https://doi.org/10.14368/jdras.2026.42.3.190
ISSN 2384-4353 eISSN 2384-4272

Original Article

Effect of cement space settings in an artificial intelligence-based CAD software on the marginal and internal fit of implant provisional restorations

Ji-Soo Kim, Yu-Lee Kim, Hyun-Jun Kong*
Department of Prosthodontics and Wonkwang Dental Research Institute, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Republic of Korea

Purpose: This study aimed to evaluate the effect of cement space settings in an artificial intelligence (AI)-based dental computer-aided design (CAD) software on the marginal and internal fit of implant provisional restorations. **Materials and Methods:** Scan data of a mandibular left second premolar implant model were utilized to design provisional restorations in an artificial intelligence-based CAD software, with cement spaces set at 50, 80, and 110 μm. Ten restorations were fabricated for each group using a 3D printer. For fit analysis, the abutment scan data and the silicone replica scan data were superimposed using 3D metrology software to calculate the root mean square deviation (RMS deviation) for each regional segment (overall, marginal, axial, and occlusal). Statistical analysis was performed using one-way ANOVA and the Tukey HSD post hoc test (α = 0.05). **Results:** The mean RMS deviation of the overall region was lowest in the 50 μm group (58.20 μm), followed by 74.99 μm in the 80 μm group, and 86.49 μm in the 110 μm group, demonstrating statistically significant differences among all three groups ($P < 0.001$). In the axial and occlusal regions, RMS deviation significantly increased as the cement space increased ($P < 0.001$). In the marginal region, the 50 μm group showed the lowest RMS deviation ($P < 0.01$), whereas no significant difference was found between the 80 μm and 110 μm group ($P = 0.693$). **Conclusion:** When designing implant provisional restorations in an artificial intelligence-based CAD software, the cement space settings significantly affected the marginal and internal fit ($P < 0.01$). **(J Dent Rehabil Appl Sci 2026;42(3):190-9)**

Key words: dental implant; artificial intelligence; marginal fit; internal fit

서론

인공지능(Artificial Intelligence, AI)은 학습, 추론, 문제 해결과 같은 인간의 고유한 인지 능력을 모방하는 컴퓨터 과학의 한 분야이다.[1] 대규모 데이터의 축적과 패턴 인식 기술의 비약적인 발전으로, 인공지능은 의료 산업을 포함한 다양한 분야에 널리 도입되고 있다.[2,3] 치의학 분야에서는 방사선 영상 판독, 치주 질환의 예후 예측, 구강 스캔 데이터를 활용한 교정 시뮬레이션에 이르기까지 인공지능의 활용 범위가 확대되고 있다.[4-7]

구강 스캐너와 CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) 기술의 발전으로 치과 보철 제작의 디지털 워크플로우가 보편화되었으며, 최근에는 딥러닝 알고리즘에 기반한 인공지능이 치과 보철물 디자인에도 적용되고 있다.[8,9] 이러한 인공지능 기반 CAD 소프트웨어는 인접치와 대합치의 해부학적 특성을 학습하여 환자 맞춤형 보철물을 자동으로 생성하며, 술자의 숙련도에 따른 결과물의 편차를 최소화하고 작업 효율성을 향상시킬 수 있는 높은 임상적 잠재력을 지닌다.[10-13] 최근 연구들에서는 인공지능 기반 보철물 디자인

*Correspondence to: Hyun-Jun Kong
Associate Professor, Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University, 895 Muwang-ro, Iksan, 54538, Republic of Korea
Tel: +82-63-859-2929, Fax: +82-63-857-4002, E-mail: zsfvzsfv@naver.com
Received: May 14, 2026/Last Revision: June 11, 2026/Accepted: June 23, 2026

Copyright© 2026 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
©It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

이 작업 효율성과 형태 정확도,[9-13] 변연 및 내면 적합도 측면에서 우수한 결과를 보인 것으로 보고되고 있다.[12-14] 이는 인공지능 기반 CAD 소프트웨어가 최종 보철물 뿐만 아니라 임시 보철물 제작 과정에도 효과적으로 활용될 수 있음을 시사한다.[15]

임시 보철물은 최종 보철물 수복 전까지 저작과 발음 기능을 유지하고, 출현윤곽을 형성하며, 주변 연조직의 안정을 도모하는 등 임상적으로 중요한 역할을 수행한다.[16-18] 특히 임플란트 지지 임시 보철물은 최종 수복물의 심미성과 치주 건강, 나아가 장기적 예후를 결정하는 진단적 도구로서 높은 가치를 지닌다.[16,17]

변연 및 내면 적합도는 임시 보철물의 장기적 예후에 밀접한 영향을 미친다.[18-20] 변연 부적합은 치태 축적과 세균 침투를 초래하여 치주질환과 연조직 치유 지연을 유발할 수 있다.[18] 우수한 내면 적합은 보철물과 지대치 또는 지대주 사이에 균일한 시멘트 두께를 형성하여 보철물의 유지력과 기계적 안정성을 향상시킨다.[18-20]

디지털 워크플로우에서 보철물의 내면 적합을 제어하는 주요 디자인 변수 중 하나는 '시멘트 공간(cement space)'이다.[19-21] 이는 보철물 내면에 합착용 시멘트(luting cement)를 위한 균일한 공간을 부여함으로써, 시멘트의 수력학적 압력(hydrodynamic pressure)과 내부 마찰 저항을 감소시켜 보철물의 완전한 안착을 가능하게 한다.[21-23] 부적절한 시멘트 공간 설정은 변연 간극을 증가시켜 시멘트의 미세 누출과 용해를 야기하고, 유지력 저하를 초래할 수 있다.[21,22]

보철물의 제조 방식과 재료의 종류에 따라, 시멘트 공간 설정이 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향은 상이하게 나타난다.[19,21,23,24] 기존의 관련 연구들은 주로 전통적인 CAD 소프트웨어를 이용한 절삭 가공(subtractive milling) 방식이나 지르코니아 등의 최종 보철물의 평가에 초점이 맞춰져 왔다.[23-25] 그러나 3D 프린팅을 이용한 임시 보철물 제작 시, 인공지능 기반 CAD 소프트웨어 내에서의 시멘트 공간 설정값 변화가 보철물의 적합도에 미치는 영향을 분석한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 인공지능 기반 CAD 소프트웨어에서 시멘트 공간 설정이 임플란트 임시 보철물의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 3차원 분석법을 통해 정량적으로 평가하고자 하였다. 본 연구의 귀무가설은 '시멘트 공간 설정값에 따른 변연 및 내면 적합도에 유의한 차이가 없다.'로 설정하였다.

