

## 여러 가지 오염원이 기존 및 3D 프린팅 레진계 인공치의 색 안정성에 미치는 영향

김서현<sup>1,2,+</sup>, 조상현<sup>1,2,+</sup>, 고혜빈<sup>1,+</sup>, 이은정<sup>1,\*</sup>, 권재성<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소

<sup>2</sup>연세대학교 치과대학 BK21 창의치의학융합 교육연구단

<sup>+</sup>공동 1저자

### Influence of various staining agents on the color stability of conventional and 3D-printed resin-based artificial teeth

Seo-Hyun Kim<sup>1,2,+</sup>, Sang-Hyun Cho<sup>1,2,+</sup>, Hye-Bin Go<sup>1,+</sup>, Eun-Jung Lee<sup>1,\*</sup>, Jae-Sung Kwon<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering,  
College of Dentistry, Yonsei university, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>BK21 FOUR Project, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Republic of Korea

<sup>+</sup>These authors contributed equally to this work

This study aimed to evaluate and compare the color stability between 3D-printed resin-based artificial teeth and conventional commercial artificial teeth when exposed to various staining agents, including Korean traditional red pepper paste. Three types of resin-based artificial teeth were used: 3D-printed teeth using NextDent C&B material and two conventional commercial products (Biotone<sup>®</sup> and Livera Anterio<sup>®</sup>). The specimens (n=120) were immersed in distilled water (control), coffee, red pepper paste, and Trypan blue for periods of 1, 3, and 5 weeks. Color measurements were performed using a spectrophotometer (VITA Easyshade<sup>®</sup>V) to record  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  values. Color differences ( $\Delta E_{00}$ ) were calculated using the CIEDE2000 formula. Statistical analysis was performed using one-way ANOVA with Tukey's post-hoc test ( $p < 0.05$ ). NextDent C&B artificial teeth showed significantly higher  $\Delta E_{00}$  values compared to commercial artificial teeth in all staining agents ( $p < 0.05$ ). The largest color changes were observed in the order of red pepper paste, coffee, Trypan blue, and distilled water for all specimens. After 5 weeks of immersion, NextDent C&B exhibited  $\Delta E_{00}$  values exceeding the clinically acceptable threshold ( $\Delta E_{00} \leq 4.1$ ) in both red pepper paste ( $8.0 \pm 1.4$ ) and coffee ( $6.6 \pm 1.0$ ) solutions. In contrast, commercial artificial teeth maintained  $\Delta E_{00}$  values below 4.1 in all staining agents throughout the study period. 3D-printed artificial teeth demonstrated inferior color stability compared to conventional commercial artificial teeth, particularly when exposed to red pepper paste and coffee. The results suggest that current 3D-printed resin-based artificial teeth require improvements in color stability before clinical application.

**Keywords** : Artificial teeth, CIEDE2000, Color stability,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Staining resistance

Seo-Hyun Kim (ORCID: 0009-0000-3292-8645)  
Sang-Hyun Cho (ORCID: 0009-0005-1502-3138)  
Hye-Bin Go (ORCID: 0000-0003-4165-656X)

\*Correspondence: Eun-Jung Lee (ORCID: 0000-0002-3177-1487) and  
Jae-Sung Kwon (ORCID: 0000-0001-9803-7730)  
50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Republic of Korea  
Affiliation: Department and Research of Institute of Dental  
Biomaterials and Bioengineering, Yonsei University College of  
Dentistry, Seoul, Republic of Korea  
Tel: +82-02-2228-3081, Fax: +82-2-2227-7907  
E-mail: EJJLEE528@yuhs.ac and jkwon@yuhs.ac

Received: Dec. 03, 2024; Revised: Dec. 18, 2024; Accepted: Dec. 18, 2024

## 서론

평균 수명이 연장되면서, 치아우식이나 치주병 등으로 인한 치아 상실이 증가하고 있다(1). 치아를 상실한 환자들은 저작 능력이 감소하게 되면서 섭취할 수 있는 음식물에 대한 제한이 생기고, 영양 섭취의 질적 저하로 인해 전반적인 건강에 위협을 받을 수 있다(2). 이러한 문제를 해결하기 위해 임플란트나 의치 등 다양한 보철 치료가 시행되고 있으나, 경제적 부담이나 의학적 제약으로 인해 많은 환자들이 의치 치료를 선택하게 된다(3).

의치 제작에서 사용되는 인공치는 재료에 따라 금속계, 세라믹계, 레진계로 구분된다. 이 중 레진계 인공치는 자연치와 유사한 심미성, 우수한 수리 용이성, 비교적 저렴한 비용으로 인해 널리 사용되고 있다(4). 그러나 레진계 인공치는 시간이 경과함에 따라 착색과 변색이 발생하여 심미성이 저하되는 문제점이 있다(5).

최근 4차 산업혁명의 영향으로 치과 분야에서도 CAD/CAM 기술이 급속도로 발전하고 있다. 특히 DLP (Digital Light Processing) 방식의 3D 프린팅 기술은 높은 정확도와 빠른 제작 속도를 바탕으로 치과 보철물 제작에 활발하게 활용되고 있다(6). DLP 방식은 광경화성 레진에 디지털 광원을 투사하여 한 층씩 적층하는 방식으로, 복잡한 형상도 정밀하게 구현할 수 있는 장점이 있다(7).

3D 프린팅 기술을 활용한 레진계 인공치 제작은 다음과 같은 이점을 가진다: 1) 환자 맞춤형 디자인이 가능하여 심미성을 향상시킬 수 있다, 2) 디지털 워크플로우를 통해 제작 시간과 비용을 절감할 수 있다, 3) 데이터 저장 및 재현이 용이하여 추후 수리나 교체가 간편하다(8, 9). 그러나 3D 프린팅으로 제작된 레진계 인공치의 임상적 적용을 위해서는 물성과 안정성에 대한 충분한 검증이 필요하다.

치과 진료에서 언급되는 심미성의 의미에는 자연치아와 비교하였을 때 유사한 색, 치아 형태, 표면 구조, 표면 광택도 등을 포함한다(10, 11). 색 안정성은 레진계 인공치의 임상적 성공을 좌우하는 중요한 요소 중 하나이다. 국제표준화기구(ISO; International Organization for Standardization)는 치과 재료의 색 안정성 평가를 위한 국제표준 'ISO 7491:2000 Dental materials - Determination of colour stability' 규격을 제정하였으나, 이는 육안 검사에 의존하는 한계가 있다(12).

육안 검사는 관찰자의 주관적인 견해가 포함될 가능성이 높아 최근에는 객관적인 평가를 위해 색차계(colorimeter) 혹은 분광 광도계(spectrophotometer)를 이용한 CIE Lab\* 색공간 측정과 CIEDE2000의 계산식이 널리 사용되고 있다(13).

선행연구들에 의하면 커피, 와인, 차 등 다양한 오염원에 대한 기존 레진계 인공치의 색 안정성은 비교적 잘 연구되어 있다(14, 15). 그러나 3D 프린팅으로 제작된 레진계 인공치의 색 안정성에 대한 연구는 매우 제한적이다. 특히 한국인의 식생활에서 빈번하게 접하는 고추장과 같은 발효식품에 대한 색 안정성 평가는 거의 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 DLP 방식으로 제작된 3D 프린팅 레진계 인공치와 기존 상업용 레진계 인공치를 다양한 오염원(커피, 고추장, Trypan blue)에 노출시켜 색 안정성을 비교 및 평가하는 것이다. 특히 오염원으로 커피, 고추장, Trypan blue를 선정하여 명도( $L^*$ ), 적색-녹색의 정도( $a^*$ ), 황색-청색의 정도( $b^*$ ) 변화에 각각 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 귀무가설은 다음과 같다: 1) 3D 프린팅 레진계 인공치와 상업용 레진계 인공치 사이에 색 안정성의 차이가 없을 것이다, 2) 오염원의 종류에 따른 색 안정성의 차이가 없을 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

#### 1) 레진계 인공치

본 실험에 사용된 레진계 인공치는 시중에 판매하는 인공치 2종(Biotone®, Livera Anterio®)과 DLP 방식의 3D 프린터로 제작한 인공치 1종(NextDent C&B)을 사용하였다(Table 1).

