

3D 프린팅용 UV 경화 수지의 조사량 및 항온수조 침적에 따른 수축률의 차이

김동연
폴드 치과기공소

Difference between shrinkage rate of irradiation amount of 3D printing UV curable resin and shrinkage rate according to a constant temperature water bath

Dong-Yeon Kim

4RD Dental Laboratory, Seoul 04512, Korea

[Abstract]

Purpose: This study is to compare and analyze the shrinkage of the specimen after UV irradiation of UV cured resin at 5, 15, and 30 minutes.

Methods: A cylindrical UV cured specimen was produced using a stainless steel mold. UV cured resin specimens were prepared in three groups: 5 minutes cured (5M), 15 minutes cured (15M), and 30 minutes cured (30M). The measurement was made in total 3rd. The measurement was made in total 3rd. The primary measurement was made after 24 hours using a digital measuring instrument. The 2nd and 3rd measurements were deposited in a constant temperature water bath and the shrinkage was measured. The measured data was calculated by referring to the ASTM C326 linear measurement calculation method. T-test and One-way ANOVA were performed to test the significance between groups. The post-test was conducted with Tukey ($\alpha=0.05$).

Results: When the inner diameter and the outer diameter of the three groups not placed in the water bath were compared and analyzed, the contraction was the smallest at 6.8% in the 5M group, and the contraction was the largest at 7.3% in the 30M group. In the outer diameter, the contraction of the 5M group was the smallest at 3.5%, and the contraction of the 30M group was the largest at 4.5%. Shrinkage decreased in all three groups immersed in a water bath for 3-7 days.

Conclusion: In the UV cured resin specimen, the shrinkage increased as the amount of UV irradiation increased.

◉ **Key words:** UV, Curing, Resin, Shrinkage

Corresponding author	Name	김 동 연	Tel.	02-3789-4321	E-mail	kdy1713@korea.ac.kr
	Address	서울시 중구 세종대로 1길 9 폴드 치과기공소				
Received	2020. 4. 21	Revised	2020. 6. 8	Accepted	2020. 6. 18	

I. 서론

치과용으로 3D 프린팅이 소개됨으로써 다양한 치과 보철물 제작이 가능하게 되었다(Kim et al., 2017, Kim et al., 2018^a). 치과 3D 프린팅 장비의 분류는 UV(ultraviolet)중합, 재료압출, 고에너지 사용 선택적 조사 방식 등이 사용하고 있다. UV 중합형은 DLP(digital light processing)와 SLA(stereolithography) 방식, 재료압출식은 FDM(fused deposition modeling)방식, 선택적 레이저 조사는 SLS(selective laser sintering)와 SLM(selective laser melting)방식으로 분류된다(Kim et al., 2018^b).

최근 치과분야에서 사용되고 있는 FDM 방식은 고온에 필라멘트 레진을 녹여서 사용하나 적층 두께가 크기 때문에 표면조도의 영향을 미친다. 선택적 조사 방식은 주조과정을 거치지 않고 고온의 레이저와 금속과 우더 재료를 채택하여 사용하기 때문에 보철물 제작 공정과정을 줄일 수 있으나 높은 운영비용으로 사용 한계가 있다. 다양한 3D 프린팅 방식들이 소개되고 있으나 정밀성 및 경제성 상황을 고려하여 UV 중합형인 DLP와 SLA 방식으로 채택하여 사용하고 있다(Lin et al., 2018; Gjeldvold et al., 2019). 광경화성 3D 프린터는 각종 장비의 속성에 따라 다르지만 약 15-150 μm 의 UV 경화 수지를 적층을 반복하여 3차원 구조물을 제작한다(Kim et al., 2017; Revilla-León & Özcan, 2019).

