3D 프린팅용 광경화 수지를 사용하여 제작한 의치상용 인공치아의 항온수조 침적에 따른 변형률 비교 분석

김동연¹, 이광영², 김재홍³, 양천승⁴

¹폴드 치과기공소, ²원광보건대학교 치기공과, ³부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과, ⁴동아보건대학교 치기공과

Comparative analysis of strain according to the deposition of a constant temperature water bath of a denture-base artificial tooth produced using three-dimensional printing ultraviolet-curing resin

Dong-Yeon Kim¹, Gwang-Young Lee², Jae-Hong Kim³, Cheon-Seung Yang⁴

¹4RD Dental Laboratory, Seoul, Korea

²Department of Dental Laboratory Technology, Wonkwang Health Science University, Iksan, Korea

³Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan, Busan, Korea

⁴Department of Dental Laboratory, Donga University of Health, Yeongam, Korea

Article Info

Received July 17, 2020

Revised August 21, 2020

Accepted August 28, 2020

Purpose: This study is a comparative analysis of the strain according to deposition in a constant temperature water bath after manufacturing ultraviolet (UV)-cured artificial teeth.

Methods: As a control group, 10 ready-made artificial teeth were selected as the first molar on the right side of the maxilla (RT group). Silicone was used as a duplicate of the artificial denture teeth. Experimental teeth were prepared in two groups using the prepared silicone mold. In the first experimental group, the UV-cured resin was injected into the negative silicone, followed by irradiation with a UV-curing machine for 5 minutes (5M group). In the second experimental group, the UV-cured resin was injected into the negative silicone, and then irradiated for 30 minutes using a UV-curing machine (30M group). The one-way ANOVA was performed, and post-test was analyzed by Tukey.

Results: When immersed in a water bath for 15 days, it was found to be -0.3% in the RT group, -0.6% in the 5M group, and -0.7% in the 30M group. The results revealed -0.2% in the RT group, 0.2% in the 5M group, and -0.2% in the 30M group when they were in the bath for 30 days.

Conclusion: In the water bath, the swelling was greater when deposited for 1 to 15 days, but was less when deposited for 15 to 30 days.

Key Words: Artificial, Dentures, Molar, Tooth

Corresponding Author

Dong-Yeon Kim

4RD Dental Laboratory, 9 Sejong-daero 1-gil,

Jung-gu, Seoul 04512, Korea

E-mail: kdy1713@korea.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-3670-8591>

INTRODUCTION

치과용 삼차원(three-dimensional, 3D) 프린터는 전용의 재료를 미세한 레이어 두께로 적층하여 제작 한다[1]. 치과 분야에서 주로 사용하는 전용의 재료들은 광경화 레진, 왁스, 금속 등을 쌓아 수복물을 제작한다[2]. 금속 3D 프린팅 장비는 분말 상태의 금속 소재에 고출력 레이저를 조사하여 금속소재를 용융 접착시켜 쌓는 방식이다. 그러나 다른 프린팅 방식에 비해 유지관리 비용이 많이 소요되기 때문에 대중적

으로 사용하기에는 한계가 있다. 반면 광(ultraviolet, UV)경화 3D 프린팅은 UV 액상에 UV를 조사하여 쌓는 방식이다. UV 경화 장비와 재료는 금속 3D 프린팅에 비해 비용이 적게 들며 다용도로 사용이 가능하기 때문에 산업분야뿐만 아니라 치과 분야에서도 활용도가 높다 [1,3].

UV 경화는 UV 개시제(photoinitiator)에 UV를 조사함으로써 개시 반응이 시작되고 모노머(monomer), 올리고머(oligomer), 각종 첨가제가 연속 반응을 일으켜 경화(photopolymerization)되는 과정이다

[4,5]. UV 경화 레진의 적용 범위는 인쇄용 잉크, 의료용, 홀로그램 저장 매체, 접착제 등 폭넓게 사용하고 있는 추세이며 치과 분야에서도 보철물 적용사례가 증가하고 있다[4,5]. 특히 치과 분야에서는 임시치아, 의치상, 의치상용 인공치아, 임플란트 수술용 가이드 등의 제작이 가능하게 되었다. 최근에는 레진 의치상의 수요가 증가하고 있으며 광경화 3D 프린팅을 활용하여 의치상 및 의치상용 인공치아 제작도 시도되고 있다[6-8].

