



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

제작방법에 따른 임시치아 제작용
레진들의 색상 안정성에 관한
비교 연구

연세대학교 대학원

치의학산업학과

양 희 란

제작방법에 따른 임시치아 제작용
레진들의 색상 안정성에 관한
비교 연구

지도교수 송 제 선

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2024 년 12 월

연세대학교 대학원

치의학산업학과

양 희 란

양희란의 석사 학위논문으로 인준함

심사위원 송 제선

심사위원 김 지현

심사위원 신 유석

연세대학교 대학원

2024 년 12 월

감사의 글

부족함이 많았던 제가 학위 논문을 완성할 수 있도록 관심과 배려로 잘 이끌어 주신 송제선 교수님께 무한한 감사의 말씀을 드립니다. 더 좋은 논문이 되도록 세심하게 가르쳐 주신 신유석 교수님과 김지환 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

아낌없는 격려와 용기를 보내 주신 오스템임플란트 치의학연구원 조인호 원장님, 황충주 원장님, 김경원 원장님과 직장 동료들에게도 감사한 마음을 전하며 모두에게 행복한 앞날이 있기를 기원합니다.

유난히 무더웠던 올해 여름, 열악한 환경에서 3D 프린터와 새로운 소재로 싸우며 실험을 적극적으로 도와주신 동남보건대학 치기공과 김진성 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 제 인생에서 가장 불안하고 방황했던 20 대 때 선배로서 때로는 친언니처럼 더 나은 삶으로, 더 큰 세상으로 나아가도록 이끌어주신 스승의 은혜 잊지 않겠습니다.

마지막으로 직장 생활과 학업을 병행하면서 지치고 힘들었던 제게 늘 사랑으로 버팀목이 되어주었던 예비남편 최종현 님과 끊임없는 응원과 사랑을 보내준 나의 가족 아버지, 어머니, 남동생, 올케 그리고 사랑스러운 조카 태이, 태오에게도 감사의 인사와 사랑의 마음을 전합니다.

2024 년 12 월

양 희 란

차 례

그림 차례	ii
표 차례	iii
국문 요약	iv
1. 서론	1
2. 연구재료 및 방법	3
3. 결과	13
4. 토의	33
5. 결론	36
참고 문헌	37
영문 요약	40

그림 차례

그림 1.	ALIKE™ (GC) silicone mold for specimen manufacturing . . .	6
그림 2.	DLP 3D printer Max UV 385 (Asiga)	6
그림 3.	FFF 3D printer Style Plus-A15D (CUBICON)	7
그림 4.	Milling machine OneMill 5X (OSSTEM IMPLANT)	7
그림 5.	Enhance® Finishing system Point (Dentsply Sirona)	8
그림 6.	Spectrophotometer CM-3700A (Konica Minolta)	10
그림 7.	Contact surface roughness tester SV-3000 (Mitutoyo)	11
그림 8.	ALIKE™ coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison	14
그림 9.	MAZIC D TEMP coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison	14
그림 10.	PLA(QA2-4) coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison	15
그림 11.	MAZIC Temp Hybrid coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison	15
그림 12.	Graph of color change (ΔE) of each sample on the 3 day and 3 week according to the coloring solution	16
그림 13.	Graph of average surface roughness of each sample	31
그림 14.	Scanning electron microscope (SEM) image	32

표 차례

표 1. Resin for making temporary teeth used in the study · · · · ·	3
표 2. Method for making resin for making temporary teeth · · · · ·	5
표 3. Color change (ΔE) of each sample at 3 days and 3 weeks · · · · ·	17
표 4. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks) in distilled water· · · · ·	19
표 5. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks) in coffee · · · · ·	22
표 6. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks) in wine · · · · ·	25
표 7. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks) in curry· · · · ·	28
표 8. Surface roughness (Ra) of resin for making temporary teeth · · · · ·	30

국 문 요 약

제작방법에 따른 임시치아 제작용 레진들의 색상 안정성에 관한 비교 연구

임시치아는 최종 보철물의 제작기간 동안 환자의 치수를 보호하고 교합관계를 안정시켜 저작 기능을 가능하게 한다. 임시치아 제작용 레진은 생물학적, 기계적, 심미적 요소들이 충족되어야 하며, 대표적인 심미적 요구사항에는 색상 안정성이 있다. 최근 디지털 기술과 장비를 이용한 보철 제작법이 널리 사용되고 있으며, 이 연구의 목적은 제작 방법이 다른 다양한 종류의 임시치아 제작용 레진들을 이용하여 착색 식음료에 대한 색상 안정성과 표면 특성을 비교하고 의미를 고찰해 보고자 하였다.

본 연구에는 제작 방법이 다른 4 종류의 임시치아 제작용 레진을 사용하였다. 전통적인 제작법에 해당하는 재료 ALIKE™, DLP(Digital Light Processing) 출력방식 3D 프린팅 소재 MAZIC D TEMP 와 FFF(Fused Filament Fabrication) 출력방식 PLA(QA2-4), 밀링 방식 소재 MAZIC Temp Hybrid 를 사용하였다. 전통적인 제작법과 디지털 방식의 3D 프린팅, 밀링 방식으로 제작한 임시치아 레진을 단기(3 일차)와 장기(3 주차) 동안 증류수, 커피, 와인, 카레에 침전시킨 후 색상 안정성을 비교 평가하였다. 색상 안정성(변색)을 측정하기 위해 분광측색계를 이용하여 L^* , a^* , b^* 값을 측정하고, 색차 ΔE 값을 산출하여 시간에 따른 색상 변화를 비교 분석하였다. 또한 접촉식 표면조도기를 이용하여 시편의 표면거칠기(Ra)를 측정하였다.

커피와 와인에서 색상 변화가 매우 유의미하게 증가하였으며, 커피에서 모든 제품이 3 일차와 3 주차에 큰 색 변화($p < 0.05$)를 보였다. 특히 MAZIC D TEMP 는 커피 환경에서 급격한 색상 변화를 나타냈다. 와인에서도 유의미한 색 변화가

나타났으며 ($p < 0.05$), PLA(QA2-4) 제품은 나머지 제품들과 비교하였을 때 와인에서 3 일 후와 3 주 후 색상 변화 값 차이가 가장 크게 나타났다. 침전 시간(3 일차, 3 주차)에 따라 MAZIC Temp Hybrid 는 다른 제품들에 비해 색상 변화(ΔE)가 적었다. MAZIC Temp Hybrid 는 가장 낮은 표면거칠기(Ra) 값을 보였고 ALIKE™, MAZIC D TEMP, PLA(QA2-4) 순서로 표면거칠기(Ra) 값이 높았다.

변색의 정도는 커피, 와인, 카레 용액에서 시간이 지남에 따라 증가하였고, 임시치아 제작용 레진 중에서 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid 가 침전 시간(3 일차, 3 주차)에 따라 다른 제품들에 비해 색상 변화 (ΔE)가 가장 적었다. 연구 결과를 종합하였을 때, 4 종의 임시치아 제작 재료 중 디지털 제작법 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid 가 단기와 장기적인 측면에서 색상 안정성이 우수하였다.

핵심되는 말: 변색, 분광측색계, 색상 안정성, 색차(ΔE), 임시치아 제작용 레진, 치과용 3D 프린팅 재료, 치과용 밀링 재료, 표면거칠기(Ra)

1. 서론

디지털 기술은 치과 의료산업 분야에 혁신을 가져왔으며, 최근 디지털 기술과 장비를 이용한 다양한 구내 장치 및 보철 제작법이 널리 사용되고 있다. CAD-CAM (Computer-Aided and Computer-aided Manufacturing) 기술 발전은 치과 보철 제작용 3D 프린터와 절삭가공 밀링 시스템 개발을 자연스럽게 이끌어내고 있으며, 3D 프린팅과 밀링 기술은 정밀성, 효율성, 그리고 맞춤 제작이 가능한 치과 보철물 제작의 선두 주자로 자리 잡고 있다. 크라운 및 브릿지 등의 고정성 보철 치료를 위해 임시치아 제작용 레진은 광범위하게 사용되며, 임시치아는 치아의 일부 또는 전부 상실된 부분을 정상적인 모양으로 회복시켜주는 최종 보철물의 제작기간 동안 환자의 치수를 보호하고 교합관계를 안정시켜 저작 기능을 할 수 있게 한다.