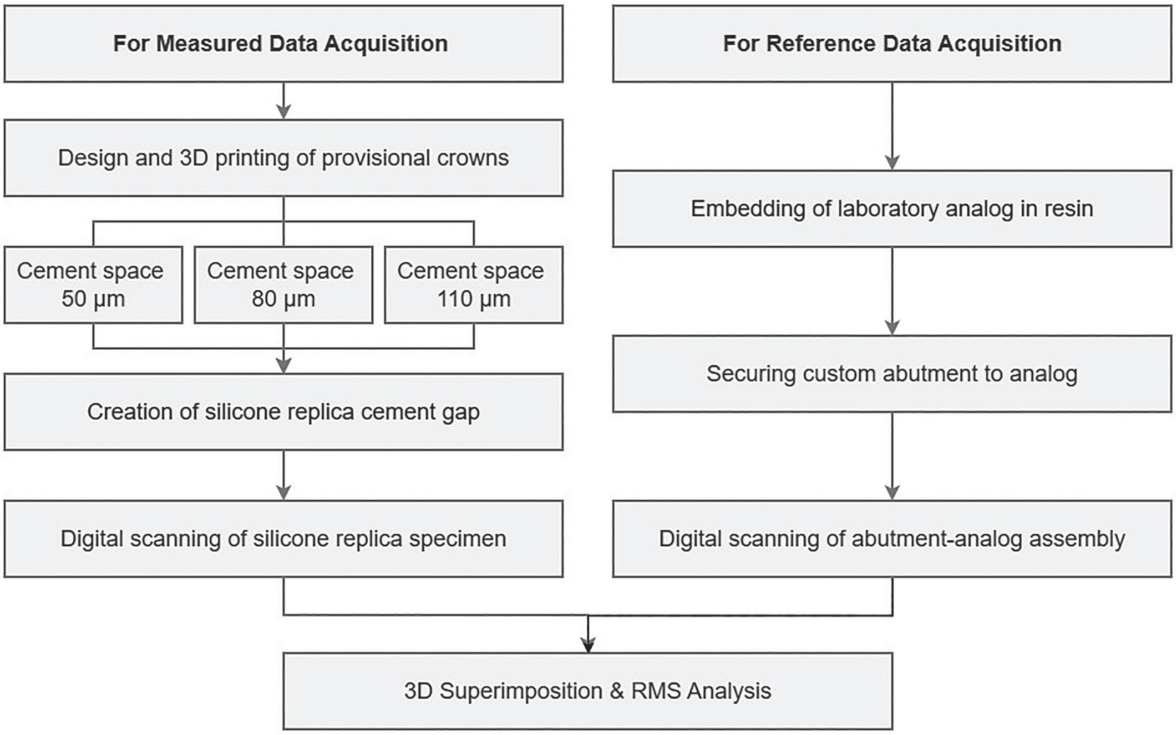

Fig. 1. Flowchart of this study.

연구 재료 및 방법

실험 모형 및 디자인용 스캔 데이터 획득

본 연구의 전반적인 실험 설계는 Fig. 1에 도식화된 과정을 따랐다. 실험 모형으로는 하악 좌측 제2소구치 부위에 직경 4.0 mm, 길이 10 mm의 임플란트(TSIII, Osstem Implant Co., Busan, Korea)가 식립된 덴티폼을 사용하였다(Fig. 2).

덴티폼에 식립된 임플란트에 맞춤형 지대주(customized abutment)를 체결하고, 지대주의 나사 구멍(screw access hole)을 실리콘 실링재(EZ Seal, Megagen, Gyeongsan, Korea)와 광중합형 임시 충전재(Quicks White, Dentkist, Gwangmyeong, Korea)로 밀폐하였다. 이후 구강 스캐너(TRIOS 3, 3Shape Dental Systems, Copenhagen, Denmark)로 상하악 악궁과 교합 관계를 스캔하였으며, 획득된 데이터를 STL (Standard Tessellation Language) 파일 형식으로 저장하였다.

인공지능 기반 임시 보철물 디자인 및 제작

획득한 스캔 데이터를 인공지능 기반 CAD 소프트웨어(Dentbird Crown, Imagoworks Inc., Seoul, Korea)로 불러와 임시 보철물을 디자인하였다. 소프트웨어의 자동화 기능을 통해 변연 및 삽입로를 설정하였으며, 보철물의 내면 파라미터는 Fig. 3A와 같이 지정하였다. 실험군은 핵심 변수인 시멘트 공간 설정값에 따라 50 μm, 80 μm, 110 μm의 세 군으로 분류하였고,[21,24] 시멘트 공간을 제외한 나머지 파라미터는 모든 군에서 동일하게 유지하였다. 보철물의 외형은 소프트웨어가 자동으로 생성한 해부학적 형태를 수정 없이 그대로 사용하였다(Fig. 3B). 해당 디자인 파일을 바탕으로 MSLA (Masked Stereolithography Apparatus) 방식의 3D 프린터(Saturn 3 Ultra, ELEGOO, Shenzhen, China)와 광중합형 레진(Permanent A1, ODS, Gwangju, Korea)을 사용하여 군당 10개씩, 총 30개의 임시 보철물을 제작하였다. 제작된 보철물은 제조사의 지침에 따라 2-propanol (Emsure,

