다양한 석고제품으로 제작한 석고 모형의 정확성의 평가: 3차원 이미지의 컴퓨터 지원 분석

김옥태

신한대학교 바이오생태보건대학 치기공학과

Three-dimensional evaluation of stone models made of various gypsum products

Wook Tae Kim

Department of Dental Technology and Science, College of Biotechnology and Health, Shinhan University, Uijeongbu, Korea

Article Info

Received September 29, 2020

Revised November 17, 2020

Accepted November 24, 2020

Corresponding Author

Wook Tae Kim

Department of Dental Technology and Science, College of Biotechnology and Health, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu 11644, Korea

E-mail: wrdeul@hanmail.net

<https://orcid.org/0000-0001-6784-6279>

*This work was supported by the 2019 sabbatical year research grant of the Shinhan University.

Purpose: This study is to evaluate the accuracy of gypsum replica models made from various gypsum products.

Methods: One main model was made of stainless steel by CNC milling process. Molds were formed from the main model, and the gypsum replica models were made using 8 types of type IV gypsum, 10 pieces each. The main model was digitized by a contact scanner (In-cise; Renishaw) and the gypsum replicas were digitized by an optical scanner (E4; 3Shape A/S). The difference between the main model and the gypsum replicas were measured by inspection software (3D Systems). One-way ANOVA was performed to evaluate the statistical significance of differences between groups. In addition, the independent sample T test was performed to determine the difference between the conventional and scannable stone group ($n=10$, $\alpha=0.05$).

Results: The root mean square of the stone models were 7.24 μm to 10.78 μm , and statistical significance was found between the two groups (SR, FR) and the other 6 groups (IS, SG, CA, CS, ER, EBG) ($p<0.05$). The accuracy of the gypsum replicas was 9.04 μm and 7.62 μm in the conventional and scannable stone group, respectively. There was statistical significance between the two groups ($p<0.01$).

Conclusion: In the limited results of this study, the product with low setting expansion and the scannable showed high accuracy. Therefore, in order to obtain a stable and accurate scan model, it is more effective in terms of accuracy to use a scannable stone with a low setting expansion.

Key Words: 3D surface model, Accuracy, Dental stones, Dimensional change

INTRODUCTION

치과 분야에서 캐드/캠(computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM) 기술의 발전은 보철물의 정확하고 일관된 제조를 가능하게 한다[1]. 일반적으로, 캐드/캠 시스템의 두 개의 디지털 워크 플로우(digital workflow)인 간접 및 직접적인 디지털화는 현 단계에서 캐드/캠으로 제작되는 치과 보철물에 사용될 수 있다[2]. 치과기공소에서 디지털화의 시작은 대부분 통상적인 인상에 치

과용 경석고를 붓고, 그 결과로 생성된 모형을 여러 가지의 광학 스캐너를 사용하여 스캔 하는 것이다[3].

치과 석고 제품은 직접적으로 치아 수복에 사용되는 것은 아니지만 많은 임상과 기공실 과정에서 사용되는 중요한 부속 재료이다[4]. 작업 모형 또는 다이는 구강의 연 조직과 경 조직의 복제 형태이고, 정확해야 하며 치수 변화에 내성이 있어야 한다[5,6]. 현재 치과 분야에서 사용되는 석고 제품은 황산 칼슘 반수화물(calcium sulfate hemihydrate)의 한 형태이고 미국 치과 협회 사양 25 (American Dental

Association Specification 25)에 따라 1~5유형으로 분류된다[7]. 어떤 유형의 석고 제품을 선택할 지는 석고모형이 사용되는 용도에 따라 달라진다[4]. 높은 강도와 낮은 팽창을 가진 Type IV 치과용 경석고는 lost-wax technique에서 모형과 다이의 제작을 위해 사용되는 주된 재료이다[8,9]. 또한, 그 재료는 캐드/캠 기술로 제작되는 보철물을 위한 주 모형과 다이의 디지털화에도 적용되고 있다.