DLP와 SLA 방식의 주요 재료는 액상인 UV 경화 수지를 사용한다. UV 경화는 일반적으로 UV 조사에 따른 UV 개시제(photoinitiator)에 의해 개시반응이 시작되고 모노머(monomer), 올리고머(oligomer), 각종 첨가제가 연속 반응을 일으켜 경화(photopolymerization)되는 과정이다(Do et al., 2003). UV 경화 수지는 국소적인 부위를 선택적으로 조사하여 짧은 시간에 경화, 에너지 절감, 환경에 대한 문제를 최소화, 원료의 손실을 방지할 수 있는 장점들이 있다(Do et al., 2003). UV 경화 레진의 적용 범위는 인쇄용 잉크, 의료용, 홀로그램 저장 매체, 접착제 등의 폭넓게 사용하고 있는

추세이며 치과분야에서도 보철물 적용사례가 증가하고 있다(Do et al., 2003).

치과용 3D 프린팅 UV 경화 수지는 임시치아, 의치용 인공치, 영구 보철물 등 제작이 가능하며 주로 임시 치아용으로 사용 빈도가 높은 추세이다. 대부분의 치과 환자는 당일 치과에 방문하여 진단에서 최종 영구 보철물까지 치료를 받기는 원하지만 기술적인 한계가 있으므로 임시치아를 수복을 한다. 일반적으로 임시치아는 영구치를 제작함에 있어 보통 구강 내에서 7일을 넘지 않게 사용한다(Park & Park, 2013). 임시치아를 수복하는 동안 치수, 치주, 교합관계 등이 중요한 역할을 하며, 구강 내 기계적 성질뿐만 아니라 주변 치아와의 간격을 일정하게 유지시키는 중요한 역할을 한다(Kim et al., 2019). 최근 치과용 UV 경화 수지를 3D 프린팅에 적용한 다양한 선행연구들이 다수 존재하였으나 수축률 평가는 부족한 실정이다(Cho & Lee, 2008; Park & Park, 2013; Kim et al., 2019). 특히 프린팅 후에 UV 경화기를 사용하여 후경화(post curing) 과정도 진행하기 때문에 수축률에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 UV 경화 수지는 UV 조사에 따른 민감하게 반응함으로써 UV 조사량에 대한 수축률 연구가 필요하다고 생각한다.

본 연구에서 임상에서 주로 사용하고 있는 UV 경화 수지를 5분, 15분, 30분으로 UV 조사한 시편과 항온수조에 침적하였을 경우의 수축률 차이를 비교 분석하고자 이 연구를 수행하였다.

II. 연구 방법

1. 시편 제작

본 연구에서 ISO 4049를 참고하여 스테인리스강 몰드를 제작하였다(Fig. 1).

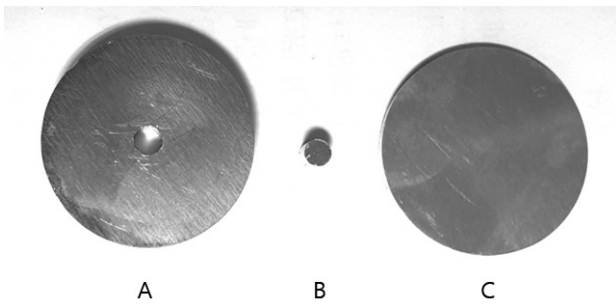


Figure 1. ISO 4049 depth measurement mold. (A) Stainless steel mold, (B) Specimen remover, (C) Stainless steel disc.

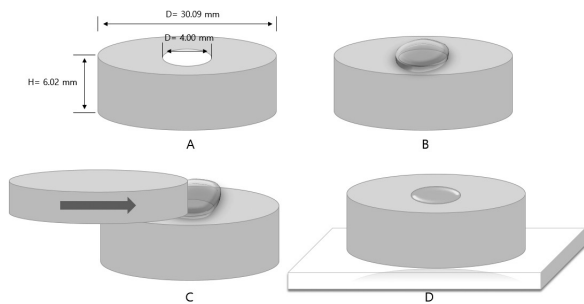


Figure 2. Preparation of specimens using UV curable resin. (A) Stainless steel mold analysis, (B) UV curing resin injected into stainless steel mold, (C) Using a stainless steel disc to make the mold and UV curing resin the same height, (D) Place a stainless steel mold on top of the glass plate and proceed with UV curing.

