

치과 3D 프린팅용 자외선 경화 레진에 광원의 두 가지 파장에 따른 경화 및 항온수조 침적에 따른 변형률의 비교 분석

김동연¹, 이광영², 강후원³, 양천승³

¹폴드 치과기공소, ²원광보건대학교 치기공과, ³동아보건대학교 치기공과

Comparative analysis of strain according to two wavelengths of light source and constant temperature bath deposition in ultraviolet-curing resin for dental three-dimensional printing

Dong-Yeon Kim¹, Gwang-Young Lee², Hoo-Won Kang³, Cheon-Seung Yang³

¹4RD Dental Laboratory, Seoul, Korea

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

³Department of Dental Laboratory, Donga University of Health, Yeongam, Korea

Article Info

Received July 20, 2020

Revised August 18, 2020

Accepted August 27, 2020

Purpose: This study aimed to analyze the shrinkage and expansion strain of ultraviolet (UV)-cured resin according to the wavelength of the light source and compare the shrinkage and expansion.

Methods: We prepared the mold with according to the ISO 4049 specimen. The size of the circle in the mold was prepared with a height of 6.02 mm and a diameter of 4 mm. UV-curable resin for three-dimensional (3D) printing was injected into the circular mold. The control group was irradiated with a wavelength of 400~405 nm using UV-curing equipment (400 group), and the experimental group was irradiated with a wavelength of 460~465 nm (460 group). Both groups were produced ten specimens. The produced specimen was first measured with a digital micrometer. After the first measurement, the specimen was immersed in a constant temperature water bath for 15 days, after which the second measurement was performed, and the third measurement was taken after 30 days. The measured values were analyzed using the independent sample t-test ($\alpha=0.05$).

Results: In the non-immersion water tank, the contraction was 0.9% in the 400 group and 1.3% in the 460 group. In the constant temperature bath, the expansion was high at -0.4% in the 400 group for 15 days, and the smallest expansion was -0.03% for the 400 group for 30 days. There were significant differences between the two groups ($p<0.05$).

Conclusion: The 400 group had a lower UV resin specimen strain than the 460 group. Therefore, it is recommended to use the wavelength required by the UV-curing resin.

Key Words: Printing, Resins, Three-Dimensional, Ultraviolet, Wavelength

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

삼차원(three-dimensional, 3D) 프린팅용 자외선(ultraviolet, UV) 경화 레진은 짧은 시간에 최종경화가 가능하며 한 가지 재료를 사용하기 때문에 간편하게 취급할 수 있고 설비비가 저렴하기 때문에 생산성 향상에 도움이 되는 것으로 알려져 있다. 현재는 가격이 저렴하기 때문

에 산업분야의 시제품 제작에 많은 활용을 하고 있으며 소재에 대한 지속적인 발전으로 의료분야에도 사용을 하고 있다.

치과분야에서도 UV 경화 레진용 3D 프린팅이 많은 주목을 받고 있다[1]. 특히 치과용 3D 프린팅은 수술용 가이드, 의치상, 치과 모형 등의 제품제작에 다양한 용도로 사용되고 있다[2-4].

UV 경화 레진은 광원에 의해서 반응을 하는데 특히 레진의 원료인

단량체(monomer), 소중합체(oligomer), 각종 첨가제가 연속 반응을 일으켜 경화(photopolymerization)하는 과정이다[5,6]. UV는 가시광선보다 파장(wavelength)이 짧고 X선보다 파장이 길다. UV는 200 nm에서 400 nm의 파장을 가지며 사람이 볼 수 있는 빛 중 가장 파장이 짧은 보라색(자색)의 바깥에 위치해 있다. 가시광선은 400 nm에서 700 nm의 파장을 말하며 UV 파장보다는 길지만 목표물에 도달하는 에너지는 약하다[7]. 반면 UV 광원은 파장이 작지만 목표물에 도달하는 에너지는 가시광선보다 높기 때문에 UV 경화 레진에 주로 사용된다.