임시치아 제작용 레진은 생물학적, 기계적, 심미적 요소들이 충족되어야 하며, 대표적인 심미적 요구 사항에는 색상 호환성과 색조 안정성이 있다(Rosenstiel, Land, Fujimoto 1987). 치과영역에서 환자들의 미적 기준은 과거와 비교하였을 때 그 기준이 상당히 높아졌으며 저작, 발음, 교합유지 등의 기능적 회복과 더불어 심미성 유지도 환자의 주된 요구사항에서 큰 부분을 차지한다. 현대사회에서 모든 연령대의 사회적 활동이 활발한 만큼 영구적으로 사용하는 최종 보철물 뿐만 아니라 단기간 사용하는 임시 보철물에 대한 색조 부조화, 색소의 침착 등은 환자들의 가장 큰 불만사항이다. 색상 안정성은 심미적 요소에서 큰 부분을 차지하는 만큼 변색에 대한 불만사항은 임시치아 재제작에 대한 추가 비용과 시간 등이 소요된다(Shin et al. 2020). 시간이 지남에 따라 발생하는 임시치아의 변색은 심미적인 매력을 저해하고, 환자의 만족도와 임상 결과에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 임시 치아 수복물에 사용되는 레진은 제조 과정에 따라 다양한 화학적, 구조적 특성을 가지며, 이는 색상 안정성에 영향을 미친다(Turgut, Bagis 2011).

임시치아 제작용 레진의 변색을 야기시키는 요인으로서는 수복물 표면의 거칠기, 환자의 식이요법과 구강 위생, 재료의 불완전한 중합, 화학적 반응성 등이 있다(Rutkunas, Sabaliauskas, Mizutani 2010). 색상 안정성은 보철의 심미적

요소에서 임시치아 제작용 레진을 선택할 때 중요한 사항으로, 커피와 와인 같은 착색 음료가 임시치아 제작 재료에 미치는 영향에 대한 선행 연구들이 존재한다(Guler et al. 2005). 치과용 레진의 표면 거칠기(Ra)가 변색 저항성에 미치는 영향을 조사한 연구에 따르면, 매끄러운 표면은 착색을 감소시키고 수복물의 수명과 심미성을 높이는 변색 저항성에 중요한 역할을 한다(Lu et al. 2005).

전통적인 제작법 자가중합형 레진은 오랜 기간 동안 색상 안정성에 대해 연구되어 왔으며, 새로운 재료들을 평가하는 기준이 된다(Sham et al. 2004). 전통적인 임시치아 제작방법은 레진 파우더와 리퀴드를 혼합하여 경화시키는 추가 단계가 필요하고 작업자의 숙련도에 따라 제작 시간, 표면 형상, 강도, 거칠기 등이 일정하지 않으며 디지털 제작방식과 비교하여 환자의 대기 시간이 더 길어질 수 있다. 반면, 디지털 장비를 이용한 제작법은 레진을 혼합하고 경화시키는 과정이 간소화되어 환자 대기시간과 보철물 장착까지의 전체 체어타임을 줄일 수 있다.

디지털 장비와 기술 발전의 장점에도 불구하고, 단기간 사용하는 임시치아 수복물에 대한 심미적 요건은 크게 작용하고 있지 않으며 임시치아 제작용 레진의 심미적 요구사항에 대한 연구도 부족하다. 치과에서 CAD-CAM 시스템을 이용한 보철물 제작법의 이점을 논의하는 여러 선행 연구들이 있지만, 전통적인 제작법 레진과 디지털 장비를 이용한 임시치아 제작용 레진의 색상 안정성과 표면 특성 비교에 대한 연구는 부족하다.

따라서, 본 연구의 목적은 제작방법이 다른 임시치아 제작용 레진들의 색상 안정성에 관한 비교로 현재 임상에서 시판되는 전통적인 제작법 레진과 DLP 출력방식 3D 프린팅 레진, FFF 출력방식 3D 프린팅 레진, 밀링 방식 PMMA 디스크를 사용하여 표면 거칠기를 비교하고 일반적으로 소비되는 착색 식음료에 대한 색상 안정성을 평가하는 시험을 수행하였다.

귀무가설은 제작 방법이 다른 다양한 종류의 임시치아 제작용 레진들을 이용하여 착색 식음료에 대한 변색을 측정하였을 때, 전통적인 제작법과 디지털 제작법 레진 간의 색상 안정성 값에 유의한 차이가 없다는 것이다.

2. 연구재료 및 방법

2.1. 연구재료

본 연구에서는 제작 방법이 다른 4 개의 임시치아 제작용 레진의 색상 안정성을 평가하였다. 전통적인 제작법에 해당하는 재료 ALIKE™ (GC Co., Illinois, USA)와 3D 프린팅 레진 소재 2 종 MAZIC D TEMP (Vericom Co., Ltd., Gangwon-do, Korea), PLA(QA2-4) (QUVE Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea), 밀링용 PMMA 디스크 MAZIC Temp Hybrid (Vericom)를 사용하였다. 시편은 각 15 개씩 총 60 개를 제작하였으며, 각 시편의 색상은 A2 (ALIKE™, MAZIC D TEMP, MAZIC Temp Hybrid)와 Ivory 색상 PLA(QA2-4)를 사용하였다 (표 1).

표 1. Resin for making temporary teeth used in the study

Resin Product	Resin Manufacturer	Resin Type	Fabrication method	No. of specimens
ALIKE™	GC Co., USA	Polymethyl methacrylate	Powder/ Liquide	15
MAZIC D TEMP	Vericom Co., Ltd., Korea	Methacrylic oligomer, phosphine oxide	3D printing Materials	15
PLA (QA2-4)	QUVE Co., Ltd., Korea	PLA (Poly Lactic Acid)	3D printing Materials	15
MAZIC Temp Hybrid	Vericom Co., Ltd., Korea	Polymethyl methacrylate	Milling disk	15

2.2. 연구 방법

2.2.1. 시편 제작

색상 안정성을 평가하기 위한 시편은 색상 측정에 사용한 분광측색계 CM-3700A (Konica Minolta, Tokyo, Japan)의 측정판 직경과 동일하면서 배경색의 영향을 최소화하는 직경 13mm, 두께 3mm의 원형 형태로 제작하였다. 전통적인 제작방법 레진 ALIKE™ (GC)는 시편을 만들어낼 수 있는 실리콘 몰드에 파우더와 리퀴드를 3:1(P/L ratio)로 혼합하여 주입하고 자가증합을 거쳐 원형 형태의 시편을 제작하였다 (그림 1). 실리콘 몰드에서 제거한 원형 시편의 여분 레진은 15,000 rpm 속도로 회전하는 전기 구동 핸드피스에 장착된 텐처버 HF251CE 060 (NTI, Kahla, German)로 연마하였다.

3D 프린터와 밀링 장비를 이용한 디지털 제작방법의 시편은 웹 기반 CAD 프로그램 Autodesk 123D Design (Autodesk, Inc., California, U.S.A)을 이용하여 13mm (직경) x 3mm (두께) 원형의 시편을 디자인하고 해당 파일은 가장 널리 쓰이는 STL (StereoLithography)로 저장하여 각 소재의 제조업체에서 권장하는 3D 프린터와 밀링 장비를 이용하여 시편을 제작하였다 (표 2).

임시치아 제작에 사용되는 3D 프린터용 광중합 레진 MAZIC D TEMP (Vericom)는 DLP 방식 3D 프린터 Max uv 385 (Asiga, NSW, Australia) (그림 2)를 사용하였고, 필라멘트 PLA(QA2-4) (QUVE)는 FFF 방식 3D 프린터 Style Plus-A15D (CUBICON Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea) (그림 3)로 시편을 제작하였다. 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid (Vericom)는 OneMill 5X (OSSTEM IMPLANT Co., Ltd., Seoul, Korea) (그림 4) 5축 밀링 장비를 이용하여 제작하였다.

2.2.2. 연마 방법

모든 시편의 표면 연마는 초기 거칠기 표준화를 위해 임상에서 널리 사용하는 Enhance® Finishing system Point (Dentsply Sirona, Caulk, U.S.A.) (그림 5)를 이용하여 제조사의 지시에 따라 가볍고 간헐적 압력으로 술자 한 명이 일반적인 속도 10,000~20,000 RPM 으로 시편의 양면을 각 20 초씩 연마하였다.

