

Original Article

Color Stability of Alkasite Restorative Material: *in vitro* Studies

Jihye Ahn, Sangho Lee, Nanyoung Lee, Hyewon Shin, Myeongkwan Jih

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea

Abstract

The purpose of this study is to compare the color stability of alkasite and other restorative materials commonly used in the field of pediatric dentistry and to study a color change in response to various beverages. Test specimens of glass ionomer, resin modified glass ionomer, alkasite restorative material, and composite resin were prepared, and the color stability was measured after thermocycling. Each specimen was also subdivided into 5 groups and submerged in PBS, coffee, green tea, coke, and orange juice to analyze the color change from the original CIE $L^*a^*b^*$ values after 7, 14, 21, and 28 days. Composite resin showed the best color stability after thermocycling, followed by alkasite restorative material, glass ionomer, and resin modified glass ionomer. Submerging in various beverages for 7 days resulted in color change in all test specimens, with alkasite restorative material showing less color change than glass ionomer but greater change than composite resin. Alkasite restorative material showed the greatest color change in coffee, followed by green tea and orange juice, but almost no change in coke and PBS even after 28 days of submersion. [J Korean Acad Pediatr Dent 2022;49(4):428-441]

Keywords

Alkasite restorative, Color stability, Staining solutions, Spectrophotometer

ORCID

Jihye Ahn

<https://orcid.org/0000-0001-5305-8263>

Sangho Lee

<https://orcid.org/0000-0003-2513-6871>

Nanyoung Lee

<https://orcid.org/0000-0002-4738-9389>

Hyewon Shin

<https://orcid.org/0000-0002-5581-2087>

Myeongkwan Jih

<https://orcid.org/0000-0001-9579-076X>

Article history

Received August 8, 2022

Revised September 21, 2022

Accepted September 23, 2022

© 2022 Korean Academy of Pediatric Dentistry

© 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.

서론

치과 임상 분야에서 심미에 대한 환자의 관심이 증가함에 따라 단순한 수복의 기능을 넘어 심미성까지 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 수복재료에 대한 요구가 증가되었다[1]. 손상된 치아를 자연스럽게 수복하기 위한 재료선택에 있어 매끄러운 표면과 자연치에 가까운 색상은 필수적인 조건이며, 이러한 점을 고려하여 글라스아이오노머 시멘트와 복합레진이 심미성 수복재료로 널리 사용되고 있다[1,2].

Corresponding author: Myeongkwan Jih

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 61452, Republic of Korea

Tel: +82-62-220-3868 / Fax: +82-62-225-8240 / E-mail: mdenti@chosun.ac.kr

Funding information

This study was supported by research fund from Chosun University, 2020.

복합레진은 우수한 조작성과 뛰어난 심미성을 지니고 있어 대부분의 수복치료에서 추천되는 재료이다[3,4]. 그러나 술식에 민감한 접착제의 적용 단계, 중합수축으로 인한 미세누출, 높은 마모율, 변색 및 세포 독성 등의 단점이 존재한다[5]. 글라스아이오노머 시멘트는 치질에 접착하는 성질과 불소를 유리하는 항우식 기능 등이 뛰어나 우식활성도가 높은 소아환자에게서 효과적으로 사용된다. 하지만 초기 수분 민감성, 긴 경화시간, 낮은 굴곡 및 압축 강도, 거친 표면 질감과 같은 물리적 특성이 부족하다는 단점이 있다[6]. 최근 글라스아이오노머 시멘트의 단점을 보완하여 알카자이트라는 새로운 계열의 수복재가 소개되었다[7]. 방사선 불투과성의 이원중합형 재료인 이 수복재는 Calcium Fluoro-Silicate glass 성분의 Alkaline 필러를 포함하고 있어 다량의 불소와 칼슘 이온 뿐 아니라, 산을 중화하는 수산화 이온을 방출한다. 또한 복합레진과 유사한 강도 및 우수한 심미성으로 인해 유치 수복과 영구치의 I, II, V급 수복 시 사용된다[8].

수복재료는 시간이 지남에 따라 광학적, 물리적 특성이 변하며 외인성 및 내인성 요인에 의해 색상의 변화가 존재한다[9]. 따라서 수복재료는 초기뿐만 아니라 수복 후에도 수년간 심미적 외관을 유지할 수 있어야 한다[10]. 이전까지는 복합레진 기반의 서로 다른 심미 수복재료에 대한 색 안정성 연구는 다양하게 이루어져 왔으나, 다른 여러 수복재와 알카자이트 수복재 사이의 색 안정성 대한 명확한 비교 및 평가에 대한 연구는 많지 않았다.

이 연구에서는 소아치과 영역에서 널리 사용되고 있는 서로 다른 종류의 글라스아이오노머 시멘트와 알카자이트 수복재, 그리고 복합레진을 대상으로 분광광도계와 CIE $L^*a^*b^*$ 비색계를 이용하여 색 안정성 및 색상 변화의 차이를 평가하고자 한다.

연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 수복 재료

글라스아이오노머 시멘트인 Riva Self Cure (SDI, Victoria, Australia)와 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트 Fuji II LC (GC Corporation, Tokyo, Japan), 알카자이트 수복재인 Cention N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), 복합레진 Filtek™ Z350XT (3M ESPE, St. Paul, USA)를 사용하였다. 색조는 모두 A2 shade를 사용하였다. 연구에 사용된 수복재료와 성분은 Table 1과 같다.

2) 인공타액

구내 환경을 재현하기 위해 ten Cate와 Duijsters[11]가 고안한 방법으로 인공타액(1.5 mM CaCl₂, 0.9 mM NaH₂PO₄, 0.15 mM KCl, pH 7.0)을 제조하였다.

Table 1. Materials used in this study and classification of each group

Group	Material	Brand name	Manufacturer	Composition
RMGIC	Resin-modified glass ionomer cement	Fuji GIC LC capsule	GC Corporation, Tokyo, Japan	HEMA, Polybasic carboxylic acid
GIC	Conventional glass ionomer cement	Riva Self Cure capsule	SDI, Victoria, Australia	Powder: Aluminium fluorsilicate, Polyacrylic acid Liquid: Polyacrylic acid and tartaric acid
ARM	Alkaside restorative material	Cention N	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Powder: Calcium fluoro-silicate glass, Barium glass, Calcium-barium-aluminium fluoro-silicate glass, Iso-fillers, Ytterbium trifluoride, initiator Liquid: UDMA, DCP, Aromatic aliphatic-UDMA, PEG-400DMA, Additives, Initiator, Stabilizer
CR	Composite resin	Filtek™ Z350XT	3M ESPE, St. Paul, USA	BIS-GMA, BIS-EMA, PEGDMA, TEGDMA, UDMA

RMGIC = Resin-modified glass ionomer cement, GIC = Conventional glass ionomer cement, ARM = Alkaside restorative material, CR = Composite resin. HEMA (hydroxyethyl methacrylate), UDMA (urethane dimethacrylate), DCP (tricyclodecandimethanoldimethacrylate), Aromatic aliphatic-UDMA (tetramethylxylendiurethane dimethacrylate), PEG-400 DMA (polyethylene glycol 400 dimethacrylate), Bis-GMA (bisphenol A glycidyl dimethacrylate), Bis-EMA (etoxylated bisphenol A glycol dimethacrylate), PEGDMA (polyethylene glycol dimethacrylate), TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate).

3) 착색 용액

커피, 녹차, 콜라, 오렌지주스를 착색 용액으로, 인산완충식염수(PBS) 용액을 대조군으로 사용하였다(Table 2). 실험에 사용된 커피, 녹차 용액은 제조사의 권장 사용법에 따라 혼합하였으며, PBS 용액과 콜라 및 오렌지주스는 25°C 상온에서 일정시간 이상 보관하였다.

4) 측정 기구

색상 변화는 VITA Easyshade®V (Serial No. 50741, VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)를 사용하여 측정하였다.

