디지털 광학기술인 3D 프린터로 제작된 임시수복용 레진의 두께별 색 평가

강 월, 김원기

대구보건대학교 치기공과

Color evaluation by thickness of interim restorative resin produced by digital light processing 3D printer

Wol Kang, Won-Gi Kim

Department of Dental Technology, Daegu Health College, Daegu, Korea

Article Info

Received August 18, 2021

Revised August 30, 2021

Accepted September 6, 2021

Corresponding Author

Won-Gi Kim

Department of Dental Technology, 15 Yeongsong-ro, Buk-gu, Daegu 41453, Korea

E-mail: wgkim@dhc.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0001-8642-9542>

Purpose: The purpose of this in vitro study was to measure and compare the thickness-dependent color dimensions of digital light processing (DLP) three-dimensional (3D) printer and conventional interim restorative resin.

Methods: Specimens (N=60) were fabricated using either subtractive manufacturing (S group) or DLP 3D printing (D group) material. All milled and 3D-printed specimens were allocated into three different groups (n=10) according to different thicknesses as follows: 1.0, 1.5, and 2.0 mm. Color measurements in the CIELab coordinates were made using a spectrophotometer under room light conditions (1,003 lux). The color differences (ΔE^*) between the specimen and control target data were calculated. Data were analyzed using the one-way analysis of variance (ANOVA). Post hoc comparisons were conducted using Tukey's honestly significant difference method ($\alpha=0.05$ for all tests).

Results: The ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔE^* values of interim restorative resin produced by DLP 3D printing were obtained in terms of the specimen's thickness increased compared with the increases by subtractive manufacturing. When the thickness was similar, the color difference between subtractive manufacturing and DLP 3D printing was ≥ 5.5 , which is a value required by the dentist for remanufacturing.

Conclusion: Color was influenced by the thickness of the interim restorative resin produced by DLP 3D printing.

Key Words: Color, Temporary dental restoration, Three-dimensional printing

INTRODUCTION

치과산업에서 CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacturing) 시장은 지난 20년 동안 꾸준히 발전했다. 최근에는 주요 3D (three-dimensional) 프린팅 기술의 특허 만료로 인해 3D 프린팅 기술 개발이 박차를 가하면서, 치과용 3D 프린터 기계 및 관련 프로그램과 재료의 개발이 활발히 이루어졌다. 이러한 결과로, 현재 3D 프린팅 기계는 전보다 저렴하고 높은 정확도를 나타내는 것으로 나타났다[1,2]. 3D 프린팅은 절삭가공과는 대비되는 개념으로 공식

용어는 적층 제조(additive manufacturing)라고 한다. 적층 제조 기술의 가장 큰 장점은 한 번에 여러 개의 물체를 제조할 수 있고, 절삭가공과 달리 복잡한 형상을 재현할 수 있으며, 대량 맞춤형 분산 생산 방식이 가능하다는 것이다[3].

적층제조 중에서 치과분야에서 가장 많이 사용되는 기술은 SLA (stereolithography) 와 DLP (digital light processing)이다. SLA와 DLP 기술은 경화성 포토폴리머 수조를 사용한다. 수조 내의 액체 폴리머는 빌드 플레이트(build plate)가 조금씩 올라가거나 내려가면서 빛에 노출되고, 이로 인한 중합이 이루어지는 방식이다. SLA 기술은 물체

를 제조하기 위해 레이어별로 레진을 선택적으로 조사 및 중합하여 고형화 시키는 반면에 DLP 기술은 디지털 프로젝터 스크린을 사용하여 한 번에 전체 빌드 플레이트에 걸쳐 각 레이어의 단일 이미지를 제작하는 방식이다[4,5]. 때문에 DLP 기술은 SLA에 비해 제작 시간을 단축할 수 있는데다가 비교적 저렴하다는 장점이 있어서 임시 보철물 제작에 주로 활용되고 있다[6].

임시 보철물은 주로 최종보철물을 제작하기 전 단계에 장착하는 보철물로서 형성된 치아를 보호하고, 심미와 기능의 회복 유지 및 교합과 주변 조직의 안정 등을 목표로 한다[7]. 이러한 임시 보철물은 주로 임시 수복용 레진을 사용하는데, 임시 수복용 레진은 다양한 치아 색조 재현의 어려움 및 강도와 변연 적합성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다[8,9].