일반적으로, 광학 스캐너를 사용하여 주 모형을 스캔할 때, 주 모형의 표면에 아무 처리를 하지 않거나 더 정밀한 3차원 표면 모형 데이터를 얻기 위해 난반사를 방지하는 이미지 분말(imaging powder)을 적용한다. 하지만 이미지 분말의 과도한 적용은 대상 물질의 표면을 왜곡시킬 수 있다. 이와 관련하여 치과 스캔용 경석고는 일반 치과 경석고의 표면에 직접적으로 이미지 분말을 살포하는 기술에 대한 대안으로 상품화되었다[10].

최근에, 치과 캐드/캠 기술에 의해 제작된 보철물의 적합도 평가와 3차원 표면 모형의 생성과 관련된 선행 연구에서, 치과 스캔용 경석고는 작업 모형 또는 다이의 제작을 위하여 사용되고 있다[10-13]. 하지만 일반적인 치과 경석고와 스캔용 경석고의 크기의 안정성에 대한 연구는 부족한 상황이다.

전통적인 방법으로 제작된 고정성 치과 보철물은 고품질을 위하여 정확하고 정밀한 인상 채득과 경석고 모형의 제조가 우선적이다[14]. 더욱이 캐드/캠 시스템에서는, 인상과 경석고 모형에 해당하는 이들의 정확한 디지털 모형이 우선되어야 한다.

따라서 이 연구의 목적은 8종류의 석고 제품으로 제작된 경석고 모형을 주 모형과 비교하여 체적상의 변화(dimensional change)의 유무에 관하여 그들의 3차원 디지털 데이터로 평가하는 것이다.

MATERIALS AND METHODS

1. 주 모형(master die)과 복제 모형(stone replica)의 제작

덴티폼(AG-3; Frasaco GmbH, Tetttnang, Germany)의 우측 상악 중절치를 3차원 모형 스캐너(E4; 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)로 스캔하였다. 스캔 데이터는 3차원 모델링 시스템(FreeForm

Modeling v12; 3D Systems, Wilmington, DE, USA)으로 옮겨졌고 가상 지대치는 햅틱 기구(Phantom Desktop; 3D Systems, Rock Hill, SC, USA)를 이용하여 형성되었다. 지대치를 형성하기 위한 치아삭제량 조건으로 절단면 삭제(2.0 mm); 측면삭제(1 mm offset); 변연 형태(1.2 mm chamfer); 측면 각도(5°)를 결정하고 다음과 같이 디자인하였다(Fig. 1). 주 모형은 가상 지대치의 데이터를 바탕으로 CNC 장비를 사용하여 스테인리스 스틸(SUS316; MPT, Gangneung,

Figure 1. Abutment design process. (A) Mark margin line; (B) create curve for offset; (C) define the upper limit of the shoulder; (D) create a margin to be a 1.5 mm shoulder; (E) overall 1 mm offset; (F) connect the pre-made margin to the offset teeth; (G) undercut check and surface finish; (H) completion.

Table 1. Dental stones used in this study

Code	Brand name	Manufacturer /Country	Manufacturer claimed		
			Type	Setting expansion	Color
SR	Ultra hard Snow rock	DK/Korea	Type IV	0.09	Sky blue
IS	Implant die stone	Talladium/USA	Type IV	0.05	Gray
SG	Super Gemma 20	Samwoo/Korea	Type IV	0.08	Ivory
FR	Fujirock EP	GC/Japan	Type IV	0.09	Golden brown
CA	CAM stone N	ERNST HINRICHS GmbH/Germany	Type IV	0.06	Reddish brown
CS	Cerec stone BC	Sirona/Germany	Type IV	0.08	Ivory
ER	Everest rock	KAVO/Germany	Type IV	0.07	Beige
EBG	Esthetic-base-gold	Dentona/Germany	Type IV	0.08	Gold

Koera)로 완성되었고, 80개의 부가형 실리콘(Deguform Plus; DeguDent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany) 인상을 주 모형으로부터 채득하였다. 복제 모형(stone replicas)의 제작에는 8종의 type IV 석고제품들이 사용되었고(Table 1), 혼합 절차는 각 제조업체의 구체적인 권장에 따라 진행되었다. 각 그룹당 10개씩, 총 80개의 복제 모형을 제작하였다.

