https://doi.org/10.14368/jdras.2026.42.1.60
ISSN 2384-4353 eISSN 2384-4272

Case Report

A clinical case of single fixed prosthesis fabricated using deep learning-based automated design software

Jeong-Eun Choi, Young-Eun Cho*
Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Deep learning is a model that automatically extracts relevant features from large-scale datasets without human intervention, and its performance continues to improve as its applications expand across diverse disciplines. In dentistry, it has been applied to caries detection, diagnosis and treatment planning, and prediction of peri-implantitis. Recently, it has been introduced in prosthodontics for the design of fixed dental prostheses. In this case report, single-unit fixed prostheses were fabricated using two deep learning-based software programs (Automate, Dentbird Crown) and designed manually by a clinician using CAD software (Exocad). Interproximal contact, internal and marginal fit, occlusion, and overall morphology were evaluated and compared, resulting in notable findings. **(J Dent Rehabil Appl Sci 2026;42(1):60-71)**

Key words: computer-aided design; computer-aided manufacturing; deep learning

서론

딥러닝(Deep learning)은 인공지능(Artificial intelligence)의 하위 분야로, 인간의 개입 없이 대규모 데이터로부터 특징을 자동으로 학습하는 모델이다.[1,2] 컴퓨터 하드웨어의 발전으로 방대한 데이터로부터 정보를 효율적으로 얻을 수 있게 되었으며, 학습 방법이 지속적으로 개발됨에 따라 성능이 향상되면서 다양한 응용 분야로 확대되고 있다.[3,4]

치과 분야에서도 딥러닝의 활용이 증가하고 있다. 대표적으로 치아 우식 및 구강 신생물의 탐지, 치근단 및 파노라마 영상을 이용한 무치악 부위 또는 임플란트 종류 식별, 임플란트 주위염 예측 등에 적용되고 있다.[4-6] 진단 및 치료 계획 수립, 치열궁 형태 분류, 무치악 환자의 안모 예측, 색조 매칭 등 치과 보철학 분야에서도 활용되고 있으며, 최근에는 보철물 디자인의 자동화를 위한 시도가 활발히 이루어지고 있다.[4,7] 딥러닝의 핵심 구조인 신경망(Neural Networks)은 생물학적 신경구조에서 영감을 받아 개발된 것으로, 보철물 디자인에는 주로 합성곱 신경망(Convolutional Neural Networks, CNN)과 적대적 생성 신경망(Generative Adversarial Networks, GAN)이 사용된다.[4] CNN은 이미지 인식 및 특징 추출에 효율적이며 GAN은 학습된 정보를 기반으로 새로운 형태를 생성하는 데 적합하여 자동화된 보철 형태 생성에 활용된다.[8] 대표적으로, Dentbird Crown (Imagoworks Inc., Seoul, Korea) 프로그램은 CNN과 GAN 기반의 알고리즘을 채택하고 있고, Automate (3shape A/S, Copenhagen, Denmark) 프로그램은 내부 알고리즘 구조가 공개되지 않은 딥러닝 기반 자동 설계 소프트웨어이다.[9,10] 이러한 소프트웨어들은 보철 디자인 과정에서 결과의 안정성을 높이고 효율성을 향상시키는 데 기여한다.

본 증례보고는 구치부 및 전치부 단일 고정성 보철

*Correspondence to: Young-Eun Cho
Assistant professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Dankook University, 119 Dandaero, Dongnam-gu, Cheonan, 31116, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-1924, Fax: +82-41-559-7898, E-mail: yecho77@hanmail.net
Received: December 15, 2025/Last Revision: January 12, 2026/Accepted: January 22, 2026

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

물 제작 시, 두 종류의 딥러닝 기반 소프트웨어 프로그램(Automate, 3Shape A/S, Dentbird Crown, Imagoworks Inc.)이 디자인한 보철물과 숙련된 술자가 CAD (computer-aided design) 소프트웨어(Exocad, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)로 디자인한 보철물을 비교하였다. 내면 적합도, 변연 적합도, 인접치 접촉, 대합치와의 교합 및 외형을 평가하였다.