표 2. Method for making resin for making temporary teeth

Resin Product	Processing Equipment	Processing Method	Equipment Manufacturer
ALIKE™	Powder/liquid Handmix	Powder/Liquid ratio(g) 3:1	
MAZIC D TEMP	Max uv 385	Additive manufacturing (DLP-Digital Light Processing)	Asiga, Australia
PLA (QA2-4)	Style Plus – A15D	Additive manufacturing (FFF-Fused Filament Fabrication)	CUBICON Co. Ltd., Korea
MAZIC Temp Hybrid	OneMill 5X (5 axis)	Subtractive manufacturing	OSSTEM IMPLANT Co., Ltd., Korea

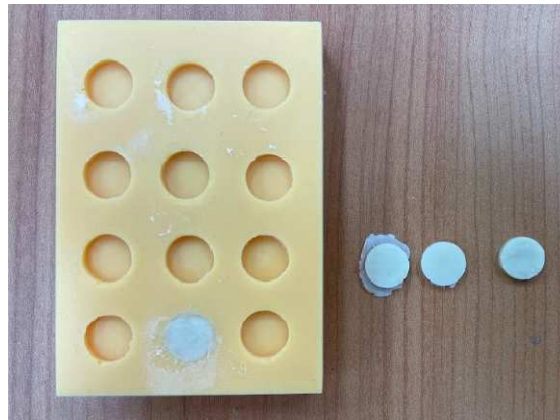


그림 1. ALIKE™ (GC) silicone mold for specimen manufacturing

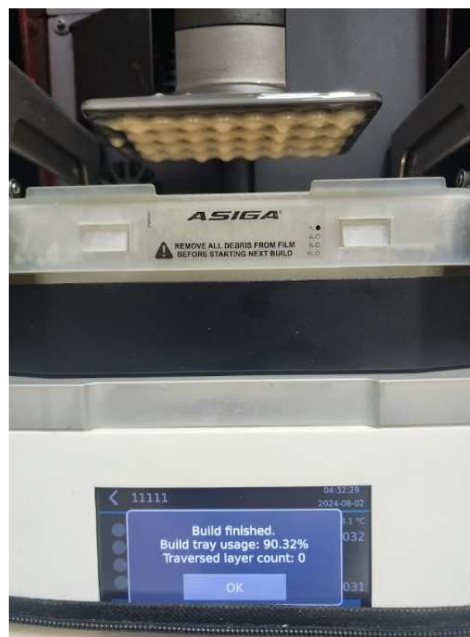


그림 2. DLP 3D printer Max UV 385 (Asiga)



그림 3. FFF 3D printer Style Plus-A15D (CUBICON)



그림 4. Milling machine OneMill 5X (OSSTEM IMPLANT)



그림 5. Abrasive material Enhance® Finishing system Point (Dentsply Sirona)

2.2.3. 착색 용액

임시치아 제작용 레진 4 종의 시편을 착색시키기 위해 증류수 (Distilled water), 커피, 와인, 카레를 사용하였다. 커피는 커피분말 KANU dark roast americano (Dong-Suh food Co., Incheon, Korea) 9g 을 끓는 물 1000ml 에 넣고 5 분간 혼합하여 제조하고, 와인 VIVID TINTO (BODEGAS MILENIUM S, L, Spain)는 400ml, 카레는 카레분말 OTTOGI CURRY MEDIUM (Ottogi, Gyeonggi-do, Korea) 60g 을 끓는 물 400ml 에 넣고 5 분간 혼합하여 준비하였다. 착색 용액에 각 군의 시편 15 개씩 침전시키고 빛이 차단되는 용기에 담아 실온 (23~25℃)에 보관하였다. 착색 용액은 3 일에 한 번씩 교체하며 3 주 동안 실험을 진행하였다.

2.2.4. 색상 측정

색상 측정 전 착색 용액에서 각 시편을 분리하여 흐르는 물에 1 분 동안 행군 다음 종이 타월로 잔여 수분을 제거하였다. 색상 측정을 위해 분광측색계 (spectrophotometer) CM-3700A (Konica Minolta) (그림 6)를 이용하였고, 분광측색계 광학부에 흡광통을 놓고 영점조정 (zero calibration) 후 표준백색판 (standard white reflectorplate)으로 표준조정 (white calibration)을 시행하였다. 착색 용액에서 분리한 시편을 백색의 배경판 상에 위치시킨 후 SCE 설정, D65 광원을 표준광원으로 사용하고 각 시편의 중앙을 중심으로 무작위 세 지점을 선택하여 L^* , a^* , b^* 값을 측정하고 평균값을 기록하였다. 착색 용액 침전 이전 (0 일차), 3 일 후, 3 주 후 시편 측정을 시행하였으며, 착색 용액 침전 이전 (0 일차) 시편의 L^* , a^* , b^* 값을 대조군으로 하여 3 일차, 3 주차의 결과를 측정하였다.

색상차이는 측정된 L^* , a^* , b^* 값을 이용하여 ΔE 를 산출하였다.

색상차이 ΔE 값의 산출 공식은 다음과 같다.

ΔE^*_{ab} : 시편의 색조 차이 값

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

L^* : 밝기 값

a^* : 빨간색-초록색 축 값

b^* : 노란색-파란색 축 값

(L^*_1, a^*_1, b^*_1) : 첫 번째 시편의 Lab* 값

(L^*_2, a^*_2, b^*_2) : 두 번째 시편의 Lab* 값



그림 6. Spectrophotometer CM-3700A (Konica Minolta)

2.2.5. 표면 거칠기 측정

표면처리 (polishing)된 임시치아 제작용 레진 4 종의 평균 표면거칠기(Ra) 값을 측정하기 위해 각 군의 시편 15 개씩 접촉식 표면조도기 SV-3000 (Mitutoyo, Kanagawa-ken, Japan) (그림 7)를 사용하여 측정하였다. 시편을 측정 테이블에 위치시킨 후 각 시편의 중앙을 중심으로 하여 무작위로 4 회씩 측정하여 평균값을 구하였다. 측정 길이는 1.25mm, cut-off 파장은 0.25mm 로 Ra (average roughness), Rq (root mean square), Rz (ten point medium height), Rt (Maximum Peak to Vally Roughness Height)를 측정하였다. 본 연구에서는 가장 대표적인 표면거칠기 지표로 사용되며, 안정적이고 용이하게 적용할 수 있는 Ra 값을 사용하였다. Ra 값은 측정 길이 내의 중심선으로부터 표면 윤곽까지의 모든 절대값들의 평균치로 정의되는 평균 표면 조도값을 나타낸다(Setcos, Tarim, Suzuki 1999).



그림 7. Contact surface roughness tester SV-3000(Mitutoyo)

2.2.6. 표면 특성 분석

임시치아 레진의 표면 형상을 다양한 배율로 관찰하기 위해 각 그룹의 대표 시편 1 개씩 freeze dryer ES-2030 (HITACHI, Tokyo, Japan)로 건조한 다음 Ion coater E-1010 (HITACHI)을 이용하여 100nm 두께로 백금 Coating 후 주사 전자현미경 (Scanning electron microscope) S-3000N (HITACHI)으로 분석하였다. 가속전압 10kV 하에서 레진 시편의 표면 100 배, 300 배, 500 배 영상을 얻었다.

2.2.7. 통계 분석

본 실험의 결과는 IBM SPSS v28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 임시치아 제작용 레진 시편의 3 일 후, 3 주 후 색상차이(ΔE)를 비교하기 위해 통계적 유의수준 0.05 에서 반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA)을 수행하였다. 또한, 각 시편에서 유의미한 색 변화가 발생한 시기와 기간을 평가하기 위해 사후 검정 (post-hoc test) Bonferroni 검증을 수행하였다.

3. 결과

3.1. 착색 용액에 따른 임시치아 제작용 레진의 색상차이(ΔE)

각 시편을 착색 용액에 침전시켜 시간에 따른 색상 변화를 분광측색계로 측정하고, 변색 3 일차와 3 주차 상태를 모두 촬영하였다 (그림 8-11). 각 표본의 3 일차, 3 주차 색상 변화 평균 값과 표준편차는 다음과 같은 결과를 얻었다 (표 3).

중류수를 사용한 실험에서는 3 일 후와 3 주 후의 색상 변화가 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이는 중류수에 의한 색 변화가 미미하며, 시간 경과에도 색상 안정성이 크게 변화하지 않았음을 의미한다. 반면, 커피와 와인 착색 용액에서는 색상 변화가 매우 유의미하게 증가했다. 커피에서 모든 제품은 3 일 후와 3 주 후 모두 큰 색 변화 ($p < .05$)를 보였으며, 특히 MAZIC D TEMP 는 커피 환경에서 급격한 색상 변화를 나타냈다. 와인에서도 유의미한 색 변화가 나타났으며 ($p < .05$), PLA(QA2-4) 제품은 나머지 제품들과 비교하였을 때 와인에서 3 일 후와 3 주 후 색상 변화 값 차이가 가장 크게 나타났다. 카레는 다른 용액에 비해 색 변화의 유의성이 낮았으나, 시간이 지나면서 MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4)에서 일정한 색 변화가 관찰되었다 (그림 13).