#### 2) 오염원

레진계 인공치를 침지 시킨 오염원으로는 커피, 고추장, Trypan blue를 사용하였으며 대조군으로는 증류수를 사용하였다(Table 2).

#### 3) 실험장비

실험 전 시편을 구강 내 환경과 유사한 조건으로 모사하기

**Table 1.** Resin-based artificial teeth used in this study

Commercial name	Shade	Manufacturer
NextDent C&B	A3.5	NextDent, Soesterberg, Netherlands
Biotone <sup>®</sup>	#62	Dentsply Sirona, York, SA, USA
Livera Anterio <sup>®</sup>	A2	Shofu, Kyoto, Japan

**Table 2.** Staining agent used in this study

Materials	Commercial name	Manufacturer
Distilled water	-	-
Coffee	KANU Mild Roast Americano	Dong Suh Food, Incheon, Korea
Red pepper paste	Glutinous rice, Taeyangcho	Haechandle, Chungcheongnam-do, Korea
Trypan blue (CAS No: 75-57-1)	Trypan blue solution, 0.4% (T8154)	Sigma Aldrich, St Louis, USA

위해 37 °C 환경의 항온수조(C-WB1, Chang Shin Scientific CO., Seoul, Korea)에서 보관하였으며, 오염원에 침지하기 전과 후의 색 변화를 관찰하기 위해 분광광도계(VITA Easyshade<sup>®</sup>V, VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)를 사용하였다.

## 2. 실험방법

### 1) 3D 프린팅 인공치 시편 제작

3D 프린터로 제작된 레진계 인공치 시편은 제조사의 지시 사항에 따라 제작되었다. 3D 프린터(NextDent 5100, NextDent, 3D Systems, Soesterberg, The Netherlands)의 매개변수는 층 두께 50 µm, 광원 파장 405 nm이었으며, 본 실험에서 사용하는 Biotone<sup>®</sup> (Dentsply Sirona, York, PA), Livera Anterio<sup>®</sup> (Shofu, Kyoto, Japan) 레진계 인공치와 유사한 모양 및 크기로 제작하였다. 3D 프린터로 출력된 시편은 전치의 형태로, 두께 8 mm, 높이 11 mm이었다. 3D 프린터로 출력된 시편은 isopropanol alcohol (IPA; Yekyun Chemtech Co., Ltd, Kimpo, Korea) 용액에서 3분간 초음파 세척하였고 (1차), 압축 공기로 건조 후 새 IPA 용액에서 2분간 초음파 세척하였다(2차). 압축 공기로 건조된 시편은 지지 구조물

제거 후 30분 동안 후경화기(LC-3D Print Box, 3D systems, Soesterberg, Netherlands)를 통해 후경화과정을 거친 후 실험에 사용하였다.

### 2) 인공치의 표면처리

모든 시편은 실험 전 다음과 같은 표면처리를 실시하였다. 색 측정 전 시편의 표면에 묻어있는 오염물을 닦기 위해 증류수로 가볍게 세척하였으며, 구강 내 환경과 유사한 조건을 모사하기 위해 100 mL 비커에 증류수 80 mL를 넣고 시편을 10개씩 침지시켜 37 °C 환경의 항온수조에서 24시간 보관하였다.

### 3) 실험군의 분류

실험군은 NextDent C&B, Livera Anterio<sup>®</sup>, Biotone<sup>®</sup>이었다. 실험군당 40개의 시편을 10개씩 나누어 각각 증류수, 커피(Dong Suh Food, Incheon, Korea), 고추장(Haechandle, Chungcheongnam-do, Korea), Trypan blue(Sigma Aldrich, St Louis, USA)에 침지시켰으며, 총 120개의 레진계 인공치를 사용하였다(Table 3). 모든 시편은 24 well plate에 한 개씩 나누어 보관하였다.

**Table 3.** Classification of experimental groups

	Distilled water	Coffee	Red pepper paste	Trypan blue	Total
NextDent C&B	n=10	n=10	n=10	n=10	n=40
Biotone <sup>®</sup>	n=10	n=10	n=10	n=10	n=40
Livera Anterio <sup>®</sup>	n=10	n=10	n=10	n=10	n=40
Total	n=30	n=30	n=30	n=30	n=120

**4) 착색 전 색 측정(initial stage)**

증류수에 침지 되어 37 °C 환경의 항온수조에서 24시간 보관된 시편을 꺼내어 증류수로 가볍게 세척하고, 거즈로 물기를 건조하였다. 분광광도계를 이용하여 착색 처리 전 색의 수치를 측정하였다. 색 측정은 시편의 3 부위(절단부, 중앙부, 치경부 각 중앙)를 1번씩 측정한 후 그 평균값을 이용하여  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값으로 기록하였다. 이때,  $L^*$ 은 명도(value)의 정도,  $a^*$ 는 적색(redness)과 녹색(greenness) 사이의 정도,  $b^*$ 는 청색(blueness)과 황색(yellowness) 사이의 정도를 나타낸다(16).

**5) 오염원 준비**

커피는 제조사의 지시 사항에 따라 증류수 100 mL당 커피 가루 0.9 g (스틱 1개)의 비율로 손으로 혼합하여 사용하였고, 고추장은 90 g에 증류수 10 mL를 넣어 페이스트 상태로 손으로 균일하게 제조하여 사용하였다(17). Trypan blue 는 어떠한 전처리 없이 용액 그대로를 사용하였다.

**6) 착색 후 색 측정**

모든 오염원은 자외선과 가시광선을 차단하는 10 mL 부피의 Amber Vial (SciLab, Seoul, Korea)에 오염원을 5 mL씩 분주하였다. 오염원 변질 방지를 위해 7일마다 오염원을 교체하였으며, 침지 후 각 7일(1주), 21일(3주) 그리고 35일(5주)이 되는 시점에 분광광도계를 이용하여 색을 측정하였다. 측정 전 시편을 증류수로 가볍게 세척하여 표면에 묻어있는 오염원을 제거한 후, 거즈로 물기를 건조한 즉시 색을 측정하였다. 색 측정은 시편의 3 부위(절단부, 중앙부, 치경부 각 중앙)를 1번씩 측정한 후 그 평균값을 이용하여  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값으로 기록하였다.

**7)  $\Delta E_{00}$  값의 계산**

색 차이를 나타내는  $\Delta E_{00}$  값의 산출 공식은 다음과 같다.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)^2}$$

L은 명도(value)의 정도, C는 채도(chroma)의 정도, H는 색상(hue)의 정도를 의미한다(16).  $S_L$ ,  $S_C$ ,  $S_H$ 는 L, C, H에서 발생할 수 있는 시각적인 불균형을 보정하기 위해 사용된 함수이며,  $K_L$ ,  $K_C$ ,  $K_H$ 는 환경에 따른 매개변수로서 값을 1로 설정하였다(8). 색 측정 단계에서 기록된  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 이용하여 L, C, H 값을 구하였고, CIEDE2000의 계산식을 통해  $\Delta E_{00}$  값을 산출하였다.