2. 연구 방법

1) 시편 제작

직경 8.0 mm, 높이 2.0 mm의 플라스틱 주형을 사용하여 각 수복재료별로 60개의 시편을 제작하였다. 제조사의 지시에 따라 Resin-modified glass ionomer cement (RMGIC), Conventional glass ionomer cement (GIC)군은 Capsule mixer를, Alkaside restorative material (ARM)군은 plastic spatula를 이용하여 혼합하였으며, Composite resin (CR)군은 바로 주형 내로 주입한 후, 상, 하면에 슬라이드 글라스를 위치시켜 압력을 가해 기포 형성 없이 평평한 표면을 얻었다. 화학적으로 활성화된 GIC군은 제조사의 지침에 따라 일정 시간 동안 경화되도록 허용하였다. 나머지 군들은 LED 광중합기 VALO® (Ultradent, South Jordan, UT, USA)를 사용하여, 제조사의 지침에 따라 상, 하면에 각각 20초씩 광중합을 시행하

였다. 경화 후에는 각 시편을 주형에서 제거하고 증류수에 침전시켜 37°C, 100% 습도의 항온기에 24시간 보관하였다.

2) 색상 변화 측정

수복재료 시편의 색상 측정은 국제 조명 위원회에서 제시하는 CIE $L^*a^*b^*$ 색 공간을 기준으로 디지털 분광광도계를 사용하여 시행하였다. 모든 측정에 앞서 분광광도계를 보정하였으며, 구강 내 어두운 배경 색상을 재현하고자 검은색 배경판을 이용하였다[8]. 각 시편의 동일한 부위인 정중앙에서 3번 반복 측정하여 그 평균값을 기록하였다. 모든 시편은 측정 전에 증류수로 부드럽게 행구고, 공기 중에서 건조 후 기준점의 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다.

(1) 열순환 후 색상 변화 측정

5°C와 55°C의 증류수가 담긴 수조에 각 군당 10개의 시편을 인공타액이 들어있는 마이크로 튜브 1.5 mL에 넣고 일정 시간 동안 계류하다가 순환하는 방식의 열순환기(Thermocycling machine)를 이용하였다. 수중 침적 시간은 30초, 계류 시간은 10초로 설정하였으며[12], 250번과 500번의 열순환 후 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다. 각 수복재료별 시편의 색상 변화는 열순환 전 기준점 CIE $L^*a^*b^*$ 값과 250번 및 500번의 열순환 후 CIE $L^*a^*b^*$ 값과의 차이를 이용하여 색상 변화 차이(ΔE^*)를 다음의 공식을 이용하여 계산하였다: $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

(2) 수복재료별 착색 용액에 따른 색상 변화 측정

각 수복재료별 50개의 시편을 4개의 하위군으로 나누어 각

Table 2. Various staining solutions used in this study

Staining solutions	Brand name	Manufacturer	Preparations
PBS (Control)	Phosphate buffered saline - pH 7.2	Microgiene Corporation, Korea	1 mL
Coffee	Nescafe Supremo Americano	LOTTE-Nestle Corporation, Korea	1 sachet of 1.1 g mixed in 130 mL of boiling water for 3 minutes followed by filtration
Green Tea	Organic Jeju Green Tea	TEAZEN Corporation, Korea	1 Tea bags of 1.2 g mixed in 120 mL of boiling water for 1 - 2 minutes
Coke	Coca-Cola	The Coca-Cola Corporation, Korea	1 mL
Orange Juice	Delmonte Orange 100	Lotte Chilsung Beverage Corporation, Korea	1 mL

PBS = Phosphate buffered saline.

군당 10개의 시편을 개별 용기에 넣은 후 PBS, 커피, 녹차, 콜라, 오렌지주스 용액에 침전시켜 24시간 동안 37°C, 100% 습도의 항온기에 보관하였다. 침전 용액의 증발을 방지하기 위해 덮개가 있는 용기를 사용하였다. 모든 용액은 매일 1번씩 교체하였고, 침전 7일, 14일, 21일 및 28일에 색상 변화를 측정하여 시편별 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 기록하였다. 침전 용액별 시편의 색상 변화는 측정 시점의 CIE $L^*a^*b^*$ 값과 기준점의 CIE $L^*a^*b^*$ 값과의 차이를 이용하여 ΔE^* 값을 분석하였다.

3. 표준 일관성 평가

시편 표본을 무작위로 20개를 골라 조사자 내 신뢰도를 평가하였다. 한 명의 실험자가 동일한 측정 조건에서 20개의 표본을 각각 3회 반복 측정하였다. 조사자 내 신뢰도인 Intraclass correlation coefficient (ICC) 값은 L^* , a^* , b^* 에 대하여 각각 0.981, 0.989, 0.995로 높은 신뢰도를 보였다($p < 0.001$).

4. 통계 분석

얻어진 자료들은 Excel 2019 (Microsoft, Redmond, WA, USA)와 SPSS (Version 27.0, IBM, Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계 분석을 시행하였다.

(1) 열순환 후 색 안정성

각 CIE $L^*a^*b^*$ 매개변수는 Shapiro-wilk 검정을 통해 정규성 검정을 시행하였으며, 250번과 500번의 열순환 전, 후 수복 재료별 ΔE^* 값을 비교하기 위해 2-way ANOVA와 사후 검정으로 Duncan test를 시행하였다.

(2) 수복재료별 착색 용액에 따른 색 안정성

각 시편별 ΔE^* 값의 정규성을 확인하기 위해 Shapiro-wilk 검정을 실시하였으며, 각각의 재료별, 착색 용액별 ΔE^* 값을 비교하기 위해 One-way ANOVA 시행 후, Duncan test로 사후 검정을 시행하였다. 또한 각 군의 침전 기간에 따른 차이를 비교하기 위해 Repeated measures ANOVA를 시행하였다.

연구 성적

1. 열순환 후 색 안정성 결과

분광광도계를 사용하여 측정된 각 시편의 CIE L^* , a^* , b^* 값과 열순환 처리 후 각 재료별 ΔE^* 값의 평균을 구하였다(Table 3).

연구에 사용된 모든 재료는 열순환 후 색상의 변화를 보였으며, 열순환 횟수가 증가함에 따라 색상의 변화는 유의성 있는

Table 3. Mean values and standard deviations of color parameters of each group used in this study

Color Parameters	Group (Mean \pm SD)				<i>p</i> value	
	RMGIC	GIC	ARM	CR		
Baseline	L^*	81.83 \pm 0.80	74.49 \pm 0.28	71.03 \pm 0.64	73.56 \pm 0.69	
	a^*	0.78 \pm 0.09	3.51 \pm 0.09	-1.89 \pm 0.10	-0.74 \pm 0.12	
	b^*	30.69 \pm 0.40	43.33 \pm 0.82	9.94 \pm 0.31	20.62 \pm 0.66	
250 cycles	L^*	80.53 \pm 0.82 ^a	73.31 \pm 0.22 ^a	70.22 \pm 0.74 ^a	73.12 \pm 0.60 ^a	<0.0001
	a^*	0.91 \pm 0.10 ^a	3.56 \pm 0.13	-1.82 \pm 0.1	-0.43 \pm 0.17 ^a	
	b^*	31.36 \pm 0.87 ^a	43.81 \pm 0.82 ^a	9.35 \pm 0.22 ^a	19.83 \pm 0.68 ^a	
	ΔE^*	2.48 \pm 0.33	1.61 \pm 0.43	1.04 \pm 0.09	0.99 \pm 0.14	
500 cycles	L^*	79.92 \pm 0.60 ^{ab}	71.93 \pm 0.16 ^{ab}	69.24 \pm 0.72 ^{ab}	72.81 \pm 0.59 ^{ab}	
	a^*	1.07 \pm 0.11 ^{ab}	3.85 \pm 0.16 ^{ab}	-1.66 \pm 0.08 ^{ab}	-0.35 \pm 0.18 ^a	
	b^*	33.43 \pm 0.94 ^{ab}	44.29 \pm 0.85 ^{ab}	9.38 \pm 0.09 ^a	19.84 \pm 0.74 ^a	
	ΔE^*	3.40 \pm 0.40	2.79 \pm 0.29	1.91 \pm 0.16	1.18 \pm 0.18	

RMGIC = Resin-modified glass ionomer cement, GIC = Conventional glass ionomer cement, ARM = Alkaside restorative material, CR = Composite resin.
a,b: The superscript lowercase letters of the mean \pm s.d values indicate statistically significant differences between the respective color parameters by the Duncan test as post-hoc test.
p value from Two-way ANOVA test.