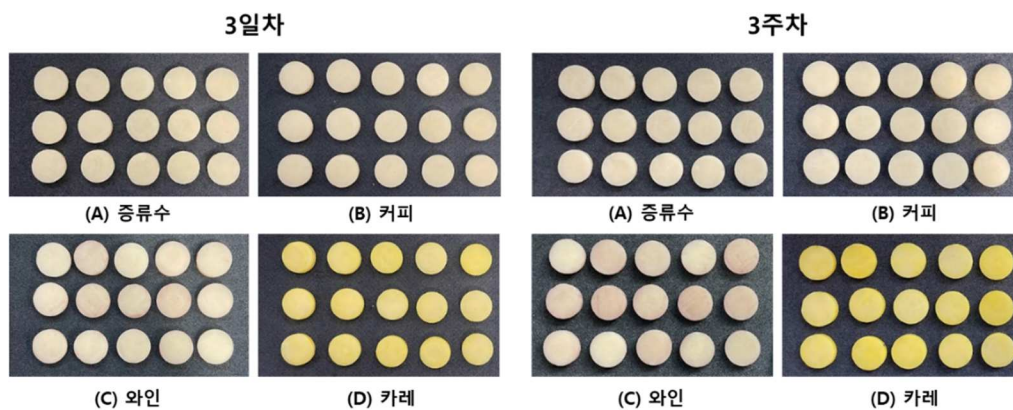


그림 8. ALIKE™ coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison

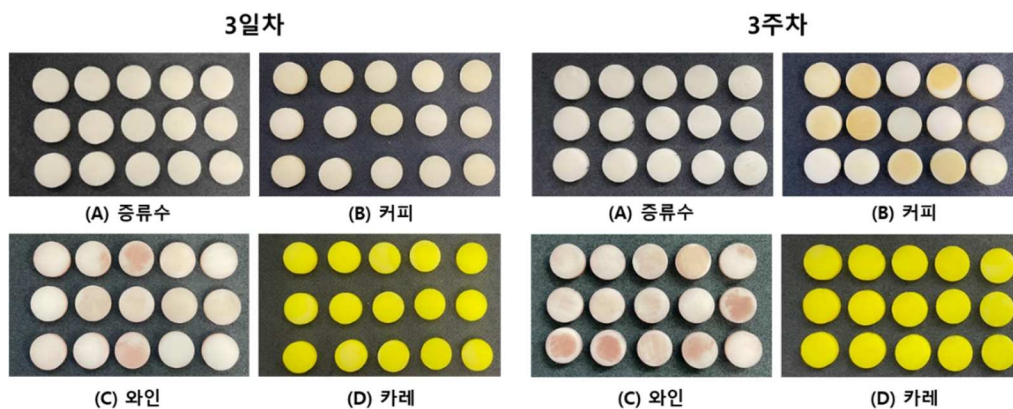


그림 9. MAZIC D TEMP coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks discoloration comparison



그림 10. PLA(QA2-4) coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks
 discoloration comparison

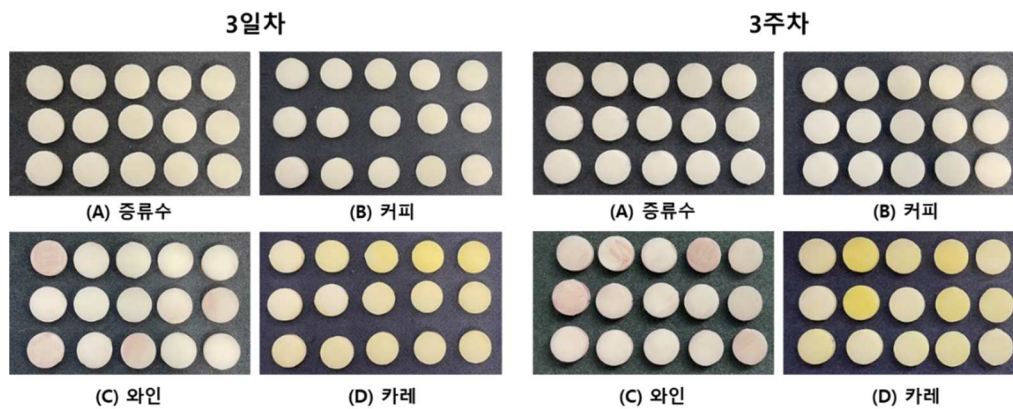


그림 11. MAZIC Temp Hybrid coloring solution precipitation 3 days, 3 weeks
 discoloration comparison

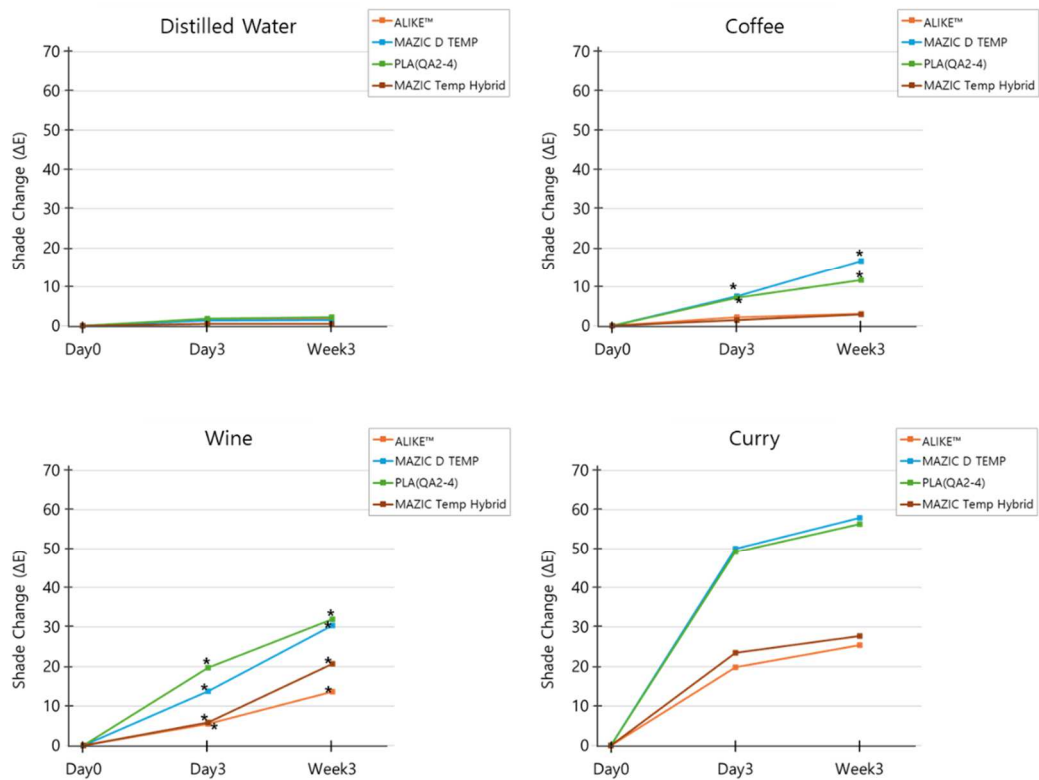


그림 12. Graph of color change (ΔE) of each sample on the 3 day and 3 week according to the coloring solution * $p < .05$

표 3. Color change (ΔE) of each sample at 3 days and 3 weeks

하위그룹/기간	3일차	3주차	<i>p</i>
증류수			
ALIKE™	1.40 ± 0.70	1.76 ± 0.88	.219
MAZIC D TEMP	1.31 ± 0.45	1.42 ± 0.62	
PLA(QA2-4)	1.82 ± 0.97	2.14 ± 1.17	
MAZIC Temp Hybrid	0.43 ± 0.27	0.46 ± 0.20	
전체	1.24 ± 0.82	1.45 ± 1.00	
커피			
ALIKE™	2.22 ± 0.98	3.03 ± 1.09	<.0001*
MAZIC D TEMP	7.48 ± 6.17	16.70 ± 7.81	
PLA(QA2-4)	7.15 ± 2.91	11.68 ± 1.71	
MAZIC Temp Hybrid	1.41 ± 0.21	2.90 ± 0.57	
전체	4.57 ± 4.37	8.58 ± 7.13	
와인			
ALIKE™	5.45 ± 2.71	13.65 ± 4.42	<.0001*
MAZIC D TEMP	13.80 ± 5.99	30.41 ± 6.49	
PLA(QA2-4)	19.75 ± 5.74	31.94 ± 5.16	
MAZIC Temp Hybrid	5.80 ± 3.90	20.70 ± 3.07	
전체	11.20 ± 7.60	24.17 ± 8.92	
카레			
ALIKE™	19.88 ± 4.41	25.39 ± 5.48	.140
MAZIC D TEMP	50.01 ± 8.74	57.96 ± 8.23	
PLA(QA2-4)	49.13 ± 4.53	56.27 ± 3.76	
MAZIC Temp Hybrid	23.47 ± 7.90	27.73 ± 7.84	
전체	35.62 ± 15.56	41.84 ± 16.72	

* Statistically significant ($p < .05$) by Repeated Measures ANOVA,

Bonferroni test.

3.2. 시기에 따른 임시치아 제작용 레진 간의 색상차이(ΔE)

반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA) 결과, 증류수 조건에서 그룹 간 색상 변화량에 유의한 차이가 나타났다 ($p < .05$). 따라서 사후분석을 통해 각 그룹 간의 차이를 구체적으로 평가하였다. 3 일차 사후분석 결과 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 간의 평균 차이는 0.085 로 유의하지 않았다. 반면, ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 0.971, $p < .05$ 로 유의하게 나타났으며, ALIKE™의 색상 변화량이 더 큰 것으로 나타났다. ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -0.417 로 유의하지 않았다. MAZIC D TEMP 와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 0.887, $p < .05$ 로 유의한 차이가 있었으며, MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -0.502 로 유의하지 않았다. 또한, MAZIC Temp Hybrid 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -1.389, $p < .05$ 로 유의하게 나타나며, PLA(QA2-4)의 색상 변화량이 더 큰 것으로 나타났다.

