

다른 스캐닝 방법으로 제작된 리튬 디실리케이트 단관의 변연 및 내면 적합도 평가

김 재 흥, 김 응 철, 김 지 환
고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공

Evaluation of the marginal and internal fit of lithium disilicate crowns fabricated by different scanning methods

Jae-Hong Kim, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim

Department of Dental Lab. Science & Engineering, College of Health Science, Graduate School, Korea University

[Abstract]

Purpose: This study was to compare adaptations of lithium disilicate CAD/CAM crowns fabricated with different scanning systems.

Methods: This study selected the mandibular right first molar as an abutment for experiments and produced 10 working models. Lithium disilicate crowns appropriate for each abutment were produced by using a CEREC® CAD/CAM system. The independent t-test was then used to compare and analyze the data obtained from the two groups ($\alpha=0.05$).

Results: Mean(SD) adaptation were 86.93(22.82) μm for the InS group, 88.42(26.77) μm for the ExS group. They were no statistically significant differences between groups for adaptation ($p>0.05$).

Conclusion: Within the limitations of this study, the results suggest that the accuracy of all investigated optical scanner were satisfactory for clinical use. Further assessment and improvement of the lithium disilicate ceramic for the fabrication of FPDs is evidently still required.

○Key words : All ceramic restoration, Optical scanner, Marginal and internal fit, Silicone replica technique

교신저자	성명	김 지 환	전화	02-940-2843	E-mail	kjh2804@korea.ac.kr	
	주소	서울시 성북구 정릉3동 산1번지 고려대학교 보건과학대학 호림관 420호					
접수일	2014. 4. 28		수정일	2014. 6. 9		확정일	2014. 6. 26

I. 서 론

기능성과 심미성 그리고 정밀성이 요구되는 치과보철 치료는 최근에는 소득수준의 증가와 함께 심미성이 강조 되어 금속-도재관(PFM), 전부도재관(All-ceramic)이 널리 사용되고 있다. 금속-도재관은 인상체를 이용하여 작업모형을 제작하고 납형 조각 후 납형을 매몰하여 lost wax technique으로 주형을 만들어 주조를 통하여 하부 구조의 주조체(metal frame)를 제작한다(Kim et al, 2013). 제작된 주조체는 표면가공 및 표면처리 후 도재를 축성한 후 소성을 통하여 제작하는 방법을 통상적으로 이용하고 있다. 이러한 방법은 술자의 숙련도에 의하여 보철물의 정밀성이 결정되며 제작과정에 따른 오차가 발생할 수 있다. 제작과정의 오차는 보철물의 정밀성이 떨어지며 변연 및 내면 적합도 또한 영향을 미치게 된다. 또한 수작업 과정에서 발생하는 인력과 시간의 소모 역시 기계화에 의한 자동화 과정과 비교했을 때 극복하기 힘든 과제라고 할 수 있다(Miyazaki et al, 2009).

이처럼 수작업에서 발생하는 보철물 제작시의 단점들을 해결하고 일관성 있는 양질의 보철물제작에 관한 필요성이 대두되어 치과 CAD/CAM(Computer-aided design/Computer-aided manufacture), 즉 기계화에 의한 자동화 기술을 치과계에 도입하는 결과를 낳게 되었다. 디지털 기술을 진보와 치과 CAD/CAM system의 도입은 전통적인 인상채득 방식 및 수작업으로 이루어지고 있는 보철물 제작 방식에 변화의 기회를 제공하였다(Christensen, 2009). 1986년 스위스의 Mormann, W와 Brandestini, M가 진료실에서 장식도재의 블록을 깎아서 inlay를 제작하는 CEREC® system을 개발하였는데, 이것이 최초로 치과에서 사용된 CAD/CAM system의 효시라고 할 수 있다(Mormann, 2006).

CEREC® system은 이미 유럽과 미주지역에 널리 보급되어 활용되고 있으며, 10년의 임상 자료를 확보하여, 지속적인 시스템의 보완과 개발이 이루어지고 있는 것으로 알고 있다. CEREC® system에서는 인상재를 이용한 인상채득이나 기공과정 없이 ceramic block(Prefabricated tooth-colored restorative material)을 CAD/CAM 장비를 사용하여 처음 내원한 환자를 대상으로 진료실에서

바로 수복물을 제작한 후 adhesive technique으로 구강 내에 장착하기 위해 개발되었다(Mormann et al, 2000). 초기에는 inlay와 onlay에 국한 되었고, 1997년도에 단관 디자인을 위한 소프트웨어(Herrguth et al, 2005), 2008년 CEREC® MCXL milling machine(Sirona Dental systems GmbH, Bensheim, Germany) 출시 이후 고정성 보철물의 제작까지 가능해졌으나, 이는 주로 치과 기공실 작업을 통해 제한적으로 개발되었다.

