

국내산 구강스캐너(eZIS)를 사용한 3D프린트 모형의 정확도 검증 실험

변태희*, 남민경, 김정호, 김부섭

원치과기공(주)*, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Accuracy Verification of 3D printing model by Using Domestic Oral Scanner(eZIS)

Tae-hee Byun*, Min-kyung Nam, Jung-ho Kim, Busob Kim

One Dental Laboratory LTD.,*

Dept. of Dental Laboratory Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was establishing process of manufacturing dental prosthesis by using eZIS system(DDS Inc.,Korea).

Methods: To evaluate accuracy verification, the test was practiced two ways.

First, Comparison of 3D printing models and stone models was practiced by using 3D superimposing software. #36 prepared master model was scanned by eZIS system and three 'Veltz3D' 3D printing models and three 'Bio3D' 3D printing models were manufactured. three stone models were manufactured by conventional impression technique.

Second, Fitness test was practiced. the 3D printing models and the stone models was compared by manufacturing same resin crown. #36 prepared master model was scanned 9 times and manufactured (milled) 9 resin crowns by eZIS system. These crowns were cemented three 'Veltz3D' 3D printing models, three 'Bio3D' 3D printing models and three stone models. These crowns were sliced mesiodistal axis and gaps were measured by digital microscope.

Results: The average accuracy of Bio3D models were 65.75%. Veltz3D(Hebsiba) models were 60.11% Stone models were 41.00%.

Conclusion : This study results showed 3D printing model is similar with stone model. So it was under clinical allow, didn't affect final dental prosthesis. There were no significant differences in the appearance of the three types of milling crowns.

◉ **Key words:** Dental CAD/CAM system, Fitness, Intra-oral scanner, CEREC system

| | | | | | | | |
|----------------------|-------------|---------------------------|---------|--------------|--------|--------------------|------------|
| Corresponding author | Name | 변 태 희 | Tel. | 051-851-2950 | E-mail | 11thbyun@naver.com | |
| | Address | 부산 연제구 거제대로214번길 33 (거제동) | | | | | |
| Received | 2018. 7. 24 | | Revised | 2018. 8. 24 | | Accepted | 2018. 9. 7 |

1. 서론

디지털 치의학의 발전방향에 맞는 구강스캐너를 이용한 진료의 보편화 될 것으로 예견되며, 환자의 진료 시간 단축과 심미적 요구는 날로 증가하고 있다(Park, 2011). 이에 필요한 소재개발은 심미보철의 요구에 기여할 만큼 빠른 속도로 발전하고 있으며 구강스캐너시스템이 치과진료영역에서 빠르게 상용화 될 것으로 보인다.

CAD/CAM 시스템은 1960년대부터 산업분야에 사용되기 시작하여 많은 발전이 이루어졌다(Kim, 2011). 1985년 스위스의 취리히 대학에서 개발되어 사용한 CEREC 시스템은 구강스캐너를 사용한 CAD/CAM 시스템의 대표적인 예이다(Mormann, 2006). 이러한 시스템의 장점은 기존의 인상채득과 모형작업, 정밀주조 공정, 도재작업 등의 기존의 방식에서 스캔과 디자인, 가공이라는 간소화가 이루어지며 석고모형작업이 필요치 않은 것이다. 그리고 정밀 자료의 신속한 전달로 치과기공사와 치과의사의 정보전달이 원활하게 이루어지며, 인상채득 시 불편함을 호소하는 환자는 긴 체어타임과 이물감이 없어서 좋다. 또한 자료 형태로 저장되기 때문에 정확하지 못한 부분이 있어 다시 인상을 채득해야 하는 어려움 없이, 그 부분만 스캔한 후 스캔데이터를 수정할 수 있다. 또한 디지털방식의 제작으로 석고, 매몰재 등의 슬러지와 소환, 주조 등에서 발생하는 분진으로 인한 환경오염에서 해소될 수 있다. 더 나아가 간단한 보철물이 30분 이내에 완성되기 때문에 임시치아조차 필요하지 않게 되어 환자들의 내원횟수도 감소하게 된다.