원형의 스테인리스강 몰드를 준비한다(Fig. 2). 스테인리스강 내부에 UV 경화 수지와 분리될 수 있도록 바세린을 도포하였다. 스테인리스강 바닥 부분에 스카치 테이프(#550 Scotch, 3M, USA)를 부착하여 UV 경화 수지가 하부로 누출되지 않도록 준비하였다. 준비된 스테인리스강 몰드 내에 UV 경화 수지(NextDent C&B, NextDent, Netherlands)를 약간 과도하게 주입하였다(Table 1).

주입을 완료 후에 스테인리스강 몰드 상부에 스테인리스강 디스크를 사용하여 과도한 UV 경화 수지를 제

거함으로써 몰드 상부와 UV 경화 수지의 높이를 일치하도록 하였다. 스테인리스강 하부에는 유리판으로 받쳐 준 다음 UV 경화기(Cure Box-320, VERICOM, Korea)를 사용하여 경화하였다(Fig. 3).



Figure 3. UV curing machine.

UV 경화 후에 원통형의 막대기를 사용하여 스테인리스강 몰드와 UV 경화 시편을 분리하였다. 본 연구에서는 3개의 그룹으로 UV 경화 시편을 제작하였다. UV 경화 수지 시편을 UV 경화기에 5분씩 10개를 제작한 집단(5M), 15분씩 10개를 제작한 집단(15M), 30분씩 10개를 제작한 집단(30M)으로 3개의 그룹으로 분류하여 제작하였다.

2. 시편측정 및 수조

측정은 총 3차로 측정하였다. 1차 측정은 24시간 후 디지털 측정기구(C220, Kroeplin, Germany)를 사용하여 시편의 내경과 외경을 측정하였다(Fig. 4). 2, 3차는 항온수조(HQ-HWB, CORETECH, Korea)에 침적하고, 시간에 따른 수축변형률을 추가적으로 진행하였다. 37°C에 항온수조에 증류수를 사용하였으며, 3일(2차 측정) 및 7일(3차 측정)간 수축률을 측정하였다(Fig. 5). 측정은 실온에서의 변형을 최소화 하기위해서 항온수조에서 꺼낸 후 수분을 제거하고 즉시 측정하였다.

Table 1. Specific curing time NextDent C&B

NextDent Material	Recommend curing time	Wavelength	Total output UV-A light	UV lightbox output W*sec=J
C&B	30 minutes	Blue UV-A 315-400 nm	72 Watt	129,6 kJ

측정한 데이터는 ASTM C 326 선형측정 계산법을 참고하여 수축률을 계산하였다.

$$X = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100$$

- X_1 : 경화 전(스테인리스 강 몰드) 길이(mm)
- X_2 : 경화 후(UV 경화 수지) 길이(mm)
- 수축률의 평균값은 소수점 첫째 자리까지 % 단위로 표시한다.

3. 통계분석

통계분석은 IBM SPSS statistics 22.0(IBM Co., USA)을 이용하였다. 정규성 검정을 실시하여 정규성을 만족하였다. 그룹 간의 유의성 검정을 위해서 T-test와 One-way ANOVA를 시행하였다. 사후검정은 Tukey로 시행하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 결과

항온수조에 넣지 않은 세 집단의 내경과 외경을 비교 분석하였을 경우 내경에서는 5M 집단 6.8%로 수축이 가장 작게 나타났으며, 30M 집단이 7.3%로 수축이 가장 크게 나타났다(Table 2). 외경에서도 3.5%로 5M 집단의 수축이 가장 작게 나타났으며, 4.5%로 30M 집단의 수축이 크게 나타났다. 항온수조에 넣지 않은 세 집단의 통계적 차이는 없었으나($p > 0.05$) 내경과 외경의 통계적 차이가 나타났다($p < 0.05$).

