

열 가압 방식을 사용하여 제작된 인레이 세라믹 수복물의 적합도 평가

이범일, 유승규, 유승민, 박동인, 김지환
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Assessment of inlay ceramic restorations manufactured using the hot-pressing method

Beom-II Lee, Seung-Gyu You, Seung-Min You, Dong-In Park, Ji-Hwan Kim

Department of Dental Laboratory Science & Engineering, College of Health Science, Korea University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to compare the marginal and internal fit of lithium disilicate ceramic inlay produced by heat pressing that inlay pattern made by subtractive manufacturing and additive manufacturing method.

Methods: A mandibular lower first molar that mesial occlusal cavity (MO cavity) die was prepared. After fabricating an epoxy resin model using a silicone impression material, epoxy resin die was scanned with a dental model scanner to design an MO cavity inlay. The designed STL file was used to fabricate wax patterns and resin patterns, and then lithium disilicate ceramic inlays were fabricated using hot-press method. For the measurement of the marginal and internal gap of the lithium disilicate, silicone replica method was applied, and gap was measured through an optical microscope (x 80). Data were tested for significant differences using the Mann-Whitney Utest.

Results: The marginal fit was $103.56 \pm 9.92 \mu\text{m}$ in the MIL-IN group and $81.57 \pm 9.33 \mu\text{m}$ in the SLA-IN group, with a significant difference found between the two groups ($p < 0.05$). The internal fit was $120.99 \pm 17.52 \mu\text{m}$ in the MIL-IN group and $99.18 \pm 6.65 \mu\text{m}$ in the SLA-IN group, with a significant difference found between the two groups ($p < 0.05$).

Conclusion: It is clinically more appropriate to apply the additive manufacturing than subtractive manufacturing method in producing lithium disilicate inlay using CAD/CAM system.

● **Key words:** Additive manufacturing, Internal, Lithium Disilicate, Marginal, Silicone replica, Stereolithography apparatus

* 본 연구는 2019년도 산학연 collabo R&D 과제(과제 명: 3D 프린팅을 이용한 가철성 의치의 프레임 제작 공정기술 개발 및 사업화, 과제번호: S2738318)의 지원을 받아 작성된 논문임

Corresponding author	Name	김 지 환	Tel.	02-3290-5666	E-mail	kjh2804@korea.ac.kr	
	Address	서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 대학원 보건과학과					
Received	2019. 12. 27		Revised	2020. 3. 4		Accepted	2020. 3. 9

I. 서론

리튬 디실리케이트 세라믹은 대표적인 올 세라믹 재료 중 하나이다(Hallmann et al, 2019; Kim & Kim, 2019). 리튬 디실리케이트 세라믹은 우수한 심미성과 자연치와 유사한 경도를 지니고있으므로 인해 올 세라믹 수복물료 많이 사용되어 지며 최종 수복 후 5년동안 성공률이 96.6~97.3%로 보고되었다(Yang et al, 2016). 이러한 리튬 디실리케이트 세라믹 수복물은 로스트 왁스 기술방식에 의해 납형을 소환하고, 가열된 인고트를 가압하여 제작한다. 하지만, 로스트 왁스 기술방식은 치과기공사 숙련도에 의존하고, 노동집약적이며, 제작 과정에 따른 오차가 발생한다(Kim et al, 2017). 이러한 오차는 변연 및 내면적합도에 직접적인 영향을 미친다(Homsy et al, 2018). 변연 및 내면적합도의 오차는 2차우식, 치과용 시멘트의 용해, 치주질환 등의 문제를 일으킬 수 있다(Kaleli et al, 2019).

이러한 단점을 보완하기 위하여 치과캐드캠 시스템이 도입되었다. 치과캐드캠 시스템은 1970년 프랑스의 Duret에 의해 도입되었다(Heymann et al, 1996). 치과분야에서 캐드캠 방식이 적용됨으로 인해 시간단축, 높은 정확성, 제작단계의 간소화 등의 장점으로 인해 치과 보철물을 보다 더 효율적으로 제작할 수 있게 되었다(Kim et al, 2015).

치과캐드캠 제작방식은 절삭가공방식(Subtractive manufacturing, SM)과 적층 가공방식(Additive manufacturing, AM)으로 분류된다(Kim et al, 2017). 일반적으로 치과캐드캠 가공 방식에는 절삭가공방식(Subtractive Manufacturing, SM)이 많이 사용되고 있다. 그러나 절삭가공방식은 불필요한 재료소모, 높은 유지비용, 복잡한 현상에 대한 가공의 어려움 등의 단점이 존재한다(Mai et al, 2017).