2. 디지털화

주 모형(Fig. 2A)은 접촉식 스캐너(Incise, Renishaw; Wotton-under-Edge, Gloucestershire, UK)를 사용하여 디지털화되었다(Fig. 2B). 복제 모형들(stone replicas)은 광학식 스캐너(E4; 3Shape A/S)에 의해서 디지털화되었다(Fig. 1B).

3. 석고 모형의 정렬과 평가

주 모형을 스캔하여 생성된 3차원 모형은 CAD-reference-model (CRM)로 사용되었고 석고 모형(stone replicas)을 스캔하여 생성된 3차원 모형들은 시험모형(test 3-dimension model)으로 사용되었다(Fig. 2C). CRM과 시험 모형들을 중첩하고 Best-fit 정렬을 시행하였다(Fig. 2D) [15]. CRM과 시험모형 간의 차이는 검사 소프트웨어(Geomagic Control X; 3D Systems)에 의해 측정되었고 이들 간의 편차는 다음과 같은 공식에 의해 계산되었다[16].

$$RMS = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{1,k} - x_{2,k})^2}$$

여기서, $x_{1,k}$ 는 CRM의 측정 점 k , $x_{2,k}$ 는 시험모형의 측정 점 k , n 은 표본당 측정된 총수이다.

4. 통계 분석

정확성은 CRM과 각 석고 모형간 차이를 나타내는 root mean square (RMS) 값에 의하여 평가되었다. 데이터 분포의 정규성을 검증하기 위하여 Shapiro-Wilk test가 수행되었다. 그 결과, 측정값들의 정규 분포를 확인하는 p-value ($p > 0.05$)가 산출되었다. 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)은 그룹 간의 차이를 검사하기 위해서 시행되었다. 사후 검정은 Tukey's multiple comparison test가 시행되었고 통계적 유의수준은 0.05로 설정하였다. 독립 표본 t검정은 일반 석고 모형과 스캔용 경석고를 비교하기 위하여 사용하였다. 통계 분석은 IBM SPSS Statistics version 22.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행되었다.

RESULTS

Table 2은 8그룹을 위한 RMS의 평균 값, 표준 편차, 95% 신뢰구간에서의 상한 값과 하한 값을 보여준다. Fig. 3은 일반 경석고와 스캔용 경석고의 그룹 내 유의성과 그룹 간 유의성을 나타내고 있다. 경석고 모형의 RMS 평균은 $7.24 \mu\text{m}$ 에서 $10.78 \mu\text{m}$ 을 나타냈고 one-way ANOVA에서 통계적 유의성이 있었다($p < 0.05$). 사후 분석은 Tukey's (honestly significance difference) multiple comparison test로 수행되었으며 그 결과, 두 그룹(SR, FR)과 나머지 6그룹(IS, SG, CA, CS, ER, EBG) 간에 통계적 유의성이 나타났다($p < 0.05$). 또한, 일반 경석고(mean RMS, $9.04 \mu\text{m}$)와 스캔용 경석고(mean RMS, $7.62 \mu\text{m}$) 사이에서도 통계적 유의성이 발견되었다($p < 0.01$). 하지만 스캔용 경석고 군들 간에는 통계적 유의성이 나타나지 않았다($p > 0.09$).

Figure 2. The flowchart of experimental method. (A) Master dies and stone replicas; (B) scanners; (C), CAD-reference model and test three-dimensional (3D) model; (D), superimposition. CAD: computer-aided design, CRM: CAD-reference-model, CAM: computer-aided manufacturing.