3 주차 분석에서는 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 간의 평균 차이는 0.340 로 유의하지 않았으며, ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 1.299, $p < .05$ 로 매우 유의하게 나타났다. ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -0.375 로 유의하지 않았고, MAZIC D TEMP 와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 0.959, $p < .05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -0.715 로 유의하지 않았으나, MAZIC Temp Hybrid 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -1.675, $p < .05$ 로 유의하게 나타났다 (표 4).

표 4. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks)
 in distilled water

시기	(I) 제품	(J) 제품	Mean		
			Difference (I-J)	Std. Error	<i>p</i>
3일차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	.085	.239	>.999
		MAZIC Temp Hybrid	.971*	.239	.001
		PLA(QA2-4)	-.417	.239	.516
		ALIKE™	-.085	.239	>.999
		MAZIC D TEMP	.887*	.239	.003
	MAZIC D TEMP	MAZIC Temp Hybrid	.887*	.239	.003
		PLA(QA2-4)	-.502	.239	.240
		ALIKE™	.417	.239	.516
		MAZIC D TEMP	.502	.239	.240
		MAZIC Temp Hybrid	1.389*	.239	<.0001
	MAZIC Temp Hybrid	ALIKE™	-.971*	.239	.001
		MAZIC D TEMP	-.887*	.239	.003
		PLA(QA2-4)	-1.389*	.239	<.0001
		MAZIC D TEMP	.340	.292	>.999
		MAZIC Temp Hybrid	1.299*	.292	<.0001
3주차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	.340	.292	>.999
		MAZIC Temp Hybrid	1.299*	.292	<.0001
		MAZIC D TEMP	.340	.292	>.999

	PLA(QA2-4)	-.375	.292	>.999
	ALIKE™	-.340	.292	>.999
MAZIC D TEMP	MAZIC Temp	.959*	.292	.011
	Hybrid			
	PLA(QA2-4)	-.715	.292	.105
	ALIKE™	.375	.292	>.999
PLA(QA2-4)	MAZIC D	.715	.292	.105
	TEMP			
	MAZIC Temp	1.675*	.292	<.0001
	Hybrid			
	ALIKE™	-1.299*	.292	<.0001
MAZIC Temp Hybrid	MAZIC D	-.959*	.292	.011
	TEMP			
	PLA(QA2-4)	-1.675*	.292	<.0001

* Statistically significant ($p < 0.05$) by Repeated Measures ANOVA,
Bonferroni test.

반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA) 결과, 커피 조건에서 그룹 간 색상 변화량에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<.05$). 따라서 사후분석을 통해 그룹 간의 차이를 자세히 검토하였다. 커피 조건에서 3 일차 사후분석 결과, ALIKE™와 MAZIC D TEMP 간의 평균 차이는 -5.266 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났으며, 이는 MAZIC D TEMP 의 색상 변화량이 ALIKE™보다 더 적음을 의미한다. ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 0.801 로 유의하지 않았다. 반면, ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -4.935 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP 와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 6.067 , $p<.05$ 로 유의하였으며, MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 0.331 로 유의하지 않았다. MAZIC Temp Hybrid 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -5.735 , $p<.05$ 로 매우 유의미하게 나타났다.

커피 3 주차 분석에서는 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 간의 평균 차이가 -13.674 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났으며, ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 0.133 로 유의하지 않았다. ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -8.650 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP 와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 13.807 , $p<.05$ 로 유의하였고, MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 5.024 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났다. 마지막으로, MAZIC Temp Hybrid 와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -8.783 , $p<.05$ 로 유의하게 나타났다 (표 5).

표 5. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks)
 in coffee

시기	(I) 제품	(J) 제품	Mean	Std. Error	<i>p</i>
			Difference (I-J)		
3일차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-5.266*	1.258	.001
		MAZIC Temp Hybrid	.801	1.258	>.999
		PLA(QA2-4)	-4.935*	1.258	.001
		ALIKE™	5.266*	1.258	.001
	MAZIC D TEMP	MAZIC Temp Hybrid	6.067*	1.258	<.0001
		PLA(QA2-4)	.331	1.258	>.999
		ALIKE™	4.935*	1.258	.001
		MAZIC D TEMP	-.331	1.258	>.999
	PLA(QA2-4)	MAZIC Temp Hybrid	5.735*	1.258	<.0001
		ALIKE™	-.801	1.258	>.999
	MAZIC Temp Hybrid	MAZIC D TEMP	-6.067*	1.258	<.0001
		PLA(QA2-4)	-5.735*	1.258	<.0001
3주차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-13.674*	1.478	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	.133	1.478	>.999

MAZIC D TEMP	PLA (QA2-4)	-8.65*	1.478	<.0001
	ALIKE™	13.674*	1.478	<.0001
	MAZIC Temp Hybrid	13.807*	1.478	<.0001
PLA (QA2-4)	PLA (QA2-4)	5.024*	1.478	.007
	ALIKE™	8.650*	1.478	<.0001
	MAZIC D TEMP	-5.024*	1.478	.007
MAZIC Temp Hybrid	MAZIC Temp Hybrid	8.783*	1.478	<.0001
	ALIKE™	-.133	1.478	>.999
	MAZIC D TEMP	-13.807*	1.478	<.0001
	PLA (QA2-4)	-8.783*	1.478	<.0001

* Statistically significant ($p < 0.05$) by Repeated Measures ANOVA,

Bonferroni test.

반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA) 결과, 그룹 간 색상 변화량에 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 이에 따라 사후분석을 실시하여 그룹 간의 구체적인 차이를 분석하였다. 3일차의 사후분석 결과 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 간의 평균 차이는 -8.343 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났으며, MAZIC D TEMP가 ALIKE™보다 색상 변화량이 더 적었음을 보여준다. ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 -0.350 로 유의하지 않았으나, ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -14.299 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 7.993 , $p < .05$ 로 유의하였고, MAZIC D TEMP와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 -5.955 , $p < .05$ 로 유의한 차이가 있었다. MAZIC Temp Hybrid와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 -13.949 , $p < .05$ 로 매우 유의하게 나타났다.

와인 3주차의 경우 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 사이의 평균 차이는 -16.761 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났으며, ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 -7.051 , $p < .05$ 로 유의하였다. ALIKE™와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이도 -18.289 , $p < .05$ 로 유의미하였다. MAZIC D TEMP와 MAZIC Temp Hybrid 사이의 평균 차이는 9.711 , $p < .05$ 로 유의하였으나, MAZIC D TEMP와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 -1.528 로 유의하지 않았다. 마지막으로 MAZIC Temp Hybrid와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -11.239 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다 (표 6).

표 6. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks)

in wine

시기	(I) 제품	(J) 제품	Mean	Std. Error	<i>p</i>
			Difference (I-J)		
3일차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-8.343*	1.745	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	-.350	1.745	>.999
		PLA(QA2-4)	-14.299*	1.745	<.0001
		ALIKE™	8.343*	1.745	<.0001
		MAZIC D TEMP	7.993*	1.745	<.0001
	MAZIC D TEMP	MAZIC Temp Hybrid	7.993*	1.745	<.0001
		PLA(QA2-4)	-5.955*	1.745	.007
		ALIKE™	14.299*	1.745	<.0001
		MAZIC D TEMP	5.955*	1.745	.007
		MAZIC Temp Hybrid	13.949*	1.745	<.0001
	PLA(QA2-4)	ALIKE™	.350	1.745	>.999
		MAZIC D TEMP	-7.993*	1.745	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	-13.949*	1.745	<.0001
		MAZIC D TEMP	-16.761*	1.804	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	-13.949*	1.745	<.0001
3주차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-16.761*	1.804	<.0001

		MAZIC Temp	-7.051*	1.804	.002
		Hybrid			
		PLA(QA2-4)	-18.289*	1.804	<.0001
		ALIKE™	16.761*	1.804	<.0001
MAZIC D TEMP		MAZIC Temp	9.711*	1.804	<.0001
		Hybrid			
		PLA(QA2-4)	-1.528	1.804	>.999
		ALIKE™	18.289*	1.804	<.0001
PLA(QA2-4)		MAZIC D	1.528	1.804	>.999
		TEMP			
		MAZIC Temp	11.239*	1.804	<.0001
		Hybrid			
MAZIC Temp Hybrid		ALIKE™	7.051*	1.804	.002
		MAZIC D	-9.711*	1.804	<.0001
		TEMP			
		PLA(QA2-4)	-11.239*	1.804	<.0001

* Statistically significant ($p < 0.05$) by Repeated Measures ANOVA,

Bonferroni test.