3D 프린팅용 UV 경화 레진은 일반적으로 400 nm의 파장에서 경화 반응을 한다. 소재의 속성 및 원료의 배합 비율에 따라 400 nm 이상 및 이하의 UV 광원을 사용하는 경우가 있다. 이러한 이유로 UV 경화 장비도 UV 소재에 맞게 파장 조절이 가능하게 되었다.

UV 경화 소재가 요구하는 파장은 400 nm이지만 그 이상의 파장으로 조사를 하여도 경화되는 현상이 발생한다. UV 경화 소재가 요구하는 광원의 파장을 사용하지 않을 경우 UV 레진으로 제작한 치과보철물에 어떠한 문제가 발생하는지에 대한 연구 결과는 부족하다. UV 경화 레진의 신뢰성 평가 요소들은 많지만 UV 경화 레진의 수축·팽창 변형률에 대한 연구는 부족하였다. 특히 3D 프린팅용 UV 경화 레진의 특성상 UV에 의해서 경화 수축이 발생하며 경화 후 처리과정 중에서도 수축이 발생한다. 따라서 이러한 오차를 고려한 3D 프린팅 조건을 설정하는 것은 정밀제작에서 매우 중요한 문제이다[8]. 그동안 UV에 따른 경화 시 변형률과 구강 내 환경에서의 변형률에 대한 연구는 부족하였다[6].

본 연구에서 사용한 UV 경화 레진은 영구 및 임시 치아용으로 사용이 가능하지만 현재는 인체 내 안정성 문제로 인해 임시 치아용으로만 사용하는 빈도가 높다. 임시 치아는 일반적으로 사용기간이 7일을 넘기지 않으나 보철 치료에 따라 그 이상 장착하는 경우도 있다[9]. 기존 문헌에서는 15일과 30일 동안 UV 경화 레진을 구강 내 환경과 유사한 조건인 항온수조에 침적하여 변형률을 비교 분석을 하였다[6].

따라서 본 연구에서는 광원의 두 파장에 따라 경화된 UV 레진의 변형률 비교 분석과 구강 내 환경과 유사한 항온수조에 UV 경화된 레진을 침적하였을 경우의 변형률을 비교 분석하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 시편 제작

본 연구에서는 UV 레진 시편을 제작하기 위해서 ISO 4049를 참고하여 스테인리스강 몰드를 준비를 하였다(ISO 4049, 2009) (Fig. 1) [10]. 원통형의 스테인리스강 몰드는 높이 6.02 mm×내경 4 mm×외경 30.09 mm로 제작하였다[6].

3D 프린팅용 UV 경화 레진이 스테인리스강과 분리될 수 있도록 스테인리스강 원형 내벽에 바세린을 도포하였다[6]. 스테인리스강 바닥

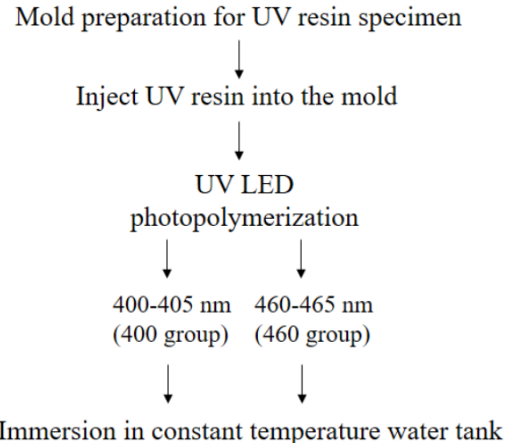


Figure 1. Study design. UV: ultraviolet, LED: light emitting diode.

부분에 접착용 테이프(#550 Scotch; 3M, Maplewood, MN, USA)를 부착하여 UV 레진이 누출되는 것을 방지하였다. 준비된 스테인리스강 내부에 UV 레진(NextDent C&B; NextDent, Soesterberg, Netherlands)을 여분이 충분히 남도록 주입하였다. 여분의 레진은 디스크(disk)를 사용하여 스테인리스강의 높이와 UV 레진의 높이를 동일하게 하였다. 스테인리스강 바닥 부위는 유리판으로 배치하였다.