차이를 보였다. L^* 값은 모든 재료에서 250번 및 500번의 열순환 이후에 유의한 차이가 있었다($p < 0.0001$). GIC군과 ARM군에서 기준점의 a^* 값은 3.51 ± 0.09 와 -1.89 ± 0.10 으로 250번의 열순환 후 측정된 3.56 ± 0.13 와 -1.82 ± 0.10 과 비교 시 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 500번의 열순환 시행 후에는 3.85 ± 0.16 와 -1.66 ± 0.08 로 유의한 차이를 보였다. 반면, CR군의 기준점 a^* 값은 -0.74 ± 0.12 로 250번 열순환 후인 -0.43 ± 0.17 과 비교 시 통계적으로 유의한 차이를 보였으나, 500번의 열순환 시행 후에는 -0.35 ± 0.18 로 유의한 차이를 보이지 않았다. RMGIC군과 GIC군의 b^* 값은 열순환 횟수가 증가할수록 유의한 차이를 보였으나, ARM군과 CR군은 열순환 횟수에 관계없이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

각 재료별 열순환 후 ΔE^* 값을 살펴보면, RMGIC군이 250번 및 500번의 열순환 시행 후 2.48 ± 0.33 및 3.40 ± 0.40 으로 가장 큰 색상 변화를 보였고, 그 다음으로 GIC군이 250번 및 500번의 열순환 시행 후 1.61 ± 0.43 및 2.79 ± 0.29 의 색상 변화를 보였다. ARM군의 경우 250번 및 500번의 열순환 후 각각 1.04 ± 0.09 및 1.91 ± 0.16 으로 나타났으며, CR군에서는 각각 0.99 ± 0.14 및 1.18 ± 0.18 로 가장 적은 색상 변화를 보였다.

2. 수복재료와 착색 용액에 따른 색 안정성 결과

PBS, 커피, 녹차, 콜라, 오렌지주스에 침전시킨 각 시편별 ΔE^* 값을 이용하여, 각 수복재료별 종류와 착색 용액의 종류에 따른 색상 변화를 비교 분석하였다(Table 4, Fig. 1, 2).

(1) 각 재료별 색상 변화 ΔE^*

1) RMGIC군

RMGIC군의 경우, 침전된 모든 기간 및 용액에서 매우 큰 색상 변화가 나타났으며 통계적으로 유의하였다($p < 0.0001$). 침전 7일부터 가장 많은 색상 변화가 일어난 용액은 오렌지주스였으며, 특히 침전 28일 후에는 ΔE^* 값이 56.22 ± 2.91 로 가장 크게 나타났다. 그 다음은 콜라, 커피, 녹차, PBS 용액 순서로 큰 색상 변화가 나타났으며, 통계적으로 유의하였다($p < 0.0001$).

2) GIC군

GIC군은 침전 7일에 오렌지주스에서 24.77 ± 2.95 로 유의미한 색상 변화가 나타났다. 침전 14일, 21일에 오렌지주스, 커피, 콜라, 녹차, PBS 용액순서로 큰 색상 변화를 나타냈으며, 통계적으로 유의하였다. $\Delta E^* > 3.3$ 을 육안으로 확인 가능한 색조 변화의 역치로 보았을 때[6], PBS를 제외한 나머지 용액에서 임상적으로 수용할 만한 역치값보다 높은 색상 변화가 나타났다. 그 중, 침전 후 21일까지 가장 많은 색상 변화가 일어난 용액은 오렌지주스였으나, 28일에는 커피에서 ΔE^* 값이 더 크게 나타났다.

3) ARM군

ARM군의 경우, 모든 침전 기간에서 가장 많은 색상 변화가 일어난 용액은 커피였다. 그 다음으로 녹차, 오렌지주스 순서로 큰 색상 변화가 나타났으며, 통계적으로 유의하였다($p < 0.0001$). 콜라와 PBS 용액에서는 침전 28일 후에도 ΔE^* 값이 3.3 이하로 임상적으로 인지할 만한 색상 변화가 나타나지 않았고, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

4) CR군

CR군의 경우, 오렌지주스에 침전한 ARM군을 제외한 이외의 착색 용액에서 다른 재료들에 비해 가장 낮은 색상 변화를 나타냈다. CR군에서 가장 많은 색상 변화가 일어난 용액은 커피였으며 오렌지주스, 녹차 순서로 색상 변화를 보였고, 이는 통계적으로 유의하였다. 콜라와 PBS 용액에서는 침전 28일 후에도 ΔE^* 값이 3.3 이하로 임상적으로 인지할 만한 색상 변화는 없었으며 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

(2) 각 착색 용액별 색상 변화 ΔE^*

1) PBS 용액

착색 용액의 대조군으로 사용된 PBS 용액에서는 ΔE^* 값의 변화가 있었으나, RMGIC군을 제외한 나머지 군에서는 ΔE^* 값이 3.3 이하로 임상적으로 인지할 만한 색상 변화는 보이지 않았다.

2) 커피

커피는 모든 재료에서 침전 7일 이후 ΔE^* 값이 3.3을 초과하여 임상적으로 인지할 만한 높은 색상 변화가 나타났다. 침전 7

Table 4. Mean and standard deviations of ΔE^* at different time intervals and staining solutions

Staining solutions	Group	Mean \pm SD of ΔE^* (n = 10)			
		7 days	14 days	21 days	28 days
PBS	RMGIC	2.08 \pm 0.49 ^{BCDE}	3.00 \pm 0.08 ^{BCDE}	5.40 \pm 0.41 ^{BCDE}	6.64 \pm 0.56 ^{BCDE}
	GIC	1.52 \pm 0.30 ^{BCDEa}	1.88 \pm 0.37 ^{BCDEa}	2.22 \pm 0.25 ^{BCDEa}	2.60 \pm 0.20 ^{BCDEa}
	ARM	1.62 \pm 0.35 ^{BCDEa}	2.38 \pm 0.34 ^{BCEab}	2.84 \pm 0.17 ^{BCEab}	3.13 \pm 0.07 ^{BCEab}
	CR	0.47 \pm 0.21 ^{BCEabc}	0.65 \pm 0.20 ^{BCEabc}	0.89 \pm 0.26 ^{BCEabc}	1.13 \pm 0.30 ^{BCEabc}
	<i>p</i> value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Coffee	RMGIC	17.11 \pm 4.23 ^{ACE}	24.38 \pm 4.88 ^{ACE}	29.75 \pm 4.80 ^{AE}	36.51 \pm 6.11 ^{ACDE}
	GIC	14.54 \pm 1.19 ^{ACDE}	21.97 \pm 2.76 ^{ACDE}	32.45 \pm 4.49 ^{ACD}	44.74 \pm 4.22 ^{ACDEa}
	ARM	19.53 \pm 3.81 ^{ACDEb}	22.19 \pm 3.72 ^{ACDE}	24.91 \pm 4.23 ^{ACDEb}	29.17 \pm 4.8 ^{ACDEab}
	CR	11.73 \pm 2.23 ^{ACDEac}	14.04 \pm 2.50 ^{ACDEabc}	16.20 \pm 3.09 ^{ACDEabc}	19.01 \pm 4.00 ^{ACDEabc}
	<i>p</i> value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Green Tea	RMGIC	10.37 \pm 1.82 ^{ABDE}	17.20 \pm 3.66 ^{ABDE}	23.27 \pm 4.00 ^{ADE}	26.32 \pm 5.16 ^{ABDE}
	GIC	5.23 \pm 0.72 ^{ABDEa}	7.44 \pm 1.27 ^{ABDEa}	11.03 \pm 1.87 ^{ABDEa}	16.82 \pm 2.93 ^{ABDEa}
	ARM	9.43 \pm 2.64 ^{ABDEb}	11.45 \pm 2.99 ^{ABDEab}	13.46 \pm 3.53 ^{ABDEa}	16.15 \pm 4.67 ^{ABDEa}
	CR	2.75 \pm 1.08 ^{ABDEabc}	3.24 \pm 0.91 ^{ABDEabc}	5.35 \pm 1.14 ^{ABDEabc}	6.94 \pm 0.96 ^{ABDEabc}
	<i>p</i> value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Coke	RMGIC	17.59 \pm 3.73 ^{ACE}	23.22 \pm 5.32 ^{ACE}	33.77 \pm 8.87 ^{ACE}	44.46 \pm 8.69 ^{ABCE}
	GIC	10.30 \pm 1.25 ^{ABCEa}	16.07 \pm 2.14 ^{ABCEa}	19.29 \pm 2.51 ^{ABCEa}	22.69 \pm 3.17 ^{ABCEa}
	ARM	2.16 \pm 0.56 ^{BCEab}	2.55 \pm 0.46 ^{BCEab}	2.78 \pm 0.38 ^{BCEab}	3.02 \pm 0.44 ^{BCEab}
	CR	0.30 \pm 0.10 ^{BCEab}	0.40 \pm 0.14 ^{BCEab}	0.60 \pm 0.26 ^{BCEab}	0.79 \pm 0.29 ^{BCEab}
	<i>p</i> value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Orange Juice	RMGIC	24.77 \pm 2.95 ^{ABCD}	40.05 \pm 6.06 ^{ABCD}	48.57 \pm 2.47 ^{ABCD}	56.22 \pm 2.91 ^{ABCD}
	GIC	21.78 \pm 4.83 ^{ABCD}	26.90 \pm 3.97 ^{ABCDa}	33.48 \pm 4.77 ^{ACDa}	36.60 \pm 1.36 ^{ABCDa}
	ARM	5.05 \pm 0.30 ^{ABCDab}	6.62 \pm 0.85 ^{ABCDab}	7.50 \pm 0.78 ^{ABCDab}	8.87 \pm 0.91 ^{ABCDab}
	CR	5.95 \pm 0.96 ^{ABCDab}	8.86 \pm 0.96 ^{ABCDab}	10.74 \pm 1.64 ^{ABCDab}	12.26 \pm 1.44 ^{ABCDabc}
	<i>p</i> value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