이러한 절삭가공방식의 단점을 보완하고 편리한 치과 수복물의 제작 위해 적층 가공방식(Additive manufacturing)이 개발되었다. 적층 가공방식은 3차원 캐드 소프트웨어에서 디자인 파일 데이터를 전용의 장비로 전송하여 재료를 연속적으로 적층하여 가공하는 방식이다(Ngo et al, 2018; Revilla &

Özcan, 2019). 치과분야에서 대표적으로 많이 이용하고 있는 적층 가공방식은 스테레오리소그래피(Stereolithography Apparatus, SLA) 방식이 있다. 스테레오리소그래피 방식은 광경화성 수지가 들어있는 수조에 자외선 레이저 광원(UV)을 조사하여 캐드 파일에 디자인된 형상을 적층 가공하는 방식이다(Alharbi et al, 2017; Revilla & Özcan, 2019). 이러한 방식은 불필요한 재료 소모를 줄이고, 높은 정확성, 고해상도, 미세부위 재현성 등 많은 장점을 가지고 있다(Alharbi et al, 2017; Galante et al, 2019; Kim, 2019).

현재 리튬 디실리케이트 세라믹의 변연 및 내면 적합도에 관한 연구는 지금까지 계속되고 있다(Bottino et al, 2015; Ripple et al, 2017; Shamseddine et al, 2017; Homsy et al, 2018). 하지만, 대부분의 연구들이 크라운이나 코어를 연구하거나, 로스트 왁스 기술방식과 절삭가공방식을 비교한 연구가 대부분이다. 또한, 적층 가공방식으로 제작한 레진 패턴을 소환하여 제작한 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이 수복물에서 변연 및 내면 적합도를 비교한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 리튬 디실리케이트 세라믹은 지르코니아 세라믹에 비해 비교적 높은 굽힘 강도와 축성 된 도재와의 높은 결합력으로 인해 수요가 늘어나고 있는 점에서 추가적인 연구가 필요하다(Kang et al, 2018).

따라서 본 연구의 목적은 절삭가공방식과 적층 가공방식으로 제작한 리튬 디실리케이트 인레이 수복물의 변연 및 내면적합도를 비교하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 작업모형 제작

본 실험의 모형은 치아우식증이 비번히 발생하는 하악 좌측 제1대구치 근심면 교합면 와동(MO cavity)이 형성된 치형(D85DP-500B.1, Nissin Dental, Japan)이 선정되었다. 선정된 지대치 모형은 복제용 실리콘(Deguform, Degudent GmbH, Germany)을 사용하여 복제하였다. 그 후, 복제된 실리콘 몰드 내에 에폭시

레진(Polyurock, Metalor Dental GmbH, Germany)을 주입하여 에폭시 치형으로 제작하였다(Fig. 1).



Figure 1. Master die with Mesial occlusal cavity formed.

2. 근심면 교합면 와동 인레이 제작

1) 근심면 교합면 와동 인레이 수복물의 설계 디자인

근심면 교합면 와동 치형을 치과용 모형 스캐너 (Identica Hybrid, Medit, Korea)로 스캔하고 STL파일로 저장하였다. 저장된 STL파일은 캐드 디자인 프로그램(exocad DentalCAD, exocad GmbH, Germany)으로 전송하여 근심면 교합면 와동 인레이를 설계하였다. 이 때 시멘트 갭은 0.06mm로 설정하였고 margin의 수평, 수직, 변연 폭은 0mm, 마진 각도는 0도로 설정하였다. 마지막으로 설계된 인레이 수복물은 stl파일로 컴퓨터에 저장하였다(Fig. 2).

2) 절삭 가공방식을 이용한 인레이 수복물의 왁스 패턴 시편 제작

근심면 교합면 와동 인레이가 설계된 STL 파일을 5축 밀링 장비(DWX-50, Roland DG Corporation,

Japan)로 전송하였다. 이 때 밀링 전용의 왁스(Vipi block wax, Pirassununga, Brazil)가 밀링 도중 인레이 왁스 패턴이 탈락되는 것을 방지하기 위해 지지대를 인접면에다가 부착하여 5개의 소환을 위한 왁스 패턴을 제작하였다. 밀링 가공이 끝난 왁스 패턴은 전용의 버를 이용하여 주입선을 제거하고 인접면이 다듬어졌다.