최근에는 심미에 대한 수요가 높아짐에 따라 자연 치열과 조화를 이루는 색조를 가진 수복물을 만드는 것이 중요해졌다[10]. 그 중에서도 임플란트에 대한 수요가 높아지면서 임시 보철물의 장착 기간도 길게는 6개월 정도로 증가함에 따라 임시 수복용 레진의 색조 또한 그 중요성이 증가하였다[11]. 자연 치열과 조화를 이루기 위해서는 적절한 색상의 레진을 선택하는 것이 가장 중요하다. 그러나 색상이란 여러 가지 요인에 의해 색상이 다르게 나타나거나 인지될 수 있다. 특히 색상의 차이를 유발하는 빛의 흡수와 반사는 레진의 성분에 따라 다르게 나타나기도 하며, 레진의 두께에 따라 색이 달라진다는 연구도 소개되었다[12].

현재까지 레진의 색 평가에 대한 연구는 동요치 고정에 사용되는 복합레진의 색[13], 레진의 표면처리 및 기질의 종류에 따른 색 안정성[14,15], 복합 레진의 색상 및 색 안정성[16,17]과 서로 다른 두께를 가진 복합 레진의 색 비교[12] 등이 이루어져 있다. 이 중에서도 3D 프린팅으로 제작된 레진의 색에 대한 연구로는 임시수복용과 총의치 레진의 색 안정성[18,19] 등이 이루어져 있다. 그러나 DLP 프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 두께에 따른 색에 대한 연구가 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 DLP 프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 두께가 색에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

Figure 1. Designs for the study of provisional restorative resin. 3D: three-dimensional, DLP: digital light processing.

MATERIALS AND METHODS

1. 시편제작

기존 shade guide의 색상을 재현하기 위해서는 최소 1.0 mm의 도재 두께가 필요하다[20]. 도재의 금속하부구조물까지 고려했을 때 치아의 최소 삭제 두께는 약 1.5 mm 정도가 필요하고, 도재보철물에서는 도재하부구조물까지 고려해서 최소 2.0 mm의 치아 삭제가 필요하다[21]. 따라서 본 연구에서는 시편의 두께를 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm의 3 그룹으로 분류하여 색 및 색차를 측정하였다.

1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm의 임시수복용 레진 시편을 제작하기 위해 디자인 프로그램(Autodesk 123D Design; Autodesk, San Rafael, CA, USA)을 이용하여 15.0 mm의 정사각형으로 디자인하였다. 이 때, 연마 시 삭제되는 양을 고려하여 두께는 0.2 mm 증가시킨 1.2 mm, 1.7 mm, 2.2 mm의 두께로 디자인 하고 STL 파일로 저장하였다. STL 파일은 DLP 프린터와 대조군인 절삭가공 방식으로 총 60개의 시편으로 제작되었다(Fig. 1).

DLP 프린터의 시편 제작을 위해 디자인이 완료된 STL 파일을 슬라이서 프로그램에서 한 개의 시편만 바닥면과 평행하게 배치하고 지지대를 배치한 후, 100 μ m의 적층두께로 설정하였다. 그 후, ZENITH D (Dentis, Daegu, Korea)에 전용의 레진 용액(ZMD-1000B Temporary A2; Dentis)을 수조에 주입하여 각각의 두께별로 10개씩 총 30개의 시편을 출력하였다(Fig. 2). 출력이 완료된 시편은 Isopropyl alcohol (IPA) 용액(RS PRO Isopropyl Alcohol Cleaner; RS Components, Kwai Chung, Hong Kong)에서 30초 동안 여분의 레진을 제거한 후, 초음파 세척기(SD-100H; Seongdong Ultrasonic Cleaner, Seoul, Korea) 내의 IPA 용액에 담근 후 1분간 추가 세척하였다. 세척이 완료된 시편은 로우 스피드로 지지대를 제거하고 1.0 mm, 1.5

Figure 2. Digital light processing printer (ZENITH D; Dentis, Daegu, Korea).

mm, 2.0 mm의 두께로 평평한 표면을 위해 320 grit의 연마지를 이용하여 표면을 연마하였다. 절삭이 완료된 시편은 물로 세척하고 건조시킨 후에 후경화기램프(MP100; Myeong Moon Dental, Daegu, Korea)를 이용하여 10분간 최종경화를 진행하였다. 절삭가공 방식은, CAM 장비(Milling Unit M3; Zirkonzahn, Neuler, Germany)를 사용하여 PMMA (polymethyl methacrylate) 블록(Vipi Block PMMA A2; Shin Dental, Seoul, Korea)을 절삭하였다. 절삭된 시편은 로우 스피드로 지지대를 제거하고 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm의 두께로 평평한 표면을 위해 320 grit의 연마지를 이용하여 표면을 연마하였다(Fig. 3).

