

치과용 CAD 프로그램의 렌더링 화면상 거리측정 비교분석

Comparative analysis of distance measurement on the rendering screen between dental CAD programs

차철호·임선영·방주혁·김성아·김성용·이용상*

Cheol-Ho Cha, Seon-Young Lim, Ju-Hyuk Bang, Seong-Ah Kim, Seong-Yong Kim, Yong-Sang Lee*

중앙보훈병원 치과보철과

Department of Prosthodontics, Veterans Health Service Medical Center, Seoul, Republic of Korea

ORCID iDs

Cheol-Ho Cha

<https://orcid.org/0000-0002-2584-4408>

Seon-Young Lim

<https://orcid.org/0000-0001-7874-8543>

Ju-Hyuk Bang

<https://orcid.org/0000-0002-1333-8655>

Seong-Ah Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5980-7875>

Seong-Yong Kim

<https://orcid.org/0000-0002-0926-2862>

Yong-Sang Lee

<https://orcid.org/0000-0002-0707-6177>

Purpose: This study was to find out whether the rendering screen difference affect to measuring distance in a CAD program according to three types of CAD programs. **Materials and methods:** The model presented in ISO 12836 for dental scanner evaluation was reduced by 70%. This model was repeatedly scanned 15 times using Trios II (3Shape, Denmark). Using the output STL file, 3Shape CAD, inLab 15, and ExoCAD programs were used to measure the horizontal distance (H) and vertical distance (V) between adjacent point angle, and for each experiment, three groups were set according to the CAD program type. Statistical analysis was performed using One-way ANOVA test and post hoc was performed using Dunnett T3 test. **Results:** In the horizontal and vertical distance measurement, there was no difference in the average of the measured values between the three groups according to the CAD program ($P>.05$). **Conclusion:** There were no effect of the difference in the rendering screen in the horizontal and vertical linear distance measurements of the inlay model on the dental CAD program. (J Korean Acad Prosthodont 2021;59:11-7)

Keywords

Computer-aided design; Computer-aided manufacturing; Marginal adaptation

서론

1980년대 최초로 구강내 광학식 디지털 인상을 이용한 치과 보철물이 제작되었으며,¹ 그 이후 디지털 치의학의 급격한 발전과 더불어 임상에서의 치료 패러다임도 많은 변화가 생기고 있다.²

CAD-CAM (Computer-Aided Design-Computer-Aided Manufacturing) 방식을 이용한 치과 보철물 제작은 크게 3단계로 이뤄지는데, 그 첫 번째 단계는 치과용 3차원 스캐너를 이용하여 구강 내 정보를 디지털화 하는 작업에서 시작한다. 이는 구강 내

Corresponding Author

Yong-Sang Lee

Department of Prosthodontics,

Veterans Health Service Medical

Center, 53 Jinhwangdo-ro 61-gil,

Gangdong-gu, Seoul 05368,

Republic of Korea

+82 (0)2 2225 3956

lysang21@hanmail.net

Article history Received August

18, 2020/ Last Revision October 13,

2020 / Accepted November 3, 2020

※ This paper was supported by research and development expense of Veterans Health Service Medical Center in 2018 (VHSMC18024).

© 2021 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

조직을 직접 스캔 하거나, 기존 방식으로 인상을 채득 후 인상체를 스캔 하거나 또는 석고 모형을 제작 후 이를 스캔하는 방법이 있다. 치과용 CAD-CAM 시스템은 스캔이 시행되는 장소에 따라서 진료실내 시스템, 치과기공실 내 시스템, 제작 센터에서 제작하는 시스템으로 구분되고, 진료실내 시스템은 CAM 장비와 작업이 진료실에서 이뤄지는 In-office와 CAM 작업이 센터 또는 기공실에서 이뤄지는 Out-office로 구분된다.³