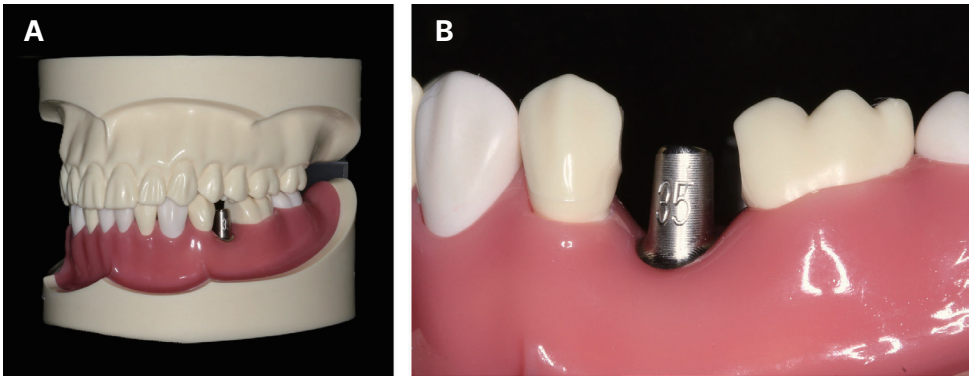

Fig. 2. Implant and custom abutment at mandibular left second premolar. (A) Lateral view, (B) Close-up view.

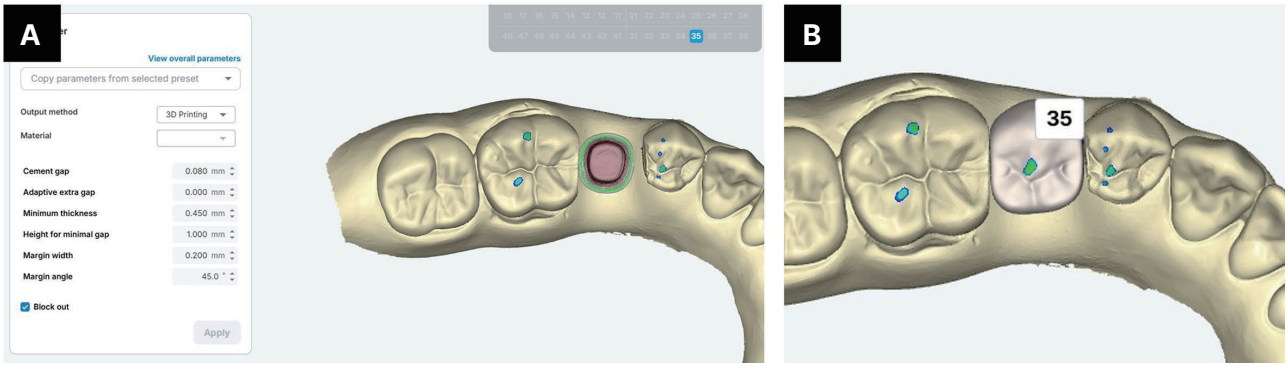

Fig. 3. Design of the implant provisional restoration. (A) Internal parameter settings, (B) Automatically generated anatomical morphology.

Merck, Darmstadt, Germany)로 5분간 세척하였으며, UV 광중합기(CureM UV, ODS)를 이용하여 10분간 후경화(post-curing)를 시행하였다.

참조 데이터(Reference data) 획득

적합도 평가의 기준이 되는 참조 데이터를 획득하기 위해, 임플란트 랩 아날로그(Laboratory analog GST-LA400, Osstem Implant Co.)를 덴탈 서베이어(dental surveyor)를 이용하여 수직으로 고정한 후 자가중합형 아크릴 레진(Orthoplast, Vertex Dental, Zeist, Netherlands)으로 매몰하였다. 임시 보철물 디자인에 사용한 맞춤형 지대주를 랩 아날로그에 체결하고, 나사 구멍을 실리콘 실링재와 광중합형 임시 충전재로 밀폐하였다. 이후 구강 스캐너로 스캔하여 지대주 참조 데이터를 획득하였다(Fig. 4A).

측정 데이터(Measured data) 획득

적합도 평가를 위한 측정 데이터는 지대주 상에 시멘트 공간을 재현하는 실리콘 레플리카를 형성한 후, 이를 스캔하여 획득하였다(Fig. 4).[25,26] 실리콘 인상재의 변형 및 탈락을 방지하기 위해 맞춤형 지대주 표면에 PVS 접착제(Exaflex Adhesive, GC Corp, Tokyo, Japan)를 얇게 도포하였다.[25] 임시 보철물의 내면에서 인상재가 원활하게 분리되도록 임시 보철물의 내면에 분리재(GI-MASK Universal Separator, Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Switzerland)를 분사한 후 충분히 건조하였다. 임시 보철물의 내면에 저점도 실리콘 인상재(Extrude Type 3 Light Body, Kerr, Brea, USA)를 주입하고 아날로그-지대주 복합체에 안착시킨 뒤, 변연부로 유출된 과량의 인상재를 탐침으로 제거하였다(Fig. 4B).[26] 인상재가 경화될 때까지 임시 보철물의 교합면 중앙부에 정하중 장치를 이용하여 49 N의 정하중을 10분간 가하였다.[26,27] 인상재가 완전히 경화된 후 임시 보철물을 조심스럽게 분리하여(Fig. 4C), 지대주 표면에 얇은 실리콘 층(silicone layer)이 남도록 하였다(Fig. 4E). 최종적으로 지대주 표면에 밀착된 실리콘 층을 구강 스캐너로 스캔하여 3차원 분석을 위한 측정 데이터를 획득하였다(Fig. 4D).[25,26]