2. 측정도구

일률적인 시편의 두께가 형성되지 못하면 색과 색차에 영향을 줄 수 있다. 특히 지지대 제거 및 연마 과정에서 시편의 두께가 일률적으로 형성되었는지 확인하기 위해서 시편의 두께는 마이크로미터(Digital Micrometer QuantuMike; Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 무작위로 3점을 측정하여 나온 값의 평균을 사용하였다[22].

시편의 색상은 분광광도계(CM-3600A; Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 0점 조정 후, 대낮의 햇빛을 기준으로 하는 광원인 D65 (6503K) 광원을 선택하였다(Fig. 4). 또한 광택이 있는 경우에 사용되는 specular component included 측정 방식으로, 시야각은 CIE 2 degree에서 측정하였다. 측정경은 11 mm를 사용하였고, 시편은 연속으로 3번 측정해서 나온 값의 평균을 사용하였다. 측정값은 Software (SpectraMagic NX; Minolta)를 사용하여 L^* , a^* , b^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* 값을 계산하였다. 이 때, L^* 은 명도를 나타내고 0에 가까운 수치일수록 검정, 100에 가까운 수치일수록 흰색을 나타낸다. a^* 는 -60에서 +80까지의 수치로 표현되며, 0은 회색, (-)에 가까우면 녹색을 나타내

고 (+)에 가까우면 적색을 나타낸다. b^* 는 -80에서 +60까지의 수치로 (-)에 가까우면 청색을 나타내고 (+)에 가까우면 황색을 나타낸다. 또한 두 물체간의 명도 차이는 ΔL^* , 두 물체간의 녹색과 적색 차이 및 청색과 황색 차이는 Δa^* , Δb^* 로 나타내며, 두 물체간의 색상 차이는 3차원 공간에서의 거리를 나타내는 수치인 ΔE^* 값으로 나타내며 색차방정식은 다음과 같다[23].

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$(\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2, \Delta a^* = a^*_1 - a^*_2, \Delta b^* = b^*_1 - b^*_2)$$

3. 통계 분석

수집된 자료는 IBM SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였으며, 자료 처리를 위해 사용한 통계분석 방법은 다음과 같다. DLP 프린터와 절삭가공 방식으로 제작한 임시수복용 레진의 두께 간에 유의한 차이가 없는지 알아보기 위하여 독립표본 t 검정(Independent t-test)을 실시하였다. 또한 DLP 프린터와 절삭가공 방식으로 제작한 임시수복용 레진의 두께별로 색상에 유의한 차이가 있는지 검정하기 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey의 사후분석을 실시하였다.

RESULTS

1. 시편의 두께

각 그룹별로 시편의 평균 두께와 표준편차는 다음과 같다. 절삭가공 방식의 1.0 mm 두께(S1.0)의 평균과 표준편차는 $1.03 \text{ mm} \pm 0.01$ 이고, 적층가공 방식의 1.0 mm 두께(D1.0)는 $1.05 \text{ mm} \pm 0.02$ 로 독립표본 t 검정 결과, 유의확률은 0.06으로 나타나 두 그룹 사이에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 절삭가공 방식의 1.5 mm 두께(S1.5)의 평균과 표준편차는 $1.53 \text{ mm} \pm 0.01$ 이고, 적층가공 방식의 1.5 mm 두

Figure 3. Provisional restorative resin specimens.

Figure 4. Spectrophotometer (CM-3600A; Konica Minolta, Tokyo, Japan).