한편, 3차원 스캐너의 출시 초기에는 치과계를 포함하는 많은 업계에서 시장을 선점하던 회사들이 상업적인 이유로, 스캐너에서 주로 비개방형 파일(closed file)이 출력되도록 하였다.⁴ 그리고 비개방형 파일에서 개방형 파일(open file)로의 변환은 일반적으로 허용되지 않았기 때문에, CAD 프로그램과 CAM 시스템의 선택은 스캐너 회사의 권장을 따를 수밖에 없었다. 하지만, 기술력이 발전함에 따라 많은 회사에서 스캐너와 CAD 프로그램 그리고 CAM 시스템을 출시하였고, 이에 따라서 개방형 파일을 사용하여 얻게 되는 각 단계간 상호 호환성은 장점으로 부각되었으며, 치과 진료실 또는 기공실에서도 필요한 소프트웨어 및 장비를 선별적으로 구매할 수 있게 되었다.⁵ 현재, 치과용 3차원 스캐너에서 출력되는 데이터 형식은 비개방형 파일인 것도 있으며, 개방형 파일인 것도 있다. Trios II (3Shape, Copenhagen, Denmark)에서는 DCM file로, Cerec Omnicam (Dentsply Sirona, Bensheim, Germany)에서는 RST file로 비개방형 파일을 출력하고 있고, 반면 Identica blue (Medit, Seoul, Korea)를 포함하는 여러 스캐너에서는 개방형 파일을 출력하고 있으며, 최근에는 Trios II 및 Cerec Omnicam에서도 개방형 파일을 출력할 수 있게 되었다.

치과용 CAD-CAM 시스템에서 사용되는 3차원 이미지 파일 중에 STL (Standard tessellation language) 파일은 대표적인 개방형 파일로, 이를 이용하면 타사 간의 스캐너와 CAD 프로그램 사이에도 쉽게 데이터가 전달될 수 있다. 이러한 CAD-CAM 시스템의 단계별 상호 호환성을 기반으로, 현재 많은 진료실에서 치과용 3차원 스캐너로 광학인상채득을 시행하고 수집된 데이터를 치과기공소로 전송하여, 이후 기공실에서 CAD 작업 및 CAM을 이용한 보철물 제작 과정을 시행하고 있다.

이와 같이, 치과 임상에서도 개방형 파일을 이용하여 다양한 종류의 치과용 CAD 프로그램을 접할 수 있게 되었으나,

아직까지 CAD 프로그램의 종류 간의 특성과 차이점을 확인해 보는 실험적 연구는 거의 시행되지 않았다. 최근, 하나의 동일한 치아 형상이 CAD 프로그램에 따라 달라 보이는 듯한 문제가 제기되었는데,⁶ 만약에 그렇다면 화면을 보면서 치아 삭제 경계를 정하는 등의 수작업을 할 때 각 CAD 프로그램에 따른 차이가 생길 수도 있기 때문에, 이와 관련하여 치과용 CAD 프로그램의 렌더링(rendering) 화면에서 임의의 두 점 간의 거리를 측정할 때 차이발생 여부를 확인해 보는 것도 유의미할 것으로 생각되었다.

따라서 본 연구에서는, 하나의 치과용 3차원 스캐너에서 출력된 STL 파일과 3가지 종류의 CAD 프로그램을 이용하여, 각 CAD 프로그램상에서 동일한 부위의 길이를 측정하고 비교분석 함으로써, CAD 프로그램들의 렌더링 화면 차이가 길이 측정에 어떤 영향이 있는지를 검사해보고자 하였다. 귀무가설은 'CAD 프로그램의 렌더링 화면은 거리측정에 미치는 영향은 없다'로 하였다.