3) 적층 가공방식을 이용한 인레이 수복물의 소환용 레진 패턴 시편 제작

절삭가공방식과 마찬가지로, 근심면 교합면 와동 인레이가 설계된 STL파일을 3d 프린터(Zenith U, Dentis, Korea)로 전송하여 총 5개의 소환용 레진 패턴(ZMD-1000B Castable, Dentis, Korea)을 제작하였다. 이 때 내면의 오차를 줄이기 위해 인접면에 지지대를 부착하였다. 3D 프린팅 이 끝난 레진 패턴은 전용의 디스크 및 버를 이용하여 제거하고 인접면이 다듬어졌다.

4) 리튬 디실리케이트의 열 가압 성형

소환용 레진 패턴과 왁스 패턴에 주입선을 부착하고 전용 매몰재(Bellavst SH, Bego, Germany)를 사용하여 제조회사의 혼수비에 따라 매몰하였다. 매몰재가 최종 경화된 후 매몰재 링을 소환로에 넣고 소환시켰다. 이 때 소환 시작 온도를 800°C로 시작하여 분당 7°C로 상승시켜 870°C에서 1시간 계류 후 인레이 패턴을 소환시켰다. 그리고 열 가압 전용 ingot(Hass Rosetta sp HT, HASS, Korea)를 매몰링 주입 구 내에 삽입시키고 분리제를 도포한 전용 플러저를 끼워 소환 로에서 용융시키고 열 가압 성형 작업을 하였다. 성형 작업이 끝난 매몰링을 실온에서 서냉 시키고 매몰재를 제거한 후,



Figure 2. Scanning of mandibular lower first molar mesial occlusal cavity die and design of mesial occlusal cavity inlay.

인레이 수복물의 내면을 글라스 비드로 샌드 블라스팅 (Cobra, Renfert GmbH, Germany)하여 산화막을 제거하였고 SM방식의 리튬 디실리케이트 인레이 수복물 (MIL-IN)과 AM방식의 리튬 디실리케이트 인레이 수복물(SLA-IN)을 완성하였다.

3. 실리콘 복제방법을 이용한 적합도 측정

준비된 에폭시 레진 치형에 연질 실리콘(Aquasil Ultra XLV, Dentsply DeTrey GmbH, Germany)을 주입하고 인레이 수복물을 적합 시켰다. 이 때, 압력은 만능시험 장비(OUT-05D, Oriental TM Corp, Korea)를 사용하여 39.2N의 압력을 5분간 가하였다 (Homsy et al, 2018). 연질 실리콘이 경화된 후, 인레이 수복물을 모형에서 분리하였다. 그 다음, 분리된 인레이 수복물에 경질 실리콘(Auqasil Ultra Rigid, Dentsply Dentrey GmbH, Germany)을 주입하여 연질 실리콘을 지지하였다. 복제된 실리콘을 근-원심 방향으로 절단하여 변연(M1, M2)과 내면(I1, I2, I3) 부위를 측정하였다(Fig. 3). 측정 장비는 광학 현미경(KH-7000, Hirox, Japan)를 이용하여 80배율로 확대하여 측정하였다(Fig. 4). 이 때, 변연(M1, M2)과 내면(I1, I2, I3) 적합도 측정 지점의 기준은 Holmes가 제시한 적합도 측정 기준은 참고하여 외동이 형성된 치아의 외연 및 외벽과 보철물이 수직으로 되는 거리를 측정하였다(Holmes et al, 1989).



Figure 3. Measurement location of marginal (M1, M2) and internal area (I1, I2, I3).

4. 통계 분석

통계 프로그램(IBM SPSS 25.0, SPSS Inc, USA)을 사용하여 측정된 평균과 표준편차 데이터의 정규성 검정을 실시하였다. 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov test를 사용하여 정규성 검정을 실시하였다. 하지만, 정규성을 만족하지 못하여(P<0.05) 비모수 검정인 Mann-Whitney U test를 실시하였다. 제 1종 오류의 수준은 0.05로 하였다($\alpha=0.05$).