께(D1.5)는 $1.54 \text{ mm} \pm 0.2$ 로 독립표본 t 검정 결과, 유의확률은 0.16으로 나타나 두 그룹 사이에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 절삭가공 방식의 2.0 mm 두께(S2.0)의 평균과 표준편차는 $2.03 \text{ mm} \pm 0.02$ 이고, 적층가공 방식의 2.0 mm 두께(D2.0)는 $2.04 \text{ mm} \pm 0.2$ 로 독립표본 t 검정 결과, 유의확률은 0.12로 나타나 두 그룹 사이에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

2. 시편의 색

각 그룹별로 시편의 두께에 따른 L^* , a^* , b^* 값의 평균은 Table 1과 같다. L^* 값의 경우에는 모든 두께에서 적층 가공 그룹(D그룹)이 절삭가공 그룹(S그룹)보다 더 높은 값을 나타내는 것으로 나타났다. a^* 값의 경우에는 모든 두께에서 D그룹이 A그룹보다 더 높은 값을 나타내는 것

으로 나타났고, 비교적 회색에 가까운 값을 나타내는 것으로 나타났다. b^* 값의 경우에는 D그룹이 A그룹보다 더 높은 값을 나타내는 것으로 나타났고, 비교적 황색에 가까운 값을 나타내는 것으로 나타났다. 또한 일원배치 분산분석을 실시한 결과, L^* , a^* , b^* 값의 유의확률이 0.01보다 작게 나타나 유의수준 0.05보다 작으므로 색의 차이가 있는 것으로 나타났다. 사후분석 결과, 2.0 두께에서 a^* , b^* 값을 제외하고 모든 그룹에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. 시편의 색차

S1.0의 L^* , a^* , b^* 평균값을 target data로 사용해서 구한 각 두께별 시편의 색차는 Table 2와 같다. ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* 값은 S와 D 그룹 모두에서 두께가 증가할수록 값이 증가하였다. S1.5의 L^* , a^* , b^*

Table 1. L^* , a^* , b^* value average of the specimens

Group	N	Thickness	Mean $\pm$ SD		
			L^*	a^*	b^*
S1.0	10	1.0	67.08 ± 0.50^a	-0.87 ± 0.02^a	10.00 ± 0.29^a
S1.5	10	1.5	69.22 ± 0.13^b	-0.59 ± 0.02^b	12.52 ± 0.14^b
S2.0	10	2.0	70.18 ± 0.11^c	-0.25 ± 0.02^c	14.04 ± 0.13^c
D1.0	10	1.0	75.10 ± 0.22^d	-1.24 ± 0.05^d	7.64 ± 0.17^d
D1.5	10	1.5	76.43 ± 0.22^e	-1.06 ± 0.04^e	9.15 ± 0.22^e
D2.0	10	2.0	77.41 ± 0.09^f	-0.84 ± 0.05^e	10.21 ± 0.14^c

S1.0: subtractive manufacturing 1.0 mm thickness, S1.5: subtractive manufacturing 1.5 mm thickness, S2.0: subtractive manufacturing 2.0 mm thickness, D1.0: additive manufacturing 1.0 mm thickness, D1.5: additive manufacturing 1.5 mm thickness, D2.0: additive manufacturing 2.0 mm thickness.
SD: standard deviation.

^{a,b,c,d,e,f}: grouping information with Tukey method.

Table 2. ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* value average of the specimens

Group	Mean $\pm$ SD			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
S1.5	2.14 ± 0.13	0.28 ± 0.02	2.51 ± 0.14	3.31 ± 0.11
S2.0	3.10 ± 0.11	0.62 ± 0.02	4.03 ± 0.13	5.13 ± 0.12
D1.0	8.02 ± 0.22	-0.37 ± 0.05	-2.38 ± 0.17	8.37 ± 0.17
D1.5	9.35 ± 0.22	-0.19 ± 0.04	-0.86 ± 0.22	9.40 ± 0.20
D2.0	10.33 ± 0.09	0.03 ± 0.05	0.20 ± 0.14	10.34 ± 0.84

Target data: average L^* , a^* , b^* values of subtractive manufacturing 1.0 thick specimens. S1.5: subtractive manufacturing 1.5 mm thickness, S2.0: subtractive manufacturing 2.0 mm thickness, D1.0: additive manufacturing 1.0 mm thickness, D1.5: additive manufacturing 1.5 mm thickness, D2.0: additive manufacturing 2.0 mm thickness.

SD: standard deviation.

