

공간섭단층영상기를 이용한 치과용 지르코니아 코어의 적합도 분석

Analysis of the Marginal and Internal Fit of Dental Zirconia Core Using Optical Coherence Tomography(OCT)

김재홍, 김기백

고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공

Jae-Hong Kim(noreasono7@korea.ac.kr), Ki-Baek Kim(Kimkb404@naver.com)

요약

보철물이 구강 내 제 기능을 하기 위해 가장 중요한 요소 중 하나는 적합도이다. 본 연구의 목적은 그동안 시도되지 않았던 공간섭단층영상기를 이용하여 비파괴적인 방법으로 적합도를 측정해보고, 측정된 값을 기존의 방법으로 측정된 값과 비교하여 보고자 한다. 실험을 위해 상악 우측 중절치가 지대치인 석고 모형 10개를 제작하고 치과용 캐드캠으로 각각의 모형에 해당하는 지르코니아 코어를 10개 제작하였다. 시편 당 5부위 씩 공간섭단층영상기로 적합도를 측정하고, 같은 부위를 기존의 방법인 실리 복제본 기술로 측정하였다. 두 집단 간의 평균 값에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 독립표본 t-검정을 실시하였다 ($\alpha=0.05$). 그 결과 측정된 두 집단 간의 평균 값에는 유의한 차이를 보이지 않았고($P>0.05$), 이러한 결과로 미루어 볼 때 앞으로 공간섭단층영상기를 이용한 보철물의 적합도 측정이 가능할 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 지르코니아 코어 | 공간섭단층영상기 | 치과 캐드캠 | 보철물 | 적합도 |

Abstract

Marginal and internal fit is an important part of the longevity of dental restorations. The purpose of this study was to analysis the marginal and internal fit of zirconia core by dental CAD/CAM system using innovative and non-destructive methods such as optical coherence tomography(OCT) and compare with conventional method such as silicone replica technique(SRT). Ten dental stone models of abutment of maxillary right central incisal were manufactured and scanned. Ten zirconia cores were fabricated with commercial CAD/CAM system. To measure the marginal and internal fit of each sample, five point of fitness were measured using 2 different methods(OCT and SRT). Statistical analysis was performed using independent sample t-test($\alpha=0.05$). OCT and SRT groups were not significantly different($P>0.05$). By this results, analysis the fitness of dental restorations using OCT were acceptable measuring method.

■ keyword : | Zirconia Core | Optical Coherence Tomography | Dental CAD/CAM | Dental Restoration | Marginal and Internal Fit |

I. 서론

최근 환자들의 심미에 대한 관심이 높아지면서 고정 성 보철물 중에 하나인 치아의 색과 유사한 도재 보철

물의 수요가 늘어나고 있다. 도재 보철물의 구조는 하 부 코어와 상부의 치과용 도재가 축성이 됨으로써 완성 된다. 그 동안 하부 코어의 제작은 주로 금속으로 제작 되었으나, 치과용 캐드캠이 도입되면서 지르코니아를

이용하여 하부 코어를 제작할 수 있게 되었다. 금속으로 코어를 제작할 경우 심미적이지 못하며, 제작과정이다소 번거로운 반면 지르코니아는 흰색이기 때문에 금속보다 심미적이며, 제작이 편리하다. 최근에는 환자의 심미에 대한 관심이 더욱 높아지면서 치과용 캐드캠으로 지르코니아 코어를 제작한 전부 도재관의 수요가 점차 늘어나고 있다.

고정성 보철물이 구강 내에서 제 기능을 하고, 보철물의 수명 또한 연장되기 위해서는 여러 가지 요소가 있겠으나, 가장 중요한 요소 중 하나는 치아와 해당 보철물간의 적합이다[1-3]. 적합도가 좋지 않은 보철물일수록 보철물과 치아의 간격이 큰데 그 간격으로 음식물 또는 각종 세균들이 침투하게 되면 2차 우식증이 발병하게 된다[4]. 도재 보철물의 경우 하부 코어의 적합도가 우수하여야만 보철 치료 후 그 예후가 성공적이라 할 수 있겠다.