변연 및 내면 적합도 평가

데이터의 3차원 분석에는 정밀 검사 소프트웨어(Geomagic Control X, 3D Systems, Rock Hill, USA)를 사용하였다. 먼저 소프트웨어 상에 지대주 참조 데이터를 불러와 참조 개체(reference object)로 설정하고, 지대주 상에 실리콘 층이 있는 측정 데이터는 이동 개체(moving object)로 설정하였다. 두 데이터의 정확한 중첩을 위해, 실리콘 층이 없는 지대주의 베이스 및 출현윤곽 영역을 기준으로 초기 정렬(initial alignment)과 최적 맞춤 정렬(best-fit alignment)을 시행하였다.[26,27] 이때 최적 맞춤 정렬은 점구름(point cloud) 간의 거리 오차를 최소화하는

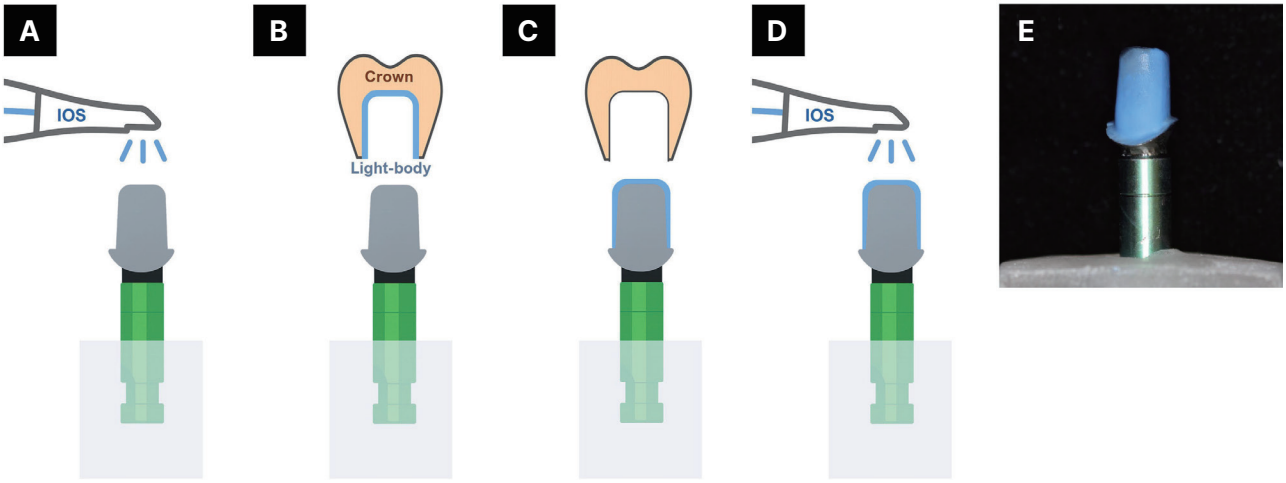

Fig. 4. Workflow of the silicone replica technique. (A) acquisition of reference data, (B) seating the crown with light-body silicone, (C) removal of the crown, (D) acquisition of measured data, (E) thin silicone layer remaining on the customized abutment surface after crown removal. IOS: Intraoral scanner.

반복 최근접점(Iterative Closest Point, ICP) 알고리즘을 사용하였으며, 참조 개체와 이동 개체 간의 샘플링 비율은 100%로 지정하였다.[28] 중첩 후 임플란트 랩 아날로그 영역은 삭제하여 지대주 영역만 남겨두고, 참조 개체 상에서 평가 영역을 변연(marginal), 축면(axial), 교합면(occlusal)으로 분할하였다(Fig. 5).[27,28] 소프트웨어의 '3차원 비교(3D Compare)' 기능을 사용하여 변연, 축면, 교합면, 그리고 전체(overall) 영역에 대한 분석을 진행하였다. 데이터 간의 3차원적 편차는 공차 범위 ± 50 μm로 설정한 색상 차이 지도(color deviation map)로 시각화하였다.

정량적 분석을 위해 각 평가 영역 내 모든 데이터 포인트의 평균 제곱근 편차(Root Mean Square deviation, RMS deviation)를 산출하였다. RMS deviation은 참조 데이터와 측정 데이터 간의 3차원적 편차를 정량화한 지표로, 값이 낮을수록 중첩된 데이터 간의 3차원적 일치도가 높음을 의미한다. 해당 수치는 다음의 공식을 사용하여 계산되었다.[28,29]

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D_i^2}$$

이 식에서 n은 비교된 전체 데이터 포인트의 총 개수이며, Di는 i번째 포인트에서의 참조 데이터와 측정 데이터 간 편차 거리를 의미한다.

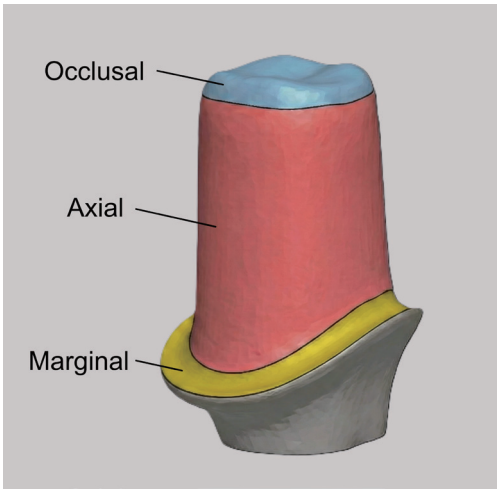

Fig. 5. Regional segmentation of the abutment reference scan.

통계 분석

수집된 데이터의 통계 분석은 SPSS 통계 프로그램(SPSS Statistics ver. 20.0, IBM Corp., Armonk, USA)을 사용하였다. Shapiro-Wilk 검정으로 데이터의 정규성을, Levene 검정으로 등분산성을 확인하였다. 시멘트 공간 설정값에 따른 군 간 RMS deviation을 비교하기 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 수행하였으며, Tukey HSD 사후검정을 시행하였다. 모든 통계 분석의 유의수준은 $\alpha = 0.05$로 설정하였다.