DISCUSSION

CRM으로 사용할 3차원 모형을 얻기 위해 스테인리스 스틸 지대치는 접촉식 스캐너를 사용하였다. 이 방법으로 디지털화 과정 중 일어날 수 있는 오차(error)가 배제되었고 평가에 영향을 미치지 않았다. 복제 모형의 차이와 불규칙성은 여러 요인에 의해 발생할 수 있다. 이러한 요인으로는 인상재의 수축, 인상 트레이의 디자인, 인상 채득 기술, 경석고의 팽창이 있다. 본 연구에서, 경석고를 제외하고 동일한 인상재, 동일한 인상 트레이의 디자인, 동일한 인상 채득 방법을 사용하여, 실험 과정 중 발생할 수 있는 부정확성의 원인을 최대한 통제하였다. 복제 모형의 정확도를 평가하기 위해 컴퓨터 지원 분석을 수행하였다. 그 결과, 복제 모형의 스캔 데이터와 주 모형의 CRM 사이의 체적변화가

Table 2. Mean±standard deviation (SD) of differences between CRM and 3D models of stone replicas (n=10)

Dental stone	RMS (μm)			p-value
	Mean±SD	95% Confidence interval		
		Lower mean	Upper mean	
Conventional stone ^c				
SR ^a	10.57±1.98	9.15	11.99	<0.01
IS ^b	7.40±1.56	6.28	8.52	
SG ^b	7.38±1.65	6.20	8.56	
FR ^a	10.78±1.53	9.69	11.88	
Scannable stone ^d				
CA ^b	7.24±0.83	6.65	7.84	>0.09
CS ^b	8.34±1.18	7.49	9.18	
ER ^b	7.43±1.46	6.38	8.48	
EBG ^b	7.46±0.77	6.91	8.01	
p<0.01				

CRM: computer-aided design-reference-model, RMS: root mean square, HDS: honestly significance difference.

^{a,b,c,d}Different small letters mean significant differences by the Tukey's HSD test (p<0.05).

제한적으로 존재하는 것이 발견되었다. 이는 복제 모형의 크기가 주 모형과 100% 같지 않다는 것을 의미한다.

Persson 등[14]은 복제 모형의 정확도의 범위를 0.5~2.0 μm로 보고하였다. Cho 등[16]은 Type IV 치과용 경석고의 정확도를 내부와 마진 부위에서 각각 17 μm, 12 μm으로 기록하였다. 선행 연구에서 참조모형(CRM)과 비교된 복제 모형은 체적변화를 보였고 그들의 정확도는 다양한 값들로 제시되었다. 본 연구에서 나타난 결과와 선행 연구에서 나타난 결과의 차이는 다른 치과용 경석고, 다른 스캐너, 다른 검사 소프트웨어의 사용에서 발생한 것으로 생각된다.

일반 경석고에 비해 스캔용 경석고에서 RMS 평균값은 상대적으로 작았다. 이것은 스캔용 경석고로 제작된 복제 모형을 스캔 했을 때 일반 경석고로 제작된 복제 모형보다 더 정확한 스캔모형을 얻을 수 있다는 것을 알려준다. 스캔용 경석고의 첫 번째 장점은 일반 경석고에 더 이상 이미지 분할을 도포할 필요가 없다는 것이다. 두 번째 장점은 일반용 경석고보다 정확도가 높다는 것이다. 이것은 캐드/캠으로 제작된 수복물의 적합도와 직접적인 관계가 있다.