의치상용 인공치아는 1930년대 초기부터 소개되었으며 가철성 보철물의 인공치로 주로 사용되고 있다[9]. 레진계열 인공치는 도재 인공치에 비해 파절 양상이 적고 레진 의치상과 결합이 우수하며, 교합조정이 용이하고 외형형성과 재활택이 용이하다는 장점이 있어 널리 사용되고 있다[9]. 대부분 기성품 인공치는 가교제(cross-linking agent)가 공중합된 poly(methyl methacrylate) 소재로 제작함으로써 인공치아의 강도가 높아져 잔금이 생기는 것을 방지할 수 있다[10]. 하지만 기성품으로 제작하기 때문에 환자의 안모, 구강 형태, 성별, 색상에 따라 인공치아의 선택적 한계가 있다. 또한 의치상으로부터 인공치아가 탈락, 파절, 마모되는 현상이 빈번하게 발생하며 수리 시 인공치 선택에도 한계가 있다.

치과용 CAD/CAM 시스템을 활용한 의치상용 인공치아 제작 시도는 기존의 기성품을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 환자 구강 내 최적의 조건에 맞게 조작이 가능하다. 치과용 캐드프로그램을 사용하여 의치상과 인공치아를 디자인한 후 밀링 가공기 또는 UV 경화 3D 프린팅을 사용하여 제작한다[11,12]. 제작된 의치상과 인공치아는 후가공처리 과정을 거친다. 후가공처리가 완료된 인공치아는 UV 경화 접착제를 사용하여 의치상에 결합하여 완성한다. 완성된 의치상과 인공치는 구강 내

활용 가능성에 관한 연구가 부족한 상황이다.

특히 UV 경화 인공치아의 중요 평가 요소는 몇 가지 존재하지만 가장 중요한 요소는 구강 내 체적 변형률이다. UV 경화 소재는 UV 경화 과정 중에 성형물의 수축 및 뒤틀림이 발생하기도 하며 교합관계로 인해서 부작용도 발생할 수 있다[13]. 그러므로 변형률에 따라서 최종 레진 의치상의 실패가 야기될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 UV 경화 재료 자체의 수축을 최소화하려는 연구가 진행되고 있으며 또한 캐드 소프트웨어에서 수축률을 보상하여 출력하는 경우도 있다. Kim 등[14]에 의하면 인공치의 선택 및 교합 관계는 의치 탈락에 영향을 준다고 하였다. Kim [5]에 의하면 UV 경화 3D 프린팅용 레진 시편은 UV 경화 과정 중에 수축이 발생하였고, 항온수조에 3~7일 동안 침적하였을 경우 팽창을 하였다고 보고 하였다. UV 경화 레진의 대한 다양한 연구들이 존재하지만 UV 경화 의치상용 인공치아를 제작하여 구강 내 조건과 유사한 항온수조 침적에 따른 변형률에 대한 연구는 부족한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 UV 경화 의치상용 인공치아를 제작 후 항온수조에 침적에 따라서 변형률을 비교 분석하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 시편 제작

본 연구에서 대조군으로 사용한 의치상용 인공치는 임상에서 주로 사용하고 있는 상악 우측 제1 대구치 인공치(32M Posterior Biotone; Dentsply, New York, USA) 10개를 선정하였다(Fig. 1, 2).

실험군을 제작하기 위해서 대조군에 사용한 의치상용 인공치를 복제용 실리콘(Deguform; Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)을 사용하여 복제하였다(Fig. 2). 의치상용 인공치아 복제 과정

Figure 1. Experimental design. RT: ready-made artificial teeth, UV: ultraviolet.

Figure 2. Preparation of artificial teeth using ultraviolet (UV) curable resin. (A) Ready-made artificial teeth placed on base plate wax. (B) Injection of replica silicone into the prepared boxing wax. (C) UV resin is injected into replica silicone and then cured. (D) UV curing artificial teeth production.