반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA) 결과, 카레 조건에서 그룹 간 색상 변화량에 유의한 차이가 있었으며 ($p < .05$), 이를 기반으로 사후분석을 통해 그룹 간 차이를 구체적으로 분석하였다. 카레 3일차 사후분석 결과, ALIKE™와 MAZIC D TEMP 사이의 평균 차이는 -30.133 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났으며, MAZIC D TEMP의 색상 변화량이 ALIKE™보다 더 적었음을 의미한다. ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 사이의 평균 차이는 -3.591 로 유의하지 않았으나, ALIKE™와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 -29.251 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP와 MAZIC Temp Hybrid 간의 평균 차이는 26.541 , $p < .05$ 로 유의하였고, MAZIC D TEMP와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 0.881 로 유의하지 않았다. MAZIC Temp Hybrid와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -25.660 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다.

카레 3주차 분석에서도 ALIKE™와 MAZIC D TEMP 사이의 평균 차이가 -32.569 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났으며, ALIKE™와 MAZIC Temp Hybrid 사이의 평균 차이는 -2.341 로 유의하지 않았다. ALIKE™와 PLA(QA2-4) 간의 평균 차이는 -30.885 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다. MAZIC D TEMP와 MAZIC Temp Hybrid 사이의 평균 차이는 30.229 , $p < .05$ 로 유의하였고, MAZIC D TEMP와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 1.685 로 유의하지 않았다. MAZIC Temp Hybrid와 PLA(QA2-4) 사이의 평균 차이는 -28.544 , $p < .05$ 로 유의하게 나타났다 (표 7).

표 7. Color change (ΔE) between products according to time (3 days, 3 weeks)
 in curry

시기	(I) 제품	(J) 제품	Mean	Std. Error	<i>p</i>
			Difference (I-J)		
3일차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-30.133*	2.440	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	-3.591	2.440	.880
		PLA(QA2-4)	-29.251*	2.440	<.0001
		ALIKE™	30.133*	2.440	<.0001
	MAZIC D TEMP	MAZIC Temp Hybrid	26.541*	2.440	<.0001
		PLA(QA2-4)	.881	2.440	>.999
	PLA(QA2-4)	ALIKE™	29.251*	2.440	<.0001
		MAZIC D TEMP	-.881	2.440	>.999
		MAZIC Temp Hybrid	25.660*	2.440	<.0001
		ALIKE™	3.591	2.440	.880
	MAZIC Temp Hybrid	MAZIC D TEMP	-26.541*	2.440	<.0001
		PLA(QA2-4)	-25.660*	2.440	<.0001
3주차	ALIKE™	MAZIC D TEMP	-32.569*	2.405	<.0001
		MAZIC Temp Hybrid	-2.341	2.405	>.999

MAZIC D TEMP	PLA(QA2-4)	-30.885*	2.405	<.0001
	ALIKE™	32.569*	2.405	<.0001
	MAZIC Temp Hybrid	30.229*	2.405	<.0001
PLA(QA2-4)	PLA(QA2-4)	1.685	2.405	>.999
	ALIKE™	30.885*	2.405	<.0001
	MAZIC D TEMP	-1.685	2.405	>.999
MAZIC Temp Hybrid	MAZIC Temp Hybrid	28.544*	2.405	<.0001
	ALIKE™	2.341	2.405	>.999
	MAZIC D TEMP	-30.229*	2.405	<.0001
	PLA(QA2-4)	-28.544*	2.405	<.0001

* Statistically significant ($p < 0.05$) by Repeated Measures ANOVA,

Bonferroni test

3.3. 임시치아 제작용 레진의 표면거칠기(Ra) 비교

표면거칠기(Ra)는 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid가 가장 작은 값을 나타내었고, 전통적인 제작법 ALIKE™, 3D 프린터 DLP 방식 MAZIC D TEMP, 3D 프린터 FFF 방식 PLA(QA2-4) 순으로 큰 값을 나타내었다 (그림 13). 반복 측정 일원분산분석 (repeated measures ANOVA) 결과 모든 제작방식 간에 유의미한 차이가 확인되었으며, 사후 분석을 통해 제작 방식 간의 구체적인 차이를 확인하였다. 제작 방법이 다른 4종류의 제품 모두 표면 거칠기(Ra) 값에서 유의미한 차이를 보였으며, 특히 MAZIC Temp Hybrid가 가장 매끄러운 표면을 제공한 반면, PLA(QA2-4)가 가장 거친 표면을 생성하는 것으로 나타났다 (표 8).

표 8. Surface roughness (Ra) of resin for making temporary teeth

Resin product	Ra(N=15)	<i>p</i>
ALIKE™	0.657±0.047	<.05*
MAZIC D TEMP	0.862±0.060	
PLA(QA2-4)	1.649±0.106	
MAZIC Temp Hybrid	0.529±0.055	

* Statistically significant ($p<0.05$) by Repeated Measures ANOVA,

Bonferroni test.

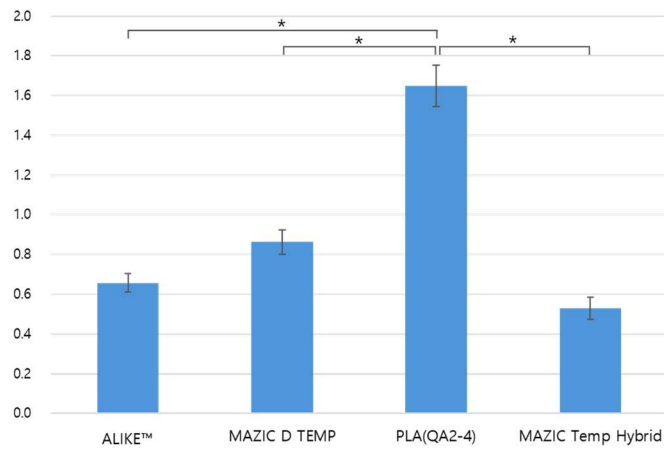


그림 13. Graph of average surface roughness of each sample

3.4. 임시치아 제작용 레진의 표면 형상 분석

주사 전자현미경 (SEM) 분석을 통해 시편 표면의 고배율 (x100, x300, x500) 형상 결과를 얻었다 (그림 14). 모든 시편은 초기 거칠기 표준화를 위해 Enhance® Finishing system Point (Dentsply Sirona)를 이용한 연마 후의 표면 형상으로, 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid가 가장 매끄럽고 평활한 표면 상태를 보였다 (그림 14D). 그 다음으로 전통적인 제작방법 ALIKE™, 3D 프린터 DLP 방식 MAZIC D TEMP, FFF 방식 PLA(QA2-4) 순서로 표면의 균일함을 나타내는 형상과 매끄러움 정도의 차이를 확인할 수 있었다. DLP 방식 MAZIC D TEMP에서는 균일하지 않은 미세구조 형태의 표면 상태를 확인할 수 있었고 (그림 14B), FFF 방식 PLA(QA2-4)의 x500 배율 형상에서는 상대적으로 크기가 크고 불균일한 표면 상태를 확인할 수 있었다 (그림 14C).

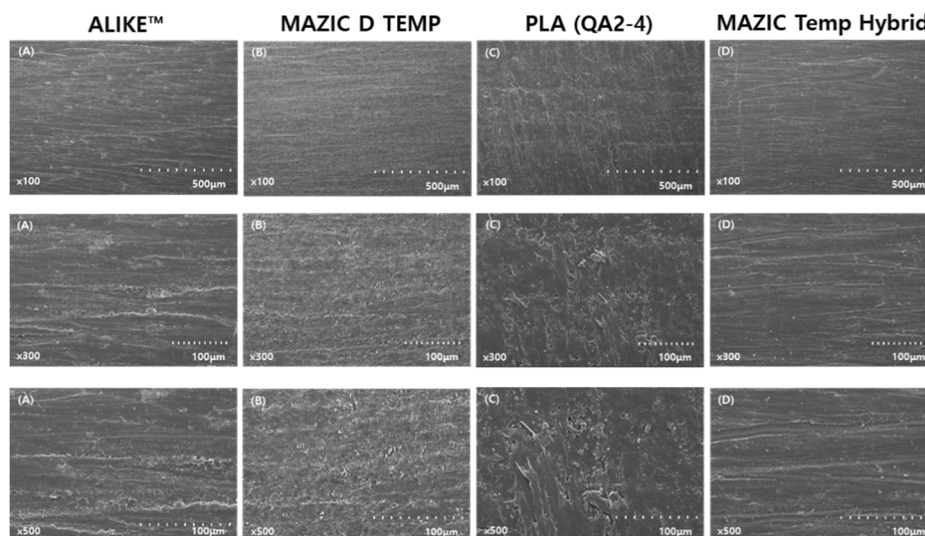


그림 14. Scanning electron microscope (SEM) image (A) ALIKE™, (B) MAZIC D TEMP, (C) PLA (QA2-4), (D) MAZIC Temp Hybrid

4. 토의

임시치아는 구강 내에서 일정 기간 동안만 사용하는 재료이지만, 색상 안정성은 전치부와 같은 심미적인 부위에서 문제가 될 수 있다. 따라서 본 실험에서는 단기와 장기적인 측면에서 임시치아 제작용 레진의 색상 안정성을 비교, 분석하기 위해 시편을 제작하여 3 주 동안 착색 식음료 용액에 침전시켰다.