보철물의 적합도를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 첫 번째 방법으로 치아모형에 보철물을 시적한 후 직접 절단하는 방법이 있다[5]. 이 방법에 의하면 모형에 보철물을 시적한 후 에폭시 또는 치과용 석고 등의 재료를 사용하여 모형과 보철물을 고정시키고 절단기로 보철물과 치아모형을 절단한 뒤 절단된 단면을 현미경을 이용하여 측정한다. 모형과 보철물의 단면을 직접 확인할 수 있다는 장점이 있지만, 보철물과 치아모형이 파괴된다는 단점과 함께 측정하기 까지 시간과 재료의 낭비가 심하며, 절단하여 측정하는 방식이므로 다양한 방향에서의 측정이 불가능한 단점이 있다.

두 번째 방법은 실리콘 복제 기술로 이 방법에 의하면 보철물의 내면에 연질의 실리콘을 채워 넣은 후 치아 모형에 치아 장축 방향으로 압력을 가하여 보철물과 치아 모형 사이에 간격을 실리콘으로 복제한다. 그 후 연질의 실리콘이 경화되면 경질 실리콘 등의 재료를 이용하여 연질의 실리콘을 보강하고 실리콘 복제본을 절단하여 실리콘의 두께를 디지털 현미경을 이용하여 측정하는 방법이다. 높은 신뢰도와 정확도를 갖는 측정법으로서 현재 가장 많이 사용되고 있다[6][7]. 보철물과 모형이 보호되는 비 파괴적인 방법이지만 하나 실리콘을 절단하여 측정하기 때문에 여러 방향에서의 측정은 한

계가 있으며 실리콘 복제본을 제작하기 까지 시간과 재료의 낭비가 있다. 또한 실리콘 복제본 제작 후 측정까지 시간이 오래 소요된다면 실리콘 변형 등의 이유로 신뢰성 높은 값을 얻을 수 없다는 단점이 있다.

최근 발표되고 있는 적합도와 관련한 연구에서는 기존 측정 방법들의 여러 제한점을 극복할 수 있는 새로운 방법들이 시도되고 있다. Pelekanos는 마이크로 씨티(Micro computed tomography)를 이용하여 보철물의 적합도 측정을 시도하였다[8]. 이 방법에 의하면 비교적 측정이 간편하며 다양한 방향에서의 측정이 가능한 장점이 있으나 장비가 고가이며, 방사선을 이용하여 보철물을 투과한 후 내면의 간격을 측정하는 방식이기 때문에 보철물재료의 선정에 한계가 있다. 예를 들어 보철물의 재료가 금속인 경우에는 마이크로 씨티의 방사선이 투과를 못하기 때문에 활용하기가 어렵다. Moldovan은 디지털 실리콘과 컴퓨터를 이용하는 측정하였다[9]. 이 방법에 의하면 일반 실리콘 대신 디지털 실리콘을 이용하여 보철물과 치아 모형의 간격을 복제하고 복제된 실리콘을 컴퓨터를 이용하여 광학 디지털화 한 뒤 실리콘의 두께를 컴퓨터로 측정한다. 2000부위 이상에서의 측정이 가능한 장점이 있는 반면 변연적합도는 측정이 불가능한 단점이 있다.

본 연구에서는 광간섭단층영상기(OCT, optical coherence tomography)를 이용하여 Vatech 시스템으로 제작한 지르코니아 코어의 적합도를 측정하였다. 광간섭단층영상기를 이용한 측정방법에 의하면 기존의 측정 방법들과 비교하였을 때 모형과 보철물의 파괴를 막을 수 있는 비 파괴적인 방법이며, 여러 방향에서의 측정이 가능하다. 또한 측정하기 까지 걸리는 시간과 재료가 절약되며 실리콘 복제 기술의 문제점이었던 실리콘의 수축 등의 문제를 해소하여준다.