재료 및 방법

1. Model and three-dimensional scanning

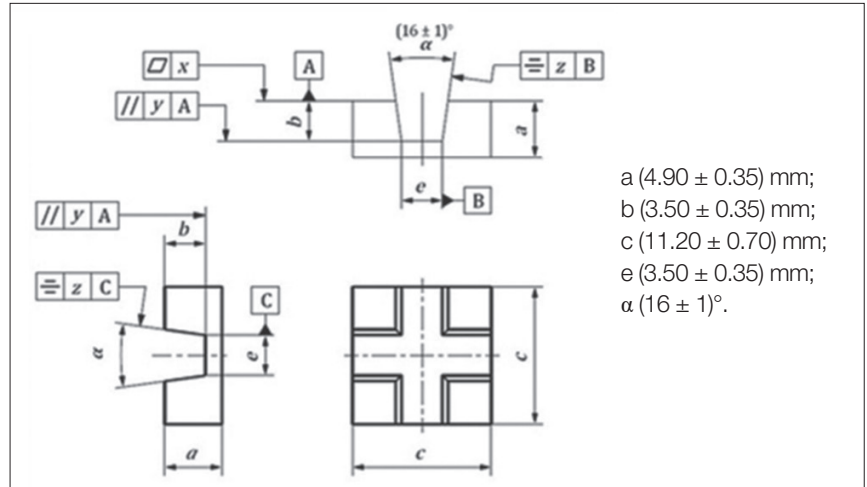
본 연구에서는 Trios II (3Shape, Copenhagen, Denmark)를 사용하여 스캔을 시행하였고, 스캔에 사용된 모델은 치과용 스캐너 평가를 위하여 제시된 ISO 12836 규격 인레이 모형이다 (Fig. 1). 이번 연구에서는 인레이 모형을 70%로 축소된 모델을 사용하였으며, 이러한 모델은 실제 임상에서 사용되는 보철물의 크기와 유사하며, 구강용 스캐너의 accuracy와 precision 측정에 유리하다고 보고되었다.⁷

상기 인레이 모델을 총 15회 반복하여 연속적으로 스캔을 시행하였다. 스캔은 동일한 장소에서 숙련된 한 술자에 의해서 시행되었으며, 양질의 스캔 영상을 얻기 위해서 모델 위에 Powder Scan Spray (VITA, Yorba Linda, CA, USA)를 도포하였다.

2. Distance measuring in the CAD programs

스캔 후 출력된 STL 파일을 이용하여 3Shape CAD, in-Lab 15 그리고 ExoCAD 프로그램에서 정해진 두 점 간의 거리를 측정하였다 (Fig. 2).

Fig. 1. Schematic diagram of 70% reduced inlay model by ISO 12836 standard model.



상기된 3가지 CAD 프로그램은 모두 모형상 임의의 두 점 간 거리 측정기능이 있고, 이를 이용하여 인레이 모형의 인접 점각(point angle)간 수평 거리(H)와 수직 거리(V)를 측정하였다 (Fig. 2, Fig. 3). 이는 하나의 모니터(full HD, 1080p)를 통하여 한 사람에게 의해서 수행되었으며, 15개의 인레이 형상의 수평 거리와 수직 거리를 측정하였으며, 한 부분의 거리를 3회 측정하였고, 이의 산술 평균 값을 측정값으로 하였다.

3. Test design and experimental groups

위와 같이 수평거리 측정과 수직거리를 측정하는 2회의 실험을 수행하였고, 각 실험당 실험군은 CAD 프로그램의 종류에 따라 3개 군으로 설정하였다 (Table 1).

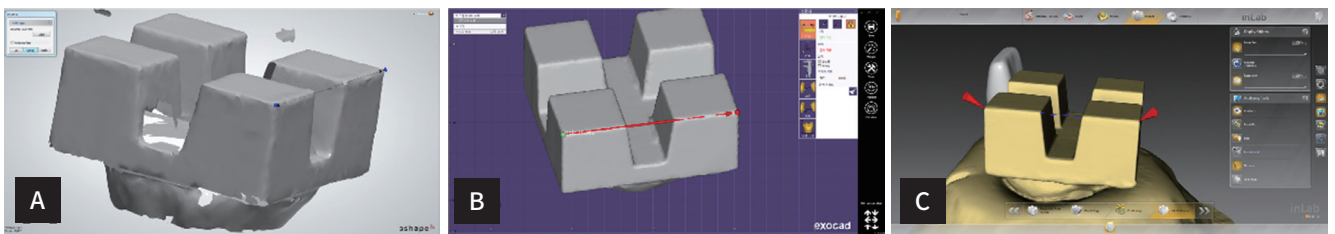


Fig. 2. (A) Horizontal distance measurement in 3Shape CAD, (B) Horizontal distance measurement in ExoCAD, (C) Horizontal distance measurement in inLab15.