2008년 치과 기공용 CAD/CAM system인 CEREC® inLab은 CEREC® 3D 이후로 발전되어져 왔다. 기존 치과 병, 의원에서 사용하던 CEREC 3D system의 intraoral scanner와는 다르게 개발된 CEREC® inEOS scanner는 카메라 방식의 외장형 스캐너이다. 단관 스캔은 10초, 3-unit 스캔은 30초, 전악의 경우 60초 만에 가능하고, 스캔의 정밀도는 $\pm 25\mu\text{m}$ 이며, 치과기공소의 공간을 효율적으로 사용하기 위해 고안된 스캐너이다(Jung, 2008).

치의학 분야에 도입되어 이용되고 있는 CAD/CAM system은 환자의 인상정보를 3차원 디지털 모형으로 입력하는 과정과 수복물의 설계 및 재료가공으로 그 체계를 나눌 수 있다. CAD/CAM system을 보철물 제작에 활용하기 위한 첫번째 과정은 환자 인상 정보의 정밀한 3차원 입력이라 할 수 있다(Rekow, 1993). 보철물은 채득된 인상에 의거하여 제작되므로 입력된 지대치 자료의 정확도가 제작된 보철물의 정확도에 절대적인 영향을 미칠 것임은 자명하다. 현재까지는 대부분 디지털 인상을 이용하여 제작된 보철물과 기존 방식의 인상채득법으로 제작된 보철물의 적합도를 비교하여 3차원적으로 입력된 지대치 데이터의 정확도를 평가하였다. 대부분의 연구에서 기존 방식과 비교하였을 때 임상적으로 적절하다는 결론을 내었다(Tsitrou et al, 2007; Bindl et al, 2003). 하지만 이와 같은 선행연구는 극히 제한적인 CAD/CAM system을 이용한 지르코니아 보철물의 적합도 차이를 분석한 연구였을 뿐, 현재 치과 임상에서 널리 사용 중인 CEREC® system을 기반으로 제작된 lithium disilicate 단관에 대한 연관성까지 논하지 못하였다고 사료된다.

이에 본 연구는 CEREC® system의 각기 다른 방식의 스캐너를 이용하여 제작된 lithium disilicate 단관의 변

연 및 내면의 간격을 측정하여 최종 보철물의 적합도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 또한 이 과정을 통하여 임상적 허용수치와 비교 평가해 봄으로써 임상 적용에 참고자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

1) 주 모형의 제작

실험을 위해 유치악 하악모형(Frasaco GmbH, Terrnang, Germany)을 이용하여 치아 우식증이 가장 빈번히 발생 되는 치아인 하악 우측 제 1대구치를 지대치로 선정하였다(Fig. 1). 지대치로 삭제하기 전에 자연치를 재현한 형태의 모형을 치과용 스캐너(Sensable, Wilmington, NC, USA)를 이용하여 디지털화 한 후 해당 프로그램을 이용하여 지대치 디자인을 하였다. 치경부의 변연부는 제조사의 지시사항에 의거하여 깊이 1.2mm의 chamfer를 가진 circular shoulder로 360° 돌레로 지정하였으며, 측벽의 인접면 각도는 6° taper로 삭제하였다. 설계가 완료된 파일을 기초로 RP 기술 중에 하나인 3차원 프린팅 장비(ProJet™ DP3000, 3D systems, Rockhill, South Carolina, USA)를 이용하여 광중합레진을 프린팅하는 기술로 지대치를 제작하였다.



Fig. 1. Master model(Top view)

2) 복제모형 제작

주 모형상에서 전악 인상을 polyvinylsiloxane 인상재(Aquasil Ultra XLV, Dentsply International Inc., Milford, USA)의 light body와 heavy body를 이용하여 전악 기성 금속트레이로 인상 채득하였고, 채득된 인상체

10개에 치과용 초경석고(Fujirock EP, GC Cor., Tokyo, Japan)를 제조사의 지시대로 혼합한 후 경화시켜 복제 모형을 제작하였다.