본 연구의 목적은 치과용 캐드캠인 Vatech 시스템으로 제작된 지르코니아 코어의 적합도를 광간섭단층영상기를 이용하여 측정을 한 뒤, 기존의 방법인 실리콘 복제 기술로 적합도를 측정한다. 두 가지 다른 방법에 의하여 측정된 값을 비교함으로써 광간섭단층영상기를 이용한 측정값이 신뢰할 수 있는지의 여부를 평가하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 모형 제작

상악 중절치는 심미에 가장 많은 영향을 미치는 치아로서[10], 파손 또는 결손되어 회복 시 심미성을 고려하여 지르코니아 코어를 이용한 완전 도재관을 선택하는 경우가 많다. 때문에 본 실험에서는 상악 우측 중절치가 지대치인 모형을 채택하였다(frasaco GmbH, Tettngang, Germany). 지대치의 변연부는 chamfer 형태로 깊이 1.2mm, 360° 둘레로 삭제되었으며, 측벽인 인접면의 각도는 6°로 부여된 티타늄 주 모형을 제작하였다.

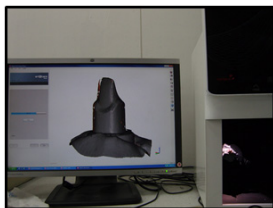
티타늄 주 모형을 실리콘(Deguform, DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, GERMANY)을 이용해 몰드를 제작하고, 제작된 몰드에 치과용 스캐너 전용 경석고(Everest®Rock, KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Germany)로 연구 모형 10개를 제작하였다.

2. 지르코니아 코어 제작

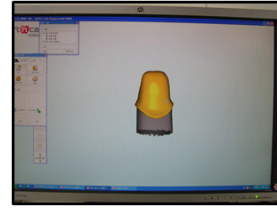
지르코니아 코어를 제작하기 위해 10개의 석고 모형을 치과용 스캐너(EzScan, Vatech, Korea)로 [그림 2]와 같이 스캔하여 디지털 모형으로 변환하였다. 변환된 디지털 모형에 캐드 프로그램(Adres, Vatech, Korea)을 이용하여 [그림 1]과 같이 코어를 디자인 하였다.



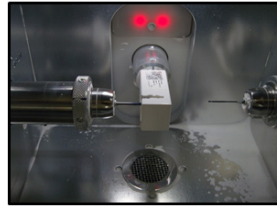
a



b



c



d

그림 1. 치과용 캐드캠을 이용하여 지르코니아 코어를 제작하는 과정 a:석고모형 스캐닝, b:디지털화된 모형, c:캐드 프로그램을 이용한 코어 디자인, d:가공장비를 이용하여 지르코니아 블록을 절삭

3. 공간섭단층영상기를 이용한 지르코니아 코어의 적합도 측정

공간섭단층영상기를 이용하여 측정된 부위는 [그림 2]와 같이 5부위를 P1, P2, P3, P4, P5로 정의를 내리고 측정하였다. 측정하는 방법은 공간섭단층영상기의 레이저 광이 나오는 프로브를 이용하여 조사하고 싶은 부위에 조사하게 되면 프로브의 빛이 투과된 후 반사되는 빛의 파장과 양으로 인하여 영상이 획득되어진다.

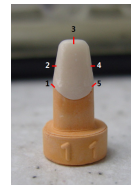


그림 2. 치아모형에 지르코니아 코어 시적 후 측정된 부위

획득된 영상은 [그림 3]와 같은데, 검은 부분은 공기이며, 흰 부분은 지르코니아 코어와 치아 모형이다. 공간섭단층영상기로 획득된 영상에서의 거리 측정은 포토샵을 이용한다. 스캔 된 영상의 화소 수는 512화소이며, 실제 거리로 1.8mm이다. [표 1]과 같은 공식이 성립되어 1픽셀은 3.5μm의 결과가 나온다. [그림 4]에서와

같이 포토샵에서 거리를 측정하여 계산된 픽셀 수에 3.5 μ m를 곱하면 실제 거리가 측정된다.