**8) 통계처리**

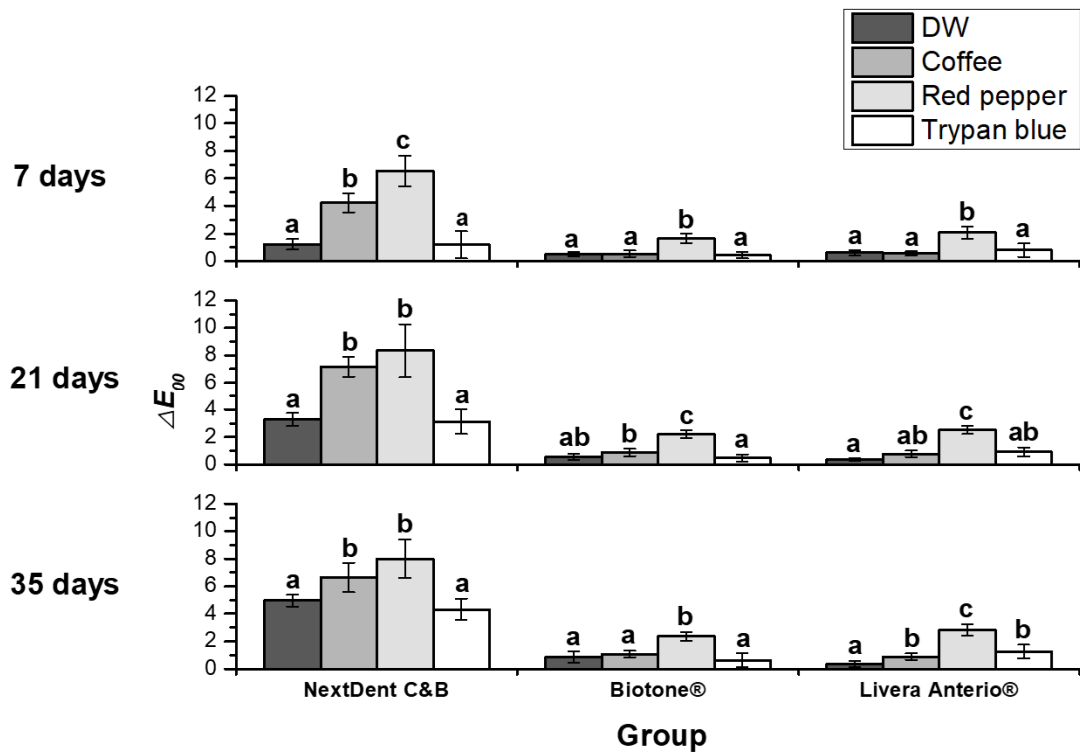
통계처리는 SPSS Statistics ver. 23.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. One-way ANOVA test를 시행하였으며, 사후 검정으로 Tukey's test를 시행하였다. 본 논문에서 사용된 모든 통계는  $p < 0.05$ 의 유의수준에서 검정하였다.

**결 과**

**1. 침지 기간별 오염원에 따른 인공치의 색 변화 (Figure 1)**

**1) 7일차(1주차)**

NextDent C&B 군에서 Trypan blue는 (1.2±1.0)의  $\Delta E_{00}$  값, 증류수는 (1.2±0.4)의  $\Delta E_{00}$  값으로 유의한 차이가 없었지만, 커피와 고추장의  $\Delta E_{00}$  값은 각각 (4.2±0.7)과 (6.5±



**Figure 1.** Graph of the  $\Delta E_{00}$  value of each artificial tooth according to contaminants by immersion duration. The letters indicate a comparison between the  $\Delta E_{00}$  value of contaminants.

1.1)로 증류수에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). Biotone<sup>®</sup> 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서  $\Delta E_{00}$  값은 각각 커피에서 ( $0.5 \pm 0.2$ )와 ( $0.6 \pm 0.1$ ), Trypan blue에서 ( $0.4 \pm 0.2$ )와 ( $0.8 \pm 0.5$ )로, 증류수 ( $0.5 \pm 0.2$ )와 ( $0.6 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값과 비교하여 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 고추장은 ( $1.6 \pm 0.4$ )와 ( $2.1 \pm 0.4$ )로 유의하게 증가하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

## 2) 21일차(3주차)

21일차는 7일차와 유사한 결과가 나타났다. NextDent C&B 군에서 Trypan blue는 ( $3.1 \pm 0.9$ )의  $\Delta E_{00}$  값, 증류수는 ( $3.3 \pm 0.5$ )의  $\Delta E_{00}$  값이 나타나 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 커피는 ( $7.2 \pm 0.7$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 고추장은 ( $8.3 \pm 1.9$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 증류수에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). Biotone<sup>®</sup> 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 커피는 각각 ( $0.9 \pm 0.3$ )과 ( $0.8 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, Trypan blue는 ( $0.5 \pm 0.3$ )과 ( $0.9 \pm 0.3$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 증류수는 ( $0.5 \pm 0.2$ )와 ( $0.4 \pm 0.1$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 유의한 차이가 나타나지 않았

지만, 고추장은 ( $2.2 \pm 0.3$ )과 ( $2.5 \pm 0.3$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 나타나 증류수에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

## 3) 35일차(5주차)

NextDent C&B 군에서 Trypan blue는 ( $4.3 \pm 0.8$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 증류수는 ( $5.0 \pm 0.4$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 Trypan blue와 증류수 간의 유의한 차이가 없었지만, 커피와 고추장은 각각 ( $6.6 \pm 1.0$ )과 ( $8.0 \pm 1.4$ )로 증류수에 비해 높은  $\Delta E_{00}$  값을 보였다( $p < 0.05$ ). Biotone<sup>®</sup> 군에서 7일차, 21일차와 유사하게 커피는 ( $1.1 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, Trypan blue는 ( $0.6 \pm 0.5$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 증류수의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.9 \pm 0.4$ )과 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 고추장의  $\Delta E_{00}$  값( $2.4 \pm 0.3$ )은 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 커피는 ( $0.9 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 고추장은 ( $2.8 \pm 0.4$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, Trypan blue는 ( $1.3 \pm 0.5$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 모든 오염원이 증류수의  $E_{00}$  값 ( $0.4 \pm 0.2$ )에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

## 2. 실험군별 침지기간에 따른 인공치의 색 변화 (Figure 2)

### 1) NextDent C&B

증류수와 Trypan blue에서 7일차는 각각 ( $1.2 \pm 0.4$ )와 ( $1.2 \pm 1.0$ ), 21일차는 ( $3.3 \pm 0.5$ )와 ( $3.1 \pm 0.9$ ), 35일차에는 ( $5.0 \pm 0.4$ )와 ( $4.3 \pm 0.8$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 침지 기간이 증가함에 따라  $\Delta E_{00}$  값이 증가하였다( $p < 0.05$ ). 커피에서 21일차는 ( $7.2 \pm 0.7$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 35일차는 ( $6.6 \pm 1.0$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값인 ( $4.2 \pm 0.7$ )에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 고추장에서 7일차는 ( $6.5 \pm 1.1$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 21일차는 ( $8.3 \pm 1.9$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 7일차에 비해 유의하게 증가했지만( $p < 0.05$ ), 35일차의  $\Delta E_{00}$  값은 ( $8.0 \pm 1.4$ )로 유의한 차이를 보이지 않았다.

### 2) Biotone®

증류수에서 35일차는 ( $0.9 \pm 0.4$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.5 \pm 0.2$ )에 비해 유의하게 증가했지만( $p < 0.05$ ), 21일차는 ( $0.5 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값과 유의한 차이를 보이지 않았다. 커피와 고추장에서 21일차는

각각 ( $0.9 \pm 0.3$ )과 ( $2.2 \pm 0.3$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 35일차는 ( $1.1 \pm 0.2$ )와 ( $2.4 \pm 0.3$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.5 \pm 0.2$ )와 ( $1.6 \pm 0.4$ )에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). Trypan blue에서는 침지 기간에 따른  $\Delta E_{00}$  값의 유의한 차이를 보이지 않았다.

### 3) Livera Anterio®

증류수에서 7일차의  $\Delta E_{00}$  값은 ( $0.6 \pm 0.2$ )로 가장 큰  $\Delta E_{00}$  값을 나타냈으며, 21일차와 35일차의  $\Delta E_{00}$  값은 각각 ( $0.4 \pm 0.1$ )과 ( $0.4 \pm 0.2$ )로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값과 유의한 차이가 나타났지만( $p < 0.05$ ). 커피에서 35일차는 ( $0.9 \pm 0.2$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.6 \pm 0.1$ )에 비해 유의하게 증가했지만( $p < 0.05$ ), 21일차의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.8 \pm 0.2$ )와는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 고추장에서 21일차와 35일차의  $\Delta E_{00}$  값은 각각 ( $2.5 \pm 0.3$ )과 ( $2.8 \pm 0.4$ )로 7일차의  $\Delta E_{00}$  값인 ( $2.1 \pm 0.4$ )에 비해 유의하게 증가하였고( $p < 0.05$ ), Trypan blue는 Biotone®과 동일하게 침지 기간에 따른  $\Delta E_{00}$  값의 유의한 차이를 보이지 않았다.