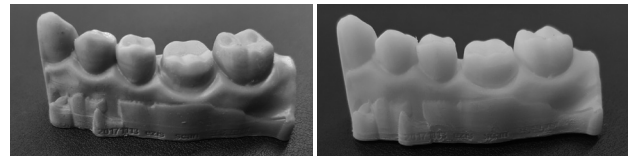
현재 CAD/CAM 시스템을 이용하여 보철물을 제작하는 방법으로는 인상채득을 하여 모형제작 후 모델 스캐너를 사용하여 스캔하고 디자인, 가공하는 방법이 실용적으로 사용되고 있으며, 일부 치과에서는 구강 내부를 스캔한 후 모형제작 없이 제작하는 방식을 사용하고 있다. 이 방식은 술자의 숙련도와 정확도를 요하지 않지만 시간이 절약되는 방법으로, 인상채득 과정 없이 데이터 간 전송으로 빠른 밀링이 가능한 장점이 있다. 미국, 일본, 독일 같은 선진 제조강국들은 이러한

M&S(Modeling and simulation) 기술 도입확대를 위해 국가적 지원체제를 구축하여 운영하고 있다(Seo, 1992; Kim, 2009; Lee, 2016; Kim, 2017). 치과기공영역도 M&S 기술을 확대하여 만성적인 인력난 해소와 고품질의 보철물을 제작할 수 있는 환경이 필요하다.

캐드캠 시스템을 사용한 보철물의 완성도가 기존 방식의 보철물들과 비교하였을 때 정확도가 떨어진다는 일반적인 인식이 있다(Kim, 2014^b). 스캔데이터만 비교할 때 선행 연구(Christoph et al, 2016; Mohammad et al, 2017)에 의하면 광학인상이 기존의 인상법 보다 정확도가 떨어진다는 보고를 하였다. 적합도 측면은 기존의 보철물 적합도와 비교 시 미흡한 적합도를 보여주는데(Francisco, 2011; Keshvad, 2011; Sarkis, 2012; Colpani, 2013), Gordon(1966)의 연구에 의하면 골드 인레이의 경우 30~40 μ m의 변연 적합도를 보인다고 보고하였으며, Yeo 등(2003)에 따르면 E.max 크라운은 46~68 μ m의 변연적합도를 보인다고 보고하였다. 반면 CAD/CAM방식의 변연 적합도 연구에서 May(1998) 등은 Procera 70 μ m, Tinschert 등(2001)은 DCS system 60~74 μ m의 오차를 Bindle 등(2005)은 Cerec inLab이 43 μ m의 오차를 보이며, Jaber (2006)는 구강 내 스캐너인 Cerec3의 오차를 46~65 μ m라 보고하였다. Farahnaz(2015)는 캐드캠시스템으로 만든 세라믹크라운의 5년 후 예후가 94%의 생존률을 보인다고 보고하여 임상적으로 문제가 없음을 보고하였다. 최근 Shota(2017)의 논문에 따르면 구치 간 폭경의 오차가 15 μ m 이내 일 정도로 구강내 스캐너의 정확도가 높아졌다. 또한 Gordon(1966)의 골드 크라운 적합도에 관한 논문에서는 90 μ m 이상의 변연 적합도를 보고하여 기존 방식은 술자에 따라 편차가 있음을 보여준다.

CAD/CAM시스템에서는 보철물, 블럭재료, 프로그램, 밀링머신의 종류에 따라 내면 파라미터를 조절하여 내면 시멘트공간을 확보 할 수 있다. 따라서 임상에서 CAD/CAM 시스템을 누구나 편리하게 사용하기 위해서는 권장되는 파라미터 값의 표준화와 오차범위에 대한 실험이 필요하다. 본 연구는 국내에서 개발된 eZIS시스템을 사용하여 만든 3D프린트 모형과 기존의 석고모형을 3차원 분석으로 비교하여 오차범위와 정확도를 평가

하였다. 또한 기존방식에 맞추어 석고모형을 기준으로 파라미터를 설정하여 제작된 크라운을, 석고모형과 3D 프린트모형에 시적하여 임상적인 적용 가능 여부를 알아보고자 하였다.