PBS = Phosphate buffered saline, RMGIC = Resin-modified glass ionomer cement, GIC = Conventional glass ionomer cement, ARM = Alkaside restorative material, CR = Composite resin.

a,b,c, A,B,C: The superscript lowercase letters in same period of the mean ΔE^* values indicate statistically significant differences between materials (a = RMGIC, b = GIC, c = ARM, d = CR) and the superscript uppercase letters in same period indicate statistically significant differences between staining solutions (A = PBS, B = Coffee, C = Green Tea, D = Coke, E = Orange Juice) by the Duncan test as post-hoc test.

p value from Repeated measures ANOVA or One-way ANOVA test.

일 이후에는 ARM군이 가장 높은 색상 변화를 나타냈으나, 14일 이후에는 RMGIC군, 21일 이후부터는 GIC군이 가장 높은 색상 변화를 나타냈다. 침전 28일 후에는 RMGIC, GIC, ARM, CR군 순으로 색상 변화가 나타났으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.0001$).

3) 녹차

녹차의 경우, 침전 28일까지 가장 많은 색상 변화를 일으킨 군은 RMGIC군으로 나타났다. GIC군과 ARM군의 경우, 침전 21일까지는 ARM군이 더 높은 색상 변화를 나타냈으나, 침전

28일 후에는 비슷한 ΔE^* 값을 나타내었으며 통계적으로 유의한 차이가 없었다. CR군의 경우 ΔE^* 값이 6.94 \pm 0.96로 가장 낮은 색상 변화를 나타냈다.

4) 콜라

콜라의 경우, RMGIC군이 가장 큰 색상 변화를 보였으며, 그 다음으로 큰 변화를 보인 것은 GIC군이었다. ARM군과 CR군은 모든 침전 기간 동안 PBS 용액과 거의 비슷한 색상 차이를 보였으며, 두 재료 간의 통계적 유의한 차이가 없었다.

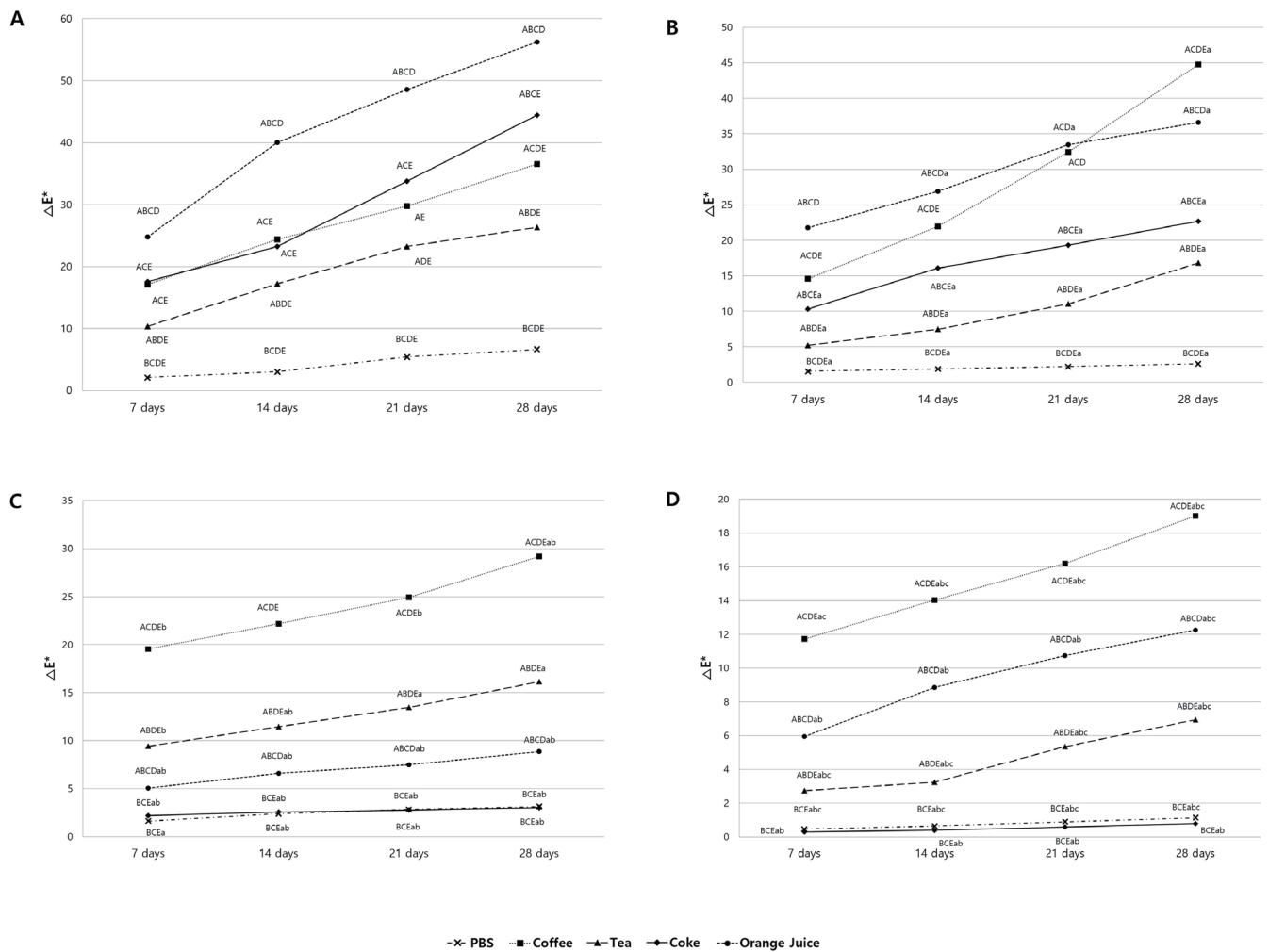


Fig. 1. Line graphs showing ΔE^* values for four restorative materials after submerging in the different solutions for 7, 14, 21, and 28 days. (A) RMGIC, (B) GIC, (C) ARM, (D) CR.