색상 안정성에 대한 시각적 측정법은 주관적이고, 주변 환경이나 심리적인 영향으로 관찰자 마다 다르게 표현할 수 있다(Elagra et al. 2017). 기계적 측정법은 정량적으로 측정 대상의 색상 차이를 측정할 수 있고, 객관적인 평가가 가능하다(Chang-Mo 2003). 분광측색계는 빛을 사물에 비추어 전 가시영역에 걸쳐 각각의 파장에 대한 분광투과율 (spectraltransmittance), 분광반사율 (spectralreflectance)을 측정하여 시편의 색 좌표 절대치를 구하고 객관적인 색 평가를 할 수 있는 기기이다(Seghi, Hewlett, Kim 1989). 분광측색계는 CIELAB 단위로 측정하고 시편의 색상 차이 값을 수학적으로 계산할 수 있다(Lee et al. 2018). 따라서 분광측색계로 측정된 L^* , a^* , b^* 값을 이용하여 시간에 따른 색상차이 ΔE 값을 산출할 수 있다. L^* 값은 물체의 밝기, a^* 값은 빨간색과 녹색 사이의 색상 수준, b^* 값은 노란색과 파란색 사이의 색상 수준을 나타낸다. 이를 바탕으로 3 차원 좌표계를 이용하면 색의 상호관계를 사람의 색감각에 가까운 균등 지각 색공간 (균등한 크기로 지각되는 색차이가 공간 내의 동일한 거리에 대응하도록 의도한 색공간)으로 나타내는 것이 가능하다.

ΔE 값이 3.3 이상이면 시각적으로 구별이 가능함을 선행연구에서 보고된 바가 있다(Eldiwany, Friedl, Powers 1995). 이는 ΔE 값이 3.3 이상이면 인간의 눈으로 색상 차이가 쉽게 인식될 수 있음을 의미하고, ΔE 값이 3.7 이상 일 때 임상 적용에 문제가 있다고 보고하였다(Shotwell, Razzoog, Koran 1992). 본 연구에서는 커피, 와인, 카레 중 커피에서 전통적인 제작법 ALIKE™와 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid 를 제외한 모든 그룹에서 평균 ΔE 값이 3.7 를 초과하는 결과가 나타났다. 이는 실험에 사용된 임시치아 제작용 레진은 장기간 사용하기에 한계가 있으며, 특히

커피, 와인, 카레에서 침전 시간이 오래될수록 색상 안정성이 낮고 변색이 두드러지게 나타났다. 또한 시간이 지남에 따라 시편의 색상 차이 값 ΔE 는 증가하였고, 3D 프린팅 재료인 MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4)에서 더 분명하게 나타났다. 이는 장기적인 측면에서 임시치아 색상 안정성 관리의 중요성을 파악할 수 있다.

MAZIC Temp Hybrid 와 다른 제품들 간의 색상 변화량 차이는 대부분의 조건에서 유의미하게 나타났다. 특히 PLA(QA2-4)와 비교했을 때, MAZIC Temp Hybrid 는 전반적으로 더 작은 색상 변화를 보였다. 이 연구에서 MAZIC Temp Hybrid 는 표면거칠기(Ra)가 가장 낮은 제품으로 표면거칠기가 가장 높은 PLA(QA2-4)와 비교한 주사 전자현미경(SEM) 이미지 결과에서도 가장 매끄럽고 평활한 표면 상태를 갖고 있다. 해당 결과로 레진의 표면거칠기 정도가 변색의 기여요인 중 하나로(Wendt 1987) 생각되지만, 밀링 방식에 사용되는 공구는 소재와 맞지 않는 회전 속도나 공구의 사용량 증가, 기계적인 오차에 의해 공구의 마모가 발생하며(Cho, Lee 2007), 절삭 공구가 마모되면서 발생한 다이아몬드 코팅 입자는 보철물의 표면 거칠기를 증가시킬 수 있다(Yara et al. 2005). 선행 연구에서 PMMA 밀링 재료가 색상 안정성이 우수하다고 보고된 바가 있다(Elagra et al. 2017). 언급한 선행 연구는 단기간 7 일차로만 실험한 결과로, 본 연구의 3 주차 결과에서도 전통적인 제작법 레진과 3D 프린팅 레진 2 종을 모두 비교했을 때 색상 안정성은 PMMA 밀링 재료가 가장 우수했다. 하지만 3 주차 이후의 색상 안정성은 낮아질 것으로 예상되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 3D 프린팅 소재 MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4)는 커피, 와인, 카레에서 3 일차, 3 주차 모두 낮은 색상 안정성을 보였다. 해당 결과는 DLP 3D 프린팅 제작방식과 사용된 소재의 특성 차이로 사료된다. 3D 프린팅 레진 소재를 적층 할 때 미세구조 표면에 경화되지 않는 층이 존재하고 착색 용액의 입자가 침투하여 색상 안정성 저하에 영향을 줄 수 있다(Kharat et al. 2023). 3D 프린팅 레진 변색의 요인으로서는 모노머-폴리머 전환율의 중합 정도를 포함하여 잔존 모노머의 양, 아민과 중합억제제, 수분흡수성, 광개시제 등이 있다(Asmussen 1983). DLP 3D 프린팅 소재는 대부분 UV 광경화성 수지로 bisphenol-A glycerolatedimethacrylate (Bis-GMA), triethylene glycoldimethacrylate

(TEGDMA) 등의 단량체가 주요 성분이며 광개시제로는 다양한 유형의 bis (2,4,6-trimethylbenzoyl) phenyl phosphine oxide (BAPO), diphenyl (2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide (TPO), camphorquinone (CQ) 등이 포함된다(PARK et al. 2019). TPO 나 BAPO 는 중합과정 중 열에 의해 발생한 유색의 과산화물이 변색에 영향을 주며, TPO 보다 BAPO 가 큰 색 변화를 일으키고 함유량이 많을수록 색 변화도 크다(Bertolo et al. 2017). 광개시제는 소재의 경화 과정이 빨라지고 더 효율적으로 3D 프린팅 결과물을 얻을 수 있지만, 광개시제의 종류와 농도에 따라 색변화에 영향을 준다(Kim et al. 2021). DLP 출력 방식과 비교하여, FFF 출력 방식 3D 프린터는 PLA 생분해성 폴리머 레진을 사용하여 낮은 비용과 높은 접근성으로 치과 보철물 제작에 점차 사용이 확대되고 있으며, 구조가 단순하여 조작이 쉽고 고급 기술 없이도 임시치아를 제작할 수 있다(Dawood et al. 2015). DLP 방식으로 제작한 보철물은 이소프로필 알코올 (IPA) 또는 전용 세척 용액으로 세척하고, UV 경화 기계를 이용한 후경화 처리가 반드시 필요하다(Revilla-Leon, Ozcan 2019). 반면 FFF 출력 방식 보철물은 출력 후 세척과 후경화 처리가 간소화되어 환자와 의료진 모두에게 편리함을 제공하며, 전체 치료시간을 단축시킬 수 있다(Cattenone et al. 2019). 하지만 PLA 소재는 특히 적층 간격이 크고 출력물의 내부 채움 방식과 밀도 값, 필라멘트 점도 등의 이유 때문에 색상 안정성이 더 낮은 것으로 사료된다. PLA 소재는 DLP 방식과 비교하면 제작물의 세척 및 후경화 과정이 간소화되어 편리함은 우수하지만, 색상 안정성에 대한 이전 연구가 매우 부족하다. 따라서 임시치아 제작용 PLA 소재에 대한 변색 요인에 있어 3D 프린팅 출력 조건 값을 다양하게 반영한 추가 연구가 필요하다.

본 연구는 실험실 내 연구라는 점에서 임상 조건을 대표하기에는 한계를 갖고 있으며, 표면 거칠기 외에 레진 변색의 다양한 요인으로 언급되고 있는 사용 소재의 특성 및 연마 재료에 따른 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

임시치아 제작용 레진의 색상 안정성 연구를 위해 현재 임상에서 사용 중인 전통적인 제작법 레진 1 종과 디지털 제작방식 레진 3 종의 시편을 제작하였다. 총 4 종의 레진 시편을 증류수, 커피, 와인, 카레에 3 일과 3 주 동안 침전시킨 후 색조변화를 비교, 분석하고 각 시편의 표면거칠기를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 변색의 정도는 색소가 있는 커피, 와인, 카레 용액에서 시간이 지남에 따라 증가했으며, 커피와 와인에서 모든 시편의 색상 변화가 가장 두드러지게 나타났다. 특히 MAZIC D TEMP 는 커피에서 가장 큰 색상 변화를 보였고, PLA(QA2-4)는 와인에서 3 일과 3 주차의 색상 변화(ΔE) 값 차이가 크게 나타났다.
- 2) 침전 시간(3 일, 3 주)에 따라 MAZIC Temp Hybrid 는 다른 제품들에 비해 색상 변화(ΔE)가 적었다. 3 일차에서는 ALIKE™와 PLA(QA2-4)가 큰 색상 변화를 나타냈으며, 3 주차에서도 동일한 경향이 관찰되었다.
- 3) 표면거칠기(Ra) 값은 MAZIC Temp Hybrid 가 가장 낮았으며, ALIKE™, MAZIC D TEMP, PLA(QA2-4) 순으로 큰 값을 보였다. 밀링 방식 PMMA 가 상대적으로 매끄러운 표면의 형상을 갖고 있으며, 표면이 거친 MAZIC D TEMP 와 PLA(QA2-4)가 색상 안정성이 낮은 것으로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 4 종의 임시치아 제작 재료 중 착색 용액에서 디지털 제작법 밀링 방식 MAZIC Temp Hybrid 가 단기와 장기적인 측면에서 색상 안정성이 가장 우수했다.