Figure 3. Ready-made artificial teeth and ultraviolet (UV) curing artificial teeth. (A) Ready-made artificial teeth (RT group); (B) artificial teeth cured by UV for 5 minutes (5M group); (C) artificial teeth cured by UV for 30 minutes (30M group).

Figure 4. (A) Four-position liner measurement: a-b, buccal-lingual surface; c-d, mesial-distal surface; e-f, mesiobuccal-distolingual line angle; g-h, mesiolingual-distobuccal line angle. (B) Measurement method for each part using digital calipers.

은 다음과 같다. 기초상 왁스(Ex-Hard; Daedong, Daegu, Korea)에 10개의 의치상용 인공치를 배치하였다. 배치된 인공치는 기초상 왁스를 사용하여 박싱(boxing)한 다음 복제용 실리콘을 주입하였다. 60분 경과 후 기초상 왁스와 의치상용 인공치를 모두 제거하였다.

준비된 음형의 실리콘을 사용하여 실험군을 2개의 그룹으로 제작하였다(Fig. 3). 첫 번째 실험군은 음형의 실리콘에 UV 경화 레진(Next-Dent C&B; NextDent, Soesterberg, Netherlands)을 주입한 다음 UV 경화기(Cure Box-320; Denstar, Daegu, Korea)를 5분 동안 UV를 조사하였다(5M group). UV 조사가 완료된 다음 UV 경화 레진을 분리하였다. 두 번째 실험군은 다시 음형의 실리콘에 동일 UV 경화 레진을 주입한 다음 UV 경화기를 사용하여 30분 동안 UV를 조사하였다(30M group). UV 조사가 완료된 다음 UV 경화 레진을 분리하였다.

2. 선형측정

세 그룹 모두 디지털 캘리퍼스(CD-20AX; Mitutoyo, Kanagawa, Japan)를 사용하여 인공치의 4곳을 3차에 걸쳐 다음과 같이 측정하였다. 협면-설면(a-b), 근심면-원심면(c-d), 근심협면 능각-원심설면 능각(e-f), 근심설면 능각-원심협면 능각(g-h) 순으로 디지털 캘리퍼스를 사용하여 측정하였다(Fig. 4). 1차 측정 후 항온수조(HQ-HWB; Coretech, Uiwang, Korea)에 37℃를 확인 후 침적하였으며 증류수를 사용하였다(Fig. 5). 2차 측정은 항온수조에 15일 경과 후 동일한 측정 부위를 측정하였으며 3차 측정은 항온수조에 30일 경과 후 측정하

Figure 5. Artificial tooth deposition in a constant temperature water bath. (A) Ready-made artificial teeth (RT group); (B) artificial teeth cured by ultraviolet (UV) for 5 minutes (5M group); (C) artificial teeth cured by UV for 30 minutes (30M group).

였다. 변형률을 확인하기 위해서 ASTM C 326 선형측정 계산법을 사용하였다(ASTM C 236, 2009) [15].

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

- X_1 : 전 길이(mm)

- X_2 : 후 길이(mm)

-수축률의 평균값은 소수점 첫째 자리까지 % 단위로 표시한다.

3. 데이터 분석

측정된 데이터는 정규성 검정을 실시하여 정규성을 충족하였다. 세

그룹을 통계적으로 유의한 차이가 있는지 분석하기 통계 분석 소프트웨어(IBM SPSS Statistics 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 one-way ANOVA를 실시하였으며, 사후검정은 Tukey로 분석하였다($\alpha=0.05$).

RESULTS

Table 1에서는 세 집단 인공치아의 a-b, c-d, e-f, g-h 측정 부위를 1일, 15일, 30일 동안 항온수조에서 측정한 결과이다. 전반적으로 세 집단 모두 15일과 30일간 측정하였을 경우 시간 경과에 따라 인공치아가 팽창하였다. 대조군인 RT 집단(ready-made artificial teeth)의 a-b, c-d, g-h 측정 부위는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p>0.05$), e-f 측정 부위는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$).