결과

시멘트 공간 설정값에 따른 3차원적 편차 양상을 시각화한 결과(Fig. 6), 모든 실험군의 변연 영역은 허용 공차 범위(± 50 μm) 이내를 의미하는 녹색으로 나타났다. 반

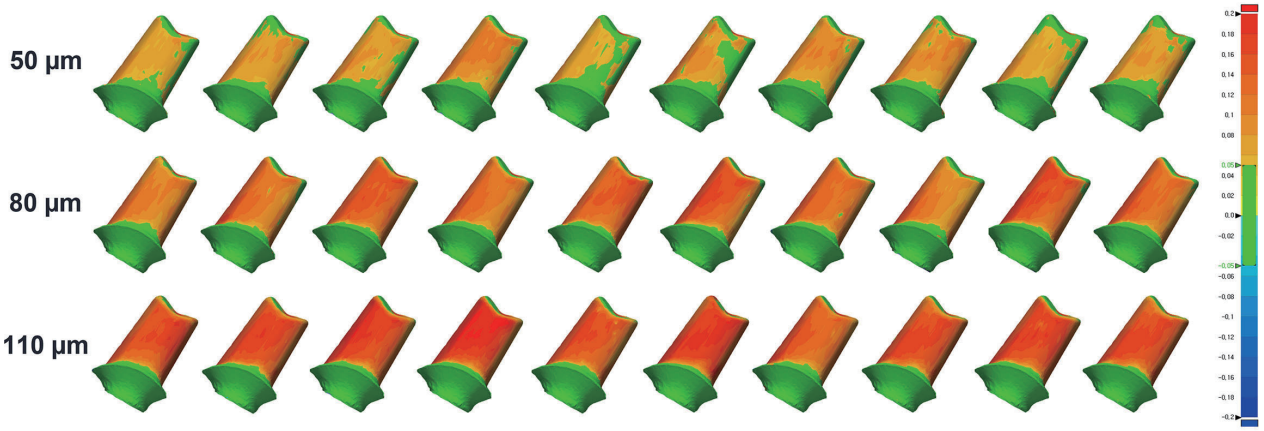

Fig. 6. Color maps of internal fit according to cement space settings.

면, 축면 및 교합면에서는 시멘트 공간이 50 μm, 80 μm, 110 μm로 증가함에 따라 양의 편차를 나타내는 황색 및 적색 영역이 증가하였다.

시멘트 공간 설정값에 따른 영역별 평균 RMS deviation은 Table 1과 Fig. 7에 제시하였다. 모든 측정 데이터는 정규성과 등분산성을 만족하였으며($P > 0.05$), 일원배치 분산분석 결과 모든 평가 영역에서 시멘트 공간 설정값에 따른 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다($P < 0.01$).

전체, 축면, 교합면 영역의 평균 RMS deviation은 50 μm 군에서 가장 낮았으며, 시멘트 공간 설정값이 높아짐에 따라 유의하게 증가하였다($P < 0.001$). 사후 검정 결과, 이들 세 영역에서는 모든 군 간 비교에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($P < 0.001$).

변연 영역에서도 평균 RMS deviation은 50 μm 군 (51.85 ± 3.37 μm), 80 μm 군 (58.10 ± 4.18 μm), 110 μm 군 (59.63 ± 4.82 μm) 순으로 증가하였다. 50 μm 군은 80 μm 및 110 μm 군과 유의한 차이를 보였으나($P <$

Table 1. Mean ± standard deviation of RMS deviation (μm) according to cement space settings in each measurement region

Region	50 μm	80 μm	110 μm	*P*-value*
Overall	58.20 ± 1.61[a]	74.99 ± 2.30[b]	86.49 ± 2.34[c]	< 0.001
Marginal	51.85 ± 3.37[a]	58.10 ± 4.18[b]	59.63 ± 4.82[b]	< 0.01
Axial	83.92 ± 2.33[a]	115.93 ± 3.34[b]	136.08 ± 2.77[c]	< 0.001
Occlusal	43.89 ± 4.78[a]	66.22 ± 5.18[b]	77.26 ± 8.10[c]	< 0.001

Different superscript letters within the same row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