항온수조에 3-7일간 침적한 세 집단 모두 수축률이 감소하였다. 3일 동안 항온수조에 넣은 집단보다 7일간 항온수조에 침적한 세 그룹 모두 수축률이 감소하였다. 특히 5M 집단에서 항온수조에 넣지 않았을 때와 비교하였을 경우 7일간 항온수조에 침적하였을 때 내경에서는 0.4%의 수축률이 가장 크게 줄어들었으며, 외경에서는 30M 집단이 0.9%로 수축률이 가장 크게 감소하였다. 세 집단 내경 중에서 7일간 항온수조에 침적하였을 경우 통계적 유의성이 있었으며($p < 0.05$), 내경과 외경에서도 유의성이 나타났다($p < 0.05$). 전반적으로 5M 집단이 30M 집단보다 수축률이 작게 나타났으며, 항온수조에 장시간 넣었을 때 시편의 수축이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.



Figure 4. Measure the length of the specimen using a digital meter. (A) Inner diameter measurement, (B) Outer diameter measurement.

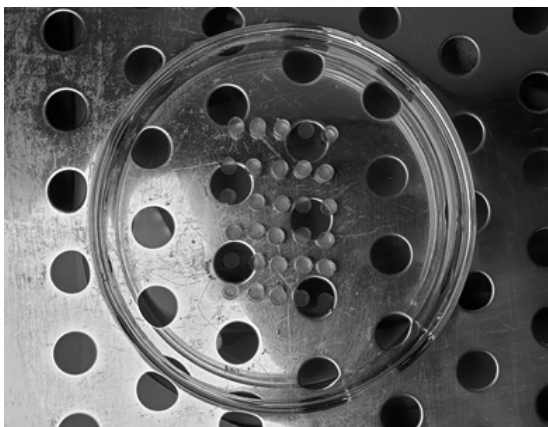


Figure 5. Specimens deposition using a constant temperature water bath.

Table 2. After UV curing at 5, 15, and 30 minutes, the result of 1, 3, and 7 day deposition in a constant temperature water bath(n=10) Unit: %

Group	1 Day (No CTWB ^a)				3 Day (CTWB)				7 Day (CTWB)				p-value ^c	
	Inner diameter		Outer diameter		Inner diameter		Outer diameter		Inner diameter		Outer diameter		Inner diameter	Outer diameter
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
5M	6.8	0.4	3.5	1.0	6.6	0.4	3.1	0.5	6.4*	0.4	3.2	1.0	0.124	0.678
15M	7.2	0.4	3.6	1.4	7.0	0.4	3.4	1.3	6.9	0.4	3.3	1.1	0.180	0.908
30M	7.3	0.7	4.5	1.2	7.2	0.7	3.8	1.0	7.1*	0.7	3.6	1.0	0.672	0.101
p-value	0.069 ^b		0.115		0.52		0.319		0.036		0.666			
	0.001 ^d				0.001				0.001					

^a : Using a constant temperature water bath(CTWB), No constant temperature water bath(No CTWB)

^b : Vertical One-Way ANOVA statistics (5, 15, and 30M)

^c : Horizontal one-way ANOVA statistics (1, 3, and 7 day)