2. 시편 중합 및 1차 측정

UV 경화기(Cure Box-320; Denstar, Daegu, Korea)를 사용하여 중합을 진행하였다(Fig. 2) [6].

중합 진행 시 첫 번째 집단은 400~405 nm에서 30분 동안 중합을 진행하여 10개의 시편을 제작하였다(400 group). 본 장비의 UV 세기는 가장 낮은 1단계에서 가장 높은 10단계가 있는데 가장 높은 10단계로 진행하였다. 두 번째 집단은 460~465 nm에서 30분 동안 중합을 진행하여 10개의 시편을 제작하였다(460 group). UV 세기는 10단계로 400 집단과 동일하게 진행하였다. 중합된 시편은 스테인리스강 몰드에서 시편 분리기(remover)를 사용하여 제거하였다. 분리된 시편은 측정기(Digital micrometer; Mitutoyo, Kanagawa, Japan)를 사용하여 측정(1차)하였다(Fig. 3).

3. 항온수조 침적 및 2, 3차 측정

준비된 두 집단 모두 증류수를 사용한 37°C의 항온수조(HQ-HWB; Coretech, Uiwang, Korea)에 침적하였다(Fig. 4). 15일 후 측정기를 사용하여 측정(2차)하였으며 30일 이후에도 측정기를 사용하여 측정(3차)하였다(Fig. 3). 측정 시 시편 표면에 묻은 수분으로 측정 오차가 발생할 수 있기 때문에 티슈를 사용하여 수분을 제거하였다. 측정기를 사용한 측정 데이터는 ASTM C 326 선형측정 계산법을 사용하였다(ASTM C 326, 2009) [11].

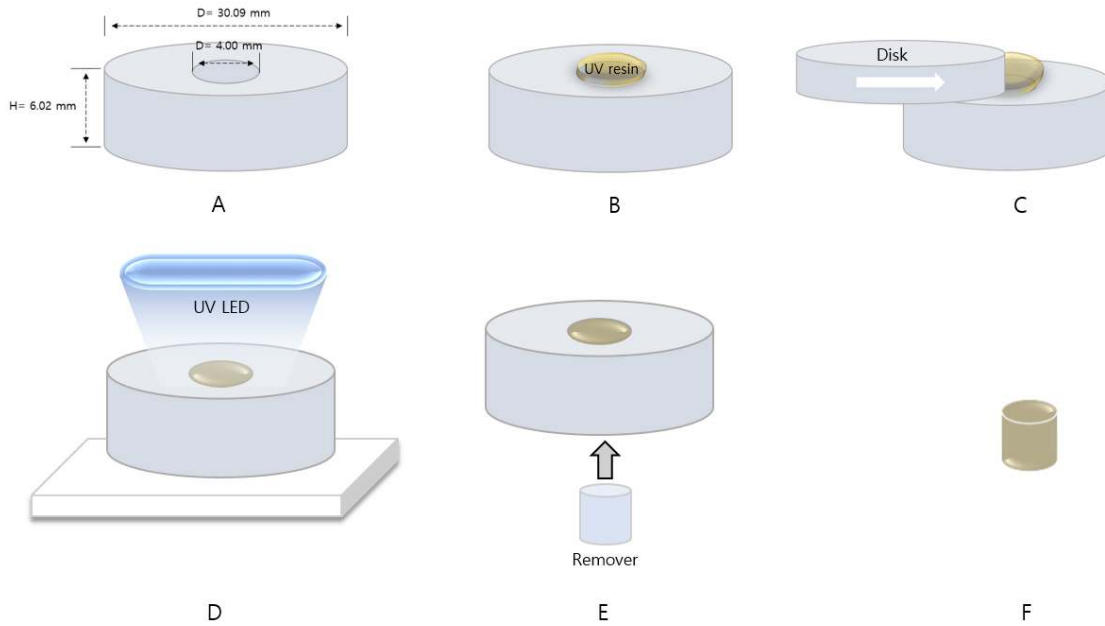


Figure 2. Fabrication of specimens using ultraviolet (UV) curable resin. (A) Stainless steel mold analysis and preparation, (B) UV resin injected into stainless steel mold, (C) using a stainless steel disc to make the mold and UV resin the same height, (D) polymerization using UV curing machine, (E) separation of specimens using remover from stainless steel mold, (F) UV resin specimen production completed. Cited from the article of Kim (Kor Aca Den Tec. 2020;42:113-120) [6]. LED: light emitting diode.