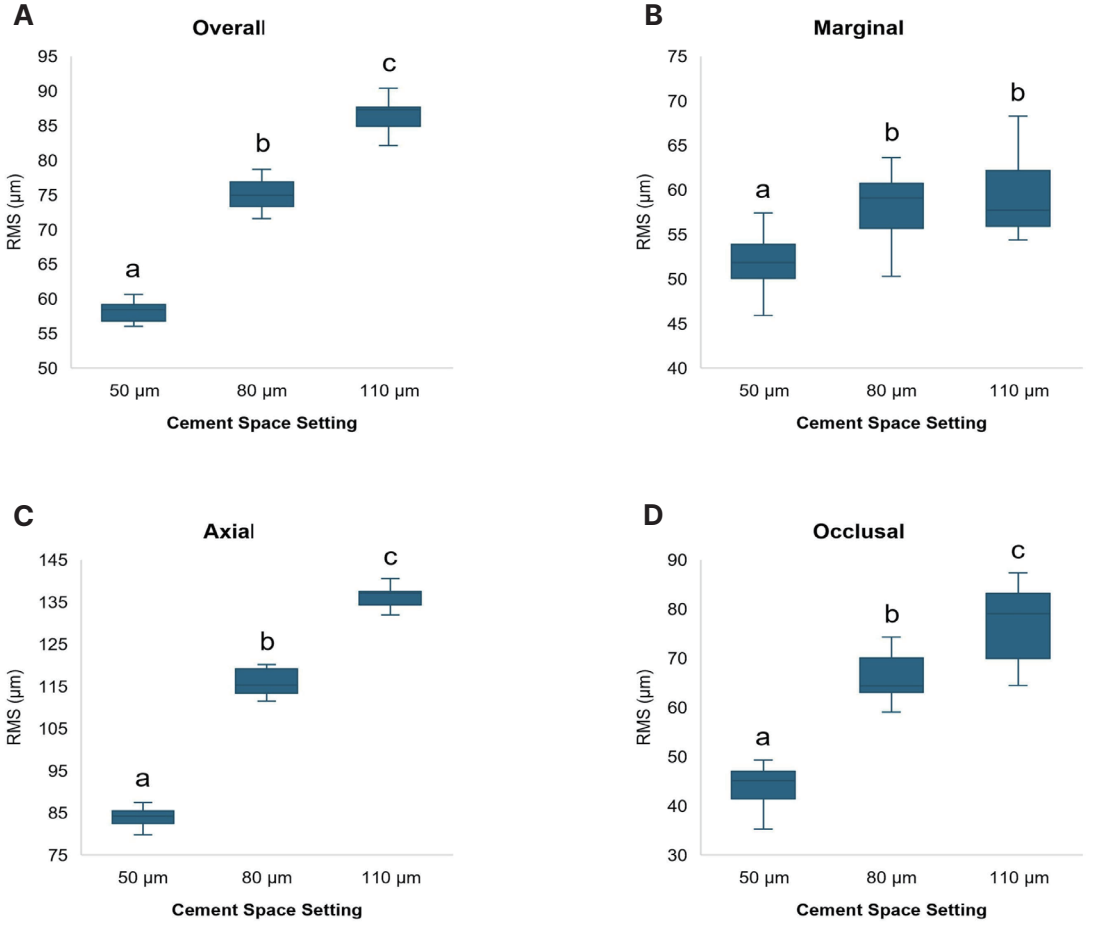

Fig. 7. Box plots representing the distribution of RMS deviation (μm) for the overall (A), marginal (B), axial (C), and occlusal (D). Different lowercase letters indicate statistically significant differences between groups within each measurement region ($P < 0.05$). RMS: Root Mean Square.

0.01), 80 μm 군과 110 μm 군 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($P = 0.693$).

고찰

본 연구는 인공지능 기반 CAD 소프트웨어에서 시멘트 공간 설정이 임플란트 임시 보철물의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 3차원적으로 평가하였다. 분석 결과, 모든 평가 영역에서 군 간 통계적으로 유의한 차이가 확인되어($P < 0.01$), 귀무가설은 기각되었다.

보철물의 변연 및 내면 적합도는 보철물의 장기적인 성공에 중요한 요소이다.[18-20] McLean과 von Fraunhofer[30]가 제시한 임상적 허용 기준인 120 μm를 기준으로 할 때, 본 연구의 변연 영역 RMS deviation은 모든 군에서 120 μm 이하로 나타나, 임상적 허용 범위 내의 적합도를 보였다. 내면 적합도는 Boitelle 등[31]이 수행한 체계적 문헌고찰에서 보고된 CAD/CAM 보철물의 오차 범위 내에 포함되어, 인공지능 디자인 기반의 3D 프린팅 임시 보철물이 임상적으로 유효함을 확인하였다.

보철물의 적합도 측정 방법으로는 현미경을 이용한 단면 사진 계측법(microphotography), 실리콘 레플리카 단면 절단법, 단면 분할법(cross-sectioning method), 마이크로 단층촬영법(micro-CT), 그리고 3차원 디지털 중첩법 등이 존재한다.[31] 기존의 실리콘 레플리카 단면 절단 방식은 시편 변형이나 측정 오차가 발생할 가능성이 있으며, 제한된 단면 상에서 몇 개 지점의 선형적 거리만 계측한다는 한계가 있다.[25,32] 본 연구에서는 임플란트 맞춤형 지대주 상에 형성된 실리콘 레플리카 층을 구강 스캐너로 디지털화한 후, 정밀 검사 소프트웨어(Geomagic Control X)를 이용한 3차원 중첩 분석법을 적용하였다.[25,26] 이러한 방식은 실리콘 시편의 절단 과정을 필요로 하지 않아 오차를 줄일 수 있으며, 특정 단면에 국한되지 않고 표면 전체에 걸친 데이터 포인트를 이용함으로써 3차원적 공간 해석을 가능하게 한다.[27] 실리콘 레플리카 층은 보철물 내면과 지대주 사이의 물리적인 공간적 유격 두께를 그대로 재현한다.[25,26] 따라서 실리콘 레플리카 층의 스캔 데이터를 지대주 데이터와 중첩한 후 RMS deviation을 산출하여, 실리콘 레플리카 층과 지대주 간의 3차원적 편차를 정량화하였으며, 이를 변연 및 내면 적합도 평가 지표로 활용하였다.[29]

디지털 워크플로우에서 시멘트 공간은 보철물의 변연 및 내면 적합도에 직접적인 영향을 미치는 핵심 설계 매개변수이다.[19,21] 선행 연구들은 재료와 제작 방식에 따라 최적의 시멘트 공간을 다르게 보고해 왔는데, 지르코니아 크라운은 50 μm, 절삭형 PMMA (polymethyl methacrylate) 임시 보철물은 60 μm, 3D 프린팅 최종 레진 크라운은 70 μm 등에서 우수한 결과를 보였다.[19,23,24] 또한, 임플란트 지지 레진-세라믹 크라운의 경우 60 μm의 시멘트 공간 설정에서 가장 우수한 적합도를 보고하였다.[21] 본 연구의 실험 조건에서는 50 μm 설정군이 모든 평가 영역에서 통계적으로 가장 낮은 RMS deviation을 나타냈다($P < 0.01$). 그러나 50 μm 미만의 설정값에서의 적합도 변화 경향을 관찰하기 위해, 향후 30 - 50 μm 사이의 세분화된 시멘트 공간 설정값에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서 시멘트 공간 증가에 따른 적합도 변화가 축면 영역에서 가장 뚜렷하게 관찰되었다. 50 μm에서 110 μm로 설정값을 증가시켰을 때 축면의 RMS deviation 증가량은 52.16 μm로, 변연(7.78 μm)이나 교합면(33.37 μm)에 비해 가장 크게 나타났다. 시멘트 공간 설정값이 증가할수록 지대주와 보철물 내면 사이의 유격이 증가하게 되며, 이는 보철물의 위치 안정성에 영향을 미칠 수 있다. 특히 임플란트 지대주는 자연치 지대치와 달리 표면이 비교적 매끄럽고 축면 경사도가 평행에 가까워 보철물 안착 시 가이드가 제한적이다. 따라서 시멘트 공간이 과도하게 증가할 경우 미세한 회전 또는 기울어짐이 발생할 수 있으며, 이는 축면을 포함한 내면 적합도의 저하로 이어질 수 있다.[21]

