, Denmark)의 정확도를 구강스캐너(e-scanner PO, DDS Inc., Korea)가 아직 따라잡지 못하였다는 것을 나타낸다. 그러나 단순 개별 값으로 볼 때 구강스캐너와 모델스캐너 간 발생 오차 비교시, 진도(trueness)는 평균 12.8 μm , 정밀도(precision)는 평균 8.6 μm 의 차를 보여 상기 값이 임상적인 적용 시 의미가 있는 큰 차이 일지는 시술자가 판단할 몫으로 보인다. 또한 연구 중 다중 스캔으로 인한 병합 오류 등 구강스캐너의 숙련도 차이로 오차가 발생할 가능성이 있어, 숙련도가 높은 시술자의 스캔으로 적합과정을 거치면 상기 오차를 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구는 구강환경을 고려하여 지대치에 인접치가 포함된 상태로 모델을 제작하여 임상모형의 스캔 과정에서 발생하는 오차를 조사하였고, 각 범위별로 세분화하여 bite, 접촉점, 지대치의 변연 적합도 등 보철물의 기능적인 부분에 발생할 수 있는 오차의 자료를 제시했다는 것에 의의가 있다. 하지만 구강내의 습기나 타액, 혈액, 온도, 조도, 법랑질의 반사능을 고려하지 않아, 임상적인 환경에서 발생하는 오차까지 포함하지 않았다. 따라서 그에 한계점이 있고 관련된 연구가 더 필요하리라 사려한다. 구강스캐너의 정확도에서 in vitro 연구는 in vivo 연구보다 작은 값을 보여준다. Lim(2018) 등은 피험자를 대상으로 한 연구에서 87.5 μm 의 진도(trueness), 60.5 μm 의 정밀도(precision)를 보였다. 이

는 구강 내 상황이라는 변인이 영향을 미친 결과라 생각된다. 또한 보철물 디자인, 밀링 과정에서 발생하는 오차와, 내면 적합과정을 거쳐 맞춘 후의 내면 적합도를 다룬 연구 또한 필요하다고 사료된다.

본 연구에 사용된 구강스캐너는 국산 제품으로 모든 구강스캐너를 대표하지 못한다. 따라서 구강스캐너의 정확도가 모델스캐너 보다 떨어진다고 일반화할 수 없다. 여러 스캐너들을 비교한 연구에서 Nedelcu (2018) 등은 스캔 후 병합 시 생성되는 삼각형의 개수로 스캐너의 성능을 비교했는데, True Definition(3M ESPE, USA) 9,000개, CS3500(Carestream dental, USA) 11,000개, CS3600(Carestream dental, USA) 8,500개, DWIO(Dentalwings, swiss) 14,500개, Cerec Omnicam(Dentsply sirona, USA) 12,000개, Planscan(Planmeca, Finland) 7,500개, Trios(3shape, Denmark) 23,500개 그리고 전통인상법과 D1000(3shape, Denmark)을 이용해 간접 디지털 스캔을 한 데이터는 18,000개로 나타났다. 이 연구에서 구강스캐너 중 일부 스캐너는 모델스캐너 보다 성능이 우수한 것이 있었으며, 모델스캐너가 대부분의 구강스캐너 보다 우수하였다. e-구강 스캐너는 현재 시판되는 Trios3(3shape, Denmark), TrueDefinition3(3M ESPE, USA) 스캐너 같은 동영상 방식이 아닌 한 컷씩 찍어 병합하는 방식을 사용하고 있다. 또한 광학식 스캐너로 광원이 백색 LED광원이며 일정 면적에 패턴을 조사하여 위치를 파악하는 삼각법의 원리에 기반을 두고 있다. 반면 AWS (Active Wavefront Sampling) 기술을 가진 구강 스캐너는 선행 연구에서 높은 정확도를 보여주었다는 보고가 있다(Kuhr et al, 2016). 따라서 국산 구강스캐너와 다른 방식을 사용하는 국외 구강 스캐너 간 정확도를 비교하는 연구도 필요하다.

치과 보철물의 접착제 미세누출 및 2차 우식을 방지하고, 교합 조기접촉을 막으며, 음식물 정착 및 끼임 현상을 방지하는 기능적인 역할을 하는 변연, 접촉점, bite는 보철물의 질을 결정하기 때문에 다른 부차적인 부위보다 우선시되는 부분이다. 또한 상기 부위에 문제가 없다면 전체적으로 모형의 뒤틀림이나 변위가 다소 일어나도 치관 제작에 치명적이지 않을 것이다. 경험과 기술

을 가진 치과 관련 전문가들은 이 부분을 위주로 인상을 채득하고 작업한다.