증례 보고

증례 1

50세 남성 환자가 하악 우측 제 1대구치의 보철물 수복을 위해 보철과에 내원하였다(Fig. 1, 2). 치근단 농양으로 인해 본원 보존과에서 근관치료를 완료한 상태였으며, 지르코니아 크라운으로 수복하기로 계획하였다. 고속 핸드피스를 이용하여 교합면 2.0 mm, 협면 및 설면 1.0 - 1.2 mm, 인접면 1.0 mm 삭제 후 chamfer margin을 형성하였다(Fig. 3). 디자인 방식에 따른 보철물 형태 차이를 비교하기 위하여 치은 압배 후 폴리비닐실록산 인상재(Honigum heavy & light, DMG, Hamburg, Germany)로 최종인상을 채득하고, 실리콘 교합인기재(I-sil bite, Spident, Incheon, Korea)로 교합관계를 채득하였다. 초경석고로 작업모형을 제작하고 모델스캐너(Medit T500, Medit Co., Seoul, Korea)를 이용해 스캔하였다.

첫번째 보철물은 숙련된 술자가 CAD 소프트웨어(Exocad, Exocad GmbH)를 이용하여 수작업으로 디자인한 보철물로, 보철물의 변연을 설정한 뒤 치아 라이브러리를 이용해 초기 형태를 생성하였다. 이후 교합, 인접면 접촉을 조절하고 출현 윤곽을 반영하여 협면 및 구개면의 형태를 다듬어 최종 보철물 디자인을 완성하였다(ECAD, Fig. 4A, 4D). 두번째, 세번째 보철물은 딥러닝 프로그램을 이용하여 자동으로 치관을 형성한 보철물로, 두번째 보철물은 Automate (3Shape A/S) 프로그램에 스캔한 데이터를 넣어 자동으로 변연을 설정하고 외형을 형성하였다(AUTO, Fig. 4B, 4E). 세 번째 보철물은 Dentbird Crown (Imagoworks Inc.) 프로그램으로 동일하게 자동으로 변연을 설정하고 외형을 형성하였다



Fig. 1. Intraoral photograph before treatment. The lower right first molar has completed root canal treatment. (A) Lower view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

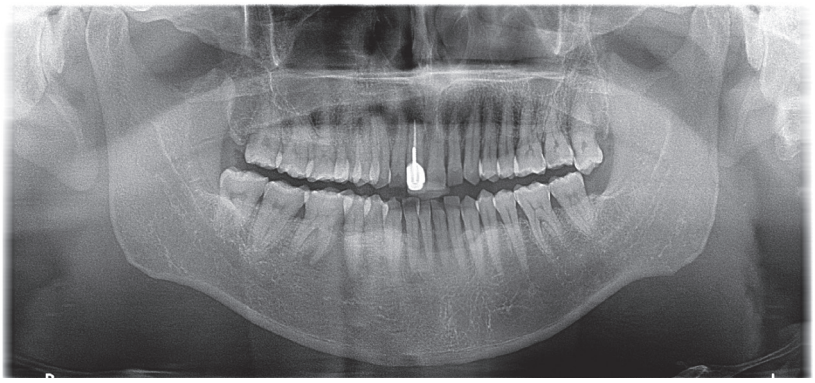

Fig. 2. Initial panoramic radiographic image.



Fig. 3. Intraoral photograph after tooth preparation. (A) Lower view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