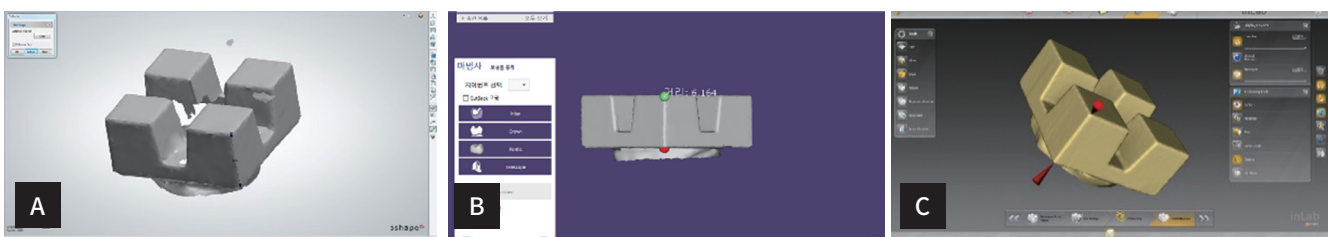


Fig. 3. (A) Vertical distance measurement in 3Shape CAD, (B) Vertical distance measurement in ExoCAD, (C) Vertical distance measurement in inLab15.

Table 1. Experimental group allocation for 3D scanner and CAD programs

CAD program	Test 1 (Horizontal measure)	Test 2 (Vertical measure)
3Shape CAD	3S-H	3S-V
ExoCAD	EXO-H	EXO-V
inLab15	IN-H	IN-V

4. Statistical analysis

통계분석을 위해 독립변수는 CAD 프로그램을, 종속변수는 측정값으로 하여, 세 군간 차이의 유무를 확인하기 위해서 One-way ANOVA로 분석하였고, 사후분석은 등분산을 가정하지 않은 Dunnett T3법으로 수행하였다. 통계분석 프로그램은 PASW® Statistics 18 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

결과

1. Test of horizontal measuring

수평거리 측정 실험결과는 3S-H 군 평균 11.12 ± 0.02 mm, EXO-H 군 평균 11.12 ± 0.04 mm, IN-H 군 평균 11.10 ± 0.04 mm이었다. 수평거리 측정 실험결과 세 군 모두 정규분포를 보였으나, 등분산은 아닌 것으로 나타났으며

세 군의 수평거리 측정값에 대한 box plot은 Fig. 4와 같다. Table 2는 프로그램 간 수평거리 측정 결과값의 일원분산분석 결과표로 CAD 프로그램에 따른 세 군 간의 측정값 평균의 차이는 없는 것으로 나타났다 ($P > .05$).

2. Test of vertical measuring

수직거리 측정 실험결과는 3S-V 군 평균 4.95 ± 0.04 mm, EXO-V 군 평균 4.90 ± 0.07 mm, IN-V 군 평균 4.89 ± 0.04 mm이었다. 수직거리 측정 실험결과에서도 수평거리 측정 실험결과와 동일하게, 세 군 모두 정규분포를 보였으나 등분산은 아닌 것으로 나타났으며, 세 군의 수평거리 측정값에 대한 box plot은 Fig. 5와 같다. Table 3은 프로그램 간 수직거리 측정 결과값의 일원분산분석 결과표로 CAD 프로그램에 따른 세 군 간의 측정값 평균 간 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다 ($P > .05$).

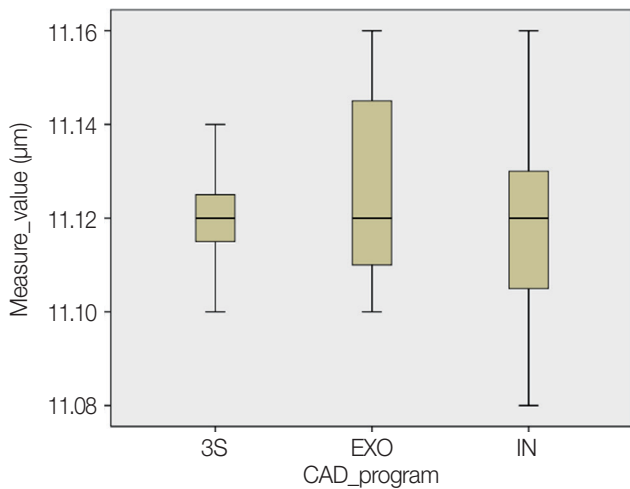


Fig. 4. Box plot of Horizontal distance measurement in CAD programs.