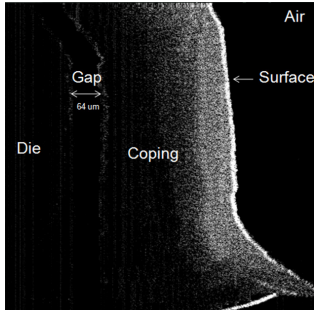


그림 3. 광간섭단층영상기를 이용하여 획득한 영상 (coping:지르코니아 코어, die:석고 모형, gap: 적합도, surface:코어의 겉 표면)

표 1. 포토샵을 이용하여 거리가 측정된 공식

$512 \text{ pixel} : 1.8\text{mm} = 1 \text{ pixel} : x \text{ mm}$ $x = 3.5\mu\text{m}$
--

4. 실리콘 복제 기술을 이용한 지르코니아 코어의 적합도 측정

광간섭단층영상기에서 측정된 값의 정확도를 확인하기 위하여 기존에 고정성 보철물의 적합도 측정 시 가장 많이 사용되었던 실리콘 복제 기술을 이용하여 마찬가지로 [그림 2]와 같이 5부위 적합도를 측정하였다.

실리콘 복제 기술에 의하면 [그림 4]와 같이 연질 실리콘(Aquasil Ultra XLV, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 1차적으로 지르코니아 코어의 내면에 채운 후 모형에 가압한다. 그럼 연한 실리콘의 지르코니아 코어와 모형 간 거리를 복제하게 된다. 연질 실리콘은 형태 유지가 어렵기 때문에 지르코니아 코어를 모형에서 탈거한 후 연질 실리콘 위에 경질 실리콘(Aquasil Ultra Monophase, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)으로 덮어 석위 줌으로써 형태 유지가 가능하도록 해준다. 완성된 실리콘 복제본을 매스등을 이용하여 절단하여 그 단면을 [그림 5]와 같이 디지털 현미경(KH-7000, HIROX, Japan)으로 160배 확대하여 측정하였다.

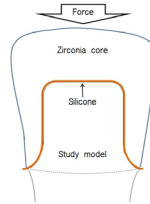
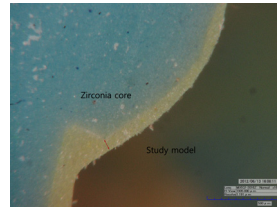
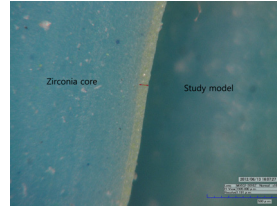


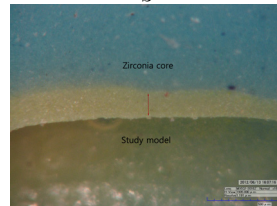
그림 4. 실리콘 복제본 기술



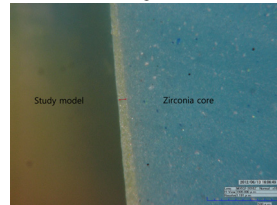
a



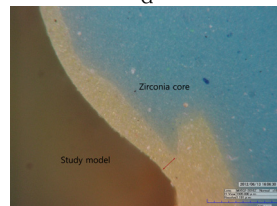
b



c



d



e

그림 5. 디지털 현미경을 이용하여 실리콘 복제본의 단면을 160배 확대 후 측정 (a:p1, b:p2, c:p3, d:p4, e:p5)