5M 집단과 30M 집단에서 a-b, e-f, g-h 측정 부위는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며($p>0.05$), c-d 측정 부위는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 또한 1일, 15일, 30일 동안 그룹 간 차이가 있는지 통계 분석을 하였으며 모두 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

Table 2에서는 세 집단 간 전반적인 측정 결과이다. 15일 동안 항온수조에 침적하였을 경우 RT 집단에서는 -0.3%로 5M 집단 -0.6%

와 30M 집단의 -0.7%에 비해서 팽창이 작게 나타났다. 반면 30일 동안 항온수조에 침적하였을 경우 5M 집단 0.2%로 수축이 발생하였으며 RT 집단은 -0.2%, 30M 집단은 -0.2%로 팽창하였다. 항온수조 침적에 따른 시간과 집단 간의 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p>0.05$).

DISCUSSION

치과용 CAD/CAM 시스템을 이용함으로써 환자 내원 횟수와 진료 시간의 감소로 치료비용이 절감되었을 뿐만 아니라 기공 오차의 감소와 저장된 정보의 재활용이라는 장점이 생긴다[6]. 치과용 CAD/CAM 시스템은 절삭가공과 적층가공 방식으로 분류된다[1]. 절삭가공 방식은 엔드 밀(end-mill)을 사용하여 가공물을 밀링가공하는 방식이다. 엔드밀은 밀링용도에 따라 형태가 다양하므로 대상물을 정교하게 제작할 수 있으며 표면이 매끄럽게 표현도 가능하다. 그러나 밀링 후 남은 칩(chip)은 재활용이 어렵기 때문에 경제적 비용이 크게 소요되며 밀링축(axial)의 한계로 인해서 자유곡면의 모형 제작에는 한계가 있다. 적층가공방식은 축에 대한 한계가 없기 때문에 다양한 형태로 제작이 가능하며 재료를 필요한 만큼 사용하여 대상물을 제작하기 때문에 경제적 가치도 크다. 치과 분야에서 3D 프린팅 종류는 다양하나 가장 많은 비중을 차지하고 있는 UV 경화 3D 프린팅의 활용도가 높게 평가되고

Table 1. After 5 and 30 minutes of ultraviolet (UV) curing, the result of 1, 15, and 30 days deposition in a constant temperature water bath (n=10)

Group	1 Day ^{a)}				15 Day ^{b)}				30 Day ^{b)}				p-value*			
	a-b	c-d	e-f	g-h	a-b	c-d	e-f	g-h	a-b	c-d	e-f	g-h	a-b	c-d	e-f	g-h
RT (mm)	7.87 ^a	9.30 ^{ba}	10.21 ^{Aa}	9.30 ^{Aa}	7.90 ^a	9.34 ^a	10.25 ^{Ba}	9.30 ^{ABa}	7.93 ^a	9.37 ^a	10.28 ^{Ba}	9.32 ^{Ba}	0.331	0.131	0.001	0.053
5M (mm)	7.71 ^b	9.06 ^{Ab}	9.94 ^b	9.06 ^b	7.76 ^b	9.14 ^{Bb}	9.99 ^b	9.09 ^b	7.78 ^b	9.16 ^{Bb}	9.86 ^{ab}	9.08 ^b	0.441	0.006	0.420	0.563
30M (mm)	7.72 ^b	9.08 ^{Ab}	9.96 ^b	9.06 ^b	7.77 ^b	9.15 ^{ABb}	10.00 ^b	9.11 ^b	7.79 ^b	9.16 ^{Bb}	10.03 ^b	9.12 ^b	0.472	0.013	0.229	0.132
p-value**	0.002	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.001	0.001	0.012	0.001	0.001	0.001				

RT: Ready-made artificial teeth, 5M: artificial teeth cured by UV for 5 minutes, 30M: artificial teeth cured by UV for 30 minutes, a-b: buccal-lingual surface, c-d: mesial-distal surface, e-f: mesiobuccal-distolingual line angle, g-h, mesiolingual-distobuccal line angle.

^{a)}Not using a constant temperature water bath. ^{b)}Using a constant temperature water bath.