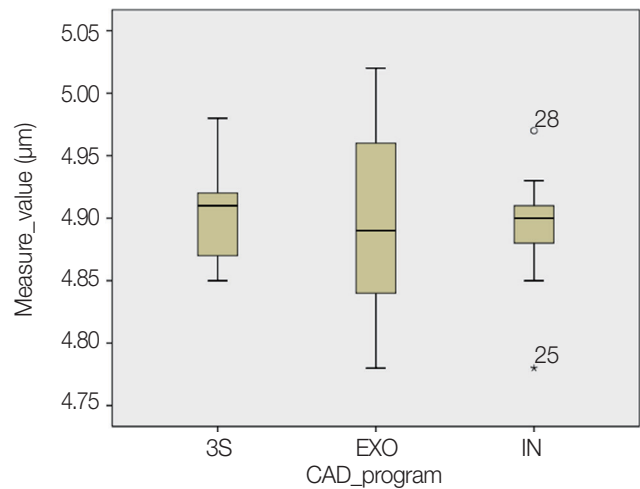


Fig. 5. Box plot of Vertical distance measurement in CAD programs.

Table 2. One-way ANOVA results of Horizontal distance measurement in CAD programs

	Sum of Square	Df	Mean Square	F	P
Between programs	0.000	2	0.000	0.600	.553
Within programs	0.015	42	0.000		
Total	0.015	44			

Table 3. One-way ANOVA results of Vertical distance measurement in CAD programs

	Sum of Square	Df	Mean Square	F	P
Between programs	0.001	2	0.001	0.172	.842
Within programs	0.123	42	0.003		
Total	0.124	44			

고찰

본 연구에서는, 하나의 인레이 형상에서 두 점간의 거리를 3 가지 CAD 프로그램에서 측정하였고, 수평 거리측정과 수직 거리측정 모두에서 CAD 프로그램간 측정값의 평균 사이에 유의한 차이가 없었다. 이에, CAD 프로그램의 렌더링 화면은 거리측정에 미치는 영향이 없다는 귀무가설을 채택하였다.

현재, 치과용 CAD-CAM 방식의 단계별 상호 호환성을 위해 주로 사용되는 STL 파일 형식은 Stereolithography 기술로써 잘 알려진 미국의 3D Systems사를 위해 Albert Consulting Group이 개발하였다. 이는 삼각면으로 닫혀진 3차원 CAD 모델을 근사화 시켜 표현한 것이며, 치과용 CAD-CAM 시스템뿐만 아니라 최근 대부분의 쾌속조형시스템의 입력 데이터로 자리 잡고 있다.⁸

치과용 3차원 스캐너로 광학 인상 채득이 수행될 때, 많은 점으로 이루어진 점군(point cloud) 데이터가 수집된다. 이때, 점군 데이터에는 노이즈(noise)가 포함되는데, 이후 전처리 과정 및 가공을 통해 체계화된 표면 정보를 생성하게 된다. 스캐너 소프트웨어에서는 일반적으로 3점을 선택하여 폴리곤 메쉬(polygonal mesh)를 형성하게 되는데, 이렇게 3점을 선택하는 방법에 있어서 정확성과 효율성을 높이기 위해서 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 기본적으로는 Voronoi diagram과 Delaunay Triangulation 방법을 기반으로 하고 있고, 이후 데이터의 후처리 단계에서 조금씩 다른 방법들을 사용하는 것으로 알려져 있다.⁹ 한 스캐너를 사용할 때, 스캔을 시행하는 횟수에 따라서 파일의 용량이 커지고 점군의 밀도가 높아지는 것을 확인할 수 있으나, 적절한 횟수 보다