본 연구는 체외(in vitro) 실험으로서 단일 형태의 지대주만을 사용하였으며, 적합도 외에 유지력이나 파절 강도와 같은 기계적 특성을 포괄적으로 평가하지 못했다는 한계가 있다. 이러한 한계에도 불구하고, 본 연구는 인공지능 기반 CAD 소프트웨어로 디자인한 임시 보철물의 적합도가 실험군 전반에서 임상적 허용 범위를 만족함을 3차원 분석을 통해 객관적으로 검증하였다. 본 연구는 인공지능 기반 디지털 워크플로우 적용 시 시멘트 공간 가이드라인을 제시하였으며, 향후 최적의 매개변수 설정을 위한 후속 연구의 기반을 마련하였다는 점에서 그 의의가 있다.

결론

본 체외 연구에서는 인공지능 기반 CAD 소프트웨어에서 시멘트 공간 설정이 임플란트 임시 보철물의 변연

및 내면 적합도에 미치는 영향을 평가하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

인공지능 기반 CAD 소프트웨어를 이용한 임플란트 임시 보철물 디자인 시, 시멘트 공간 설정값은 변연 및 내면 적합도에 유의한 영향을 미쳤다($P < 0.01$). 또한 본 연구의 실험 조건 내에서는 50 μm 군이 모든 평가 영역에서 통계적으로 가장 낮은 RMS deviation을 나타냈다($P < 0.01$).

Acknowledgements

이 논문은 2025년도 ㈜덴티움 재원의 원광대학교 치과대학 발전기금 프로그램으로 지원되었음.

ORCID

Ji-Soo Kim https://orcid.org/0009-0007-4397-447X
Yu-Lee Kim https://orcid.org/0000-0003-1350-5895
Hyun-Jun Kong https://orcid.org/0000-0001-9331-3572

References

1. Xu Y, Liu X, Cao X, Huang C, Liu E, Qian S, Liu X, Wu Y, Dong F, Qiu CW, Qiu J, Hua K, Su W, Wu J, Xu H, Han Y, Fu C, Yin Z, Liu M, Roepman R, Dietmann S, Virta M, Kengara F, Zhang Z, Zhang L, Zhao T, Dai J, Yang J, Lan L, Luo M, Liu Z, An T, Zhang B, He X, Cong S, Liu X, Zhang W, Lewis JP, Tiedje JM, Wang Q, An Z, Wang F, Zhang L, Huang T, Lu C, Cai Z, Wang F, Zhang J. Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. Innovation 2021;2:100179.
2. Park SH, Han K. Methodologic guide for evaluating clinical performance and effect of artificial intelligence technology for medical diagnosis and prediction. Radiology 2018;286:800-9.
3. Wang C, Zhu X, Hong JC, Zheng D. Artificial intelligence in radiotherapy treatment planning: Present and future. Technol Cancer Res Treat 2019;18:1533033819873922.
4. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. J Dent Res 2021;100:232-44.
5. Scott J, Biancardi AM, Jones O, Andrew D. Artificial intelligence in periodontology: A scoping review. Dent J 2023;11:43.
6. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Barmak AB, Inam W, Kan JYK, Kois JC, Akal O. Artificial intelligence models for diagnosing gingivitis and periodontal disease: A systematic review. J Prosthet Dent 2023;130:816-24.
7. Kazimierczak N, Kazimierczak W, Serafin Z, Nowicki P, Nożewski J, Janiszewska-Olszowska J. AI in orthodontics: Revolutionizing diagnostics and treatment planning - A comprehensive review. J Clin Med 2024;13:344.
8. Ding H, Cui Z, Maghami E, Chen Y, Matinlinna JP, Pow EHN, Fok ASL, Burrow MF, Wang W, Tsoi JKH. Morphology and mechanical performance of dental crown designed by 3D-DCGAN. Dent Mater 2023;39:320-32.
9. Liu CM, Lu TY, Wang CS, Feng SW, Lin YC, Lee SY, Wu HL. Evaluation of the accuracy, occlusal contact and clinical applications of zirconia crowns using artificial intelligence design versus human design. J Dent Sci 2025;20:1665-72.
10. Wu Z, Zhang C, Ye X, Dai Y, Zhao J, Zhao W, Zheng Y. Comparison of the efficacy of artificial intelligence-powered software in crown design: An in vitro study. Int Dent J 2025;75:127-34.
11. Kong HJ, Kim YL. Accuracy of artificial intelligence-designed dental crowns: A scoping review of in-vitro studies. Appl Sci 2025;15:9866.
12. Cho JH, Yi Y, Choi J, Ahn J, Yoon HI, Yilmaz B. Time efficiency, occlusal morphology, and internal fit of anatomic contour crowns designed by dental software powered by generative adversarial network: A comparative study. J Dent 2023;138:104739.
13. Cho JH, Çakmak G, Yi Y, Yoon HI, Yilmaz B, Schimmel M. Tooth morphology, internal fit, occlusion and proximal contacts of dental crowns designed by deep learning-based dental software: A comparative study. J Dent 2024;141:104830.
14. Nagata K, Inoue E, Nakashizu T, Seimiya K, Atsumi M, Kimoto K, Kuroda S, Hoshi N. Verification of the accuracy and design time of crowns designed with artificial intelligence. J Adv Prosthodont 2025;17:1-10.
15. Rençber Kızılkaya A, Kara A. Impact of different CAD software programs on marginal and internal