Table 3. ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* value average of the specimens calculated for other target data

Target data	Group	Mean $\pm$ SD			
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
S1.5	D1.5	7.17 ± 0.23	-0.47 ± 0.43	-3.38 ± 0.21	7.94 ± 0.13
S2.0	D2.0	6.15 ± 3.38	0.28 ± 2.67	-3.11 ± 2.37	8.20 ± 0.04

S1.5: subtractive manufacturing 1.5 mm thickness, S2.0: subtractive manufacturing 2.0 mm thickness.

SD: standard deviation.

Table 4. ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* value average of the specimens calculated for VITA Classical Shade Guide A2

Group	Mean $\pm$ SD			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
S1.0	11.17 $\pm$ 0.43	-0.86 $\pm$ 0.03	2.29 $\pm$ 0.27	14.38 $\pm$ 0.45
S1.5	16.38 $\pm$ 0.16	-0.59 $\pm$ 0.02	4.73 $\pm$ 0.12	17.06 $\pm$ 0.15
S2.0	17.38 $\pm$ 0.11	-0.24 $\pm$ 0.01	6.21 $\pm$ 0.09	18.46 $\pm$ 0.11
D1.0	22.26 $\pm$ 0.25	-1.25 $\pm$ 0.05	-0.14 $\pm$ 0.17	22.29 $\pm$ 0.25
D1.5	23.56 $\pm$ 0.28	-1.07 $\pm$ 0.04	1.32 $\pm$ 0.22	23.62 $\pm$ 0.29
D2.0	24.61 $\pm$ 0.08	-0.86 $\pm$ 0.05	2.41 $\pm$ 0.14	24.75 $\pm$ 0.09

Target data: VITA Classical Shade Guide A2. S1.0: subtractive manufacturing 1.0 mm thickness, S1.5: subtractive manufacturing 1.5 mm thickness, S2.0: subtractive manufacturing 2.0 mm thickness, D1.0: additive manufacturing 1.0 mm thickness, D1.5: additive manufacturing 1.5 mm thickness, D2.0: additive manufacturing 2.0 mm thickness.

SD: standard deviation.

평균값을 target data로 사용해서 구한 D1.5 시편의 색차 및 S2.0의 L^* , a^* , b^* 평균값을 target data로 사용해서 구한 D2.0 시편의 색차는 Table 3과 같다. 또한 VITA Shade Guide A2 (VITA Classical Shade Guide; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany)의 L^* , a^* , b^* 값인 52.8, 0.0, 7.8을 target data로 사용해서 구한 각 두께별 시편의 색차는 Table 4와 같다.

DISCUSSION

치아의 색을 측정하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 임상에서 가장 많이 사용되는 방법으로, 기존의 shade guide를 기준으로 술자가 비교 대조하여 측정하는 방법이다[24]. 그러나 이 방법은 술자에 숙련도에 영향을 받으며, 조건등색현상(metamerism) 등의 영향을 받을 수 있다[25]. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 분광광도계가 도입되었다. Paul 등[26]의 연구에 의하면 육안에 의한 색조 평가의 재현성이 26.6%였던 점에 비해, 분광광도계를 이용했을 때의 재현성은 83.3%인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 분광광도계를 사용하여 절삭가공으로 출력한 임시 수복용 레진과 DLP 기술로 출력한 임시 수복용 레진을 비교 평가하였다.

시편의 색차는 ΔE^* 값으로, O'Brien 등[27]은 ΔE^* 값이 1 이하일 경우에는 두 물체의 색의 차이가 우수하다고 하였고, 1보다 크지만 2 이하일 경우에는 임상적으로 허용 가능한 색차라고 하였다. 반면 3.7 이상일 경우에는 뚜렷한 색의 차이를 보이기 때문에 임상적으로 허용할 수 없다고 보고했다. 또 다른 연구에서는 치과의사가 인지하는 색차는 2.6으로 나타났고, 치과의사가 색상불일치로 재제작을 요구하는 색차는 5.5로 보고했다[28].