^{A,B}Horizontal significant differences using post-test of Tukey honestly significant difference (HSD). ^{a,b}Vertical significant differences using post-test of Tukey HSD.

*Horizontal one-way ANOVA statistics (1, 15, and 30 days), **Vertical one-Way ANOVA statistics (AT, 15M, and 30M group).

Table 2. After overall ultraviolet (UV) curing at 5 and 30 minutes, overall result of 1, 15, and 30 day deposition in a constant temperature water bath (n=10)

Group	1 Day ^{a)}	15 Day ^{b)}	% ^{c)}	30 Day ^{b)}	% ^{d)}	p-value*
RT (mm)	9.17±0.85	9.20±0.85	-0.3	9.22±0.85	-0.2	0.953
5M (mm)	8.94±0.81	8.99±0.81	-0.6	8.97±0.78	0.2	0.962
30M (mm)	8.95±0.82	9.01±0.82	-0.7	9.03±0.81	-0.2	0.916
p-value**	0.399	0.464		0.342		

Values are presented as mean±standard deviation.

RT: Ready-made artificial teeth, 5M: artificial teeth cured by UV for 5 minutes, 30M: artificial teeth cured by UV for 30 minutes.

^{a)}Not using a constant temperature water bath, ^{b)}Using a constant temperature water bath (CTWB), ^{c)}Comparison of strains at 1 day and 30 days (minus, expansion; plus, shrinkage). ^{d)}Comparison of strains at 15 and 30 days (minus, expansion; plus, shrinkage).

*Horizontal one-way ANOVA statistics (1, 15, and 30 day). **Vertical one-Way ANOVA statistics (AT, 15M, and 30M group).

있다.

광경화성 수지를 활용하여 치과 보철물에 대한 연구가 지속해서 진행되어 왔다[1,3,7,16]. 그러나 의치상 및 인공치 제작에 있어 연구가 부족한 상황이다. UV 경화성 레진의 가장 큰 단점은 수축으로 인해서 체적 변형이 발생하게 된다는 점이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 소프트웨어에서 수축률을 계산하여 보철물을 제작하거나 UV 경화 수지 재료에 혼합물을 합성 비율을 조절하는 경우가 있다. 수축에 대한 변형률을 줄이기 위해 연구들이 지속해서 진행되고 있으나 구강 내 환경에서의 변형에 대한 연구는 부족하였다.

본 연구에서 사용한 의치상용 인공치아는 315~400 nm 파장에 경화되는 UV 경화 수지를 사용하였으며 UV 경화기는 400~405 nm 파장의 장비를 사용하였다[5]. 의치상용 인공치아의 측정 방법은 디지털 캘리퍼스를 사용하여 선형측정을 진행하였다. 측정 기구의 특징은 측정 범위가 최소 0 mm에서 최대 200 mm로 측정이 가능하며, 분해능력은 0.01 mm로 미세한 시편 측정이 가능하다. 측정 계산식은 ASTM C 326을 참고하여 측정하였다[15].

Table 1과 2에서 1일보다 15일, 30일 동안 항온수조에 침적한 인공치아의 수치가 크게 나타났다. Kim [5]에 의하면 항온수조에 침적한 시편과 침적 하지 않은 시편을 분석하였을 경우 항온수조에 시편을 침적하였던 것에 팽창이 나타난 것으로 보고된 바 있다. 본 연구 결과도 수분의 흡수로 인해서 팽창이 나타난 것으로 판단된다.

5M과 30M 집단인 UV 경화 의치상 인공치는 a-b 측정 부위에서는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 c-d 구간에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. a-b 부위보다 c-d 부위가 부피가 크기 때문에 수분 흡수에 따라서 오차가 발생한 것으로 생각된다. 이러한 현상은 추가적인 실험을 통해 명확하게 증명되어야 할 것이다. RT, 5M, 30M의 세 집단은 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 이것은 RT 집단에서 복제한 몰드와 UV 경화 인공치아를 제작하는 과정 중에서 나타난 오차로 인해 유의한 차이가 나타난 것으로 판단된다. 5M 집단과 30M 집단에서는 유의한 차이를 나타내지 않았기 때문에 복제된 몰드에서 오차 없이 인공치 제작이 되었다고 판단된다.