^d : T-test statistics of inner diameter and outer diameter

* Significant differences using post-test of Tukey

IV. 고찰

UV 경화기의 사용 용도는 프린팅된 치과보철물은 부분적 최종경화가 되지 않은 상태가 대부분이다. 이를 보완하기 위해서 추가적으로 UV를 조사함으로써 강도를 높여주는 역할을 하는데 이를 후경화라고 한다. UV LED 파장에 따라 장파장 자외선 (315-400 nm, UV-A), 중파장 자외선 (280-315 nm, UV-B), 단파장 자외선 (100-280 nm, UV-C)로 분류할 수 있다. 각각의 범주에 따라 사용분야가 달라진다(Endruweit et al., 2006). 본 연구에서 사용한 UV 경화 수지는 315-400 nm에 경화 반응을 하므로 UV-A 범주에 해당하는 UV 경화기를 사용하였다. UV 경화기의 특징은 400-405 nm/460-465 nm으로 UV LED 파장을 선택이 가능하며, 정격용량은 65W이다. 원통형 시편의 내·외경 수축률 측정을 위해서 디지털 측정기를 사용하였다. 디지털 측정기는 측정 범위 0-20 mm, 분해능력 0.01, 측정압력 1.1-1.6 N, 팁 구경 1.5 mm의 특징으로 미세한 시편 측정 시 유리한 장점을 가지고 있다.

치과분야에서 디지털 시스템으로 변함으로써 치료에서 보철까지 하루에 완료하고자 하는 원데이(one-day) 치료법을 요구되고 있다(Yang et al., 2019). 본 연구에서 사용한 3D 프린터 UV 수지는 제조회사의 권장하는 시간은 30분으로 제시하고 있으나, 원데이 치료법의

요구에 따른 임시보철물 제작 시간을 단축(5분, 10분)하여 진행하였을 경우 수축률에 영향이 미치는지 분석하였다. 임시치아는 대략 7일간 넘지 않게 사용되고 있으며, 7일 이내에 수축 변화를 분석하기 위해서 3일간 측정도 진행하였다.

항온수조에 침적하지 않고 측정된 세 집단과 항온수조에 침적 후 측정된 세 집단 중에서 5M 집단의 수축률이 가장 작게 나타났으며, 30M 집단의 수축률이 가장 크게 나타났다. Shin 등(2018)에 의하면 3D 프린팅으로 출력 후 후경화 처리에 따라서 추가적인 수축이 발생한다고 하였다. 본 연구에서 사용한 UV 경화 수지는 30분 이상 UV 경화를 권장하고 있다. 따라서 5M 집단은 5분 동안 경화를 진행하였기 때문에 최종 경화 수축이 되지 않은 상태에서 측정된 결과라고 사료 된다.

항온수조에 3일 및 7일간 침적하였을 경우 수축률이 감소한 현상이 나타났다. Cho & Lee(2008)에 의하면 레진계열 임시수복재는 24시간 이내 급격하게 수화 팽창이 일어난다고 하였으며, 7일간 수분을 흡수함으로써 0.43-1.1% 팽창한다고 하였다. 본 연구에서도 항온수조에 침적하였을 경우 내경에서는 0.1-0.4%로 나타났으며, 외경에서는 0.2-0.9%로 팽창한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 사용한 UV 경화 수지와 기존 임시수복재의 팽창범위는 유사하다고 판단된다. 또한 Cho & Lee(2008)에 의하면 팽창의 효과는 중합과정의

수축을 보상할 뿐만 아니라 구강 내 자연치아와 수복물의 미세 누출을 최소화할 수 있다고 하였다. 한편 팽창의 효과는 여러 장점도 있지만 물성평가 부분에서는 부정적인 효과도 나타날 수 있다. 특히 항온수조에 7일간 침적된 5M 집단은 경화 과정의 시간도 짧고 팽창이 다른 그룹들에 비해서 크게 나타났다. Lee 등(2010) 문헌에서는 PMMA 주성분으로 하는 수지의 수분에 노출이 많을수록 낮은 굴곡강도를 보였으며, 흡수된 수분이 중합물질에 가소성 효과를 일으켜 중합체의 기계적 및 물리적 성질은 낮추게 한다고 하였다. 선행연구와 본 연구를 통해 수축, 팽창에 따라서 기계적 평가는 새로운 연구로 증명되어야 할 것으로 생각된다.