Veltz3D printing model

Bio3D printing model

Figure 2. 3D printing model

II. 연구 방법

1. 3D 프린터를 이용한 모형제작과 전통적인 방식으로 석고모형 제작 후 비교

1) 표준모델 (500 s-1, Nissin Dental, Japan)

본 연구를 위하여 삭제된 하악 좌측 제1대구치를 지대치 모델로 선정하였다.



Figure 1. # 36 Prepared Master Model

3) 석고모형 제작

표준모델에 기성 메탈 트레이로 석고모델을 제작하는 전통적인 방식을 사용하였다. #36 지대치 형성된 덴티폼 표준모델을 인상 채득(Hysil, Ostem, Korea) 후, 초경석고(Gold snow rock, Mungyo, Korea)를 사용하여 제조사의 지시대로 혼수비와 혼합시간을 적용하여 석고모형 9개를 제작하였다.



Figure 2. 3D printing model

2) 3D프린트 모형 제작

eZIS 구강스캐너(DDS Inc, Korea)로 표준모델을 스캔하였다. 이 스캐너는 사진 방식으로 병합되는 공통부분을 이어 붙이는 방식을 사용한다. 제조사가 지시하는 방식대로 1/3의 공통부분을 겹쳐서 이어 붙여 자동병합 과정을 거쳤으며, 교합면, 협면 설면 순서로 지그재그 기법을 통하여 촬영하였다. 협면 설면 촬영 시 각도는 15° 미만으로 하여 병합오류가 발생하지 않도록 하였다. 촬영이 완료된 후 병합 과정을 거쳐 STL파일을 제작하였다. 완성된 데이터를 내보내기 후 전송과정을 거쳐 3D프린트모형을 A(Bio3D)사 9개, B(Veltz3D)사 9개 의뢰하여 밀도(density) 50 μ m로 제작하였다(총 18개).

4) 3종류 모형에 대한 스캔데이터 비교

3종류의 모형(Veltz 3D모형, Bio3D모형, 석고모형)을 eZIS스캐너(DDS inc, Korea)로 1회씩 총 9회 스캔하였다. 표준모델을 같은 과정을 거쳐 1회 스캔한 후 참조 데이터로 삼았다. 표준모델을 스캔한 데이터 기준으로 3차원 분석 소프트웨어(Geomagic Qualify12, 3D systems, USA)를 통해 Veltz 3D모형, Bio3D모형과 석고모형 3개에 대한 오차를 각각 비교하였다. 3차원 분석 소프트웨어는 두 데이터를 3차원 중첩을 통해 오차를 알아내는 소프트웨어로 주로 공업용 부품의 검사나 제품 설계 오차를 찾아내는 목적으로 사용된다. 표준모델을 기준으로 석고모형 또는 3D프린트 모형을 중첩하여 그 차이를 3차원 색지도로 표현할 수 있다. 표기

최대오차는 $\pm 200\mu\text{m}$ 로 설정하고, 중첩방식은 자동으로 최대의 맞는 면적을 찾아 중첩해주는 Best-Fit-Algorithm을 사용하였다.

2. 크라운 제작을 통한 적합도 확인

1) 크라운 제작

eZIS 구강스캐너로 표준모델을 1회 스캔하였다. 레진블럭(IPS EMPRESS CAD LT A3, Ivoclar, Leichtenstein)을 사용하여 마진벽 $20\mu\text{m}$, 마진시멘트 공간 $120\mu\text{m}$, 내면시멘트 공간 $120\mu\text{m}$ 으로 설정하여 9개의 크라운을 제작하였다. 크라운 디자인은 10년 이상 경력을 가진 치과기공사가 수행되었다.