PBS = Phosphate buffered saline, RMGIC = Resin-modified glass ionomer cement, GIC = Conventional glass ionomer cement, ARM = Alkaside restorative material, CR = Composite resin.

a,b,c, A,B,C: The superscript lowercase letters in same period of the mean ΔE^* values indicate statistically significant differences between materials (a = RMGIC, b = GIC, c = ARM, d = CR) and the superscript uppercase letters in same period indicate statistically significant differences between staining solutions (A = PBS, B = Coffee, C = Green Tea, D = Coke, E = Orange Juice) by the Duncan test as post-hoc test.

p value from Repeated measures ANOVA or One-way ANOVA test.

5) 오렌지주스

오렌지주스도 콜라와 비슷하게 RMGIC군, GIC군 순으로 높은 색상 변화를 나타냈으며, 특히 ARM군은 CR군보다 더 낮은 색상 변화를 나타냈다. 침전 21일까지 ARM군과 CR군 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 침전 28일 이후에는 ARM군의 ΔE^* 값은 8.87 ± 0.91 , CR군의 ΔE^* 값이 12.26 ± 1.44 로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.0001$).

총괄 및 고찰

치아 수복물의 장기적인 색 안정성은 심미 수복 재료에 있어 중요한 요소이다. 변색은 수복물 교체의 주된 이유 중 하나이며 [13], 추가 비용 및 내원 횟수 증가 등의 문제점이 발생한다[1]. 수복물의 변색은 내인성 및 외인성 요인에 의해 유발된다[14]. 내인성 요인으로는 재료 자체의 조성, 경화 시간 등 다양한 요

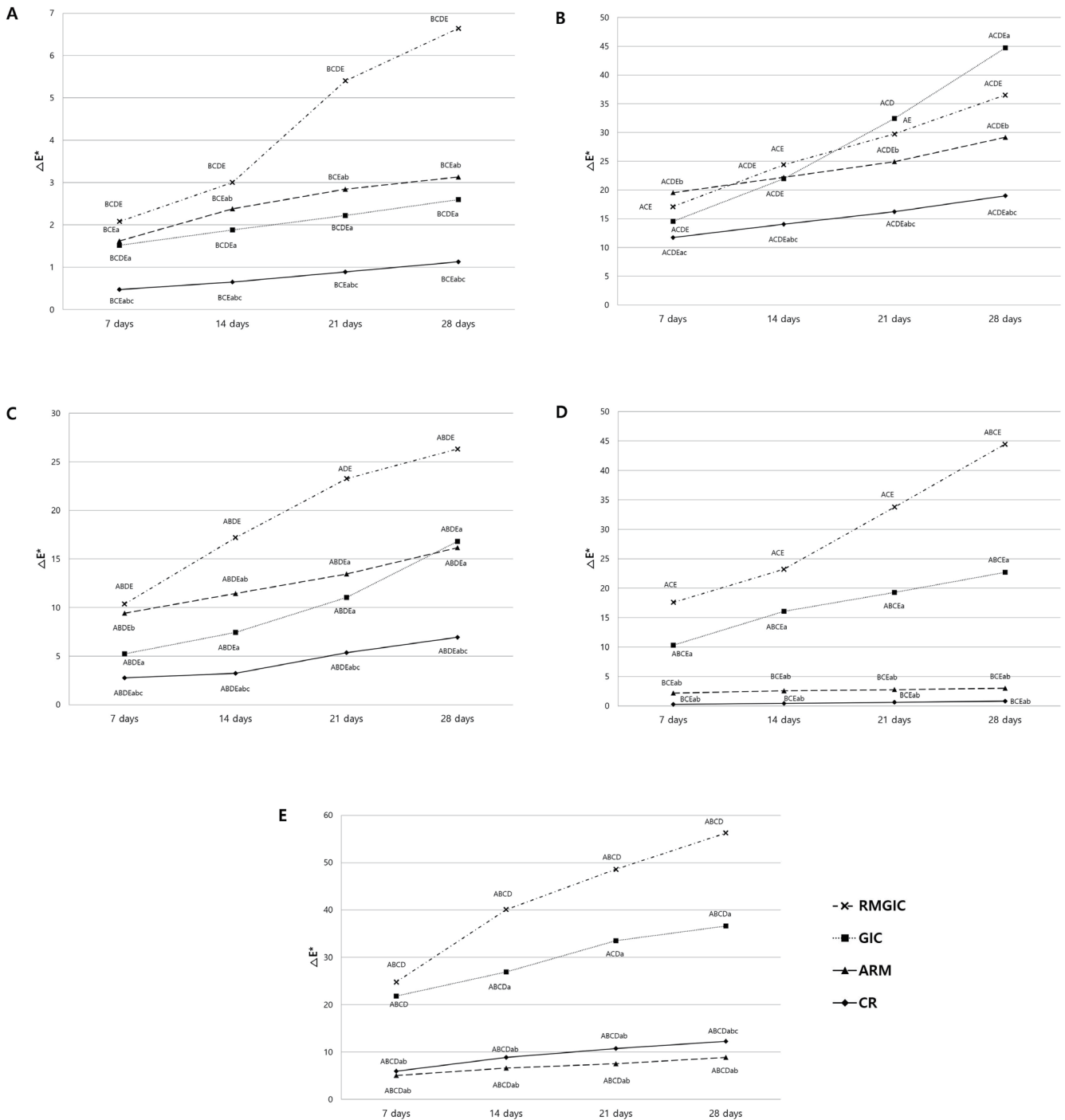


Fig. 2. Line graphs showing ΔE^* values for each restorative material after submerging in the five staining solutions for 7, 14, 21, and 28 days. (A) PBS, (B) Coffee, (C) Green tea, (D) Coke (E) Orange juice.

PBS = Phosphate buffered saline, RMGIC = Resin-modified glass ionomer cement, GIC = Conventional glass ionomer cement, ARM = Alkaside restorative material, CR = Composite resin.

a,b,c, A,B,C: The superscript lowercase letters in same period of the mean ΔE^* values indicate statistically significant differences between materials (a = RMGIC, b = GIC, c = ARM, d = CR) and the superscript uppercase letters in same period indicate statistically significant differences between staining solutions (A = PBS, B = Coffee, C = Green Tea, D = Coke, E = Orange Juice) by the Duncan test as post-hoc test.

p value from Repeated measures ANOVA or One-way ANOVA test.

인이 있다. 외인성 요인으로는 자외선, 열, 물 등이 있고, 추가적으로 음료나 음식에 존재하는 착색 인자의 흡수 및 흡착을 통해서도 변색이 일어날 수 있다[15]. 현재 소비되는 식품 및 음료에는 다양한 착색제가 포함되어 있어 장기간 노출 시 착색제로 인해 수복물의 변색이 발생할 수 있다[2]. 이 연구에서는 소아치과 영역에서 널리 사용되고 있는 수복재인 서로 다른 종류의 글라스아이오노머 시멘트와 복합레진 및 최근 아말감의 대체제로 개발된 알카자이트 수복재인 Cention N의 색 안정성을 비교하였다. 추가적으로 일반적으로 섭취하는 4가지 음료인 커피, 콜라, 녹차, 오렌지주스가 전치부 및 구치부 수복물에 사용되는 여러 심미 수복재료에서 색 안정성에 미치는 영향을 평가하였다.