참고 문헌

- Asmussen, E. "Factors affecting the color stability of restorative resins." *Acta Odontol Scand* 41, no. 1 (1983): 11-8. doi:10.3109/00016358309162298.
- Bertolo, Marcus Vinicius Loureiro, Moraes, Rita de Cássia Martins, Pfeifer, Carmem, Salgado, Vinícius Esteves, Correr, Ana Rosa Costa, Schneider, Luis Felipe J. "Influence of photoinitiator system on physical-chemical properties of experimental self-adhesive composites." *Brazilian dental journal* 28 (2017): 35-9.
- Cattenone, Alberto, Morganti, Simone, Alaimo, Gianluca, Auricchio, Ferdinando. "Finite element analysis of additive manufacturing based on fused deposition modeling: Distortions prediction and comparison with experimental data." *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 141, no. 1 (2019): 011010.
- Chang-Mo, Jeong. "The color stability of direct denture reline resins." *The Journal of Korean Academy of Prosthodontics* 41, no. 2 (2003): 160-8.
- Cho, Byoung-Moo, Lee, Dong-Ju. "A study on cutting characteristics according to cutting direction in ball-end milling." *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers* 16, no. 5 (2007): 191-7.
- Dawood, A., Marti Marti, B., Sauret-Jackson, V., Darwood, A. "3D printing in dentistry." *British dental journal* 219, no. 11 (2015): 521-9. doi:10.1038/sj.bdj.2015.914.
- Elagra, Marwa I, Rayyan, Mohammad R, Alhomaiddhi, Maisam M, Alanazy, Areej A, Alnefaie, Mona O. "Color stability and marginal integrity of interim crowns: An in vitro study." *European journal of dentistry* 11, no. 03 (2017): 330-4.
- Eldiwany, M., Friedl, K. H., Powers, J. M. "Color stability of light-cured and post-cured composites." *American Journal of Dentistry* 8, no. 4 (1995): 179-81.
- Guler, Ahmet Umut, Yilmaz, Fikret, Kulunk, Tolga, Guler, Eda, Kurt, Safak. "Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials." *The Journal of prosthetic dentistry* 94, no. 2 (2005): 118-24.
- Kharat, Vilas J, Singh, Puran, Raju, G Sharath, Yadav, Dinesh Kumar, Gupta, M Satyanarayana, Arun, Vanya, Majeed, Ali Hussein, Singh, Navdeep. "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges." *Materials Today*:

Proceedings (2023).

- Kim, J. E., Choi, W. H., Lee, D., Shin, Y., Park, S. H., Roh, B. D., Kim, D. "Color and Translucency Stability of Three-Dimensional Printable Dental Materials for Crown and Bridge Restorations." *Materials (Basel)* 14, no. 3 (2021): 650. doi:10.3390/ma14030650.
- Lee, Dayoung, Han, Ayoung, Ha, Dongheun, Yoo, Hyeonseok, Kim, Hunsik, Jung, Nagyeom, Jang, Kwanseop, Choi, Jinsub. "The quantification of TiO₂ thickness using color values by spectrophotometer and chromameter." *Journal of the Korean institute of surface engineering* 51, no. 3 (2018): 157-63.
- Lu, Huan, Roeder, Leslie B, Lei, LEI, Powers, John M. "Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites." *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 17, no. 2 (2005): 102-8.
- PARK, Seo-Jin, LEE, Han-Ah, LEE, Sang-Hyeok, Seok, Soohwang, LIM, Bum-Soon, KWON, Jae-Sung, KIM, Kwang-Mahn. "Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin." *Korean Journal of Dental Materials* (2019): 139-52.
- Revilla-Leon, M., Ozcan, M. "Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry." *Journal of Prosthodontics* 28, no. 2 (2019): 146-58. doi:10.1111/jopr.12801.
- Rosenstiel, S. F., Land, M. F. , Fujimoto, J. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. 1st ed. St. Louis: The C. V. Mosby Company (1987): 235
- Rutkunas, V., Sabaliauskas, V., Mizutani, H. "Effects of different food colorants and polishing techniques on color stability of provisional prosthetic materials." *Dental materials journal* 29, no. 2 (2010): 167-76. doi:10.4012/dmj.2009-075.
- Seghi, R. R., Hewlett, E. R., Kim, J. "Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain." *Journal of dental research* 68, no. 12 (1989): 1760-4. doi:10.1177/00220345890680120801.
- Setcos, James C, Tarim, Berna, Suzuki, Shiro. "Surface finish produced on resin composites by new polishing systems." *Quintessence international* 30, no. 3 (1999): 169-173
- Sham, A. S., Chu, F. C., Chai, J., Chow, T. W. "Color stability of provisional prosthodontic materials." *The Journal of prosthetic dentistry* 91, no. 5 (2004): 447-52. doi:10.1016/S0022391304001283.
- Shin, J. W., Kim, J. E., Choi, Y. J., Shin, S. H., Nam, N. E., Shim, J. S., Lee, K. W. "Evaluation of

- the Color Stability of 3D-Printed Crown and Bridge Materials against Various Sources of Discoloration: An In Vitro Study." *Materials (Basel)* 13, no. 23 (2020): 5359. doi:10.3390/ma13235359.
- Shotwell, JL, Razzoog, ME, Koran, A. "Color stability of long-term soft denture liners." *The Journal of prosthetic dentistry* 68, no. 5 (1992): 836-8.
- Turgut, S., Bagis, B. "Colour stability of laminate veneers: an in vitro study." *Journal of dentistry* 39 Suppl 3 (2011): e57-64. doi:10.1016/j.jdent.2011.11.006.
- Wendt, S. L., Jr. "The effect of heat used as secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness, and color stability." *Quintessence International* 18, no. 5 (1987): 351-6.
- Yara, A., Ogura, H., Shinya, A., Tomita, S., Miyazaki, T., Sugai, Y., Sakamoto, Y. "Durability of diamond burs for the fabrication of ceramic crowns using dental CAD/CAM." *Dental materials journal* 24, no. 1 (2005): 134-9. doi:10.4012/dmj.24.134.

ABSTRACT

Comparative Study on the Color Stability of Temporary Tooth Resins According to Production Methods

Purpose: This study evaluated and compared the color stability of temporary tooth resins produced using conventional methods, digital 3D printing, and milling materials. The resins were immersed in commonly consumed staining beverages for short-term (3 days) and long-term (3 weeks) periods.

Materials & Methods: Four types of temporary tooth resins produced using different methods were used in this study. The materials included conventional method resin (ALIKE™), DLP 3D printing resin (MAZIC D TEMP), FFF 3D printing material (PLA QA2-4), and PMMA milling disk (MAZIC Temp Hybrid). To measure color stability, a spectrophotometer was used to record L*, a*, and b* values, and the color difference (ΔE) was calculated to analyze color changes over time. Surface roughness (Ra) was also measured using a contact type surface roughness meter, yielding the following results.

Results: Significant color changes were observed in coffee and wine, with all products showing substantial color change in coffee at both 3 days and 3 weeks ($p < 0.05$). Notably, MAZIC D TEMP exhibited a rapid color change in the coffee environment. Significant color changes were also detected in wine ($p < 0.05$), with PLA (QA2-4) showing the largest difference in color change values after 3 days and 3 weeks compared to the other products. Over both short-term (3 days) and long-term (3 weeks) immersion periods, MAZIC Temp Hybrid exhibited the least color change (ΔE) among the materials. Additionally, MAZIC Temp Hybrid had the lowest surface roughness (Ra) values, followed by ALIKE™, MAZIC D TEMP, and PLA (QA2-4) in ascending order of surface roughness.

Conclusion: The degree of discoloration increased over time in coffee, wine, and curry solutions. Among the temporary tooth resins, MAZIC Temp Hybrid, produced by the milling method, exhibited the least color change (ΔE) over both short-term (3 days) and long-term (3 weeks) immersion compared to the other materials. Overall, the results indicated that MAZIC Temp Hybrid, fabricated using digital milling technology, demonstrated superior color stability in both short- and long-term evaluations among the four types of temporary tooth resins tested.

Key words: Color difference (ΔE), Color stability, Dental 3D printing material, Dental milling material, Discoloration, Spectrophotometer, Surface roughness (Ra), Temporary tooth resin