UV 경화 시편 측정에 있어서 원통형으로 제작하여 외경과 내경을 분석하였다. 외경보다 내경에서 수축률이 크게 나타났다. Park & Choi(2017)는 복합레진 PMMA 소재를 사용하여 원통형의 시편을 제작하여 수축률을 분석하였는데, 외경에서 내경 방향으로 수축현상이 크게 나타났다고 하였다. 이러한 현상은 UV 경화 레진이 sol 상에서 gel 상태로 변화하는 과정에서 유동성으로 기인한 것으로 판단된다. 특히 UV 조사 초기에는 외경(스테인리스강 몰드 계면부위)부터 경화됨으로써 내경 부위가 외경 부위보다 유동성 자유롭게 수축할 수 있기 때문이라고 판단된다(Park & Choi, 2017).

각 수지계의 중합수축을 측정하기에 있어서 다양한 문헌들이 존재한다. 팽창계(dilatometer)는 비교적 수지의 중합 수축률을 측정이 가능하나 수은 등을 사용하여 부피변화를 측정하기 때문에 주위의 온도에 민감하다(Iga et al., 1991; Park & Choi, 2017). 또한 접촉식 변위 측정센서(LVDT transducer)를 이용한 측정 방법도 있다. 그러나 이러한 방법은 레진에 덮개를 놓고 굴곡을 접촉식 변위 센서를 통해 계측하기 때문에 수축량 크게 나타날 수 있다(Feilzer et al., 1989; Park & Choi, 2017). Watt & Cash(1991)에 의해서 개발된 'bonded-disk method'를 사용하여 측정방식도 있다. Bonded-disk method 측정방법은 시편의 두께를 0.5 mm, 지름 6 mm로 제작한 다음 변위 측정 센서를 이용하여 축 방향의 중합수축을 측정하고 이를 체적 수축으로 계산하는 방법이다(Watt & Cash, 1991; Cho &

Lee, 2008). 그러나 본 연구에서 사용한 UV 경화 수지는 두께를 0.5 mm, 지름 6 mm로 제작할 경우 UV 경화 과정에서 과도하게 휘어지는 현상이 발생하여 Watt 이 고안한 측정법에 한계가 있었다. 본 연구에서는 ISO 4049에서 레진계열 UV 경화 깊이 측정과 ASTM C 326 세라믹계열 선형수축 계산 방법을 사용하여 측정하였다. 이러한 측정법은 ISO 4049에서 요구하는 높이 6 mm, 지름 4 mm로 시편을 제작하기 때문에 시편이 휘어지는 현상을 방지할 수 있으며, UV 경화의 깊이 측정도 국제표준규격에 만족하는 전제하에 본 연구를 진행하였다.

본 연구를 진행하면서 몇 가지 한계점이 존재한다. 임상에서 사용하고 있는 치과용 3D 프린터를 사용하지 않고 UV 경화기만을 사용하였으며, 보편적으로 사용하는 수지계열의 측정법을 사용하지 않고 수축률 평가에 있어 일반화에 한계가 있다.

향후 연구에서는 치과용 3D 프린터를 사용하여 임시 수복물인 인레이, 단일 금관, 교의치 금관 등을 제작한 다음 수축변형 연구가 필요하다. 또한 UV 기존의 대중적으로 사용하고 있는 자가중합레진과의 수축변형률 비교 평가분석도 진행할 필요가 있다.

V. 결론

최근 치과임상에서 3D 프린팅용 UV 경화 수지의 활용 범위를 넓혀가고 있으나 수축률에 대한 많은 정보가 부족하였다. 본 연구에서는 UV 경화기를 사용한 수축률 연구는 다음과 같은 결론을 얻었다. 3D 프린팅용 UV 경화 수지는 UV 경화시간이 길어질수록 수축률이 증가하였으나 그룹간 차이는 없었으며, 구강 내 수축률을 분석하기 위해서 시편을 항온수조에 침적하였을 경우 침적하는 시간이 길어질수록 수분을 흡수함으로써 팽창하였다. 본 연구 기반으로 UV 경화 수지의 수축률과 구강 내 환경을 고려한 팽창 연구도 지속적으로 이루어져야 한다고 판단된다.