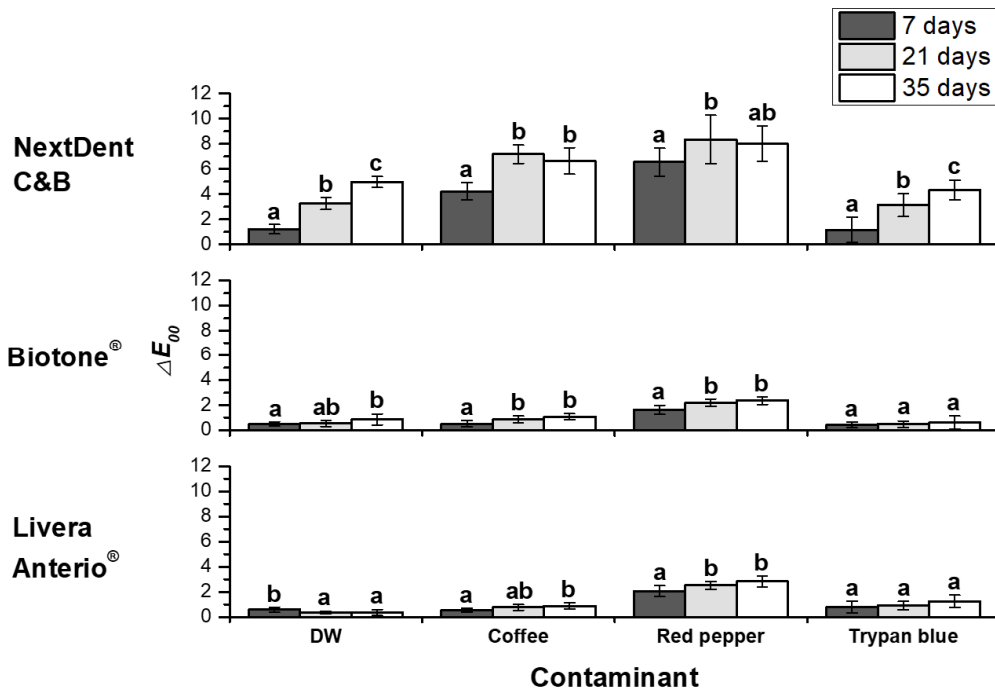


Figure 2. Graph of the  $\Delta E_{00}$  value of each artificial tooth according to immersion duration by experimental groups. The letters indicate a comparison between the  $\Delta E_{00}$  value of immersion duration.

### 3. 오염원별 실험군에 따른 인공치의 색 변화(Figure 3)

#### 1) 증류수

NextDent C&B 군은 7일차 ( $1.2 \pm 0.4$ ), 21일차 ( $3.3 \pm 0.5$ ), 35일차 ( $5.0 \pm 0.4$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 모든 침지 기간에서  $\Delta E_{00}$  값이 다른 실험 군에 비해 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 35일차에서 Biotone<sup>®</sup>의  $\Delta E_{00}$  값은 ( $0.9 \pm 0.4$ )로 Livera Anterio<sup>®</sup>의  $\Delta E_{00}$  값 ( $0.4 \pm 0.2$ )와 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

#### 2) 커피

NextDent C&B 군은 7일차 ( $4.2 \pm 0.7$ ), 21일차 ( $7.2 \pm 0.7$ ), 35일차 ( $6.6 \pm 1.0$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 모든 침지 기간에서 다른 실험 군에 비해  $\Delta E_{00}$  값이 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

#### 3) 고추장

커피와 동일하게 NextDent C&B 군은 7일차 ( $6.5 \pm 1.1$ ), 21일차 ( $8.3 \pm 1.9$ ), 35일차 ( $8.0 \pm 1.4$ )의  $\Delta E_{00}$  값으로 모든 침지 기간에서 다른 실험 군에 비해  $\Delta E_{00}$  값이 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

#### 4) Trypan blue

NextDent C&B 군은 다른 실험 군에 비해 21일차에 ( $3.1 \pm 0.9$ )의  $\Delta E_{00}$  값을, 35일차에 ( $4.3 \pm 0.8$ )의  $\Delta E_{00}$  값을 나타내어 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

### 4. $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ 값의 변화

#### 1) $L^*$ 값 변화(명도)

$L^*$  값은 명암(value)의 정도를 나타내는 지표로 값이 높을수록 밝은 것을, 낮을수록 어두운 것을 나타낸다(Table 4). NextDent C&B 군에서 증류수는 ( $84.2 \pm 0.9$ )에서 ( $90.1 \pm 0.5$ )로, Trypan blue는 ( $83.2 \pm 1.5$ )에서 ( $87.4 \pm 0.9$ )로 Baseline에 비해 35일차의  $L^*$  값이 증가하였지만( $p < 0.05$ ), 커피는 ( $84.9 \pm 0.7$ )에서 ( $79.7 \pm 1.7$ )로, 고추장은 ( $83.9 \pm 0.5$ )에서 ( $82.1 \pm 1.4$ )로 Baseline에 비해 35일차의  $L^*$  값이 감소하였다( $p < 0.05$ ). Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 증류수와 고추장, Trypan blue는 침지 기간에 따른  $L^*$  값의 유의한 차이가 없었지만, 커피는 ( $78.4 \pm 0.4$ )에서 ( $77.6 \pm 0.3$ )으로 Baseline에 비해 35일차의  $L^*$  값이 감소하였다( $p < 0.05$ ). NextDent C&B와 Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 커피는 다른 오염원과 비교하여 가장 낮은 35일차의  $L^*$  값을 가졌다( $p < 0.05$ ).

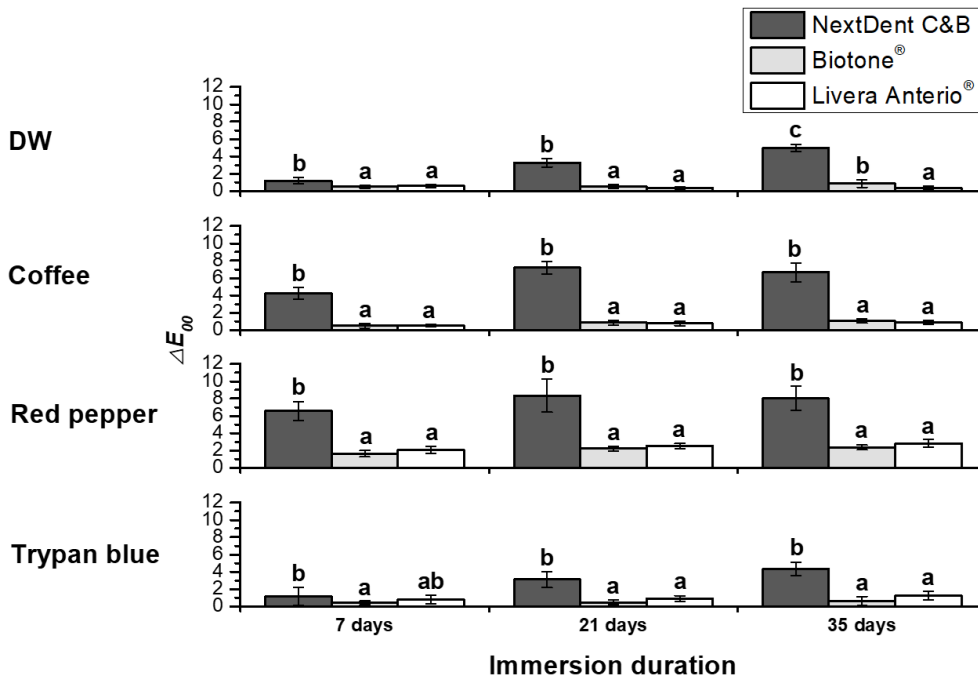


Figure 3. Graph of the  $\Delta E_{00}$  value of each artificial tooth according to experimental groups by contaminants. The letters indicate a comparison between the  $\Delta E_{00}$  value of artificial teeth.