3) CEREC® System을 이용한 전부도재관 제작

구강 내 스캐너(CEREC® Bluecam, Sirona Dental system GmbH, Bensheim, Germany)와 구강 외 스캐너(CEREC® InEos, Sirona Dental system GmbH, Bensheim, Germany)를 이용하여 복제모형의 지대치와 인접치의 광학인상을 채득한 후, CEREC® 3D system을 이용하여 수복물의 형태를 설계하고 조정하였다.

- Group InS(CEREC® Bluecam) : Intraoral optical surface scanning technique
- Group ExS(CEREC® InEos) : Extraoral optical surface scanning technique

CEREC® Biogeneric 프로그램을 이용하면 인접치와 조화된 교합면과 형태를 자동으로 얻을 수 있으며, 수정이 가능하다(Fig. 2). 전부도재관 디자인이 완료된 후 lithium disilicate의 ceramic block(IPS e.max® CAD LT, Ivoclar Vivadent, Amherst, N.Y, USA)을 milling(CEREC® MCXL, Sirona Dentals ystem GmbH, Bensheim, Germany)하였다. Porcelain furnace(P300, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)에서 약 30분 동안 850℃에서 제조사의 지시사항에 의거하여 결정화 과정을 거친다. IPS object fix putty®와 전용 tray, pin이 필요하며 putty를 단관(crown)의 내면에 채워 넣고 소성을 하였다.

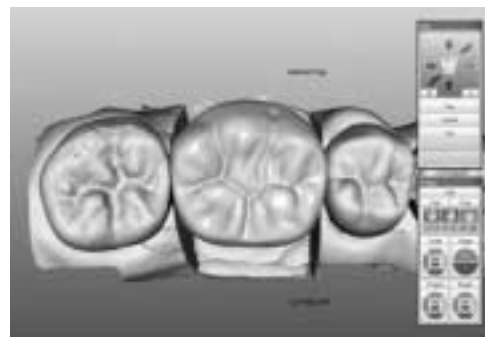


Fig. 2. Digital image of the abutment and adjacent tooth

2. 적합도의 정의

본 연구에서 변연과 내면 적합도를 평가함에 있어서 선행연구에서 발표된 Reich 등(2011)과 Colpani 등(2013)의 연구에서 사용된 정의를 참고하여 본 연구에 알맞게 수정하여 사용하였다. 지대치를 순·설방향, 근·원심방향 총 4방향으로 나누어 측정하였는데, 측정지점은 순면, 설면, 근심면, 원심면의 구분 없이 모두 변연(margin), 경사부(chamfer area), 축벽부(axial area), 우각부(axio-occlusal angle area), 교합면부(occlusal area) 총 5지점으로 나누었다(Fig. 3).

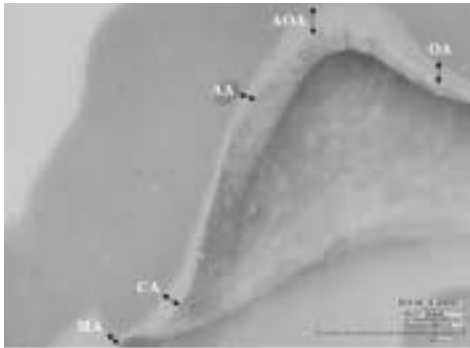


Fig. 3. Schematic representation of measuring areas

(MA: Marginal Area, CA: Chamfer Area, AA: Axial Area, AOA: Axio-Occlusal angle Area, OA: Occlusal Area)

3. 실리콘 복제본 제작 및 측정

적합도의 측정은 Molin과 Karlsson이 제시한 ‘Replica Technique’을 이용하였다(Molin et al, 1993). 본 방법은 실리콘을 이용하여 보철물과 지대치의 거리를 복제한 후 실리콘 복제본 단면의 거리를 측정하는 기술이다. 최근의 Rahme 등의 연구(Rahme et al, 2008)에 의하면 “Replica Technique”과 직접 절단한 시편 사이에 내면 적합도를 비교 측정해 본 결과 절단하는 방법과 거의 동일한 정밀도를 보였다고 한다. 제작된 단관에 지대치를 적합 시켜 수동 적합을 확인한 후, 내면에 light body polyvinylsiloxane 인상재(Aquasil Ultra XLV, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)를 넣고 지대치에 위치시킨 후 수직압력을 가하여 경화를 시킨다. 경화가 완료될 때까지 약 10분 동안 50N의 finger pressure로 힘을 가했는데 이는 보철물 접착 시 임상적인 상황을 고려하여 재현하기 위함이다. 재현이 완료된 light body polyvinylsiloxane 인상재는 형태 유지가 어렵기 때문에