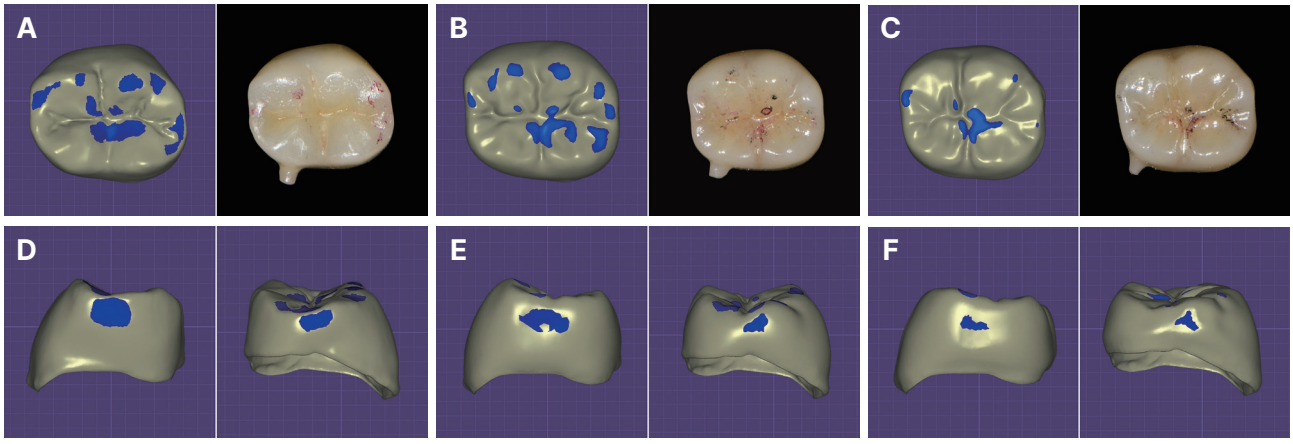

Fig. 4. Evaluation of crowns for occlusal and proximal contact points. (A) Occlusal contact points of ECAD, (B) Occlusal contact points of AUTO, (C) Occlusal contact points of DENT, (D) Mesial and distal contact points of ECAD, (E) Mesial and distal contact points of AUTO, (F) Mesial and distal contact points of DENT.

(DENT, Fig. 4C, 4F). 세 종류의 보철물 제작 시 Cement gap, margin width, margin angle 등 기본 설정값은 모두 동일하게 적용하였다(Table 1).

하악 우측 제 1대구치 단일 고정성 보철물은 지르코니아 블록(Shofu Zirconia Disk Lucent, Shofu Inc., Kyoto, Japan)을 밀링 머신(Cameleon CS, NeoBiotech, Seoul, Korea)으로 가공한 후, 소결로(Cameleon Sintering Furnace, NeoBiotech)를 이용하여 1450°C 에서 120분간 고온 소결하여 제작하였다. 보철물의 시적 및 임상 평가는 단일 술자에 의해 시행되었으며, 인접면 접촉, 변연 적합도 및 교합 평가는 치실, 탐침, 교합지 및 심스탁을 이용하여 평가하였다. 치실로 인접면을 확인했을 때 DENT는 다소 헐거웠고, ECAD와 AUTO는 저항감이 있었다. 변연을 탐침으로 확인 시 모두 걸림이 없었고, 교합지로

Table 1. Default parameters for crowns in Exocad, Automate, and Dentbird Crown

Parameters / Software	Exocad	Automate	Dentbird Crown
Cement gap	0 mm	0 mm	0 mm
Margin width	0.15 mm	0.15 mm	0.15 mm
Margin angle	60°	60°	60°
Occlusal distance	0 mm	0 mm	0 mm
Proximal distance	-0.03 mm	-0.03 mm	-0.03 mm
Minimum thickness	0.60 mm	0.60 mm	0.60 mm

확인 시 모두 3점 이상의 교합점이 형성되었다(Fig. 4A - 4C). 외형 비교 시, ECAD는 출현 윤곽이 재현되고 동명치와 유사한 협면 풍융도를 보였으나, 딥러닝 디자인 보철물인 AUTO와 DENT는 협면이 더 풍융하게 형성되었다. 보철물의 장착을 위한 인접면 조정 시, AUTO는 조정이 필요하지 않았으나, ECAD와 DENT는 조정이 필요하였다. 특히 DENT의 경우 인접면 접촉이 부족(loose contact)하였다. 교합지와 심스탁을 이용하여 교합평가를 시행하였다. 양측 구치부가 균등하게 접촉하고 측방운동 시 간섭이 없도록 조정 시, DENT 보철물이 가장 많은 교합면 삭제가 필요했으나, ECAD는 거의 조정을 할 필요가 없었다.

세 보철물을 Exocad를 이용하여 내면을 기준으로 중첩하여 비교하였다. 내면 적합도의 경우 세 보철물에서 0.03 mm 이내의 차이를 보였으며, 변연의 경우 0.04 mm 이내의 차이를 보였다(Fig. 5).