Figure 3. Measure the length of the specimen using a digital micrometer.

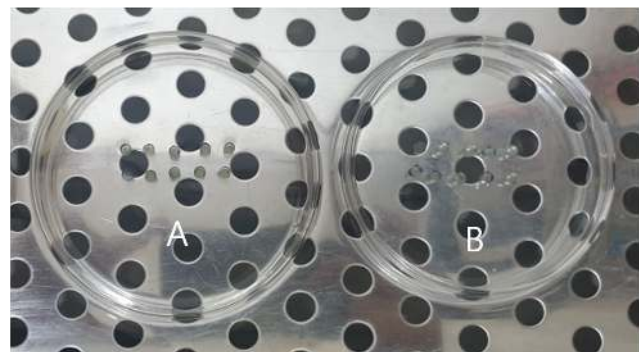


Figure 4. Ultraviolet (UV) resin deposition using a constant temperature water bath. (A) 400 group; (B) 460 group.

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

-X₁: 경화 전 길이(mm)

-X₂: 경화 후 길이(mm)

-수축률의 평균값은 소수점 첫째 자리까지 % 단위로 표시한다.

3. 통계분석

통계분석 소프트웨어(IBM SPSS statistics ver. 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 정규성 검정을 실시하였다. 정규성을 만족하여 두 그룹 간 분석은 independent sample t-test를 사용하였다(α=0.05).

RESULTS

본 연구에서 항온수조에 넣지 않은 두 집단의 변형률을 분석하였을 경우 400 집단에서는 5.966 mm로 나타났으며, 460 집단에서는 5.940 mm로 나타났다(Table 1). 변형률은 400 집단에서 0.9%의 수축이 발생하였으며 460 집단에서는 1.3%의 수축이 발생하였다. 두 집단 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

15일 및 30일 동안 항온수조에 침적하였을 경우 UV 레진 시편의 팽창이 나타났으며, 1일에서 15일간 항온수조에 침적하였을 경우 팽창이 크게 나타났다. 특히 400 집단에서 -0.4%로 가장 크게 팽창이 나타났다. 가장 팽창이 적게 나타난 집단은 30일 동안 침적한 460 집단이었

Table 1. Results of immersion in the water bath of 15 days and 30 days after UV curing of 400~405 nm (400 group) and 460~465 nm (460 group) (n=10)

Group	1 Day ^{a)}			15 Day ^{b)}			30 Day ^{b)}		
	Mean±SD (mm)	%	p-value	Mean±SD (mm)	%	p-value	Mean±SD (mm)	%	p-value
400 group	5.966±0.028	0.9	0.014*	5.988±0.027	-0.4	0.006*	5.987±0.028	0.1	0.009*
460 group	5.940±0.012	1.3		5.957±0.015	-0.3		5.959±0.014	-0.03	

Percentage data was calculated by using ASTM C 326 linear measurement calculation (positive value-shrinkage, negative value-expansion).

*Statistically significant (p<0.05; t-test analysis between 400 and 460 groups).

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

다. 항온수조에 침적하였을 경우, 15일 및 30일 모두 두 집단 간에 파장에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

DISCUSSION

본 연구에서는 400~405 nm와 460~465 nm의 UV 파장에 따라 경화된 UV 레진의 변형률을 분석하였으며 항온수조에 15일과 30일 동안 침적하였을 경우의 변형률을 비교분석하였다. 연구에서 사용한 UV 경화기는 400~405 nm와 460~465 nm로 파장 선택이 가능한 장비를 사용하였다. 원통형 시편의 변형률 측정하기 위해서 디지털 마이크로미터기를 사용하였으며 디지털 마이크로미터기는 측정 범위 0~25 mm, 분해능력 0.001 mm로 측정이 가능하다. 항온수조의 증류수와 37℃의 온도는 기존 참고문헌을 참고하여 진행하였다[6,9,12]. UV 경화 레진의 수축률 계산법은 세라믹 수축 측정법인 ASTM C 326을 참고하여 계산하였다.