medium body polyvinylsiloxane 인상재(Aquasil Ultra Monophase, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 이용하여 지지하였다. 절단된 단면에서 light body 실리콘의 두께를 측정하기 위하여 디지털 전자 현미경(KH-7000, HIROX, Tokyo, Japan)을 이용하여 160배율로 적합도를 측정하였다(Fig. 4).



Fig. 4. Measurement of margin and internal gap using digital microscope at 160x magnification

4. 통계 분석

통계 분석은 SPSS ver. 12.0 for Windows 프로그램 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 스캔방식 (구강 내, 구강 외)에 따른 실험군의 변연 적합도 및 내면 적합도의 차이를 비교평가하기 위하여, 두 그룹 간의 평균에 유의한 차이가 있는지 분석하기 위하여 정규성 검정을 실시 한 후 모수 검정인 독립표본 t검정(Independent t-test)로 분석하였으며, 제 1종 오류의 수준은 0.05로 하였다.

III. 결 과

각기 다른 방식의 스캐너로 제작된 lithium disilicate crown과 지대치와의 변연 및 내면 적합도를 측정하였다. 측정된 결과 MA 부위부터 OA 부위까지 평균(표준편차)는 Table 1과 같다. 측정된 값들에 대한 동질성 검정을 shapiro-Wilk test로 정규성 검정한 결과, 두 그룹 모두 $p > 0.05$ 로 정규성을 띠는 것으로 검증되었다, 이와 같은 결과를 토대로 모수적 통계방법인 independent t-test를 이용하여 다른 종류의 스캐너를 이용하여 제작된 단관

의 측정값 평균을 비교한 결과 시편의 5방향 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며($p>0.05$), 변연부위(MA)를 제외한 모든 부위에서 'InS' 그룹이 우수한 적합도를 보였다(Table 1). 전체적인 적합도 비교를 위하여 시편의 모든 부위를 측정된 결과를 비교하였다. 스캐너의 종류에 따라 측정값의 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 분석한 결과 유의한 차이가 없는 것으로 확인 되었으며($p>0.05$), lithium disilicate 단관의 적합도는 그룹별 큰 차이가 없음이 판명 되었다(Fig. 5).

Table 1. Mean(SD) of marginal and internal fit for lithium disilicate crown according to different scanning method in each 5 landmarks (unit μ m)

Landmark	Group		p-value
	InS	ExS	
MA	75.89(19.30)	74.67(26.15)	0.84
CA	77.62(23.49)	79.43(21.41)	0.69
AA	83.01(25.24)	83.46(22.45)	0.93
AOA	95.74(24.95)	99.63(22.27)	0.59
OA	102.43(21.16)	104.91(19.13)	0.60

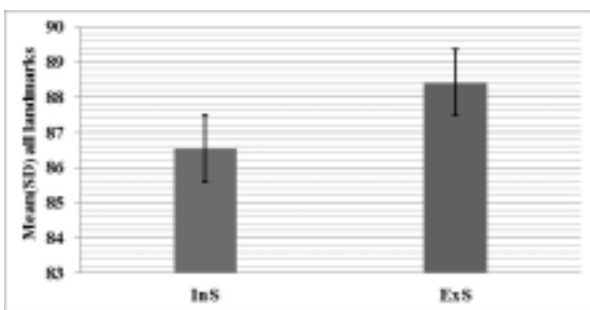


Fig. 5. Total mean(SD) for all landmark points(n=200) of lithium disilicate crown according to different scanning method

IV. 고찰

1985년 이후 치과 기공방식이 주조 및 소성 방식에서 치과 CAD/CAM을 이용한 방식으로 빠르게 대체되고 있으며, 앞으로도 이러한 추세는 계속될 것으로 보인다(Davidowiz et al, 2011). 치과 CAD/CAM 방식으로 제작되는 보철물의 소재는 기존의 주조방식이나 소성방식에 사용되었던 재료에 비해 물성이나 심미성, 생체적합성 면