5. 통계 분석

광간섭단층영상기를 이용하여 측정된 그룹과 실리콘 복제본 기술을 이용하여 측정된 그룹 간의 평균 값의 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 SPSS 12.0 KO for Windows으로 모수 검정인 독립 표본 t-검정을 실시하였다. 제 1종 오류 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

광간섭단층영상기로 측정된 평균(표준편차)은 각각 P1에서 71.0(5.9) μm , P2는 65.8(6.1) μm , P3 80.8(11.2) μm , P4 63.1(6.9) μm 이었고, P5는 74.9(4.5) μm 의 값을 보였다. 기존의 사용되었던 방식인 실리콘 복제 기술을 이용하여 측정된 값은 P1 67.6(6.6) μm , P2 70.6(5.2) μm , P3 87.1(8.6) μm , P4 65.1(7.4) μm 이었으며, 끝으로 P5는 78.4(5.3) μm 의 결과를 나타내었다[표 2].

측정된 5부위에서 두 가지 측정 방법 간에 유의한 차이를 보이는지 여부를 검증하기 위해 수행된 독립표본 t 검정에서는 5부위 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$)[표 2].

이러한 결과로 볼 때 광간섭단층영상기를 이용하여 보철물의 적합도를 측정하는 방법이 실리콘 복제 기술에 비교하였을 때 대등한 정확도를 보였다는 것을 증명하여 준다.

표 2. 측정 방법에 따른 부위 별 평균(표준편차) 비교 (n=10)(μm)

측정부위	OCT	SRT	P-value
P 1	71.0(5.9)	67.6(6.6)	0.237
P 2	65.8(6.0)	70.6(5.2)	0.074
P 3	80.8(11.2)	87.1(8.6)	0.176
P 4	63.1(6.9)	65.1(7.4)	0.539
P 5	74.9(4.5)	78.4(5.3)	0.130
Total	71.12(9.4)	73.8(10.4)	0.186

부위 별로 구분하지 않고 전체적인 측정 방법 간의 비교를 하기 위하여 P1, P2, P3, P4, P5를 종합하여 비교를 한 결과 광간섭단층영상기로 측정된 적합도의 평균(표준편차)은 71.1(9.4) μm , 실리콘 복제 기술로 측정된

값은 73.8(10.4) μm 으로 나타났으며[표 2], 두 측정 방법 간에 평균의 유의한 차이가 있는지 검증한 독립표본 t 검정의 결과 $P=0.186$ 으로 두 측정 방법 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다[표 2].

부위를 무시하고 분석한 결과에서도 광간섭단층영상기로 보철물의 적합도를 측정하는 것이 실리콘 복제 기술과 대등한 정확도를 보이는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 지르코니아 코어의 적합도를 평가하기 위하여 광간섭단층영상기를 이용하여 측정하였다. 측정값의 신뢰성 검증을 위하여 동일 시편과 동일 측정 부위를 실리콘 복제 기술을 이용하여 측정한 뒤 두 가지 방법에 의하여 측정된 값을 비교하였다. 그 결과 두 방법에서 측정된 값 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다[표 2].

본 실험에서는 Vatech 시스템을 이용한 지르코니아 코어의 적합도를 측정하였는데, 관련한 선행 적합도 연구들을 보면 ProCera All-ceram 보철물의 알루미늄 코어의 경우 평균 변연 적합도가 34.4 μm 라고 보고하였고 [11], GN-I 시스템을 이용하여 제작된 In-Ceram 알루미늄 보철물의 변연 적합도는 66.8 μm 이라고 보고하였다 [12]. 지르코니아 코어의 경우 LAVA 시스템으로 제작한 지르코니아 코어의 평균(표준편차)이 77(44) μm 의 값을 보였다고 보고되었으며, Digident 시스템은 80(50) μm , Cerec Inlab 시스템은 77(44) μm 의 적합도를 보였다고 보고하였다[13].