III. 결과

1. 변연적합도

두 그룹의 변연 적합도 측정 값은 MIL-IN 그룹에서 $103.56 \pm 9.92 \mu\text{m}$ 이었고, SLA-IN 그룹에서 $81.57 \pm 9.33 \mu\text{m}$ 이었다(Table 1). 또한, 두 그룹 사이에 변연 간

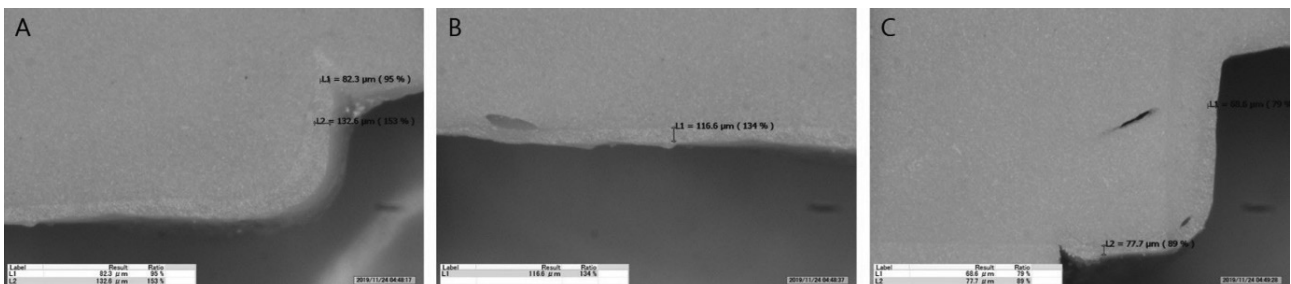


Figure 4. Measurement of margin and internal gap using digital microscope at 80 x magnification. This study measured marginal and internal gap. The green color represents heavy body silicone and yellow color represents light body silicone.

격은 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.05$).

Table 1. Mean, standard deviation (SD), 95% confidence interval for marginal gap according to CAD/CAM manufacturing methods. MIL-IN: Milling-Inlay, SLA-IN: Stereolithography Apparatus-Inlay

(Unit: μm)

Group	Mean	SD	95% CI		P-value
			Min	Max	
MIL-IN	103.56	9.92	91.24	115.89	.008
SLA-IN	81.57	9.33	69.98	93.16	

2. 내면적합도

두 그룹의 내면 적합도 측정 값은 MIL-IN 그룹에서 $120.99 \pm 17.52 \mu\text{m}$ 이었고, SLA-IN 그룹에서 $99.18 \pm 6.65 \mu\text{m}$ 이었다(Table 2). 또한, 두 그룹 사이에 내면 간격도 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.05$).

Table 2. Mean, standard deviation (SD), 95% confidence interval for internal gap according to CAD/CAM manufacturing methods. MIL-IN: Milling-Inlay, SLA-IN: Stereolithography Apparatus-Inlay

(Unit: μm)

Group	Mean	SD	95% CI		P-value
			Min	Max	
MIL-IN	120.99	17.52	99.23	142.75	.016
SLA-IN	99.18	6.65	90.92	101.07	

IV. 고찰

본 실험에서는 절삭가공방식 및 적층 가공방식으로 제작한 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이의 변연 및 내면 적합도를 비교하였다. 기존의 선행 연구는 절삭가공방식으로 제작한 인레이 적합도 평가를 하였으나 제작 과정 중 미세부위 재현성, 재료낭비 및 밀링 버 소모 등의 단점이 존재한다고 보고되었다(Schaefer et al, 2014; Homsy et al, 2018). 본 연구는 이러한 단점들을 보완해줄 수 있는 AM방식으로 제작한 레진 패턴을 열 가압하여 제작한 인레이 수복물의 적합도를 비교 평가했다는 점에서 본 연구의 의의가 있다. 적합도 측

정에 대표적인 방식으로는 직접 눈으로 보는 방법, 절단하여 측정하는 방법, 실리콘 복제방법이 존재한다. 직접 눈으로 보는 방법은 간단하고 빠르게 측정이 가능하지만, 반복측정 시 지대치 모형이 손상될 수 있다(Sorensen, 1990). 단면을 절단하여 측정하는 방법은 인레이 내면에 치과용 시멘트를 도포 후 이를 지대치 모형에 합착한 뒤 보철물을 절단하여 그 단면을 측정하는 방법이다(Grenade et al, 2011). 하지만 측정할 수 있는 부분이 단면으로 제한되며, 절단 시 시편 및 지대치에 손상이 생길 수 있다(Nawafleh et al, 2013). 실리콘 복제방법은 인레이 내면에 전용 실리콘을 채워 그 두께를 측정하는 방법인데, 지대치 및 모형을 절단하는 과정이 없으므로 인레이와 지대치의 손상을 막을 수 있는 큰 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 지대치에 손상을 줄일 수 있는 실리콘 복제방법이 사용되었다(Molin & Karlsson, 1993).