에서 우수하나 치과 보철물의 특성상 그 결과물의 적합도가 치료 성공에 결정적인 요인이 되므로 CAD/CAM system을 이용한 보철물의 정밀성은 논란의 중심이 되어 왔다. 때문에 본 연구에서는 실제 임상절차를 고려하여 lithium disilicate CAD/CAM crown 제작 시 다른 방식의 스캐너를 사용하여 제작된 최종보철물의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 각 부위별로 측정된 두 결과값을 통계적으로 분석하였다. 특히 본 연구는 현재 임상에서 활발히 사용되는 전부도재관 중 하나인 lithium disilicate CAD/CAM crown의 제작과정에서 다른 종류의 스캐너가 최종보철물 적합도에 영향을 미치는지 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

본 실험의 결과 <Table 1>와 같이 적합도를 비교한 결과 다른 방식의 스캐너로 인한 유의한 차이는 보이지 않았다($p>0.05$). 또한 지대치 작업모형의 각 부위별로 나누어 평균을 내어 분석한 결과 모든 부위에서 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았다($p>0.05$). 전체적인 적합도 비교를 위하여 측정된 200회의 결과값을 비교하였다(Fig. 5). 그 결과 InS 그룹에서는 86.93(22.82) μ m로 나타났고, ExS 그룹에서는 88.42(26.77) μ m의 결과를 보였으며 각 그룹별 결과 값의 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 통계분석 결과 유의한 차이가 없는 것으로 판별되었다($p>0.05$). 두 그룹의 측정값은 모두 치과용 고정성 보철물 적합도의 임상적 허용 수치인 120 μ m을 넘는 측정값은 없었다. 치과에서 사용되는 고정성 보철물의 적합도의 임상적 허용 수치에 있어서 기준이나 그 값에 대한 명확한 합의는 이루어지지 않고 있다. 대부분의 연구자들이 제시하는 임상적 허용 수치는 McLean과 von Fraunhofer가 제시한 120 μ m이다(McLean et al, 1971). McLean과 von Fraunhofer는 5년 동안 1000개의 보철물을 관찰한 결과 최대 120 μ m이 임상적 허용 수치로 적당하다고 보고하였다. 그 밖에 Holmes 등은 대부분의 임상가들은 50 μ m 또는 그 이하의 적합도를 선호하며, 아마도 100 μ m을 임상적 허용 수치로 생각할 것이라고 보고하였으며(Holmes et al, 1989), Fransson 등은 100 μ m을 넘지 않는 적합도를 가진 최종 보철물이 구강 내에서 장수할 수 있다고 보고하였다(Fransson et al, 1985).

CEREC[®] System으로 제작된 전부도재관 고정성 국소

의치의 변연 및 내면 적합도에 관한 여러 연구가 있었다. Mormann과 bindl이 2005년에 발표한 CEREC[®] inLab의 경우 Empress II[®] Crown-coping의 변연 간격은 $43 \pm 23\mu\text{m}$, 내면 간격은 $82 \pm 49\mu\text{m}$ 에서 $114 \pm 58\mu\text{m}$ 의 범위로 보고하였으며(Bindl et al, 2005), CEREC[®] 3D system을 이용한 IPS e.max CAD의 완전도재관은 변연적합도가 평균 $100 \sim 200\mu\text{m}$ 이내로 임상적으로 사용 가능하다는 연구결과가 있었으며(Reich et al, 2008), 2011년에 Reich가 발표한 연구에 의하면 20개의 lithium disilicate crown을 직접 환자 구강 내 시적하여 light body silicone을 통해 cement thickness를 측정하였는데 각 부위별 평균 $100 \sim 284\mu\text{m}$ 정도로 보고하였는데 연구의 제한점을 지적하며, 이는 임상 적합성에 크게 벗어나지 않은 수치라고 결론 내었다(Reich et al, 2011).