fit of provisional crowns: An in vitro study. Heliyon 2024;10:e24205.
16. Georgakis G, Taylor PD, Jason. An investigation into the integrity of fit of provisional crowns made over a dental implant analogue using two current proprietary provisional crown materials compared to a proprietary 'snap on' provisional core. J Dent Oral Disord Ther 2014;2:1-7.
17. Rakhshan V. Marginal integrity of provisional resin restoration materials: A review of the literature. Saudi J Dent Res 2015;6:33-40.
18. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. J Appl Oral Sci 2016;24: 258-63.
19. Özcelik TB, Yilmaz B, Seker E, Shah K. Marginal adaptation of provisional CAD-CAM restorations fabricated using various simulated digital cement space settings. Int J Oral Maxillofac Implants 2018; 33:1064-9.
20. Peng CC, Chung KH, Yau HT, Ramos V Jr. Assessment of the internal fit and marginal integrity of interim crowns made by different manufacturing methods. J Prosthet Dent 2020;123:514-22.
21. Sultan S, Hegazy M, Shakal M, Magdy S. Effect of virtual cement gap settings on the marginal fit of cemented resin-ceramic crowns on implant abutments. J Prosthet Dent 2021;125:804.e1-6.
22. Wilson PR. Effect of increasing cement space on cementation of artificial crowns. J Prosthet Dent 1994;71:560-4.
23. Kale E, Seker E, Yilmaz B, Özcelik TB. Effect of cement space on the marginal fit of CAD-CAM-fabricated monolithic zirconia crowns. J Prosthet Dent 2016;116:890-5.
24. Shin H, Kang YJ, Kim H, Kim JH. Effect of cement space settings on the marginal and internal fit of 3D-printed definitive resin crowns. J Prosthet Dent 2023;133:821-6.
25. Lee H, Kim HS, Noh K, Paek J, Pae A. A simplified method for evaluating the 3-dimensional cement space of dental prostheses by using a digital scanner. J Prosthet Dent 2017;118:584-6.
26. Zeller S, Guichet D, Kontogiorgos E, Nagy WW. Accuracy of three digital workflows for implant abutment and crown fabrication using a digital measuring technique. J Prosthet Dent 2019;121:276-84.
27. Abualsaud R, Alalawi H. Fit, precision, and trueness of 3D-printed zirconia crowns compared to milled counterparts. Dent J (Basel) 2022;10:215.
28. Son K, Lee WS, Lee KB. Effect of Different Software Programs on the Accuracy of Dental Scanner Using Three-Dimensional Analysis. Int J Environ Res Public Health 2021;18:8449.
29. Clark WA, Girnary M, Alsahafi T, Motamedi A, De Kok IJ. Digital analysis of internal fit variation of additively manufactured crown patterns. Explor BioMat-X 2024;1:280-8.
30. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J 1971;131:107-11.
31. Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. J Oral Rehabil 2014;41:853-74.
32. 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 2013;22:419-28.

인공지능 기반 소프트웨어에서 시멘트 공간 설정이 임플란트 임시 보철물의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향

김지수 대학원생, **김유리** 교수, **공현준*** 부교수
원광대학교 치과대학 치과보철학교실 및 원광치의학연구소

목적: 본 연구는 인공지능 기반 CAD (Computer-Aided Design) 소프트웨어에서 시멘트 공간 설정이 임플란트 임시 보철물의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.
연구 재료 및 방법: 하악 좌측 제2소구치 임플란트 모형의 스캔 데이터를 인공지능 기반 CAD 소프트웨어에서 시멘트 공간을 50, 80, 110 μm로 설정하여 보철물을 디자인하고, 3D 프린터로 군당 10개씩 제작하였다. 적합도 분석을 위해 지대주 스캔 데이터와 실리콘 레플리카 스캔 데이터를 3차원 분석 소프트웨어로 중첩하여 영역별(전체, 변연, 축면, 교합면) 평균 제곱근 편차 (Root Mean Square deviation)를 산출하였다. 통계 분석은 일원배치 분산분석과 Tukey HSD 사후검정을 시행하였다($\alpha = 0.05$).
결과: 전체 영역의 평균 RMS deviation은 50 μm 군에서 58.20 μm로 가장 낮았고, 80 μm 군은 74.99 μm, 110 μm 군은 86.49 μm였으며, 세 군 간 모두 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$). 축면 및 교합면 영역에서도 시멘트 공간 증가에 따라 RMS deviation이 유의하게 상승하며 모든 군 간 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$). 변연 영역에서는 50 μm 군이 통계적으로 유의하게 가장 낮은 RMS deviation을 나타냈으며($P < 0.01$), 80 μm 군과 110 μm 군 간에는 유의한 차이가 없었다($P = 0.693$).
결론: 인공지능 기반 소프트웨어를 이용한 임플란트 임시 보철물 디자인 시, 시멘트 공간 설정값은 변연 및 내면 적합도에 유의한 영향을 미쳤다($P < 0.01$).

(구강회복응용과학지 2026;42(3):190-9)

주요어: 치과 임플란트; 인공지능; 변연 적합도; 내면 적합도

*교신저자: 공현준
(54538)전북특별자치도 익산시 무왕로 895 원광대학교 치과대학병원 치과보철과
Tel: 063-859-2929 | Fax: 063-857-4002 | E-mail: zsfvzsfv@naver.com
접수일: 2026년 5월 14일 | 수정일: 2026년 6월 11일 | 채택일: 2026년 6월 23일