본 연구에서 측정된 결과와 비교하였을 때 Vatech 시스템의 변연 적합도는 73(6.8) μm 으로 ProCera All-ceram 보철물의 알루미늄 코어와 GN-I system을 이용하여 제작된 In-Ceram 알루미늄 보철물 보다는 큰 값을 보였으나, LAVA, Digident, Cerec Inlab을 이용하여 제작된 지르코니아 코어 보다는 근소하게 우수한 적합도를 보였다. 적합도의 임상적 허용 수치에 대하여 의견이 다양하다[14-16] 이 중 가장 많은 연구자들이 제시하고 있는 임상적 허용수치는 McLean이 제시한

120 μ m이다[16]. McLean은 구강 내에서 5년 이상 기능한 1000개 이상의 보철물의 적합도를 평가한 결과 100 μ m은 임상적으로 문제되지 않으며, 적어도 임상적으로 기능하기 위하여 120 μ m을 넘지 않아야 한다고 보고하였다.

본 연구에서 Vatech 시스템으로 지르코니아 코어를 제작하여 각각 두 가지 다른 방법으로 적합도를 측정된 결과 측정된 모든 부위에서 McLean이 제시한 임상적 허용수치인 120 μ m을 넘는 값은 없었으며, 이러한 결과에 의하여 Vatech 시스템을 이용하여 전부 도재관을 제작하였을 때 코어의 적합도 부분에서는 임상적으로 허용이 가능한 것으로 보인다. 그러나 적합도와 관련하여 정확한 임상적 허용 여부에 논하기 위하여 추후에는 코어 상태일 때의 적합도와 최종 보철물인 전부 도재관 제작 후 전부 도재관의 적합도를 비교하는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

치의학계 연구과 관련하여 공간섭단층영상을 이용한 선행 연구들을 보면 사용한 보철물의 재료 대부분이 세라믹 재료 또는 자연치아인데 이러한 이유는 공간섭단층영상기의 빛이 금속을 투과하지 못하기 때문이다. Freitas는 치아 우식증의 정도를 공간섭단층영상을 이용하여 치아를 투과함으로써 조사하였고[17], Braz는 치과용 레진을 이용하여 제작된 수복물에서 수복물 내면에 갈라짐 등의 결함을 확인하기 위하여 공간섭단층영상을 활용하였다[18]. 또한 Sinescu는 공간섭단층영상을 이용하여 하부 코어 위에 상부 포세린의 축성 및 소성을 완료한 후 상부 포세린의 내면의 크랙 등 결함을 조사하였다[19]. 그 밖에도 공간섭단층영상을 활용한 치과계의 연구에서는 주로 보철물의 재료 또는 치아 내면의 구조 또는 결함을 찾기 위하여 사용되었다[20][21]. 반면 본 연구에서는 보철물의 내면을 투과하여 보철물과 치아 모형 사이의 거리를 측정하는데 공간섭단층영상을 사용하였다.

공간섭단층영상을 이용하여 적합도를 측정할 때의 한계점은 획득되어지는 보철물의 재료와 획득되어지는 영상의 깊이이다. 보철물의 재료의 경우 금속 보철물은 빛의 투과가 어려우므로 사용이 불가하다. 영상 획득의 깊이는 평균적으로 1.5-2.0mm 깊이의 스캔이 이루어져

영상이 획득되기 때문에 보철물의 두께가 너무 두꺼운 경우에는 적용이 힘들며, 빛이 투과하기 힘든 재료일수록 스캔 깊이가 짧아진다. 지르코니아 코어를 임상에서 제작할 때 전치부의 도재보철물의 경우 코어의 두께를 전치부는 0.3mm로 제작하고, 교합 압의 응력을 직접적으로 받는 구치부의 경우는 0.5mm로 제작된다. 본 실험에서는 상악 우측 중절치를 지대치로 채택하고, 0.3mm 두께의 지르코니아 코어를 제작한 것은 모두 임상적 요구 사항을 고려한 것이며, 실험 시 1.8mm의 스캔 깊이를 획득하였기 때문에 측정에 무리가 없었다. 또한 실리콘 복제 기술과 비교한 결과에서도 차이를 발견하지 못하였다.