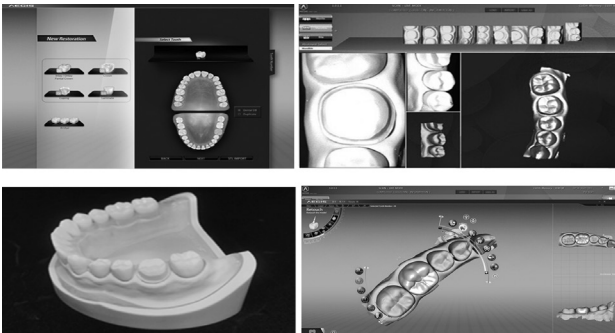


Figure 5. The parameter setting

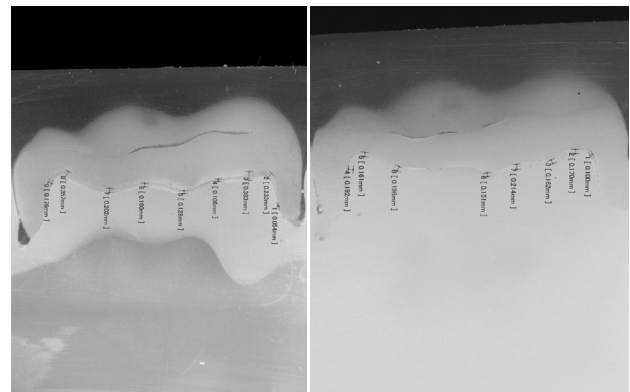


Figure 6. Completion of CAD/CAM crown

2) 크라운 내면의 시멘트 두께 측정

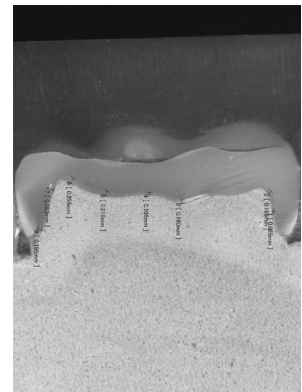
- (1) 초경석고모형 3개, A(Bio3D)사 3개, B(Veltz3D)사 3개에 제작된 크라운을 시적하였다.
- (2) 크라운의 교합면에 접착제 배출을 돕기 위해 $\text{O}2.0\text{mm}$ 크기의 구멍을 뚫는다.

- (3) 치과용 레진 접착제(Multilink speed, Ivoclar, Leichtenstein)로 개별 모형에 크라운을 영구 접착 후 잉여 접착제를 제거하였다.
- (4) 에폭시에 매몰 후 근원심 방향으로 1/2 절단하였다.
- (5) 전자현미경(VHX-1000, KEYENCE, Japan)으로 접착제 층의 두께를 분석하였다.
- (6) 근심측 마진부위와 특징적인 우각부위 8개를 지정하여 거리를 측정하고 내면오차를 기록하였다.



Bio3D model

Veltz3D model



stone model

Figure 7. Sliced aspect of Crown

3. 통계 분석

각 모형에 따른 크라운 내면적합도의 분석에 SPSS v25.0(IBM, Chicago, USA)를 이용하여 일원분산분석(One-way ANOVA)을 시행하였으며, 유의차가 있는 경우 Turkey test를 사용하여 사후검정을 시행하였다.

III. 결과

1. 표준모델, Bio3D, Veltz3D, stone model의 스캔데이터 비교측정결과

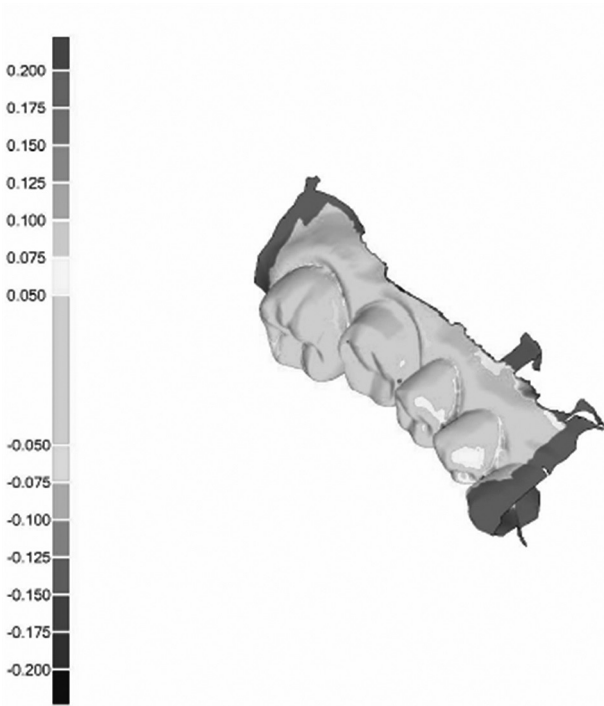


Figure 8. Representative superimposition of scanned cast(Bio3D) with reference data set(Nissin master model)