**Table 4.** Mean and standard deviation of  $L^*$  of experimented artificial teeth.

		NextDent C&B	Biotone <sup>®</sup>	Livera Anterio <sup>®</sup>
Distilled water	Baseline	84.2±0.9 <sup>ABa</sup>	76.8±0.6 <sup>Aa</sup>	78.9±0.3 <sup>ABa</sup>
	7 days	85.9±0.6 <sup>Db</sup>	77.3±0.8 <sup>Bab</sup>	79.0±0.5 <sup>Ca</sup>
	21 days	88.5±0.6 <sup>Cc</sup>	77.1±0.6 <sup>Bab</sup>	79.0±0.3 <sup>Ba</sup>
	35 days	90.1±0.5 <sup>Dd</sup>	77.8±0.8 <sup>Bb</sup>	79.0±0.3 <sup>Ba</sup>
Coffee	Baseline	84.9±0.7 <sup>Bc</sup>	76.7±0.8 <sup>Aa</sup>	78.4±0.4 <sup>Ab</sup>
	7 days	82.0±0.9 <sup>Bb</sup>	77.1±0.5 <sup>ABa</sup>	78.3±0.5 <sup>ABb</sup>
	21 days	79.7±0.9 <sup>Aa</sup>	76.5±0.8 <sup>ABa</sup>	77.7±0.4 <sup>Aa</sup>
	35 days	79.7±1.7 <sup>Aa</sup>	76.7±0.5 <sup>Aa</sup>	77.6±0.3 <sup>Aa</sup>
Red pepper paste	Baseline	83.9±0.5 <sup>ABc</sup>	76.3±0.7 <sup>Aab</sup>	78.7±0.3 <sup>ABb</sup>
	7 days	80.2±0.9 <sup>Aa</sup>	76.4±0.5 <sup>Aab</sup>	78.1±0.4 <sup>Aa</sup>
	21 days	80.4±1.8 <sup>Aa</sup>	75.9±0.7 <sup>Aa</sup>	78.2±0.9 <sup>ABb</sup>
	35 days	82.1±1.4 <sup>Bb</sup>	76.7±0.4 <sup>Ab</sup>	79.0±0.5 <sup>Bb</sup>
Trypan blue	Baseline	83.2±1.5 <sup>Aa</sup>	76.1±0.6 <sup>Aa</sup>	79.4±0.9 <sup>Ba</sup>
	7 days	84.6±0.9 <sup>Cb</sup>	76.6±0.5 <sup>ABa</sup>	78.8±0.5 <sup>BCa</sup>
	21 days	87.1±0.6 <sup>Bc</sup>	75.8±0.7 <sup>Aa</sup>	79.2±0.4 <sup>Ba</sup>
	35 days	87.4±0.9 <sup>Cc</sup>	76.2±0.7 <sup>Aa</sup>	79.1±1.0 <sup>Ba</sup>

Upper letters indicate significant differences between contaminants. Lower letters indicate significant differences between immersion duration.

### 2) $a^*$ 값 변화(적색-녹색)

$a^*$  값은 적색(redness)와 녹색(greenness)의 정도를 나타내는 지표로 값이 높을수록 적색을, 낮을수록 녹색을 나타낸다(Table 5). NextDent C&B 군에서 증류수는 (-3.0±0.6)에서 (-6.8±0.4)로, Trypan blue는 (-3.0±0.4)에서 (-6.2±0.4)로 침지 기간이 증가함에 따라 Baseline에 비해  $a^*$  값이 감소하였다( $p<0.05$ ). 모든 실험군에서 커피와 고추장은 Baseline에 비해 35일차의  $a^*$  값이 유의하게 증가하였고, 다른 오염원과 비교하였을 때 고추장은 NextDent C&B, Biotone<sup>®</sup>, Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 각각 (4.3±1.6), (7.1±0.5), (0.9±0.5)로 가장 높은  $a^*$  값이 나타났다( $p<0.05$ ).

### 3) $b^*$ 값 변화(청색-황색)

$b^*$  값은 청색(blueness)과 황색(yellowness)의 정도를 나타내는 지표로 값이 높을수록 황색을, 낮을수록 청색을 나타낸다(Table 6). 모든 실험군에서 커피와 고추장은 Baseline에 비해 35일차의  $b^*$  값이 유의하게 증가하였다( $p<0.05$ ). Biotone<sup>®</sup>군에서 증류수는 (32.3±0.4)에서 (33.3±0.7)로

Baseline에 비해 35일차의  $b^*$  값이 증가한 반면, NextDent C&B 군에서 증류수는 (35.3±0.4)에서 (33.2±0.3)으로 Baseline에 비해 35일차의  $b^*$  값이 감소하였다( $p<0.05$ ). Biotone<sup>®</sup>과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 Trypan blue는 각각 (33.0±0.7)에서 (33.4±0.7)로, (26.8±1.1)에서 (26.8±1.3)으로 baseline과 비교하여 침지기간에 따른  $b^*$  값의 변화가 없었지만, NextDent C&B 군에서 Trypan blue는 (34.9±0.9)에서 (30.7±0.7)로 baseline과 비교하여 유의하게 감소하였다( $p<0.05$ ).

## 고찰

본 연구는 디지털 기술의 발전으로 치과 영역에서 도입되고 있는 3D 프린팅으로 제작된 레진계 인공치와 기존 상업용 레진계 인공치의 색 안정성을 비교 평가하였다. 색과 관련된 연구에서 가장 많이 사용되는 상업용 인공치 중 Biotone<sup>®</sup>과 Livera Anterio<sup>®</sup>를 선택하였고, 3D 프린팅 재료로 가장 많이



**Table 5.** Mean and standard deviation of  $a^*$  of experimented artificial teeth.

		NextDent C&B	Biotone®	Livera Anterio®
Distilled water	Baseline	-3,0±0,6 <sup>Ac</sup>	6,0±0,4 <sup>Aa</sup>	-0,3±0,1 <sup>ABa</sup>
	7 days	-3,5±0,4 <sup>Ac</sup>	6,0±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,2±0,2 <sup>Aa</sup>
	21 days	-5,0±0,4 <sup>Ab</sup>	6,2±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,2±0,2 <sup>Aa</sup>
	35 days	-6,8±0,4 <sup>Aa</sup>	6,4±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,1±0,2 <sup>Aa</sup>
Coffee	Baseline	-3,4±0,3 <sup>Ba</sup>	5,9±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,3±0,2 <sup>ABa</sup>
	7 days	-1,1±0,6 <sup>Bb</sup>	6,1±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,1±0,2 <sup>Aab</sup>
	21 days	1,4±0,6 <sup>Bc</sup>	6,1±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,1±0,2 <sup>Ab</sup>
Red pepper paste	35 days	0,9±1,1 <sup>Bc</sup>	6,6±0,3 <sup>Ab</sup>	0,1±0,2 <sup>ABb</sup>
	Baseline	-2,9±0,2 <sup>Ca</sup>	6,1±0,6 <sup>Aa</sup>	-0,4±0,2 <sup>Aa</sup>
	7 days	3,0±0,9 <sup>Cb</sup>	6,5±0,5 <sup>Bab</sup>	0,4±0,3 <sup>Bb</sup>
Trypan blue	21 days	5,1±2,2 <sup>Cc</sup>	6,9±0,4 <sup>Bab</sup>	0,6±0,3 <sup>Bbc</sup>
	35 days	4,3±1,6 <sup>Cbc</sup>	7,1±0,5 <sup>Bb</sup>	0,9±0,5 <sup>Cc</sup>
	Baseline	-3,0±0,4 <sup>Ac</sup>	6,2±0,3 <sup>Aa</sup>	-0,1±0,3 <sup>Ba</sup>
Trypan blue	7 days	-3,0±0,4 <sup>Ac</sup>	6,3±0,3 <sup>ABa</sup>	0,0±0,2 <sup>Aa</sup>
	21 days	-4,8±0,4 <sup>Ab</sup>	6,4±0,3 <sup>Aa</sup>	0,4±0,2 <sup>Bb</sup>
	35 days	-6,2±0,4 <sup>Aa</sup>	6,3±0,3 <sup>Aa</sup>	0,4±0,2 <sup>Bb</sup>

Upper letters indicate significant differences between contaminants. Lower letters indicate significant differences between immersion duration.