Table 2에서는 1일에서 15일 동안 측정된 수치가 15일에서 30일보다 크게 나타났다. 1일에서 15일간 항온수조에 침적하였을 경우 30M 집단이 -0.7%로 팽창이 크게 나타났으며, 15일에서 30일 동안은 -0.2%로 나타났다. 30M 집단이 다른 집단에 비해서 크게 나타난 이유는 UV 조사를 지속해서 표면 및 내면이 건조한 것으로 판단되며 다른 집단보다 상대적으로 수분을 흡수함으로써 팽창이 크게 나타난 것으로 생각된다. 반면 RT 집단은 기성품으로 UV 조사를 하지 않았기 때문에 5M 집단과 30M 집단에 비해 표면이 건조하지 않았으며 다른 집단에 비해 팽창이 적게 발생하여 변형률이 낮은 것으로 판단된다. 전반적으로 1일에서 15일 동안은 팽창이 크게 나타났으나 15일 이후부터는 수분의 흡수가 낮게 나타났다. 기성품 의치상용 인공치는 UV 경화 의치상용 인공치보다 수분 흡수의 영향을 덜 받는 것으로 나타났다.

선행연구에서는 의치상에 대한 물성 및 정확도 평가에 대한 연구들이 존재하였으나 의치상용 인공치에 대한 연구는 미비하였다[6-8,17-20]. 의치상은 모노모와 폴리머 제작 단계에서 최종 경화 단계까지 수작업을 통해 제작하기 때문에 공정오차를 최소화하고자 하는 연구들이 진행되어왔다. 반면 의치상용 인공치는 기성품으로 제공하고 있기 때문에 많은 연구가 부족하였다. 최근 치과용 CAD/CAM 시스템을 사용하여 맞춤형(custom) 인공치아 제작이 가능해져 기존의 기성품과 품질 비교 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서의 한계점은 치과용 3D 프린터를 사용하지 않고 UV 경화 수지만으로 인공치를 제작하였다는 점이다. 치과용 3D 프린팅은 마이크로 단위(μm)로 적층하며 인공치를 제작한다. 마이크로 단위의 적층에 따라서 결과가 다양하게 나타날 수 있어서 이와 같은 변수들을 제외하고 연구를 진행하였다. 또한 UV 경화 수축에 대한 측정 방법들은 다양하게 존재하지만 인공치 측정 분석은 선행연구 논문이 부족하여 선형측정을 하였다. 최근에 소개되고 있는 광학식 치과용 스캐너를 활용해 삼차원 중첩하여 측정하는 방법도 있으나 이것은 스캐너의 오차가 있을 수 있고 인공치의 빛 반사로 인해서 스캔 파우더를 도포해야 하는 경우도 발생할 수 있다. 반면 비접촉식 스캐너도 존재하지만 인공치의 교합면을 인기하는 어려움이 존재한다.

추후 연구에서는 다양한 치아 형태의 인공치를 사용하여 변형률 분석과 치과용 3D 프린터를 활용하여 다양한 적층 두께에 따른 변형률의 분석도 필요할 것이다. 또한 본 연구에서 사용한 측정 방법인 디지털 캘리퍼스와 3D 측정 프로그램을 사용한 비교 분석도 필요하다. 의치상도 UV 경화 레진으로 제작이 가능하기 때문에 의치상과 인공치아의 항온수조 침적 이후에 물성평가도 진행이 필요하다고 생각된다.

CONCLUSIONS

3D 프린팅용 UV 경화 수지로 제작한 인공치아의 변형률에 대한 결론은 다음과 같다. UV 경화 수지로 제작한 인공치아는 항온수조에 침적하였을 때 수분을 흡수함으로써 팽창 현상이 나타났으며, 특히 UV 조사가 장기간 누적이 된 인공치아는 팽창이 크게 나타났다. 항온수조에서 1일에서 15일 동안 침적될수록 팽창이 크게 나타났으나 15일에서 30일 동안은 팽창은 적게 나타났다.