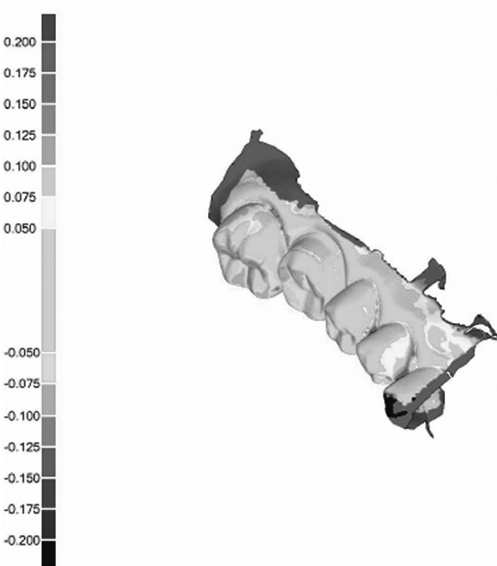


Figure 9. Representative superimposition of scanned cast(Veltz3D) with reference data set(Nissin master model)

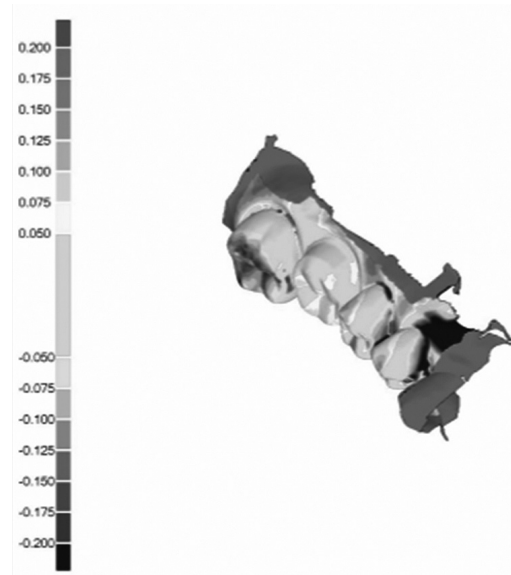
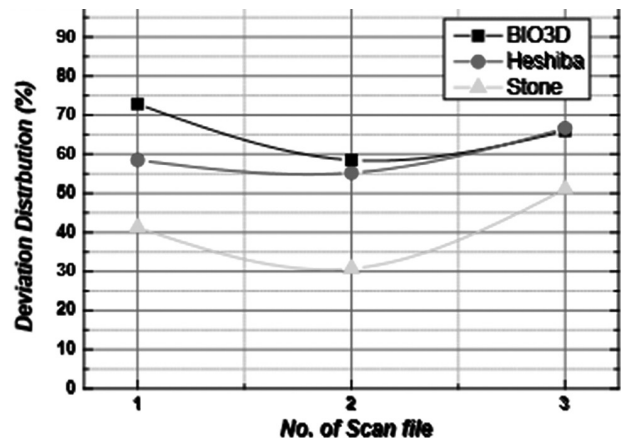


Figure 10. Representative superimposition of scanned cast(stone model) with reference data set(Nissin master model)

3차원분석(Geomagic Qualify12, 3Dsystems, USA)을 통해 200 μ m 이하의 3차원 오차를 색지도로 표현하였다. 전체적으로 석고모형의 색이 두 회사의 3D프린트 모형 보다 진한 색을 보였다(Fig. 10). 스캔데이터를 점으로 표현한 결과 모형 당 약 14만 개의 점으로 표현되었으며, 참조모형과 프린트한 모형의 양의 오차와 음의 오차 값 $\pm 50\mu$ m 이하인 점의 개수를 구하여 전체적인 일치 정도를 퍼센트로 산출하였다. Bio3D사 모형은 평균 65.75%로 가장 높게 나타났으며, Veltz3D(Hebsiba)사 모형은 평균 60.11%, 경석고(Gold snow rock, Mungyo, Korea)는 41.00%로 나타났다.