더 많은 스캔을 하여도 더 우수한 데이터가 생산되지는 않는다. 그 이유는 폴리곤 메쉬의 형태 개선은 미미한 반면, 점군의 노이즈, 추가적인 병합 시간 및 파일 용량 증가 등의 문제점이 발생하기 때문이며, 따라서 최적의 스캔 데이터를 얻기 위해서 스캔 횟수, 스캔 위치 등에 대한 가이드 라인이 필요하다.^{10,11}

상기와 같은 과정을 통해 만들어진 STL 파일이 치과용 CAD 프로그램으로 읽힐 때 폴리곤 메쉬의 형태가 수정되거나 일부 삭제되는 등의 일이 자동으로 발생하지는 않는다. 하지만, 폴리곤 메쉬의 형상 정보가 동일하더라도 CAD 프로그램의 렌더링 화면의 차이에 따라, 사용자가 인식하기에 다르게 보일 수도 있다고 생각하였다. 본 연구에서도 인레이 모델의 선각(line angle)과 점각이 CAD 프로그램들의 렌더링 화면 간에 작지만 선예도의 차이가 있는 것 같이 보였다. 그러나, 본 연구의 결과 두 점간의 거리 측정에서 렌더링 화면에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과의 원인으로는, 이번 연구에서 인레이 모형의 명확한 점각이 기준점으로 사용되었다는 것과 두 점각을 연결하는 단순 직선 거리의 측정값을 비교한 점이 오차를 줄일 수 있었던 것으로 생각된다. 그리고 구강용 스캐너를 사용하였으나, 구외에서 비교적 안정적으로 스캔을 수행함으로써 양질의 형상정보를 얻을 수 있었던 점 또한 렌더링 화면에 따라 발생할 수도 있는 차이를 줄인 것으로 생각된다.

수직거리 측정 중 IN-V에서 2개의 이상점(outlier)값이 발견되는데, 이는 인레이 모형의 하단부 점각이 상단부 보다는 불명확해 보이는 경우들이 있었고, 이로 인해 길이 측정이 좀 더 어려웠던 것이 원인으로 보였다. 마찬가지로, 각군에서 수

평거리 측정값들의 분산보다 수직거리 측정값들의 분산이 더 큰 것도 상단부 보다 하단부 점각을 지정하기가 좀더 어려웠던 것이 원인으로 추정되었다. 이와 관련하여 임상에서는 대부분의 치아삭제 경계가 위치한 치경부에 대한 양질의 스캔이 정확한 보철물을 디자인하는데 중요할 것으로 생각되었다.

향후에는 치아삭제 경계를 가정하고 특정 선각을 따라가는 측정을 수행할 때, 3차원상 측정된 선각의 형상이나 길이에서 차이가 있는지 확인해 보는 것도 임상적으로 의미가 있을 것으로 생각된다. 그리고 스캐너에서 생산되는 3차원 형상의 질과 여러 CAD 프로그램들의 렌더링 화면의 영향간 상관관계에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

CAD-CAM을 통한 치과 보철물 제작 과정 중 각 단계에서 발생 가능한 오차에 대한 검증은 전통적 방법에 비해 상대적으로 부족하다. 특히 CAD 소프트웨어에 대한 검증적 실험 연구는 거의 찾아볼 수 없다. Lee¹²가 발표한 논문에서 따르면 동일한 조건에서 서로 다른 CAD 프로그램(Exocad, 3shape, inLab16)을 통해 제작된 보철물의 accuracy가 유의한 차이를 보인다고 하였다. 본 연구에서 서로 다른 CAD 프로그램에서 렌더링 화면 상 수평, 수직 거리측정 값의 차이를 보이지 않았기 때문에 각각의 CAD 프로그램의 STL 파일을 읽는 과정보다는 CAD 프로그램 내에서 보철물을 디자인 과정에서의 차이가 제작된 보철물의 accuracy에 영향을 미친 것으로 보인다.