400 집단과 460 집단을 항온수조에 넣지 않고 두 집단 간에 비교하였을 경우 460 집단은 1.3%의 수축 변형률을 나타냈으며 400 집단은 0.9%의 수축 변형률이 발생하였다. 서로 다른 수축률 현상은 460 집단 표면에 경화되지 않은 여분의 UV 용액이 존재하였으며, 여분의 용액을 제거하고 측정을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 용액은 UV light emitting diode (LED) 400 nm 파장에서 경화 반응하기 때문에 460 nm에서는 경화 반응이 완전하게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

항온수조에 침적하였을 경우 15일과 30일 사이에서 수축을 보상한 팽창이 발생하였다. Lee 등[13]에 의하면 레진은 구강 내 환경에 노출되면 수분을 흡수하여 수화팽창으로 인해 물리적 성질의 변화가 발생한다고 보고한 바 있다. 또한 Cho와 Lee [14]에 의하면 레진계 임시수복재는 구강 내 타액에 의해서 시간이 지남에 따라 수분을 흡수하여 팽창한다고도 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 두 집단 모두 수분을 흡수하여 팽창 변형률이 발생한 것으로 생각된다. 또한 두 그룹으로 나눠 15일 침적, 30일 침적을 비교하였을 경우 15일 침적이 팽창량이 더 크게 나타났으며 특히 400 집단에서 가장 크게 나타났다. Kim [6]에 의하면 UV 조사 시간이 많을수록 시편이 건조해져서 팽창 변형률이 높아진다고 보고한 바 있다. 본 연구 결과에서도 동일한 현상으로 판단된다. 460 집단에서 30일 동안 항온수조 침적을 하였을 경우

-0.03%로 가장 낮게 팽창 변형률이 발생하였다. 상대적으로 400 집단보다 시편이 덜 건조하기 때문에 수분흡수를 하지 않은 것으로 판단된다. 항온수조에 침적하였을 경우에도 두 집단 간에 유의한 차이를 보였다.

UV의 두 파장에 따라서 표준편차에서도 차이가 나타났다. 특히 400 집단은 0.027~0.028 mm 범위의 차이를 보였으며, 460 집단은 0.012~0.015 mm 범위를 나타냈다. 460 집단이 400 집단보다 오히려 수분을 덜 흡수하고 체적 변형이 적게 나타난 것으로 판단된다. 즉 400 nm의 UV 경화 레진이 460 nm의 경화 레진보다 더 많은 수분을 흡수함에 따라 변형률이 크지만 스테인리스 몰드 사이즈에 유사하기 때문에 400 집단이 정확도 부분에서 우수하다고 판단된다.

Cho와 Lee [14]에 의하면 수분에 침적하였을 경우 레진이 0.43%~1.1% 팽창 변형률이 발생한다고 하였으며 Kim [6]에 의하면 0.1%~0.9%가 팽창한다고 하였다. 본 연구에서도 기존 선행연구와 같이 15일 동안 항온수조에 침적하였을 경우 0.3%~0.4%의 팽창 변형률을 나타냈다. 15일에서 30일 동안은 팽창 변형률이 크게 나타나지 않았다.

치과기공과정 중에 교합면 접촉 및 인접면 접촉이 느슨하게 제작된 경우 재제작 및 수리를 하게 된다. 본 연구의 결과를 통해 UV 경화 레진은 수분(타액)을 흡수함으로써 발생한 팽창값을 계산하여 보철물을 제작할 수 있다. 이러한 제작 방식은 구강 내에서 보철물 적합 시 인접면 및 교합면 부위가 공간이 존재하더라도 보상이 되리라 생각된다. 그러나 근본적으로 레진의 수분을 흡수하지 않고 고유의 성질을 유지하는 것이 가장 좋은 방법이라고 생각하며 문제점을 보완하여 UV 경화 레진의 기술을 보강한다면 정밀제작이 가능할 것이라고 생각된다.