여러 제한점이 존재하지만, 측정된 값의 정확도는 통계 분석 결과 신뢰할 수 있는 값이었다. 그러나 공간섭단층영상을 이용한 적합도 측정의 적용 가능성을 보다 정확히 논하기 위해서 추후에는 보철물 재료의 종류, 보철물의 두께, 스캔 깊이 등을 변수로 하는 연구들이 후속 연구로 이루어져 여러 개선점들을 찾아야 할 것으로 보인다.

V. 결론

본 연구에서는 보철물의 적합도를 비 파괴적인 방법 중에 하나인 공간섭단층영상을 이용하여 분석해보았다. 그 결과 보철물 재료의 종류와 재료의 두께와 스캔되는 깊이에 대한 한계가 있었으나, 보철물의 적합도의 측정이 가능하다는 결론을 얻었다.

또한 측정된 값의 정확도를 알아보기 위하여 동일 시편과 동일 측정부위를 적합도 측정 시 가장 많이 쓰이는 실리콘 복제 기술을 이용하여 측정된 값과 비교하여 보았다. 그 결과 공간섭단층영상을 이용한 측정값과 실리콘 복제 기술을 이용한 측정 값 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 이와 같은 결과들로 미루어 볼 때 공간섭단층영상을 이용한 보철물의 적합도 측정은 아직 제한적으로 측정이 가능하지만, 측정된 값의 정확도에서는 종전의 방식만큼 정확하다는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나 아직 제한점이 있기 때

문에 앞으로 끊임없는 연구가 계속 이루어져 많은 제한점들이 개선되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] A. Bindl and W. T. Mormann, "Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations," *J Oral Rehabil*, Vol.32, No.6, pp.441-447, 2005.
- [2] I. Sailer, C. Holderegger, R. E. Jung, A. Suter, B. Thiévent, N. Pietrobon, W. G. Achilles, and C. H. Hämmerle, "Clinical study of the color stability of veneering ceramics for zirconia frameworks," *Int J Prosthodont*, Vol.20, No.3, pp.263-269, 2007.
- [3] L. V. Foster, "Failed conventional bridge work from general dental practice: clinical aspects and treatment needs of 142 cases," *Br Dent J*, Vol.168, No.5, pp.199-201, 1990.
- [4] S. N. White, J. A. Sorensen, S. K. Kang, and A. A. Caputo, "Microleakage of a new crown and fixed partial denture luting agent," *J Prosthet Dent*, Vol.67, No.2, pp.156-161, 1992.
- [5] F. Beuer, H. Aggstaller, D. Edelhoff, W. Gernet, and J. Sorensen, "Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers," *Dent Mater*, Vol.25, No.1, pp.94-102, 2009.
- [6] M. Laurent, P. Scheer, J. Dejou, and G. Laborde, "Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns - validation of the silicone replica method," *J Oral Rehabil*, Vol.35, No.2, pp.116-122, 2008.
- [7] H. Y. Rahme, G. E. Tehini, S. M. Adib, A. S. Ardo, and K. T. Rifai, "In vitro evaluation of the "replica technique" in the measurement of the fit of Procera crowns," *J Contemp Dent Pract*, Vol.9, No.2, pp.25-32, 2008.
- [8] S. Pelekanos, M. Koumanou, O. S. Koutayas, S. Zinelis, and G. Elidas, "Micro-CT evaluation of the Marginal Fit of Different In-Ceram Alumina Copings," *Eur J of Esth dent*, Vol.4, No.3, pp.278-292, 2009.
- [9] O. Modovan, R. Luthardt, N. Corcodel, and H. Rudolph, "Three-dimensional fit of CAD/CAM made zirconia copings," *Dent Mater*, Vol.27, No.12, pp.1273-1278, 2011.
- [10] U. Hasanreisoglu, S. Berksun, K. Aras, and I. Arslan, "An analysis of maxillary anterior teeth: Facial and dental proportions," *J Prosthet Dent*, Vol.94, No.6, pp.530-538, 2005.
- [11] Y. Kokubo, C. Ohkubo, M. Tsumita, A. Miyashita, P. V. von Steyern, and S. Fukushima, "Clinical marginal and internal gaps of Procera AllCeram crowns," *J Oral Rehabil*, Vol.32, No.7, pp.526-530, 2005.
- [12] Y. Kokubo, Y. Nagayama, M. Tsumita, C. Ohkubo, S. Fukushima, and P. V. von Steyern, "Clinical marginal and internal gaps of In-Ceram crowns fabricated using the GN-I system," *J Oral Rehabil*, Vol.32, No.10, pp.753-758, 2005.
- [13] S. Reich, M. Wichmann, E. Nkenke, and P. Proeschel, "Clinical fit all-ceramic three-unit fixed partial denture, generated with three different CAD/CAM systems," *Eur J Oral Sci*, Vol.113, No.2, pp.174-179, 2005.
- [14] L. Ostlund, "Cavity design and mathematics: their effect of gaps at the margins of cast restorations," *Oper Dent*, Vol.10, No.4, pp.122-137, 1985.
- [15] F. Sulaiman, J. Chai, L. Jamelson, and W. Wozniak, "A comparison of the marginal fit of In-ceram, IPS Empress and Procera crowns," *Int J Prosthodont*, Vol.10, No.5, pp.478-484, 1997.