결론

본 연구의 한계 내에서, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 치과용 CAD 프로그램상에서 인레이 모형의 수평, 수직 직선거리 측정값은 프로그램들 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 따라서, 상기 3 종류의 CAD 프로그램상에서 수평, 수직 직선거리를 측정할 때, 렌더링 화면은 영향을 미치지 않는 것으로 결론지을 수 있다.

References

1. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkyänen A. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Laser Eng* 2014;54:203-21.

2. Ueda Y, Yamaguchi TJ. History of and current situation regarding dental CAD/CAM systems and future perspectives. *Hokkaido J Dent Sci* 2017;38:104-10.
3. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204:505-11.
4. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res* 2016;60:72-84.
5. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12.
6. Juh JB, Shim JS. The factors caused errors in the production process of CAD/CAM prosthesis based on experience. *J Korean Dent Assoc* 2014;52:332-45.
7. Uhm SH, Kim JH, Jiang HB, Woo CW, Chang M, Kim KN, Bae JM, Oh S. Evaluation of the accuracy and precision of four intraoral scanners with 70% reduced inlay and four-unit bridge models of international standard. *Dent Mater J* 2017;36:27-34.
8. Chon JH, Yang HI. Triangular mesh generation algorithm for generating nodes and triangular elements concurrently. *Korean J Comput Des Eng* 2000;5:207-14.
9. Berger M, Tagliasacchi A, Seversky LM, Alliez P, Levine J, Sharf A, Silva CT. State of the art in surface reconstruction from point clouds. *Eurographics* 2014:161-85.
10. Chae MJ, Lee GW, Kim JR, Park JW, Yoo HS, Cho MY. Development of the 3D imaging system and automatic registration algorithm for the intelligent excavation system (IES). *Korean J Constr Eng Manag* 2009;10:136-45.
11. Kwon SW. Object recognition and modeling technology using laser scanning and BIM for construction industry. *J Architect Institut Korea* 2009;53:31-8.
12. Lee YS. Comparative study of accuracy in dental CAD softwares on designing a fixed partial denture. Graduate school, Yonsei university 2019.

치과용 CAD 프로그램의 렌더링 화면상 거리측정 비교분석

차철호·임선영·방주혁·김성아·김성용·이용상*

중앙보훈병원 치과보철과

목적: 본 연구의 목적은 3가지 종류의 CAD 프로그램들에 따라 렌더링 화면 차이가 CAD 프로그램 상의 거리 측정에서의 차이로 나타나는지 알아보고자 함이다. **재료 및 방법:** 치과용 스캐너 평가를 위해 제시된 ISO 12836 규격 인레이 모형을 70% 축소된 모델을 제작하였다. 이 모델을 Trios II (3Shape, Denmark)를 사용하여 총 15회 반복하여 연속적으로 스캔을 시행하였다. 출력된 STL 파일을 이용하여 3Shape CAD, inLab 15, ExoCAD 프로그램을 통해 인접한 점각 간 수평 거리(H)와 수직 거리(V)를 각각 측정하는 실험을 수행하였고, 각 실험마다 CAD 프로그램 종류에 따라 3개의 군으로 설정하였다. One-way ANOVA test를 통해 통계 분석하였고, Dunnett T3법으로 사후분석을 시행하였다. **결과:** 수평거리와 수직거리 측정에서 모두 CAD 프로그램에 따른 세 군 간의 측정값 평균의 유의한 차이는 없었다 ($P > .05$). **결론:** 치과용 CAD 프로그램상에서 인레이 모형의 수평, 수직 직선거리를 측정할 때, 프로그램 간의 렌더링 화면 차이에 따른 영향은 없다. (대한치과보철학회지 2021;59:11-7)

주요단어

Computer-aided design; Computer-aided manufacturing; 변연 적합

교신저자 이용상
05368 서울 강동구 진항도로 61길 53
중앙보훈병원 치과보철과
02-2225-3956
lysang21@hanmail.net

원고접수일 2020년 8월 18일
원고최종수정일 2020년 10월 13일
원고채택일 2020년 11월 3일

© 2021 대한치과보철학회
이 글은 크리에이티브 커먼즈
코리아 저작자표시-비영리
4.0 대한민국 라이선스에
따라 이용하실 수 있습니다.