치과 수복재료의 색상 변화는 시각적 평가와 측정 기구 또는 둘 모두를 사용하여 측정할 수 있다[16,17]. 분광광도계(spectrophotometer) 및 비색계(colorimeter)와 같은 도구적 방법을 사용하여 색상 변화를 정량화하면 색상 평가의 주관적인 측면을 잠재적으로 제거할 수 있다[18,19]. 국제 조명 위원회에서 개발한 CIE $L^*a^*b^*$ 시스템은 객관성, 감도, 반복성 및 색상의 작은 차이를 판별하는 다양한 장점이 있어[16,17,19] 수복재료의 색상 안정성을 평가하는데 사용된다. 이 시스템은 3개의 좌표값인 L^* , a^* , b^* 로 색상을 정량화하며, 각각 L^* 값은 명도, a^* 값은 적색과 녹색의 정도, b^* 값은 황색과 청색의 정도를 나타낸다[20]. 색상 변화 차이를 의미하는 ΔE^* 는 두 물체의 L^* , a^* , b^* 값 사이의 3차원적 거리를 계산한 값이다[21]. 따라서 이 연구에서는 분광광도계인 VITA Easyshade[®]V와 CIE $L^*a^*b^*$ 시스템을 이용하여 색상 변화를 평가하였다. 이 연구에서 사용된 VITA Easyshade[®]V는 spot 측정 방식의 분광광도계로 비색계, 디지털 색상 분석기기에 비해 광원의 종류, 주변 환경과 같은 환경적 요소에 영향을 받지 않아, 과학적이고 정확하여 표면 색상 측정에 유용하다는 평가를 받고 있다[21,22].

이 연구에서는 육안으로 확인 가능한 색상 변화의 역치 수준을 ΔE^* 값 3.3 초과로 설정하였다. 이전 연구에 따르면[6,16-19,23], ΔE^* 값이 1보다 작은 수준의 색상 변화는 눈으로 구분이 불가능하며, ΔE^* 값이 1보다 크고 3.3보다 작은 수준의 색상 변화는 숙련된 전문가들은 인지할 수 있으나 임상적으로는 구분이 힘든 정도이므로 ΔE^* 값이 3.3보다 클 때를 육안으로 구분 가능한 수준의 역치로 나타내며, 임상적으로 허용 가능하지 않은 정도의 색상 변화라고 하였다[14,24]. 또한 수복재료 간의 색상 비교 과정을 표준화하기 위해 모든 시편은 A2 shade로

제작하였다. Alkhadim 등[25]은 치과 치료에서 가장 널리 사용되는 shade는 A2라고 보고하였다.

이 연구에서는 구강 내 환경을 유사하게 재현하기 위해 열순환기계를 이용하여 각 시편을 5°C와 55°C에서 250번과 500번의 열순환을 시행하였다. Braem 등[26]과 Ernst 등[27]은 치아의 인접면에 소형 온도계를 부착한 후 구강 내에서 나타나는 온도의 변화를 측정된 결과 13.7°C에서 52.8°C로 나타났으며, 통상적인 열순환의 조건으로 사용되는 5°C와 55°C의 온도가 적절한 온도 범위라고 하였다. 또한 수중 침전 시간은 30초, 계류 시간은 10초 설정하였는데, Wendt 등[28]은 침전 시간이 15초 이상이면 60초이거나 120초일 때와 미세누출에 있어서 통계적으로 유의성이 없다고 보고하였다. Gale과 Darvell[29]은 열순환 10000번이 임상적으로 1년의 기간과 비슷하다고 하였으며 Yap 등[30]은 열순환 5000번의 시행은 임상적으로 약 6개월 정도의 기간과 비슷하다고 하였다. 이를 토대로 이 연구에서는 임상적으로 수복 후 약 3주 및 6주의 기간을 의미하는 250번 및 500번의 열순환 시행 후 각 수복재료의 색상 변화를 측정하였다.

이 연구에서는 기존의 다수 연구들을 바탕으로 착색 용액의 침전 기간을 28일로 설정하였다[6,9,14,31]. Guler 등[32]은 시편을 커피 용액에 15일 동안 보관하면 개인이 1년 동안 커피를 섭취한 것과 유사하다고 하였으며, Ertas 등[33]은 24시간의 침전 시간은 약 1개월간의 음료 섭취와 비슷하다고 보고하였다. 이 연구와 가장 유사한 Ceci 등[34]의 연구를 통해 28일의 침전 기간이 장기적인 착색 용액의 색상 변화 능력 평가에 적합하다는 것을 확인하였다.

측정 결과 모든 수복재료에서 열순환 횟수가 증가할수록 L^* 값이 감소하였으며 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이는 수복재료의 구강 내 시간이 증가할수록 색상의 변화가 나타난다는 것을 의미한다. a^* 값은 모든 재료에서 열순환 후 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 하지만 b^* 값은 글라스아이오노머 시멘트 계열(RMGIC, GIC군)과 복합수지 함유 계열(ARM, CR군)별로 500번의 열순환 후 비슷한 변화를 보였다. 글라스아이오노머 시멘트 계열에서는 열순환 후 b^* 값이 증가한 반면, 복합 수지 함유 계열에서는 b^* 값의 유의한 차이를 보이지 않았다. 증가된 b^* 값은 황색으로 색상이 변화되었음을 의미하며 이는 주목할 만한 결과이다.

각 재료별 열순환 후 색상 변화는 RMGIC군에서 가장 크게 나타났으며, GIC군, ARM군, CR군 순이었다. RMGIC군에서

나타난 색상 변화는 친수성 단량체인 HEMA의 높은 수분 흡착으로 인한 낮은 분말-액체 비율 때문이며[35], GIC군의 색상 변화는 재료의 폴리아크랄산 및 타르타르산 성분의 존재와 불화규소산칼슘유리(Calcium Fluoroaluminosilicate Glass)의 분해로 인해 야기된 것으로 보인다. ARM군인 Cention N과 CR군인 Filtek™ Z350XT의 우수한 색 안정성은 재료의 구성에 수지 성분이 있기 때문으로 생각된다. Cention N은 UDMA, DCP, Aromatic aliphatic-UDMA, PEG-400 DMA를 함유한 유기액체와 높은 필러 함량으로 구성되어 있으며, Filtek™ Z350XT은 Bis-GMA, Bis-EMA, PEGDMA, TEGDMA, UDMA로 구성되어있다. 이러한 조합은 수복물의 표면 침투 가능성을 줄여주고 낮은 수분 흡착을 유발하기 때문에 상대적으로 더 적은 색상 변화를 야기한다[36-38].

수복재료 간의 색 안정성 차이는 수복재료의 구성 요소인 물 및 단량체에 의해 야기될 수 있다. 수복재료의 수분 함량은 색 안정성을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다[1]. Bagheri 등[23]은 복합수지와 같은 소수성 단량체를 포함하는 재료가 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트와 같은 친수성 단량체를 포함하는 재료보다 더 착색에 저항성이 있다고 보고하였으며, Cattani-Lorente 등[39]과 Small 등[40]은 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트에서 발견되는 중요한 수지 성분인 HEMA의 빠른 수분 흡착으로 인해 기존의 전통적인 글라스아이오노머 시멘트에 비해 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트의 수분 흡착이 더 높은 것으로 나타났다고 보고하였다.

음료 및 용액에 따른 착색 정도는 착색제 입자의 크기와 구성 및 기타 특성에 따라 다르다[23,32]. 이번 연구에서 여러 침전 용액의 종류에 따른 수복재료별 색상 변화를 비교한 결과, ARM군과 CR군에서는 커피에 침전시켰을 때 가장 큰 색상 변화가 관찰되었으며, RMGIC군에서는 오렌지주스와 콜라, 커피 그리고 GIC군에서는 커피와 오렌지주스, 콜라 순으로 가장 큰 색상 변화가 관찰되었다. 복합수지를 포함한 재료에서 커피에 침전시켰을 때 더 높은 변색이 일어난다는 선행연구 결과는 잘 알려져 있다[2]. 커피는 극성의 노란색 착색제가 포함되어 높은 극성부위가 먼저 수복물 내부로 침투하고, 낮은 극성부위를 천천히 내부로 용출시키면서 지속적인 색상 변화를 야기한다[41-43]. 또한 콜라와 오렌지주스의 산성 pH는 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트와 전통적인 글라스아이오노머 시멘트의 구조를 변화시키고 표면 거칠기를 증가시켜 색상 변화에 더 취약한 상태로 만드는 것으로 사료된다. de Luca Cunha 등[44]에

따르면, 콜라에 침전시켰을 때 캡슐화된 글라스아이오노머 시멘트가 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트보다 표면거칠기에 더 저항성이 크다고 보고하였다. 수복물의 표면 거칠기는 표면이 거칠수록 착색제와 접촉하는 표면적이 더 커지기 때문에 잠재적으로 변색에 영향을 줄 수 있다[2,32].