Table 1. 3D superimposing test



2. 구강스캐너의 데이터로 제작한 크라운의 적합 후 내면 레진세멘트 두께 측정 결과

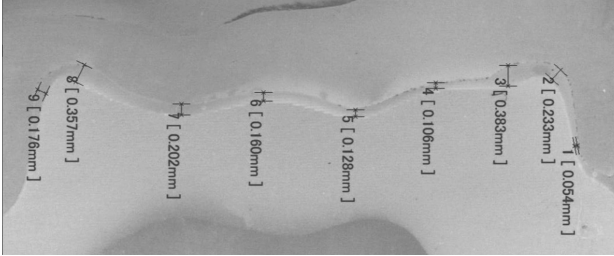


Figure 11. Position number of measurement

Table 2. Measurement of crown gap

(scale: μm)

| position | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Bio1 | 54 | 233 | 383 | 106 | 128 | 160 | 202 | 357 | 176 |
| Bio2 | 86 | 205 | 253 | 160 | 181 | 234 | 161 | 295 | 125 |
| Bio3 | 44 | 233 | 293 | 118 | 173 | 192 | 160 | 349 | 168 |
| Veltz1 | 78 | 216 | 163 | 169 | 159 | 162 | 224 | 234 | 259 |
| Veltz2 | 42 | 100 | 170 | 162 | 151 | 169 | 196 | 161 | 192 |
| Veltz3 | 67 | 100 | 192 | 160 | 176 | 140 | 106 | 167 | 148 |
| Stone1 | 65 | 166 | 122 | 148 | 160 | 106 | 216 | 258 | 283 |
| Stone2 | 59 | 124 | 268 | 169 | 152 | 114 | 150 | 186 | 210 |
| Stone3 | 91 | 98 | 216 | 132 | 125 | 121 | 105 | 92 | 142 |

Table 3. Result of One-way ANOVA

| Source of Variation | SS | df | MS | F | P-value |
|---------------------|-----------|----|----------|-------|---------|
| Between Groups | 11025.250 | 2 | 5512.625 | 2.333 | 0.122 |
| Within Groups | 49610.083 | 21 | 2362.385 | | |
| Total | 60635.333 | 23 | | | |

지대치의 절단면 우각 부위를 기준으로 특징적인 위치가 될 만한 부위를 정하여(Fig. 11) 크라운의 적합도를 측정하였다. 결과(Table 2) 협측 변연부 적합도 1부위(position 1)와 내면적합도 8부위(position 2~9)로 나타났다. 그 중 보철물의 변연 적합도와 관련이 있는 ‘position 1’ 마진 적합도 부위의 평균은 Bio3D(61.33 μm)가 가장 우수하게 나타났고 Veltz3D(62.33 μm), stone(76.66 μm) 순으로 나타났다. 전체 적합도의 평균은 stone(151.03 μm)이 가장 우수하게 나타났고 Veltz3D(157.88 μm), Bio3D(193.66 μm) 순으로 나타

났다.

3. 통계분석 결과

3종류의 모형에 따른 내면적합도의 상관관계를 분석하기 위해 일원화 분산분석을 사용하였다. ‘position1’ 부분의 마진에 해당하는 부분은 파라미터가 다르므로 내면적합도에서 제외하였으며 각 위치별 평균을 구하여 내면적합도의 자료로 삼았다. 결과 3종류의 마진 간 통계학적인 유의한 차이는 없었다($p>0.05$).

IV. 고찰

최근 심미적인 치아에 대한 요구와 수요가 높아지며 CAD/CAM을 사용한 지르코니아 크라운 제작이 늘어나고 있다. 그에 따라 스캔과정을 통해 제작된 모형이, 인상과정을 통해 제작된 석고모형과 거의 차이가 없는 정도까지 발전하였다. 하지만 아직 국내에 구강스캐너를 사용한 모델리스(modeless) 기공방식은 도입이 많이 되어 있지 않은 실정이다. 그 요인은 다양하나 기본적으로는 정확성에 대한 의문 때문일 것이다. 본 실험에서

는 정확도와 관련하여 보철물의 마진이 임상적인 오차 허용범위 내인가 확인하였으며, 모델을 3차원 중첩하여 석고와 3D프린트 모형의 정확도를 비교하여 보았다. 이는 모델리스방식의 보철물의 선택과 제작에 좋은 참고 자료가 될 것이다.