본 연구의 한계점은 3D 프린팅을 사용하지 않고 UV 경화기만을 사용하여 UV 레진을 경화하였다는 점이다. 3D 프린팅 장비는 장비마다 적층 두께에 따라 다르게 쌓아 올린다. 적층 두께가 변수가 될 수 있기 때문에 UV 경화기만을 사용하여 변수를 통제하였다. 또한 레진 수축에 대한 연구들이 존재하지만 선행연구에서 제작하는 시편은 얇게 제작하는 경우인데 UV 경화 레진을 얇게 제작할 경우 휘어지는 성질이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 휘어짐이 적고 변형이 적은 원통형 시편을 제작하여 진행하였다.

추후 연구에서는 두 파장에 따른 시편 제작 시 물성평가가 추가적으로 이루어져야 할 것이며 3D 프린팅을 사용하여 제작한 시편 평가가

필요하다고 생각된다. 또한 수분을 흡수를 적게 하기 위해서 표면을 연마한 변형률 연구도 진행이 필요할 것으로 판단된다.

CONCLUSIONS

치과기공이 전문화되면서 장비가 맞춤형으로 발전하고 있으며 UV 경화기도 UV 레진이 요구하는 파장에 따라 맞춤형으로 사용이 가능하게 되었다. 그러나 UV 경화 레진이 요구하는 파장으로 하지 않을 경우 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

치과 3D 프린팅용 UV 경화 레진에 광원의 파장(400~405 nm, 460~465 nm)에 따른 경화에 대한 결과는 400 집단이 460 집단보다 UV 레진 시편 변형률이 낮았다.

치과 3D 프린팅용 UV 경화 레진에 광원의 파장(400~405 nm, 460~465 nm)에 따라 항온수조 침적에 따른 팽창 변형률의 비교분석 결과는 1일에서 15일간 항온수조에 침적하였을 경우 두 집단 모두 팽창 변형률이 가장 크게 나타났으나 400 집단이 460 집단보다 변형률이 낮았다.

따라서 UV 경화 레진이 요구하는 파장을 사용하는 것을 권장한다.

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>
Hoo-Won Kang, <https://orcid.org/0000-0001-6029-2867>
Cheon-Seung Yang, <https://orcid.org/0000-0001-6462-2448>

REFERNECES

- 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.
- Eom DY, Leesungbok R, Lee SW, Park SJ, Ahn SJ. CAD/CAM fabricated complete denture using 3D face scan: a case report. *J Korean Acad Prosthodont.* 2017;55:436-443.
- Jin SJ, Kim DY, Kim JH, Kim WC. Accuracy of dental replica models using photopolymer materials in additive manufacturing: in vitro three-dimensional evaluation. *J Prosthodont.* 2019;28:e557-e562.
- Shin MS, Paek JH. Flapless implant placement with digital 3D imaging and planning system in fully edentulous patient: a case report and 5-year follow-up. *J Korean Acad Prosthodont.* 2019;57:312-320.
- 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.
- Walsh LJ. The current status of laser applications in dentistry. *Aust Dent J.* 2003;48:146-155.
- 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.* 2018;17:47-53.
- 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.
- International Organization for Standardization. *Dentistry: polymer-based filling, restorative and luting materials.* 4th ed. Geneva: ISO, 2009.
- ASTM International. *ASTM C326-09, standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays.* West Conshohocken (PA): ASTM International, 2009.
- Lee SJ. Wear behavior of alumina-glass composites prepared by melt infiltration. *J Korean Ceram Soc.* 2003;40:881-885.
- Lee SH, Kim DJ, Hwang YC, Oh WM, Hwang IN. Study on the interface between light-cured glass ionomer base and indirect composite resin inlay and dentin. *J Korean Acad Conserv Dent.* 2005;30:158-169.
- Cho NY, Lee IB. Polymerization shrinkage, hygroscopic expansion and microleakage of resin-based temporary filling materials. *Restor Dent Endod.* 2008;33:115-124.