REFERENCES

- ASTM C 326. Standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays. 2009.
- Cho NY, Lee IB. Polymerization shrinkage, hygroscopic expansion and microleakage of resin-based temporary filling materials. *Restor Dent Endod*, 33, 115–124, 2008.
- Do HS, Kim DJ, Kim HJ. Application of UV-curable materials. *JAIK*, 4, 41–51, 2003.
- Endruweit A, Johnson MS, Long AC. Curing of composite components by ultraviolet radiation: A review. *Polym compos*, 27(2), 119–128, 2006.
- Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Increased wall to wall curing contraction in thin bonded resin layers. *J of Dent Res*, 68, 48–50, 1989.
- Gjelvold B, Mahmood DJH, Wennerberg A. Accuracy of surgical guides from 2 different desktop 3D printers for computed tomography-guided surgery. *J Prosthet Dent*, 121(3), 498–503, 2019.
- Iga M, Takeshige F, Ui T, Torii M, Tsuchitani Y. The Relationship between polymerization shrinkage measured by a modified dilatometer and the inorganic filler content of light-cured composites. *Dent Mater*, 10, 38–45, 1991.
- ISO 4049. International Organization for Standardization. Dentistry—Polymerbased filling, restorative and luting materials. 2009.
- Kim DY, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Comparison and evaluation of marginal and internal gaps in cobalt-chromium alloy copings fabricated using subtractive and additive manufacturing. *J Prosthodont Res*, 62, 56–64, 2017.
- Kim DY, Jeong ID, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Reproducibility of different coping arrangements fabricated by dental micro-stereolithography: Evaluation of marginal and internal gaps in metal copings. *J Dent Sci*, 13, 220–225, 2018^a.
- Kim MS, Kim WG, Kang W. Evaluation of the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental 3D printers. *J Korean Soc Dent Hyg*, 19, 1089–1097, 2019.
- Kim SB, Kim NH, Kim JH, Moon HS. Evaluation of the fit of metal copings fabricated using stereolithography. *J Prosthet Dent*, 120(5), 693–698, 2018^b.
- Lee HY, Im YG, Kim BG, Lim HS, Kim JH. The effect of water immersion on the surface strength and the flexural strength of the acrylic resin for occlusal appliances. *J Oral Med Pain*, 35(1), 75–81, 2010.
- Lin WS, Harris BT, Pellerito J, Morton D. Fabrication of an interim complete removable dental prosthesis with an in-office digital light processing three-dimensional printer: a proof-of-concept technique. *J Prosthet Dent*, 120(3), 331–334, 2018.
- Park JH, Choi NS. Polymerization shrinkage distribution of a dental composite during dental restoration observed by digital image correlation method. *Compos Res*, 30, 393–398, 2017.
- Park JS, Park MG. Effect of aging treatment on the flexural properties of polymer provisional restoration materials. *Korean J Dent Mater*, 40, 215–221, 2013.
- Revilla León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers:

current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont*, 28(2), 146–158, 2019.

Shin DH, Park YM, Park SH. Correlation between UV-Dose and shrinkage amounts of post-curing process for precise fabrication of dental model using DLP 3D printer. *J Korean Soc Manuf Process Eng*, 17, 47–53, 2018.

Watts DC, Cash AJ. Determination of polymerization shrinkage kinetics in visible-light-cured materials: methods development. *Dent Mater*, 7, 281–287, 1991.

Yang HS, Park SW, Lim HP, Yun KD, Park C, Lee DY. Proposal of practical digital implant treatment protocol: A case report. *J Kor Dent Assoc*, 57, 529–533, 2019.