총 3가지의 실험 결과, 3차원 분석에서 3D프린트 모형과 표준모델의 오차가 가장 적게 나타났다. 회사별로는 Bio3D사의 모형이 가장 오차가 적었고, 다음이 Veltz3D사의 모형, 석고모형 순으로 나타났다. 본 실험 외에 패턴레진으로 표준모델을 인기하여 지그를 만들어 적합 시켰을 때 3D프린트 모형과 높은 적합도를 보였다. 또한 중첩 실험을 통하여 보았을 때 석고모형보다 오차가 적었으므로 3D프린트 모형의 정확도가 임상에 적용하여 쓸 수준까지 향상되었다고 판단된다. 크라운적합도 실험의 경우 석고모형과 크라운 사이의 내면적합도가 가장 우수하였다. 이 이유는 모델리스 방식으로 크라운을 제작할 때 내면 조기접촉 등의 간섭이 없도록 파라미터를 크게 설정했기 때문이며, 석고의 특성 상 경화팽창이 일어나 제작 시 설정한 cement gap을 보상 해주었기 때문이라 판단된다. 즉 본 실험에서 internal cement space로써 동일하게 설정한 값이 각 보철물의 최적의 적합도라고 판단하기에는 무리가 있다. 하지만 마진적합도는 44~86 μ m 범위로 Brawek(2013) 등의 연구(51~83 μ m)와 비슷한 결과를 보였으며, 임상적 허용 가능한 변연 적합도를 120 μ m(McLean & von Fraunhofer JA, 1971)라 볼 때 충분히 허용범위 내이며 적용 가능한 수준이다. 3차원 분석의 결과와 적합도 측정결과를 종합해 보았을 때 중첩오차가 석고가 크고 내면오차는 작으므로 석고의 팽창이 일어났다고 추측해 볼 수 있다. 앞선 연구들(Kim, 2014^a; Kim, 2014^b)에서도 석고모형이 스캔한 모형보다 전체적으로 계측점이 크게 나왔다는 것을 알 수 있었고 본 연구의 결과와 일치한 경향이 있다.

하지만 본 연구에서는 시행되지 않은 스캔 과정에서 일어난 오차를 검증하지 않고 3D프린트 모형을 제작하고 스캔하였기 때문에 스캔과정에서의 오차는 확인되지

않는다. 그러므로 스캔과정만 반복 시행하여 오차를 표준화한 연구도 필요하리라 사료된다. 또한 기존 크라운 제작과정인 소환, 주조 등의 과정을 통해 제작된 보철물과의 비교 분석 또한 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 국산제품인 eZIS 구강스캐너시스템으로 제작된 3D프린트 모형과 기존 방식의 석고모형과의 정확도 비교와 제작과정 중 내면 파라미터 값이 내면 적합도에 미치는 영향에 대한 실험을 해보았다. 그에 따라 모형의 차이를 관찰하기 위해 #36의 지대치가 삭제된 치아모형을 표준모델로 설정하여 기존방식인, 인상재로 인상을 채득하여 통상적인 방법으로 석고모형 9개를 제작하였고, eZIS 구강스캔 데이터를 이용하여 Bio3D와 Veltz3D사의 장비로 프린트모형 총 18개를 제작하였다. 프린트한 모형과 석고모형을 eZIS 구강스캐너로 스캔한 데이터를 3차원 분석을 통해 비교측정을 실시하였다. 또 보철물을 제작하였을 때의 적합도를 측정하기 위해 표준모델을 eZIS 구강스캐너로 스캔한 후 36번 크라운을 9개를 제작하였다. 그중에서 3개씩의 크라운을 석고모형과 3D프린트 모형에 치과용 접착제를 사용하여 최종접착한 후 근원심 중앙을 절단하여 내면 공간을 측정하였다.

두 가지의 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3차원 중첩 시험에서는 3D프린트 모형의 정확도 (65.75%, 60.11%)가 석고모형(41.00%)보다 적은 것으로 드러났다.
2. 동일 파라미터로 제작된 크라운의 내면적합도 측정 결과 각 모형 종류별 유의차가 없었다($p > 0.05$).