**Table 6.** Mean and standard deviation of  $b^*$  of experimented artificial teeth.

		NextDent C&B	Biotone®	Livera Anterio®
Distilled water	Baseline	35,3±0,4 <sup>Ac</sup>	32,3±0,9 <sup>Aa</sup>	26,3±0,6 <sup>Aa</sup>
	7 days	35,6±0,5 <sup>Ac</sup>	32,4±0,8 <sup>Aa</sup>	27,0±0,7 <sup>Aa</sup>
	21 days	34,3±0,4 <sup>Ab</sup>	33,1±0,7 <sup>Aab</sup>	26,9±0,4 <sup>Aa</sup>
	35 days	33,2±0,3 <sup>Ba</sup>	33,3±0,7 <sup>Ab</sup>	26,6±0,6 <sup>Aa</sup>
Coffee	Baseline	35,4±0,3 <sup>Aa</sup>	32,0±0,4 <sup>Aa</sup>	26,7±0,6 <sup>Aa</sup>
	7 days	43,3±4,4 <sup>Bb</sup>	32,5±0,3 <sup>Aa</sup>	27,3±0,5 <sup>Aab</sup>
	21 days	50,2±0,8 <sup>Bc</sup>	33,5±0,7 <sup>Ab</sup>	27,6±0,7 <sup>Bb</sup>
Red pepper paste	35 days	48,4±1,1 <sup>Cc</sup>	34,3±0,5 <sup>Bc</sup>	27,5±0,4 <sup>Ab</sup>
	Baseline	35,4±0,3 <sup>Aa</sup>	32,4±1,2 <sup>Aa</sup>	26,4±0,7 <sup>Aa</sup>
	7 days	47,5±1,8 <sup>Cb</sup>	36,5±1,0 <sup>Bb</sup>	30,7±0,7 <sup>Bb</sup>
Trypan blue	21 days	52,5±3,8 <sup>Bc</sup>	37,8±0,9 <sup>Bbc</sup>	31,6±0,5 <sup>Cc</sup>
	35 days	53,7±2,7 <sup>Dc</sup>	38,3±1,2 <sup>Cc</sup>	32,4±0,9 <sup>Bc</sup>
	Baseline	34,9±0,9 <sup>Ac</sup>	33,0±0,7 <sup>Aa</sup>	26,8±1,1 <sup>Aa</sup>
Trypan blue	7 days	34,5±0,5 <sup>Ac</sup>	32,9±0,8 <sup>Aa</sup>	26,8±0,7 <sup>Aa</sup>
	21 days	32,7±0,5 <sup>Ab</sup>	33,4±0,7 <sup>Aa</sup>	26,7±0,7 <sup>Aa</sup>
	35 days	30,7±0,7 <sup>Aa</sup>	33,1±0,5 <sup>Aa</sup>	26,8±1,3 <sup>Aa</sup>

Upper letters indicate significant differences between contaminants. Lower letters indicate significant differences between immersion duration.

사용되고 있는 NextDent C&B를 선택하였다. 특히 한국인의 식생활을 고려하여 고추장을 오염원에 포함시켰으며, 이는 고추장이 의치를 포함한 레진에 많은 색 변화를 일으킨다고 보고된 선행연구를 바탕으로 하였다(18, 19). 또한, 다양한 색상 변화를 평가하기 위해 커피와 Trypan blue를 오염원으로 선정하였다.

현대 치과 치료에서 심미성에 대한 환자들의 요구가 증가하면서, 인공치의 색 안정성은 더욱 중요한 요소로 대두되고 있다. 레진계 인공치는 자연치아와 유사한 심미성, 우수한 수리 용이성, 비교적 저렴한 비용 등의 장점으로 인해 가철성 의치(removable denture) 제작에 널리 사용되고 있다(16). 그러나 시간이 경과함에 따라 착색과 변색이 발생하여 심미성이 저하되는 문제점이 있다. 그렇기 때문에 레진계 인공치가 색 안정성을 가지는 것은 매우 중요한 요소이다. 특히 최근 도입되고 있는 3D 프린팅 레진계 인공치의 경우, 사용 빈도가 증가하고 있음에도 불구하고 색 안정성에 대한 연구가 매우 적은 실정이다.

레진계 인공치를 장기간 사용하게 되면 착색 및 변색이 발생하게 되고, 이 현상을 환자 및 술자의 주관적인 판단에 의해 결정하게 된다. 레진계 인공치아의 색 안정성을 평가하는 방법이 ISO 7491 Dental materials-Determination of colour stability에 제시되어 있지만 결과 평가를 육안으로 관찰하고 있어 정량적인 평가가 불가능하다. 보다 객관적인 색 안정성을 평가하기 위하여 색 변화를 측정하는 CIE94 공식을 이용할 수 있다. 이 공식은 국제 조명 위원회(CIE, International Commission on Illumination)에서 개발한 공식으로  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 이용하여 색의 변화를 계산한 식이다. 측정된 값을 이용하여 CIE의 색 공간을 통해 객관적인 수치를 얻을 수 있게 된다. 하지만 임상적으로 CIE94의 수치를 통해 색을 구분하는 것은 문제점을 가지고 있다.  $a^*$ ,  $b^*$  값이 영점에서 멀어질수록 임상적인 색의 구분에 왜곡이 발생하게 되어 CIE94의 값과 일치하지 않는다. 이를 해결하기 위해 CIEDE2000의 계산식이 개발되었다(20). CIEDE2000은 CIE94가 해결하지 못한 색 구분에 대한 왜곡을 최소화하기 위해  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 이용한 L, C, H 값을 대입하였고, 본 연구에서도 CIEDE2000을 사용하였다(21). 오염원은 대조군으로 증류수를, 실험군으로 커피, 고추장, Trypan blue를 이용하였다. 오염원은 앞서 언급한 CIEDE2000의 계산식

에서 각각  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값에 영향을 미칠 수 있는 염료를 포함한 물질로 선정하였다. 커피는 주로  $L^*$  값의 변화, 고추장은 주로  $a^*$  값의 변화, Trypan blue는 주로  $b^*$  값의 변화를 주는 오염원으로 선정되었으나, 이러한 물질들은 특정 값에만 영향을 미치지 않고 다른 색 지표에도 복합적으로 영향을 주었다(22, 23).

이 연구에서 색의 변화를 측정하기 위해 사용한 장비는 VITA Easyshade V이다. 치아의 형태는 굴곡선을 가지고 있기 때문에 치아 형태의 시편에서 색을 측정하기 위해서는 평평한 면을 측정하도록 설계된 보통의 색차계(spectrophotometer) 보다 VITA Easyshade V가 적합하다. 또한 Śmielecka M 등은 VITA Easyshade V를 이용하여 측정하는 것이 신뢰성과 반복성 부분에서 다른 분광광도계보다 더 적절하다고 말하였다(24).

최근 연구에 따르면, 치아의 색 변화 정도가  $\Delta E_{00} \leq 4.1$ 인 경우에 임상적으로 수용 가능한 것으로 여겨진다(25). 오염원에 따른  $\Delta E_{00}$  값의 변화를 보면 커피는 NextDent C&B 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 대조군인 증류수의  $\Delta E_{00}$  값과 유의한 차이를 보였다. 고추장은 모든 실험군에서  $\Delta E_{00}$  값이 가장 크게 나타났다. 이는 발효 음식이 레진계 인공치에 착색을 더 유발시킨다는 연구결과와 동일하다(26). Trypan blue는 NextDent C&B 군과 Biotone<sup>®</sup> 군에서 침지 시간이 증가함에도 대조군인 증류수의  $\Delta E_{00}$  값과 유의한 차이가 나타나지 않았지만, Livera Anterio<sup>®</sup> 군에서 35일차 Trypan blue의  $\Delta E_{00}$  값은 증류수와 유의한 차이를 보였다. 이는 M. R. Luo 등의 CIEDE2000의 계산식 개발 논문을 통해 설명이 가능하다. 색 판별 타원에 의해서  $a^*$ ,  $b^*$  값이 영점에 가까울수록 색에 대한 민감도가 향상되며, Livera Anterio<sup>®</sup> 군의  $a^*$ ,  $b^*$  값은 다른 실험군에 비해 상대적으로 낮은 값을 가지게 되어 이러한 현상이 나타난 것으로 사료된다(27, 28).