콜라와 오렌지주스에서 나타난 색상 변화는 pH뿐 아니라 착색제에 의해서도 영향을 받는 것으로 사료된다[10]. Tekçe 등[45]은 콜라의 pH값이 오렌지주스보다 더 산성이지만, 오렌지주스에서 더 많은 색상 변화가 나타난 원인 중 하나는 콜라에는 잠재적으로 노란색 착색제가 없기 때문이라고 보고하였다. 녹차의 경우 모든 수복재료에서 커피보다는 낮은 색상 변화를 나타냈다. 이는 녹차에 존재하는 녹색의 착색제는 탄닌이라는 성분으로[46] 이 연구에서 사용된 녹차 티백에는 탄닌의 농도가 낮아 28일의 침전 기간 동안 효과를 나타내기에는 충분하지 않았던 것으로 생각된다. 대조군으로 사용된 PBS 용액은 모든 수복재료에서 ΔE^* 값이 3.3 이하로 눈에 띄는 색상 변화는 보이지 않았다. PBS 용액 내에는 착색제가 포함되어 있지 않기 때문에 임상적으로 허용되지 않는 약간의 색상 변화는 침전 기간에 따른 수복물 내의 유기 매트릭스의 수분 흡수 때문일 것으로 생각된다.

이번 연구에서는 표면 연마에 의한 오차를 배제하기 위해, 슬라이드 글라스를 이용하여 경화시킨 후 시편의 표면 연마를 시행하지 않았다[47]. 이전 연구는 mylar strip 또는 슬라이드 글라스를 이용하여 복합레진을 경화한 후 표면 연마를 시행하지 않으면 표면에 레진 기질이 많이 남게 되어 표면 연마를 시행한 경우보다 변색에 더 취약하다고 보고하였다[31,48,49]. 따라서 이 연구에서 측정된 착색에 의한 색 변화는 표면 연마를 일반적으로 시행하는 임상에서의 색 변화보다 더 크게 나타났을 것으로 생각된다. 또한 이 연구는 생체 외에서 시행되었으며, 각 재료별 시편을 용액에 지속적으로 침전시킨 상태로 색상 변화를 측정하여, 실제 구강 내의 타액에 의한 자정작용이나 칫솔질과 같은 세정작용을 고려하지 않았다는 한계점이 있다. 위와 같은 구강 내의 다양한 요소들을 고려한 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

앞선 연구들과 이번 연구의 색 안정성에 대한 결과를 종합하여 고려하였을 때, 이러한 수복재료의 색상 변화는 변색이 침전 용액의 조성, 적정 가능한 산도, 착색제의 흡착 및 흡수를 포함한 다양한 요인들에 의해 일어났음을 확인하였다. 이번 연구에서 사용된 Cention N은 알카자이트 계열의 수복재료로 비용

이 합리적이며 복합레진보다 술식이 간편하고 불소를 방출하는 특성이 있다[50]. 또한 글라스아이오노머 시멘트와 비교 시 더 뛰어난 심미성을 보이고 아말감에 필적할 만한 강도를 가진다[36]. 이 연구 결과를 통해 알카자이트 수복재인 Cention N은 복합레진보다는 변색 및 색안정성에 취약하지만, 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트와 전통적인 글라스아이오노머 시멘트보다는 더 나은 색 안정성을 나타내므로 심미 수복의 재료로 사용 가능할 것으로 생각된다.

결론

이 연구는 여러 가지 수복재료의 색 안정성을 비교하였고 다 음과 같은 결과를 얻었다. 열순환 후 색 안정성은 CR군이 가장 높았으며, ARM, GIC, RMGIC군 순으로 나타났다. 착색 음료에 침전한 후 시간 경과에 따른 색상 변화를 측정, 비교한 결과 RMGIC군은 모든 기간 및 용액에서 가장 큰 색상 변화가 나타났으며 오렌지주스, 콜라, 커피, 녹차, PBS 용액 순으로 큰 색상 변화를 보였다($p < 0.0001$). GIC군은 침전된 모든 기간 동안 PBS를 제외한 나머지 용액에서 ΔE^* 값이 3.3 초과로 높은 색상 변화를 보였다. 가장 큰 색상 변화를 보인 용액은 커피이며 그다음은 오렌지주스, 콜라, 녹차, PBS 순이었다. ARM군의 경우 모든 침전 기간 동안 커피에서 가장 많은 색상 변화가 나타났으며 그다음은 녹차, 오렌지주스 순이었다. CR군은 오렌지주스에 침전한 ARM군을 제외하고는 다른 수복재료들과 비교 시 다양한 침전 용액에서 가장 낮은 색상 변화를 보였으며 커피, 오렌지주스, 녹차 순이었다. ARM군과 CR군은 콜라와 PBS 용액에서는 침전 28일 이후에도 ΔE^* 값이 3.3 이하로 높은 색 안정성을 보였다.

이를 종합해 보면, 알카자이트 계열의 수복재는 복합레진보다는 색 안정성이 낮지만, 기존의 서로 다른 종류의 글라스아이오노머 시멘트보다 높은 색 안정성을 확인하였다. 따라서 심미적 수복이 필요한 경우, 색 안정성을 고려하였을 때 알카자이트 계열 수복재를 사용하면 임상적으로 유리한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgments

This study was supported by research fund from Chosun University (2020).

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

References

1. Tunc ES, Bayrak S, Guler AU, Tuloglu N : The effects of children's drinks on the color stability of various restorative materials. *J Clin Pediatr Dent*, 34:147-150, 2009.
2. Majeti C, Ravi R, Kambhampati K, Borugadda R, Athkuri S, Kakani AK : Evaluation of the color stability of two different posterior tooth colored restorative materials. *F1000Research*, 9:1251-1260, 2020.
3. Nasim I, Neelakantan P, Sujeer R, Subbarao CV : Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins-an in vitro study. *J Dent*, 38(Suppl 2): E137-E142, 2010.
4. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM : Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosthet Dent*, 95:137-142, 2006.
5. Yazkan B, Celik EU, Recen D : Effects of aging on surface roughness and color stability of a novel alcasite in comparison with current direct restorative materials. *Oper Dent*, 46:E240-E250, 2021.
6. Savas S, Colgecen O, Yasa B, Kucukyilmaz E : Color stability, roughness, and water sorption/solubility of glass ionomer-based restorative materials. *Niger J Clin Pract*, 22:824-832, 2019.
7. Todd JC : Scientific documentation: Cention N. Ivoclar Vivadent Press, Schann, 2016.
8. Lee DL, Kim JS, Han MR, Shin JS : Fluoride release and recharge properties of several fluoride-containing restorative materials. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 47:196-204, 2020.
9. Poggio C, Vialba L, Berardengo A, Federico R, Colombo M, Beltrami R, Scribante A : Color stability of new esthetic restorative materials: A spectrophotometric analysis. *J Funct Biomater*, 8:26, 2017.