본 연구에서는 PMMA 블록을 절삭한 S1.0에 비해 S1.5와 S2.0의 색차는 3.31과 5.13으로 나타남으로써 두께가 증가할수록 치과의사가 인지할 수 있는 정도의 색차를 나타내는 것으로 나타났다. 반면에 S1.0에 비해 D1.0과 D1.5, D2.0의 색차는 5.5 이상으로 나타나 뚜렷한 색상불일치로 치과의사가 재제작을 요구할 만한 색차를 나타내었다. 특

히, Δa^* , Δb^* 값에 비해 ΔL^* 값의 변화가 두드러지는 것으로 나타났다. L^* 값은 명도, 즉 밝기로 레진의 채도는 상대적으로 낮아서 명도의 차이가 레진 사이의 전체적인 색차에 큰 영향을 미친다고 보고한 Seghi 등[29]의 연구와 일치한다. 이러한 차이는 재료의 제작 방법에 기인한 것으로 사료된다. S그룹은 산업 공정에서 이미 중합이 이루어진 고밀도의 중합체로 낮은 다공성과 정해진 색상을 가지고 있다[30]. 반면에 D그룹은 적층 과정과 후경화를 통해 중합이 이루어지게 됨으로써 변수에 따라 기계적 물성과 색상이 변할 수 있다. 때문에 3D 프린터로 출력된 레진의 경우 절삭용 레진에 비해 기계적 물성이 낮은 것으로 나타났으며, 이러한 문제점을 개선하기 위해 레진 내부의 단량체 중합을 유도하는 방법 등이 제시된 연구가 있다[31-33].

서로 같은 두께를 가지고 있다 하더라도 S1.5에 비해 D1.5는 7.94의 색차를 나타냈고, S2.0에 비해 D2.0은 8.20의 색차를 나타냄으로써 임상적으로 허용할 수 없는 뚜렷한 색차를 나타내었다. 이를 통해 같은 두께일지라도 D그룹과 S그룹은 뚜렷한 색상차이가 나타남을 알 수 있었고, 이는 선행연구와도 일치하는 것으로 나타났다[34]. 또한 VITA Classical Shade Guide A2에 비해 S그룹은 14.38 이상의 색차를 보였고, D그룹은 22.29 이상의 색차를 나타냄으로써 기존 shade guide와는 완전히 다른 색임을 알 수 있었다. 특히 명도의 차이는 S1.0인 11.17에 비해 D1.0이 22.26으로 약 2배정도 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 또한 S그룹이 D그룹에 비해 두께가 증가할수록 Δb^* 값의 증가폭이 더 높게 나타남으로써 b^* 값인 황색이 더 진해지는 것으로 나타났다. 이처럼 DLP 프린터로 출력한 임시 수복용 레진은 두께에 따라 색상이 달라진다는 것을 알 수 있었다. 특히 임상에서 DLP 프린터로 임시수복용 레진을 제작할 경우에는 기존의 절삭가공방식이나 VITA Classical Shade Guide A2에 비해 두께가 두꺼워질수록 색차가 증가했던 점을 고려해야 할 것이다.

본 연구의 제한점으로는 임시 수복용 레진의 조성을 자세히 분석할 수 없었다는 것이다. 그러므로 향후 연구에서는 조성성분을 알아내기 위하여 energy dispersive X-ray spectroscopy 분석 등이 필요할 것으로 사료된다.

CONCLUSIONS

본 연구는 DLP 프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 두께에 따른 색을 알아보고자, 기존의 절삭가공 방식과 비교 분석한 결과, DLP 프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 두께가 증가할수록 색차가 증가하였고, 색차는 주로 명도의 차이에 기인하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구를 통해 임상에서 임시 수복용 레진 제작 시 색상 정보를 활용하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