본 연구에서 각기 다른 방식으로 스캔하여 제작된 lithium disilicate CAD/CAM crown 모든 값에서 많은 연구자들이 임상적 허용 수치로 제시한 $120\mu\text{m}$ 을 벗어나진 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 스캐너의 종류로 인한 변수는 최종보철물 적합도에 영향을 주지 않는 것으로 판명되었다. 선행연구에 의하면 치과에서 사용되는 글라스-세라믹 복합재료에 관련한 연구는 재료공학 분야에 많이 보고되어 있으나(Wang et al, 2007), 실제 치과보철물을 제작과정에서 일어날 수 있는 적합도의 양상에 대한 연구는 부족하다. 본 실험은 단관(crown)에 한정된 결과로 long span이나 좀 더 복잡한 형태나 실제 임상모형을 대상으로 결정화 단계가 적합도에 미치는 영향에 대한 향후의 연구가 필요할 것이라 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 치과에서 사용되는 심미보철물 중에 하나인 lithium disilicate 기반의 전부도재관 제작 시 다른 방식의 스캐너로 인해 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 부위별로 분석함으로써 치과보철치료 시 임상적 참고자료로 제공할 목적으로 수행되었다. 치아우식증이 가장 빈번히 발생하는 하악 제 1대구치를 치과보철물 대상 지대치로 선정하여 동일한 모형 10개를 제작한 후 각각

지대치에 디지털 인상채득 및 디자인, 절삭과정을 거쳐서 적합한 부분 결정화 단계의 단관을 제작하였다. 모든 부위에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며 ($p > 0.05$), InS 그룹이 변연부위(MA)를 제외한 모든 부위에서 우수한 적합도를 보였다. 총 200회 측정된 변연 및 내면 적합도의 값들이 임상적 허용수치 기준 $120\mu\text{m}$ 을 넘지 않는 결과를 보였다. 이와 같은 결과를 토대로 다른 종류의 스캐너를 사용하여 치과보철물 제작 시 적합도에 영향을 미치지 않으며, 두 종류의 스캐너 모두 임상적 허용 수치 범위 내에 있기에 보철물의 적합도에 크게 작용하는 요인이라 할 수 없겠다.

REFERENCES

- Bindl A, Mormann WH. Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil*, 32(6), 441-447, 2005.
- Bindl A, Mormann WH. Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM generated partial crowns. *Eur J Oral Sci*, 111(2), 163-169, 2003.
- Christensen GJ. Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc*, 140(10), 1301-1304, 2009.
- Colpani JT, Borba M, Della Bona A. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings. *Dent Mater*, 29(2), 174-180, 2013.
- Davidowiz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*, 55(4), 559-570, 2011.
- Fransson B, Olio G, Gjeitanger R. The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study. *Dent Mater*, 1(5), 197-199, 1985.
- Herrguth M, Wichmann M, Reich S. The aesthetics of all-ceramic veneered and monolithic

- CAD/CAM crowns. *J Oral Rehabil*, 32(10), 747-752, 2010.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent*, 62(4), 405-408, 1989.
- Jung HK. CEREC inLab system을 이용한 임상응용에 관한 연구. *J Korean Acad Dent Tech*, 30(2), 165-172, 2008.
- Kim KB, Kim WC, Kim HY, Kim JH. An evaluation of marginal fit of three-unit fixed dental prostheses fabricated by direct metal laser sintering system. *Dent Mater*, 29(7), e91-e96.
- McLean JM, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131(3), 107-111, 1971.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28(1), 44-56, 2009.
- 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.
- Mormann WH. The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*, 137(6), 7S-13S, 2006.
- Mormann WH, Bindl A. The Cerec 3 - a quantum leap for computer-aided restorations: initial clinical results. *Quintessence Int*, 31(10), 699-712, 2000.
- Rahme HY, Tehini GE, Adib SM, Rifai KT. In vitro evaluation of the "replica technique" in the measurement of the fit of Procera crowns. *J Contemp Dent*, 9(2), 25-32, 2008.
- Rekow ED. High-technology innovations and limitations for restorative dentistry. *Dent Clin North Am*, 37(3), 513-524, 1993.
- Reich S, Gozdowski S, Trentzsch L, Frankenberger R, Lohbauer U. Marginal fit of heat-pressed vs. CAD/CAM processed all-ceramic onlay using a milling unit prototype. *Oper Dent*, 33(6), 644-650, 2008.
- Reich S, Gozdowski S, Lohbauer U. Measurement of cement thickness under lithium disilicate crowns using an impression material technique. *Clin Oral Investig*, 15(4), 521-526, 2011.
- Tsitrou EA, Northeast SE, Van NR. Evaluation of the marginal fit of three margin designs of resin composite crowns using CAD/CAM. *J Dent*, 35(1), 68-73, 2007.
- Wang H, Liao Y, Chao Y, Liang X. Shrinkage and strength characterization of an alumina-glass interpenetrating phase composite for dental use. *Dent Mater*, 32(9), 1108-1113, 2009.