세 개의 실험군은 모든 오염원에서 침지 시간이 길어짐에 따라  $\Delta E_{00}$  값이 증가하는 경향을 보였다(29). 상업적으로 사용되는 Biotone<sup>®</sup> 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군은 미미한 차이를 보였지만, NextDent C&B 군은 유의한 차이를 보였다. Ji-Won Shin 등은 이를 2가지 이유로 나타냈다. 첫 번째, 3D 프린팅은 적층 방식으로 층이 쌓여 표면에 미세한 틈이 생겨 틈 사이 착색으로 인해 더 쉽게 색상이 변할 수 있으며, 두 번째로 3D 프린팅 레진은 다른 재료보다 낮은 중합률을

보이기 때문에 잔여 모노머의 존재로 인해 색상이 변할 수 있다(8). 이는 선행 연구와 동일하게  $L^*$  값은 향상되고  $a^*$ ,  $b^*$  값은 낮아지는 현상이 나타난 것을 확인할 수 있었다(29, 30). 대조군인 증류수를 제외한 나머지 오염원에서 침지 기간이 길어짐에 따라  $\Delta E_{00}$  값이 증가하는 현상을 보여주었다.

본 연구에서는 3D 프린팅 후 표면 연마 과정을 생략하였으나, 3D 프린팅의 경우, 표면 연마와 후경화 처리가 색 안정성을 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다. 표면 연마는 3D 프린팅 공정에서 생성되는 층간 경계와 표면의 미세한 틈을 제거하여 오염원이 침투할 수 있는 경로를 최소화하는 데 기여하며, 이를 통해 착색 물질의 흡착을 줄이고, 표면의 매끄러움을 증가시켜 색 변화에 대한 저항성을 높일 수 있다(31). 또한, 후경화 처리는 레진의 중합률을 높여 잔여 모노머의 양을 감소시키는 효과가 있다. 잔여 모노머는 착색 물질과의 화학적 반응을 통해 색 변화에 기여할 수 있으므로, 후경화 처리를 통해 이를 줄인다면 색 안정성이 향상될 것으로 예상된다(32).

실험군에 따른  $\Delta E_{00}$  값의 변화를 비교했을 때, NextDent C&B 군은 모든 오염원에서 다른 실험군보다  $\Delta E_{00}$  값이 유의하게 높은 것을 확인할 수 있었다. 상업적으로 사용되는 인공치인 Biotone<sup>®</sup> 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군은 오염원에 따라서 대조군인 증류수에 비해  $\Delta E_{00}$  값이 유의한 차이를 보였으나 모두 4.1 이하의 값을 나타내어 임상적으로 수용 가능한 수준이라 판단할 수 있다. 반면, NextDent C&B 군의  $\Delta E_{00}$  값은 4.1 초과로 임상적으로 적용하기 어렵다는 결론을 내릴 수 있다(25).

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 최근 색 관련 연구에서 많이 사용되고 있는 2종의 상업용 인공치와 1종의 3D 프린팅 레진을 사용하였으나, 이는 상업용 인공치와 3D 프린팅 레진 전체를 대표하기에는 한계가 있다. 둘째, 실제 구강 환경의 복잡한 조건을 완전히 반영하지 못했다. 온도 변화, pH 변화, 저작압, 미생물의 영향, 타액 및 단백질의 영향 등 다양한 구강 내 환경 요인들이 고려되지 않았다. 셋째, 단일 농도의 오염원을 사용하였으며, 5주(35일)라는 비교적 단기간의 관찰에 그쳤다. 실제 임상에서는 다양한 농도의 착색 물질에 장기간 노출될 수 있다. 넷째, 표면구조 미분석, 중합도 미측정, 원재료에 대한 미분석

등의 방법론적 한계가 존재한다. 향후 이러한 한계점을 고려한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

임상적 측면에서는 환자 교육과 관리가 매우 중요하다. 식습관이 인공치의 변색에 미치는 영향에 대한 체계적인 정보를 제공하고, 적절한 세척과 관리 방법을 교육해야 한다. 또한 정기적인 검진을 통해 색 변화를 모니터링하고, 필요한 경우 적절한 시기에 인공치를 교체하는 것이 바람직하다.

결론적으로 3D 프린팅 레진계 인공치의 임상 적용을 위해서는 색 안정성 개선이 선행되어야 하며, 이를 위한 연구와 기술 개발이 지속되어야 한다. 레진계 인공치의 변색은 물리적, 화학적 등의 외적인 요소로 발생한 외부변색과 내부의 레진 및 기질의 변성 등 내적인 요소로 발생한 내부변색이 있다(30). 특히 3D 프린팅 레진계 인공치에서의 색 변화는 두 가지 요인 모두에 해당하는 것으로 레진의 불완전한 중합과 표면의 거칠기가 큰 요인으로 생각된다. 재료과학적 접근과 임상적 평가가 병행되어야 하며, 환자 교육과 관리 시스템도 체계적으로 구축되어야 한다. 이러한 종합적인 접근을 통해 3D 프린팅 레진계 인공치의 임상적 활용도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구에서는 레진계 인공치(NextDent C&B, Biotone<sup>®</sup>, Livera Anterio<sup>®</sup>)를 여러 오염원(커피, 고추장, Trypan blue) 및 증류수에 침지시키고, 7일, 21일, 35일 후에 색상 변화를 측정하여  $\Delta E_{00}$  값을 계산하였고, 이를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1. 레진계 인공치를 각기 색이 다른 오염원인 커피, 고추장, Trypan blue에 35일 동안 침지했을 때 증류수와 비교하여  $\Delta E_{00}$  값의 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 나타났다. 또한, 오염원의 종류에 따라  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 의 값이 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 인공치의 종류에 관계없이 고추장에서 가장 큰  $\Delta E_{00}$  값을 나타내었다( $p < 0.05$ ).
2. 상업적으로 판매되는 Biotone<sup>®</sup> 군과 Livera Anterio<sup>®</sup> 군을 35일 동안 오염원에 침지시켰을 때 최대  $\Delta E_{00}$ 의

값은 각각 2.4와 2.8로 나타났다. 이는 임상적으로 허용될 수 있는  $\Delta E_{00} \leq 4.1$ 의 범위에 해당되지만, 3D 프린터로 제작한 NextDent C&B 군의 최대  $\Delta E_{00}$  값은 8.0으로 임상적 허용 범위를 초과하였다.

3. 본 연구에서 3D 프린터로 출력된 인공치의 색 안정성은 시중에 판매중인 상업용 레진계 인공치와 비교하여 저하됨을 확인하였다. 추후 3D 프린터로 출력된 인공치의 색 안정성에 영향을 미치는 요인과 색 안정성을 향상시키기 위한 개선방안에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이 연구의 결과는 3D 프린팅 레진계 인공치의 임상적 적용 가능성을 평가하고, 향후 개선 방향을 제시하는데 중요한 기초 자료가 될 것으로 기대된다. 또한 한국인의 식생활 특성을 고려한 색 안정성 평가는 실제 임상 환경에서의 예후 예측에 도움이 될 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 정부 (과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처전주기 의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제고유번호 : 2470000001, RS-2020-KD000261).

## 참고문헌

1. Eun-Joo Jun, Hyun-Hee Cho, Se-Yeon Kim, Han-Na Kim, Jin-Bom Kim, Association of the number of existing permanent teeth with the intake of macronutrients and macrominerals in adults aged 55-84 years based on the 5th KNHNES (2010-2012), J Korean Acad Oral Health. 2016;40(2):85-91
2. Mi-Ra Lee. The Factors Affecting the Number of Remaining Teeth in the South Korean Elderly. Journal of the Korea Academia-Industrial. 2024;25(1):156-65
3. Jung-Jin Lee, Kwang-Yeob Song, Ju-Mi Park, Appli-

cation and consideration of digital technology for removable complete denture. The Journal of Korean dental association, 2019;57(9):534-43