따라서 3D프린트 모형이 정확도 측면에서는 석고모형과 유사하여 임상에 적용하여 쓸 수준까지 향상되었다고 판단된다.

REFERENCES

- Bindle A, Mormann WH. Marginal and internal fit of all ceramic CAD/CAM crown-coping on chamfer preparations. *Oral Rehabil*, 32, 441-7, 2005.
- Brawek PK, Wolfart S, Endres L, Kirsten A, Reich S. The Clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow—the comparison of two systems. *Clin Oral Invest*, 17(9), 2119-2125, 2013.
- Christoph V, Georg S, Kurt J, Bert M. Comparing the accuracy of master models based on digital intra-oral scanners with conventional plaster casts. *Physics in Medicine*. 1, 20-26, 2016.
- Colpani JT. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings. *Dent Mater*, 29(2), 174-180, 2013.
- Farahnaz N. Clinical performance of CEREC AC Bluecam conservative ceramic restorations after five years—A retrospective study. *J Dent*, 43, 1076-1082, 2015.
- Francisco MR. Evaluation of the absolute marginal discrepancy of zirconia-based ceramic copings. *Prosthet Dental J*, 105, 108-114, 2011.
- Gordon JC. Marginal fit of gold inlay castings. *J Prosthet Dent*, 16(2), 297-305, 1966.
- Jaber HA. Marginal Adaptation of Cerec 3 CAD/CAM Composite Crowns Using Two Different Finish Line Preparation Designs. *J Prosthodont*, 15(3), 155-163, 2006.
- Keshvad A. Marginal gap, internal fit, and fracture load of leucite-reinforced ceramic inlays fabricated by CEREC inLab and hot-pressed techniques. *Prosthodont J*, 20, 535-540, 2011.
- Kim JH. Evaluation of Marginal Gap of Fixed Dental Prostheses Fabricated by Soft Metal Material Using Dental CAD/CAM. *JKSDH*, 14(3), 349-355, 2014.
- Kim JJ. CAD Technique trendfor Next generation. *CAD& Graphics*, 184, 122-125, 2009.
- Kim MI. An Analysis and Industrial Classification of Modeling and Simulation Service Industry. *J of KAIS*, 18(3), 185-198, 2017.
- Kim SK. CAD/CAM/CAE System Implementation Case Study in Korea, China and Japan. *J of East and Central Asian Studies*, 22(3), 79-90, 2011.
- Kim WT. Evaluation of validity of polyurethane model fabricated by intra-oral scanning method. *J Kor Acad Dent Tech*, 36(2), 91-96, 2014.
- Lee JW. Evaluation of marginal and internal gap under model-free monolithic zirconia restoration fabricated by digital intraoral scanner. *J Kor Dent Pros*, 54(3), 210-217, 2016.
- May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the procera Allceram crown. *J Prosthet Dent*, 80, 394-404, 1998.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107-111, 1971.
- Mormann WH. The evolution of the CEREC system. *American Dental Association J*, 137, 7-13, 2006.
- Mohammad AA, André VR, Ko CC, Ibrahim D. Accuracy evaluation of intraoral optical impressions: A clinical study using a reference appliance. *J Prosthet Dent*, 118(3), 400-405, 2017.
- Park NY. A Comparison of the Marginal Fidelity of Open CAM System in relation to Change

- Scale. CUP J, 2011.
- Sarkis E. Microleakage study of CEREC III restorations. King Saud University, Dental Science J, 3, 49-53, 2012.
- Seo HW. Trend and Prospect of CAD/CAM Industry. J of SEPT, 2(28), 30-34, 1992.
- Shota F. Investigation of accuracy and reproducibility of abutment position by intraoral scanners. J Prosthodont Res, 450-459, 2017.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch, Spikermann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina- and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. Oper Dent, 26(74), 367, 2001.
- Yeo IS, Yang JH, Lee JB. In vitro marginal fit of Three all-ceramic crown systems. J Prosthet Dent, 90(5), 459-64, 2003.