10. Jung JE, Lee W, Son SA, Kwak SW, Kwon YH, Park JK : The color stability of resin composite after exposure to pH solutions and immerse into staining beverages. *Korean J Dent Mater*, 43:111-120, 2016.
11. ten Cate JM, Duijsters PP : Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res*, 16:201-210, 1982.
12. Lee KH, Kim JS, Shin JS, Han MR : Comparison of microhardness and compressive strength of alkasite and conventional restorative materials. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 47:320-326, 2020.
13. Barga SR, Vasconcelos BT, Vasconcelos BT, de Paula Macedo MR, Martins VR, Sobral MA : Reasons for placement and replacement of direct restorative materials in Brazil. *Quintessence Int*, 38:E189-E194, 2007.
14. Kang SK, Song JH : Color stability of Bulk-fill resin composites after immersion in different media. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 46:353-361, 2019.
15. Barutçigi C, Yildiz M : Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites. *J Dent*, 40(Suppl 1):E57-E63, 2012.
16. Erdemir U, Yildiz E, Eren MM : Effects of sportsdrinks on colorstability of nanofilled and micro hybrid composites after long-term immersion. *J Dent*, 40(Suppl 2):E55-E63, 2012.
17. Bezgin T, Özer L, Öz FT, Özkan P : Effect of toothbrushing on color changes of esthetic restorative materials. *J Esthet Restor Dent*, 27(Suppl 2):S65-S73, 2015.
18. Schulze KA, Marshall SJ, Gansky SA, Marshall GW : Color stability and hardness in dental composites after accelerated aging. *Dent Mater*, 19:612-619, 2003.
19. Fay RM, Servos T, Powers JM : Color of restorative materials after staining and bleaching. *Oper Dent*, 24:292-296, 1999.
20. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML : Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod*, 24:786-790, 1998.
21. Choi WS, Lee SH, Jih MK, Sung MA, Lee NY : Color comparison of maxillary primary anterior teeth and various composite resin using a spectrophotometer. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 49:1-13, 2022.
22. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD : Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent*, 38(Suppl 2):E2-E16, 2010.
23. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M : Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent*, 33:389-398, 2005.
24. Yap AU, Sim CP, Loh WL, Teo JH : Human-eye versus computerized color matching. *Oper Dent*, 24:358-363, 1999.
25. Alkhadim YK, Hulbah MJ, Nassar HM : Color shift, color stability, and post-polishing surface roughness of esthetic resin composites. *Materials (Basel)*, 13:1376, 2020.
26. Braem M, Lambrechts P, Van Doren V, Vanherle G : In vivo evaluation of four posterior composites: quantitative wear measurements and clinical behavior. *Dent Mater*, 2:106-113, 1986.
27. Ernst CP, Canbek K, Euler T, Willershausen B : In vivo validation of the historical in vitro thermocycling temperature range for dental materials testing. *Clin Oral Investig*, 8:130-138, 2004.
28. Wendt SL, McInnes PM, Dickinson GL : The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater*, 8:181-184, 1992.
29. Gale MS, Darvell BW : Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent*, 27:88-99, 1999.
30. Yap AUJ, Wang X, Wu X, Chung SM : Comparative hardness and modulus of tooth-colored restoratives: A depth-sensing microindentation study. *Biomaterials*, 25:2179-2185, 2004.
31. Son YJ, Hyun HK, Kim YJ, Kim JW, Lee SH, Lim CC, Hahn SH, Jang KT : Color stability of new silorane-based composite resin: An in vitro spectrophotometric study. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37:73-81, 2010.
32. Guler AU, Yilmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S : Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*, 94:118-124, 2005.
33. Ertaş E, Güler AU, Yücel AC, Köprülü H, Güler E : Col-

- or stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J*, 25:371-376, 2006.
34. Ceci M, Rattalino D, Viola M, Beltrami R, Chiesa M, Colombo M, Poggio C : Resin infiltrant for non-cavitated caries lesions: evaluation of color stability. *J Clin Exp Dent*, 9:E231-E237, 2017.
 35. Bhattacharya S, Purayil TP, Ginpupalli K, Kini S, Pai S : Effect of thermocycling on the colour stability of aesthetic restorative materials: An in-vitro spectrophotometric analysis. *Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr*, 20:E5174, 2020.
 36. Mazumdar P, Das A, Das UK : Comparative evaluation of microleakage of three different direct restorative materials (silver amalgam, glass ionomer cement, cention N), in class II restorations using stereomicroscope: An in vitro study. *Indian J Dent Res*, 30:277-281, 2019.
 37. Altinvi P, Durkaya P : Effects of thermocycling and various drinks on the color stability of heat-polymerized acrylic resin. *J Istanbul Univ Fac Dent*, 50:15-20, 2016.
 38. Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC : Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *J Dent*, 36:945-952, 2008.
 39. Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Payan J, Moya F, Meyer JM : Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater*, 15:71-78, 1999.
 40. Small IC, Watson TF, Chadwick AV, Sidhu SK : Water sorption in resin-modified glass-ionomer cements: an in vitro comparison with other materials. *Biomaterials*, 19:545-550, 1998.
 41. Um CM, Ruyter IE : Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int*, 22:377-386, 1991.
 42. Rosentritt M, Esch J, Behr M, Leibrock A, Handel G : In vivo color stability of resin composite veneers and acrylic resin teeth in removal partial dentures. *Quintessence Int*, 29:517-522, 1998.
 43. Dietschi D, Campanile G, Holz J, Meyer JM : Comparison of the color stability of ten new-generation composites: An in vitro study. *Dent Mater*, 10:353-362, 1994.
 44. de Luca Cunha CMB, Wambier LM, Dias GF, Reis A, Alves FBT, Chibinski ACR, Wambier DS : In vitro evaluation of the impact of erosive/abrasive challenge in glass ionomer cements. *Biomed J Sci Tech Res*, 1:1263-1266, 2017.
 45. Tekçe N, Tuncer S, Demirci M, Serim ME, Baydemir C : The effect of different drinks on the color stability of different restorative materials after one month. *Restor Dent Endod*, 40:255-261, 2015.
 46. Iftikhar N, Devashish, Srivastava B, Gupta N, Ghambir N, Singh R : A comparative evaluation of Mechanical properties of four different restorative materials: An in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent*, 12:47-49, 2019.
 47. Lee YK, Powers JM : Discoloration of dental resin composites after immersion in a series of organic and chemical solutions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 73:361-367, 2005.
 48. Lu H, Roeder LB, Lei L, Powers JM : Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites. *J Esthet Restor Dent*, 17:102-108, 2005.
 49. Patel SB, Gordan VV, Barrett AA, Shen C : The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *J Am Dent Assoc*, 135:587-594, 2004.
 50. Mishra A, Singh G, Singh SK, Agarwal M, Qureshi R, Khurana N : Comparative evaluation of mechanical properties of Cention N with conventionally used restorative materials-An in vitro study. *Int J Prosthodont Restor Dent*, 8:120-124, 2018.

알카자이트 수복재의 색안정성 : 실험실적 연구

안지혜 · 이상호 · 이난영 · 신혜원 · 지명관

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

이 연구의 목적은 알카자이트 수복재와 소아치과 영역에서 널리 사용되고 있는 수복재들의 색 안정성을 비교하고, 다양한 음료에서의 색상 변화를 비교하는 것이다. 글라스아이오노머, 레진강화형 글라스아이오노머, 알카자이트 수복재, 복합레진의 시편을 준비하였고, 열순환 후 색 안정성을 측정하였다. 침전 전과 7일, 14일, 21일, 28일 후 CIE L*a*b*값의 색상 변화를 분석하기 위해 각 수복재료의 시편을 5개의 군으로 나누어 각각 PBS, 커피, 녹차, 콜라, 오렌지주스 용액에 침전시켰다. 열순환 후 복합레진에서 가장 높은 색 안정성을 보였고, 알카자이트 수복재, 글라스아이오노머, 레진강화형 글라스아이오노머 순으로 높은 안정성을 보였다. 7일간 다양한 용액에 침전시킨 결과 모든 시편에서 색상 변화가 나타났으며, 알카자이트 수복재는 글라스아이오노머 계열보다 낮은 색상 변화를 보였고, 복합레진보다는 높은 색상 변화를 나타냈다. 알카자이트 수복재는 커피에서 가장 많은 색상 변화가 나타났으며 그 다음은 녹차, 오렌지주스 순이었으나, 콜라와 PBS 용액에서는 침전 28일 이후에도 색상 변화를 거의 보이지 않았다. [J Korean Acad Pediatr Dent 2022;49(4):428-441]

원고접수일 2022년 8월 8일
 원고최종수정일 2022년 9월 21일
 원고채택일 2022년 9월 23일

© 2022 대한소아치과학회
 © 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아
 저작자표시-비영리 4.0 대한민국
 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.

교신저자 지명관

(61452) 광주광역시 동구 필문대로 309 조선대학교 치과대학 소아치과학교실
 Tel: 062-220-3868 / Fax: 062-225-8240 / E-mail: mdenti@chosun.ac.kr