리튬 디실리케이트 세라믹 인레이의 변연 적합도는 보철물의 장기적 성공과 실패를 좌우할 정도로 가장 중요한 요소이다. 대부분의 연구자들이 적합도의 임상적 허용 범위에 제시한 여러 연구가 존재한다. McLean과 von Fraunhofer는 $120 \mu\text{m}$ 이 임상적으로 허용 가능한 범위라고 제시했다(Mclean, 1971). 또한, Boening은 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 까지가 임상적으로 허용 가능한 적합도 범위라고 보고한 바 있다(Boening et al, 2000).

본 연구에서 절삭가공방식과 적층 가공방식을 이용한 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이의 변연 적합도 측정 결과는 MIL-IN 그룹에서 $103.56 \pm 9.92 \mu\text{m}$, SLA-IN 그룹에서 $81.57 \pm 9.33 \mu\text{m}$ 으로 Mclean과 von Fraunhofer(Mclean, 1971)가 제시한 $120 \mu\text{m}$ 인 임상적인 범위 안에 존재하였다(Table 1). 두 그룹의 변연 적합도 값이 차이가 생긴 이유는 절삭가공방식의 경우 밀링 버 직경에 따라 변연 부위의 정확한 재현이 어려운 반면, 적층 가공방식의 경우 복잡한 형태에 대한 재현성이 우수하기 때문이라고 생각된다. 내면적합도에서는 MIL-IN 그룹의 간격은 $120.99 \pm 17.52 \mu\text{m}$, SLA-IN 그룹의 간격은 $99.18 \pm 6.65 \mu\text{m}$ 로 두 그룹의 간격 모두 내면적합도가 변연적합도 보다는 크게 나타났으나 Boening이 제시한 임상적 허용 범위를 넘어가지 않았

다(Boening et al, 2000) (Table 2).

한편, 본 연구에서는 몇 가지 제한점이 존재하였다. 우선 측정에 사용된 시편의 수 및 측정 지점이 적었을 뿐만 아니라, 다양한 밀링 장비 및 3D 프린팅 장비를 확보하지 못하였다. 또한 왁스 패턴과 레진 패턴의 소환 및 열 가압 하는 과정에서 오차가 발생하였을 수도 있다. 따라서 향후 연구에서는 시편의 개수 및 측정 지점을 늘려 신뢰성을 확보하고, 다양한 장비 확보가 필요하며, 패턴의 소환온도 설정 및 열가압 방식에 따른 적합도 평가도 이루어져야 된다고 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 절삭가공방식과 적층 가공방식으로 제작된 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이 수복물의 변연 및 내면 적합도에 차이가 있는 지를 실리콘 복제방법을 이용하여 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 내렸다.

절삭가공방식과 적층 가공방식으로 제작된 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이 수복물의 변연 및 내면 간격은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 이는 제작 방법에 따라 간격이 달라질 수 있는 것으로 두 그룹 간 적합도 차이의 존재가 규명된 것이다.

본 연구의 범위 내에서의 적합도와 관련된 간격은 두 그룹 모두 임상적으로 허용 가능한 범위 안에 존재하지만 절삭가공방식에서 보다 적층 가공방식으로 제작된 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이 수복물의 변연 간격이 $81.57 \mu\text{m}$, 내면 간격이 $99.18 \mu\text{m}$ 로 나타나 절삭가공방식에서 보다 약 18%~20% 정도 간격이 긴밀한 것이 확인되었다. 이는 본 연구에서 절삭가공방식 보다 적층 가공방식으로 제작된 인레이 수복물의 적합도가 우수한 것으로 확인된 것이다.

따라서 제작방식에 따라 리튬 디실리케이트 세라믹 인레이 수복물을 제작할 때 적합도가 양호한 적층 가공방식으로 인레이 수복물을 제작하여 임상에서 적용하는 것이 가능할 것으로 생각된다. 또한 이러한 연구결

과는 인레이 제작 방법을 필요에 따라 선택적으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

VI. Acknowledgement.

본 실험을 위해 도움을 주신 (주)Dentis에 감사의 뜻을 전합니다.