CONFLICT OF INTEREST

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

ORCID

Dong-Yeon Kim, <https://orcid.org/0000-0002-3670-8591>

Gwang-Young Lee, <https://orcid.org/0000-0003-1826-6870>
 Jae-Hong Kim, <https://orcid.org/0000-0002-2679-8802>
 Cheon-Seung Yang, <https://orcid.org/0000-0001-6462-2448>

REFERNECES

- 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*. 2018;13:220-225.
- 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*. 2018;62:56-64.
- Kang W, Lee HK. A study of three-dimensional evaluation of the accuracy of resin provisional restorations fabricated with the DLP printer. *J Kor Aca Den Tec*. 2020;42:35-41.
- Do HS, Kim DJ, Kim HJ. Application of UV-curable materials. *J Adhes Interface*. 2003;4:41-51.
- Kim DY. Difference between shrinkage rate of irradiation amount of 3D printing UV curable resin and shrinkage rate according to a constant temperature water bath. *J Kor Aca Den Tec*. 2020;42:113-120.
- Kim MJ, Kim KH, Yeo DH. Fabrication of computer-aided design/computer-aided manufacturing complete denture and conventional complete denture: case report. *J Dent Rehabil Appl Sci*. 2016;32:141-148.
- Lee S, Hong SJ, Paek J, Pae A, Kwon KR, Noh K. Comparing accuracy of denture bases fabricated by injection molding, CAD/CAM milling, and rapid prototyping method. *J Adv Prosthodont*. 2019;11:55-64.
- Jeong DG, Oh KC, Shim JS, Park JM. Rehabilitation with implant-supported fixed dental prostheses using digital duplication technique on customized artificial tooth, interim denture and implant surgical template: a case report. *J Korean Acad Prosthodont*. 2019;57:397-404.
- Choi YS, Lee JS, Cho IH. Comparative study on wear resistance and hardness of several artificial resin teeth. *J Dent Rehabil Appl Sci*. 2008;24:129-146.
- Kim WC, Kim JH, Lee WS, Kim KB, Kim JH, Jeon JH, et al. *Dental materials*. 4th ed. Seoul: Daihak Publishing Company, 2015.
- Wimmer T, Gallus K, Eichberger M, Stawarczyk B. Complete denture fabrication supported by CAD/CAM. *J Prosthet Dent*. 2016;115:541-546.
- Chen SG, Yang J, Jia YG, Lu B, Ren L. TiO₂ and PEEK reinforced 3D printing PMMA composite resin for dental denture base applications. *Nanomaterials (Basel)*. 2019;9:1049.
- Park KM. Study on shear bond strength of various composite resins to artificial denture teeth. *J Kor Aca Den Tec*. 2014;36:171-177.
- Kim JY, Kim HS, Pae AR. Considerations for increasing denture stability: a case report. *J Korean Acad Prosthodont*. 2012;50:311-317.
- ASTM International. ASTM C326-09, standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays. West Conshohocken (PA): ASTM International, 2009.
- Kang SY, Park JH, Kim JH, Kim WC. Accuracy of provisional crowns made using stereolithography apparatus and subtractive technique. *J Adv Prosthodont*. 2018;10:354-360.
- Park JS, Park MG. Effect of aging treatment on the flexural properties of polymer provisional restoration materials. *Korean J Dent Mater*. 2013;40:215-221.
- Kim DY, Park JY, Bae SY, Kang HW, Kim JH, Kim WC. Evaluation of fitness according to application of glass fiber reinforcement for lower jaw complete denture. *J Kor Aca Den Tec*. 2018;40:201-207.
- Park DR, Bae JM. Mechanical properties and biocompatibility of experimental 3D printing denture base resin. *Korean J Dent Mater*. 2019;46:253-262.
- Kim DY, Jung ID, Park JY, Kang SY, Kim JH, Kim WC. Accuracy evaluation of resin complete denture made with glass fiber mesh reinforcement before and after curing. *J Kor Aca Den Tec*. 2017;39:25-33.