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

ORCID

Wol Kang, <https://orcid.org/0000-0002-1175-8170>

Won-Gi Kim, <https://orcid.org/0000-0001-8642-9542>

REFERENCES

1. Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated dental casts based on intraoral scanner data. *J Am Dent Assoc.* 2014;145:1133-1140.
2. Fathi HM, Al-Masoody AH, El-Ghezawi N, Johnson A. The accuracy of fit of crowns made from wax patterns produced conventionally (hand formed) and via CAD/CAM technology. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2016;24:10-17.
3. Oh JW, Na H, Choi H. Technology trend of the additive manufacturing (AM). *J Korean Powder Metall Inst.* 2017;24:494-507.
4. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M, Güth JF. CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int.* 2017;48:181-191.
5. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, Brix O, Stimmelmayer M, Güth JF. CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: a case report. *Quintessence Int.* 2012;43:457-467.
6. Sung YC. A study on the properties of DLP 3D printing material for surgical guide production [master's thesis]. Seoul: Sangmyung University, 2018.
7. Kim CD, Moon HS, Chung MK, Lee JH. Reinforcing the retention of provisional restoration using provisional implant on maxillary anterior region: clinical case report. *J Korean Acad Prosthodont.* 2013;51:221-225.
8. Lee YJ, Oh SC. Comparative evaluation of the subtractive and additive manufacturing on the color stability of fixed provisional prosthesis materials. *J Dent Rehabil Appl Sci.* 2021;37:73-80.
9. Park SJ, Oh MH, Kim OY, Lee KW, Um CM, Kwon HC, et al. Microleakage and shear bond strength of flowable composite resin. *Restor Dent Endod.* 2001;26:332-340.
10. Kang W, Han MS, Kim JH. Effect of CAD/CAM ceramic thickness on shade. *J Korean Soc Dent Hyg.* 2016;16:695-700.
11. Lee S. Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2016;43:93-108.
12. Jung JE, Jung KH, Son SA, Hur B, Kwon YH, Park JK. Comparison of the color of composite resins with different thickness. *Korean J Dent Mater.* 2014;41:85-93.
13. Jung JH, Cheon KJ, Oh Y, Chang HS. Color quality evaluation of composite resins used for splinting teeth. *J Korean Soc Qual Manag.* 2017;45:995-1002.
14. Park JW, Bae SS. Color stability of self-cured temporary crown resin according to different surface treatments. *J Dent Hyg Sci.* 2016;16:150-156.
15. Yu DH, Jung HJ, Choi SH, Hwang IN. Evaluation of the color stability of light cured composite resins according to the resin matrices. *Korean J Dent Mater.* 2019;46:109-120.
16. Park WH, Oh SY, Ju SW, Ahn JS. Color and translucency change by polymerization of various resin composites. *Korean J Dent Mater.* 2010;37:1-8.
17. Kim HJ, Kim KJ, Cho HW, Jin TH. The study on the color stability of composite resin. *J Korean Acad Prosthodont.* 2002;40:79-87.
18. Park SJ, Lee HA, Lee SH, Seok S, Lim BS, Kwon JS, et al. Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin. *Korean J Dent Mater.* 2019;46:139-152.
19. Gruber S, Kamnoedboon P, Özcan M, Srinivasan M. CAD/CAM complete denture resins: an in vitro evaluation of

- color stability. *J Prosthodont.* 2021;30:430-439.
20. Jacobs SH, Goodacre CJ, Moore BK, Dykema RW. Effect of porcelain thickness and type of metal-ceramic alloy on color. *J Prosthet Dent.* 1987;57:138-145.
21. Ko KH, Park JH, Cho LR. Considerations for fabrication of CAD-CAM abutments: part II. designing abutment. *J Implantol Appl Sci.* 2019;23:112-125.
22. Kang W, Park JK, Kim SR, Kim WC, Kim JH. Effects of core and veneer thicknesses on the color of CAD-CAM lithium disilicate ceramics. *J Prosthet Dent.* 2018;119:461-466.
23. Douglas RD. Color stability of new-generation indirect resins for prosthodontic application. *J Prosthet Dent.* 2000;83:166-170.
24. van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmit WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent.* 1990;63:155-162.
25. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent.* 1986;56:35-40.
26. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81:578-582.
27. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small-color-difference equation for dental shades. *J Dent Res.* 1990;69:1762-1764.
28. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* 2007;97:200-208.
29. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res.* 1989;68:1760-1764.
30. Cho WT, Choi JW. Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods. *J Korean Acad Prosthodont.* 2019;57:225-231.
31. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater.* 2018;34:192-200.
32. Mostafa KG, Arshad M, Ullah A, Nobes DS, Qureshi AJ. Concurrent modelling and experimental investigation of material properties and geometries produced by projection microstereolithography. *Polymers (Basel).* 2020;12:506.
33. Karalekas D, Aggelopoulos A. Study of shrinkage strains in a stereolithography cured acrylic photopolymer resin. *J Mater Process Technol.* 2003;136:146-150.
34. Revilla-León M, Umorin M, Özcan M, Piedra-Cascón W. Color dimensions of additive manufactured interim restorative dental material. *J Prosthet Dent.* 2020;123:754-760.