4. Chang-Hui Kim. 총의치에 있어서의 인공치아 선택. The Journal of the Korean dental association. 1989; 27(6):521-6
5. Kurtulmus-Yilmaz S, Deniz ST. Evaluation of staining susceptibility of resin artificial teeth and stain removal efficacy of denture cleansers. Acta Odontologica Scandinavica. 2014;72(8):811-8
6. Tsolakis IA, Papaioannou W, Papadopoulou E, Dalampria M, Tsolakis AI. Comparison in terms of accuracy between DLP and LCD printing technology for dental model printing. Dentistry journal. 2022;10 (10):181.
7. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. Scanning. 2021; 2021(1):9950131.
8. Shin J-W, Kim J-E, Choi Y-J, Shin S-H, Nam N-E, Shim J-S, et al. Evaluation of the color stability of 3D-printed crown and bridge materials against various sources of discoloration: An in vitro study. Materials. 2020; 13(23):5359.
9. Henderson JY, Koriotoh TV, Tantbiroj D, Versluis A. Failure load of milled, 3D-printed, and conventional chairside-dispensed interim 3-unit fixed dental prostheses. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2022; 127(2):275
10. Park Y-H, Ahn S-G, Kim K-A, Seo J-M. Esthetic considerations for anterior implant-supported prostheses: focus on surgical and prosthetic treatment. Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science. 2021;37(4):186-98.
11. Jong-Yeop Lee. 심미치과 개론. Journal of the Korea Academy of Esthetic Dentistry. 2005;14(2):7-10.
12. International Organization for Standardization. ISO 7491:2000. Dental materials-Determination of colour

- stability. Geneva: ISO; 2000.
13. Liberman R, Combe E, Pidcock V, Pawson C, Watts D. Development and assessment of an objective method of colour change measurement for acrylic denture base resins. *Journal of oral rehabilitation*. 1995;22(6):445-9.
  14. Reggiani MGL, Feitosa FA, De Araújo RM. Color stability of artificial teeth after exposure to acid and staining agents. *Brazilian Dental Science*. 2015;18(1):60-6.
  15. Andrei O-C, Tanasescu LA, Margarit R. Colour stability of acrylic prefabricated denture teeth in contact with alimentary staining drinks. *MATERIALE PLASTICE*. 2014;51(2):215-20.
  16. Muhammad N, Sarfraz Z, Zafar MS, Liaqat S, Rahim A, Ahmad P, et al. Characterization of various acrylate based artificial teeth for denture fabrication. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2022;33(2):17.
  17. Young-Il Lee, In-Ho Cho, Joon-Seok Lee. The effect of various foods on the color stability of artificial teeth. *J Korean Acad Prosthodont*. 2009;47(1):82-90.
  18. Seoung-Hwan Cho, Heon-Song Lim, Soo-Yeon Shin. THE EFFECT OF FERMENTED FOODS ON THE COLOR CHANGE OF SOFT DENTURE LINERS. *J Korea Acad Prosthodont*. 2004;42(5):572-82.
  19. Yeol-Mae Jeon, Heon-Song Lim, Soo-Yeon Shin. THE EFFECT OF FERMENTED FOODS ON THE COLOR AND HARDNESS CHANGE OF DENTURE BASE ACRYLIC RESINS. *J Korea Acad Prosthodont*. 2004;42(4):344-55.
  20. de Oliveira DCRS, Ayres APA, Rocha MG, Giannini M, Puppim Rontani RM, Ferracane JL, et al. Effect of Different In Vitro Aging Methods on Color Stability of a Dental Resin-Based Composite Using CIELAB and CIEDE2000 Color-Difference Formulas. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2015;27(5):322-30.
  21. Lee Y-K. Comparison of CIELAB  $\Delta E^*$  and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermo-cycling of resin composites. *Dental Materials*. 2005;21(7):678-82.
  22. Ji-Young Hwang, Hyo-Pin Jeong, Jong-Soo Jang, Suck-Jun Jang, Jin-Soo Kim. Preparation and Quality Characterization of Garlic Gochujang with Alaska Pollock Therage chalcogramma Roe. *Korean J Fish Aquat Sci*. 2017;50(3):235-42.
  23. Kulapichitr F, Borompichaichartkul C, Fang M, Suppavorasatit I, Cadwallader KR. Effect of post-harvest drying process on chlorogenic acids, antioxidant activities and CIE-Lab color of Thai Arabica green coffee beans. *Food Chemistry*. 2022;366:130504.
  24. Śmielecka M, Dorocka-Bobkowska B. Comparison of two optical devices used for artificial tooth color selection. *Dental and Medical Problems*. 2022;59(2):249-53.
  25. Coelho SR, da Silva MD, Nunes TS, Viotto HE, Marin DO, Pero AC. Effect of immersion in disinfectants on the color stability of denture base resins and artificial teeth obtained by 3D printing. *Journal of Prosthodontics*. 2024;33(2):157-63.
  26. Seoung-Hwan Cho, Heon-Song Lim, Soo-Yeon Shin. The effect of fermented foods on the color change of soft Denture liners. *J Korean Acad Prosthodont*. 2004;42(5):572-82.
  27. Luo MR, Cui G, Rigg B; Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Centre Français de la Couleur*. 2001;26(5):340-50.
  28. Luo MR, Rigg B. Chromaticity-discrimination ellipses for surface colours. *Color Research & Application*. 1986;11(1):25-42.

29. Dimitrova M, Chuchulska B, Zlatev S, Kazakova R. Colour stability of 3D-printed and prefabricated denture teeth after immersion in different colouring agents—An in vitro study. *Polymers*. 2022;14(15): 3125.
30. Hye-Jin Kim, Kwang-Jun Kim, Hye-Won Cho, Tai-Ho Jin. The study on the color stability of composite resin. *J Korean Acad Prosthodont*. 2002;40(1):79-87
33. Heeju Kim, Yujin Kim, Jongsoo Kim, Mi Ran Han, Jisun Shin, Jongbin Kim, et al. Comparison of Color Stability and Surface Roughness of 3D Printing Resin by Polishing Methods. *JOURNAL OF THE KOREA ACADEMY OF PEDIATRIC DENTISTRY*. 2023;50(2): 205-16.
32. Lee E-H, Ahn J-S, Lim Y-J, Kwon H-B, Kim M-J. Effect of post-curing time on the color stability and related properties of a tooth-colored 3D-printed resin material. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022;126:104993.

## 여러 가지 오염원이 기존 및 3D 프린팅 레진계 인공치의 색 안정성에 미치는 영향

김서현<sup>1,2,+</sup>, 조상현<sup>1,2,+</sup>, 고혜빈<sup>1,+</sup>, 이은정<sup>1,\*</sup>, 권재성<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소

<sup>2</sup>연세대학교 치과대학 BK21 창의치의학융합 교육연구단

<sup>+</sup>공동 1저자

이 연구는 3D 프린팅 레진계 인공치와 기존 레진계 인공치를 다양한 오염원(커피, 고추장, Trypan blue)에 노출시켜 색 안정성을 비교 및 평가하는 것을 목적으로 하였다. NextDent C&B 소재를 사용한 3D 프린팅 레진계 인공치와 두 가지 기존 상용 제품(Biotone<sup>®</sup> 및 Livera Anterio<sup>®</sup>) 등 세 종류의 레진계 인공치가 사용되었다. 시편(n=120)은 증류수(대조군), 커피, 고추장, Trypan blue에 1주, 3주, 5주 동안 침지되었다. 분광광도계(VITA Easyshade<sup>®</sup>V)를 사용하여  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 측정하였고, CIEDE2000 공식을 사용하여 색차( $\Delta E_{00}$ )를 계산하였다. 통계 분석은 Tukey's 사후 검정을 포함한 일원배치 분산분석을 사용하여 수행되었다( $p < 0.05$ ). NextDent C&B 인공치는 모든 오염원에서 기존 인공치에 비해 유의하게 높은  $\Delta E_{00}$  값을 보였다( $p < 0.05$ ). 모든 시편에서 가장 큰 색 변화는 고추장, 커피, Trypan blue, 증류수 순으로 관찰되었다. 5주 침지 후, NextDent C&B는 고추장( $8.0 \pm 1.4$ )과 커피( $6.6 \pm 1.0$ ) 용액 모두에서 임상적 허용 임계값( $\Delta E_{00} \leq 4.1$ )을 초과하는  $\Delta E_{00}$  값을 보였다. 반면, 기존 인공치는 연구 기간 동안 모든 오염원에서  $\Delta E_{00}$  값을 4.1 이하로 유지하였다. 3D 프린팅 인공치는 특히 고추장과 커피에 노출되었을 때 기존 상용 인공치에 비해 낮은 색 안정성을 보였다. 이러한 결과는 현재의 3D 프린팅 레진계 인공치가 임상 적용 전에 색 안정성 개선이 필요함을 시사한다.

**색인단어** : 색 안정성, 인공치, 착색 저항성, CIEDE2000,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$