제한된 본 연구에서 사용된 8종류의 석고 제품 중 가장 높은 정확도를 보인 복제 모형은 CA군이고 다음으로 SG, IS, ER, EBG, CS, SR, FR 군 순이다. 특히 SR군과 FR군이 상대적으로 안 좋은 정확도를 나타낸 원인 중 하나는 경화 팽창률이 체적변화에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 하지만 일반용 경석고의 SG군과 스캔용 경석고의 CS군이 동일한 경화 팽창률을 가졌음에도 RMS값에서 유의한 차이를 보인 것은 석고 분말의 입자크기와 조밀도, 그리고 경석고 제품의 색상이 영향을 미친 것으로 생각된다. 따라서 앞으로는 스캔 데이터에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대해서 연구가 이루어질 것이다.

치과 수복물 제작을 위한 디지털 작업에서 3차원 이미지의 정확도는 수복물의 성패를 좌우하는 매우 중요한 요소이며 그 이미지는 복제 모형을 토대로 생성된다. 따라서 디지털화에 적합한 치과용 경석고를 임상가가 선택할 수 있도록 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

Figure 3. Statistical significance between each group. RMS: root mean square, HDS: honestly significance difference. ^{a,b,c,d}Different small letters mean significant differences by the Tukey's HSD test (p<0.05).

CONCLUSIONS

복제 모형이 CRM과 비교될 때, 경화 팽창률이 낮은 제품과 스캔용 경석고 군(mean RMS, 7.62 μm)에서 높은 정확도를 나타냈다. 또한 통계적 유의성이 있었다($p < 0.05$). 따라서 치과기공소(실)에서 안정적인고 정확한 스캔모형을 얻기 위해서는 경화 팽창률이 작은 스캔용 경석고를 사용하는 것이 정확도에서 더 효과적이다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Wook Tae Kim, <https://orcid.org/0000-0001-6784-6279>

REFERENCES

1. Poggio CE, Dosoli R, Ercoli C. A retrospective analysis of 102 zirconia single crowns with knife-edge margins. *J Prosthet Dent.* 2012;107:316-321.
2. Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig.* 2013;17:1201-1208.
3. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 2008;204:505-511.
4. Heshmati RH, Nagy WW, Wirth CG, Dhuru VB. Delayed linear expansion of improved dental stone. *J Prosthet Dent.* 2002;88:26-31.
5. Bailey JH, Donovan TE, Preston JD. The dimensional accuracy of improved dental stone, silverplated, and epoxy resin die materials. *J Prosthet Dent.* 1988;59:307-310.
6. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 4th ed. St. Louis (MO): Mosby, 2006.
7. American National Standards Institute, American Dental Association. Specification no. 25 for dental gypsum products. New York (NY): ANSI, 2000.
8. Anusavice KJ, Phillips RW, Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. 12th ed. St. Louis (MO): Elsevier/Saunders, 2013.
9. Winkler MM, Monaghan P, Gilbert JL, Lautenschlager EP. Comparison of four techniques for monitoring the setting kinetics of gypsum. *J Prosthet Dent.* 1998;79:532-536.
10. Alghazzawi TF, Al-Samadani KH, Lemons J, Liu PR, Essig ME, Bartolucci AA, et al. Effect of imaging powder and CAD/CAM stone types on the marginal gap of zirconia crowns. *J Am Dent Assoc.* 2015;146:111-120.
11. Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent.* 2014;112:1432-1436.
12. Yuan FS, Sun YC, Wang Y, Lü PJ. Accuracy evaluation of a new three-dimensional reproduction method of edentulous dental casts, and wax occlusion rims with jaw relation. *Int J Oral Sci.* 2013;5:155-161.
13. Mahmood DJ, Linderth EH, Vult Von Steyern P. The influence of support properties and complexity on fracture strength and fracture mode of all-ceramic fixed dental prostheses. *Acta Odontol Scand.* 2011;69:229-237.
14. Persson AS, Andersson M, Odén A, Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dent Mater.* 2008;24:1123-1130.
15. Luthardt RG, Koch R, Rudolph H, Walter MH. Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. *Dent Mater.* 2006;22:69-76.
16. Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2015;113:310-315.