인상 시 중요한 요소들 위주로 스캔정확도를 높이고 파라미터 조정을 통해 보철물의 적합도를 포함한 중요한 기능과 직결되는 요소의 조정이 이루어지면, 구강스캔 기술을 통해 더 나은 적합도의 치관 제작을 할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 구강스캐너의 적용가능성 제시를 위하여 스캔과정에서 발생하는 오차를 측정하고 모델스캐너와의 오차를 비교하여 판단하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. e-구강스캐너는 D750 모델 스캐너보다 RMS값의 평균이 진도(trueness)는 지대치 범위에서 12.8 μm , 교합면 범위에서 22.3 μm , 인접영역 범위에서 31.0 μm 만큼 차이가 났으며, 정밀도(precision)는 8.91 μm 만큼의 차이를 보였다.
2. D750, e-scanner 스캔의 오차는 임상적 허용범위 내 이다.

REFERENCES

Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *J Prosthodont Reserch*, 62, 324–329, 2018.

Bohner LO, Canto GD, Marcio BS, Lagana DC, Sesma N, Neto PT. Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 118(5), 617–623, 2017.

Choi SS, Kim KB, Lee GT, Jeon JH, Kim JH,

The study on the dimensional stability of digitized dental stone replicas according to difference color of gypsum materials. *J KADT*, 34(4), 369–377, 2012.

Choi SS, Kim JH^a, Kim JH^b. Comparative analysis on digital models obtained by white light and blue LED optical scanners. *J KADT*, 36(1), 17–23, 2014.

Dahl BE, Ronald HJ, Dahl JE. Internal fit of single crowns produced by CAD-CAM and lost-wax metal casting technique assessed by the triple-scan protocol. *J Prosthet Dent*, 117(3), 400–404, 2017.

Fukazawa S, Odaira C, Kondo H. Investigation of accuracy and reproducibility of abutment position by intraoral scanners. *J Prosthodontic Research*, 61(4), 450–459, 2017.

Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N. Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodontic Research*, 62(3), 347–352, 2018.

Jeon JH, Hwang KS, Min BK, Hwang JS, Kim JH, Kim WC. Comparison of reproducibility of prepared tooth impression scanning utilized with white and blue light scanners. *J KADT*, 37(4), 213–218, 2015.

Jeon JH, Hwang SS, Kim CM, Kim DY, Kim JH, Kim WC. Comparative evaluation of repeatability of scanning abutment tooth stone model and impression : Applied assessment of CAD/CAM ISO standard in dentistry. *J KADT*, 39(1), 1–7, 2017.

Kim JH, Jung JK, Kim KB. Evaluation of validity of three dimensional dental digital model made from blue LED dental scanner. *J Kor*

- Aca Ind Society 15(5), 3007–3013, 2014.
- Kim JH, Oh S, Uhm SH, Min B. Evaluation of comparable scanning accuracy in various intraoral scanner systems: An example of ADA 132 standard model. *J Dent Mat*, 44(3), 247–254, 2017.
- Kim KB, Kim JH. Evaluations of the accuracy and reliability of measurements made on white light scanner-based dental digital models. *J Kor contents Aca*, 12(10), 357–364, 2012.
- Kim SH, Kim JH, Kim CK. Reliability and accuracy of digital impression obtained from CS-3500 intraoral scanner. *J Dent Hyg Sci*, 15(5), 673–678, 2015.
- Kim WT, Lee BK, Hyun JK, Kim KB. Evaluation of validity of polyurethan model fabricated by intra-oral scanning method. *J KADT*, 36(2), 91–96, 2014.
- Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wostmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent*, 55, 68–74, 2016.
- Lee JJ, Park JY, Bae SY, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Evaluation of the model accuracy according to three type of dental scanner. *J Dent Hyg Sci*, 15(2), 226–231, 2015.
- Lim JH, Park JM, Kim MJ, Heo SJ, Myung JY. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. *J Prosthet Dent*, 119(2), 225–232, 2018.
- Nedelcu R, Persson A. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*, 112(6), 1461–1471, 2014.
- Papadiochou S, Pissiotis AL. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *J Prosthet Dent*, in press, 1–7, 2018.
- Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, Lauer A. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*, 118(1), 36–42, 2017.
- Wahle WM, Masri R, Driscoll C, Elain Romberg, J Prosthet Dent, 119(5), 777–782, 2018.
- Yoon HI, Lee SM, Park EJ. Comparison of patient satisfaction with digital and conventional impression for prosthodontic treatment. *J Kor Aca Pros*, 54(4), 379–386, 2016.