REFERENCES

- Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont*, 30(5), 474–484, 2017.
- Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kästner K, Walter MH. Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent*, 84(4), 419–424, 2000.
- Bottino MA, Campos F, Ramos NC, Rippe MP, Valandro LF, Melo RM. Inlays made from a hybrid material: adaptation and bond strengths. *Oper Dent*, 40(3), 83–91, 2015.
- Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater*, 35(6), 825–846, 2019.
- Grenade C, Mainjot A, Vanheusden A. Fit of single tooth zirconia copings: comparison between various manufacturing processes. *J Prosthet Dent*, 105(4), 249–255, 2011.
- Hallmann L, Ulmer P, Gerngross MD, Jetter J, Mintrone M, Lehmann F, Kern M. Properties of hot-pressed lithium silicate glass-ceramics. *Dent Mater*, 35(5), 713–729, 2019.

- Heymann HO, Bayne SC, Sturdevant JR, Wilder AD, Roberson TM. The clinical performance of CAD-CAM-generated ceramic inlays: a four-year study. *J Am Dent Assoc*, 127(8), 1171-1175, 1996.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent*, 62(4), 405-408, 1989.
- Homsy FR, Özcan M, Khoury M, Majzoub ZA. Comparison of fit accuracy of pressed lithium disilicate inlays fabricated from wax or resin patterns with conventional and CAD-CAM technologies. *J Prosthet Dent*, 120(4), 530-536, 2018.
- Kaleli N, Ural Ç, Özköylü G, Duran İ. Effect of layer thickness on the marginal and internal adaptation of laser-sintered metal frameworks. *J Prosthet Dent*, 121(6), 922-928, 2019.
- Kang W, Park JK, Kim SR, Kim WC, Kim JH. Effects of core and veneer thicknesses on the color of CAD-CAM lithium disilicate ceramics. *J Prosthet Dent*, 119(3), 461-466, 2018.
- Kim DY, Jeon JH, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Reproducibility of different arrangement of resin copings by dental microstereolithography: Evaluating the marginal discrepancy of resin copings. *J Prosthet Dent*, 117(2), 260-265, 2017.
- Kim DY, Jeon JH, Park JY, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Comparison of the marginal and internal gap of metal coping according to processing method of dental CAD/CAM System. *J Dent Hyg Sci*, 15(1), 12-17, 2015.
- Kim JH, Kim KB. Influence of final crystallization process on precision of fit of monolithic CAD/CAM-generated restorations by lithium disilicate: A comparative study. *J Kor Aca of Den Tec*, 41(4), 271-278, 2019.
- Kim KB. Evaluation of clinical adaptation of dental prostheses printed by 3-dimensional printing technology. *J Kor Aca of Den Tec*, 41(1), 1-7, 2019.
- Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *J Prosthet Dent*, 118(2), 208-215, 2017.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131(3), 107-111, 1971.
- Molin M, Karlsson S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems: A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand*, 51(4), 201-206, 1993.
- Nawafleh NA, Mack F, Evans J, Mackay J, Hatamleh MM. Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review. *J Prosthodont*, 22(5), 419-428, 2013.
- Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KT, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos. Part B Eng*, 143, 172-196, 2018.
- Revilla LM, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont*, 28(2), 146-158, 2019.
- Rippe MP, Monaco C, Volpe L, Bottino MA, Scotti R, Valandro LF. Different methods for inlay production: effect on internal and marginal adaptation, adjustment time, and contact point. *Oper Dent*, 42(4), 436-444, 2017.
- Schaefer O, Decker M, Wittstock F, Kuepper H,

Guentsch A. Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. *J Dent*, 42(6), 677–683, 2014.

Shamseddine L, Mortada R, Rifai K, Chidiac JJ. Fit of pressed crowns fabricated from two CAD–CAM wax pattern process plans: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*, 118(1), 49–54, 2017.

Sorensen JA. A standardized method for determination of crown margin fidelity. *J Prosthet Dent*, 64(1), 18–24, 1990.

Yang Y, Yu J, Gao J, Guo J, Li L, Zhao Y, Zhang S. Clinical outcomes of different types of tooth–supported bilayer lithium disilicate all–ceramic restorations after functioning up to 5 years: a retrospective study. *J Dent*, 51, 56–61, 2016.