- [16] J. W. McLean and J. A. von Fraunhofer, "The estimation of cement film thickness by an in vivo technique," Br Dent J, Vol.131, No.3, pp.107-111, 1971.
- [17] A. Z. Freitas, D. M. Zezell, M. P. A. Mayer, A. C. Ribeiro, A. S. L. Gomes, and N. D. Jr Vieira, "Determination of dental decay rates with optical coherence tomography," Laser Phys. Lett, Vol.6, No.12, pp.896-900, 2009.
- [18] A. K. Braz, B. B. Kyotoku, R. Braz, and A. S. Gomes, "Evaluation of crack propagation in dental composites by optical coherence tomography," Dent mater, Vol.25, No.1, pp.74-79, 2008.
- [19] C. Sinescu, M. Negrutiu, M. Hughes, A. Bradu, C. Todea, M. Rominu, P. L. Laissue, and A. G. Podoleanu, "An optical coherence tomography investigation of materials defects in ceramic fixed partial dental prostheses," Proc of SPIE, Vol.6991, pp.6991001-6991005, 2008.
- [20] M. L. Negrutiu, C. Sinescu, M. Rominu, M. Hughes, G. Dobre, and A. G. Podoleanu, "Optical coherence tomography and confocal microscopy investigations of dental structures and restoration materials," Proc of SPIE, Vol.7258, pp.72584N1-72584N7, 2009
- [21] Y. Liang, X. S. Yao, S. Lan, H. Yao, T. Liu, M. Wan, Y. Li, B. Shi, and G. Wang, "Three - dimensional image of the human tooth based on optical coherence tomography," PIER C, Vol.8, pp.13-25, 2009.

저 자 소 개

김 재 홍(Jae-Hong Kim)

준회원



- 2009년 8월 : 신구대학교 치기공학과(보건학사)
- 2010년 8월 ~ 2012년 현재 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공(석사학위 과정)

<관심분야> : 치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학

김 기 백(Ki-Baek Kim)

정회원



- 2011년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공(보건과학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공(박사학위 과정)

▪ 2010년 8월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공학과 외래강사

▪ 2011년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 치기공학과 외래강사

<관심분야> : 치과재료, 치과기공, 치과보철, 의공학