AUTO와 DENT의 외형을 분석 소프트웨어(Python, Python Software Foundation, Wilmington, USA)를 이용해 ECAD와의 RMS (root-mean-square) 값으로 비교하였다. 선각을 기준으로 교합면, 협면, 설면, 근심면, 원심면으로 구분하여 3차원 비교를 수행하였다(Table 2). RMS는 각 영역 내에서 다음과 같이 계산하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_{1,i} - X_{2,i})^2}$$

$X_{1,i}$는 기준 데이터, $X_{2,i}$는 비교 데이터이며, n은 측정점의 총 개수이다. 편차는 color map으로 빨간색(+500 μm)에서 파란색(-500 μm)으로 표시하고, 허용 오차(± 50 μm) 범위 내는 초록색으로 표시하였다. Occlusal RMS는 AUTO (0.16 mm)가 DENT(0.23 mm) 보다 작았으며, Buccal RMS는 AUTO 0.29 mm, DENT 0.21 mm로, color map에서 AUTO와 DENT의 협면은 빨간색(+500 μm)으로 나타났다(Fig. 6).

즉, 세 보철물 모두 시적 시 완전히 안착되었고 탐침 검사에서 변연부의 걸림이나 유의한 간극이 관찰되지 않았다. 교합지와 심스탁을 이용한 평가에서는 양측 구치부의 균등한 접촉과 측방운동 시 간섭이 확인되지 않았다. 반면, 인접면 적합도 및 외형 측면에서는 ECAD 보철물이 가장 적합하게 형성된 것으로 나타났다. 기능적, 환자의 심미적 성향을 고려하여 최종적으로 ECAD 보철물을 환자에게 장착하였다. 보철물을 임시 접착한 후 2주

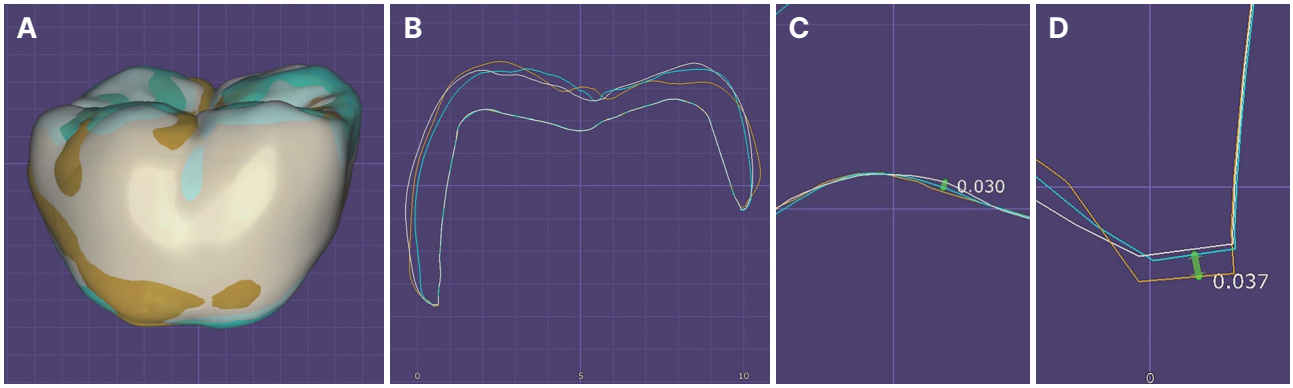

Fig. 5. Comparative analysis of crowns. The skyblue indicate the ECAD, the white indicate the AUTO, and the yellow indicate the DENT. (A) Overlapping, (B) Cross section at the middle portion, (C) Internal gap, (D) Marginal gap.

Table 2. Occlusal, buccal, lingual, mesial, distal, and total RMS (root-mean-square) values of the deep learning-based prostheses relative to the ECAD (Case 1)

Type/Surface	Occlusal	Buccal	Lingual	Mesial	Distal	Total
AUTO	0.16	0.29	0.09	0.29	0.13	0.21
DENT	0.23	0.21	0.15	0.22	0.15	0.20

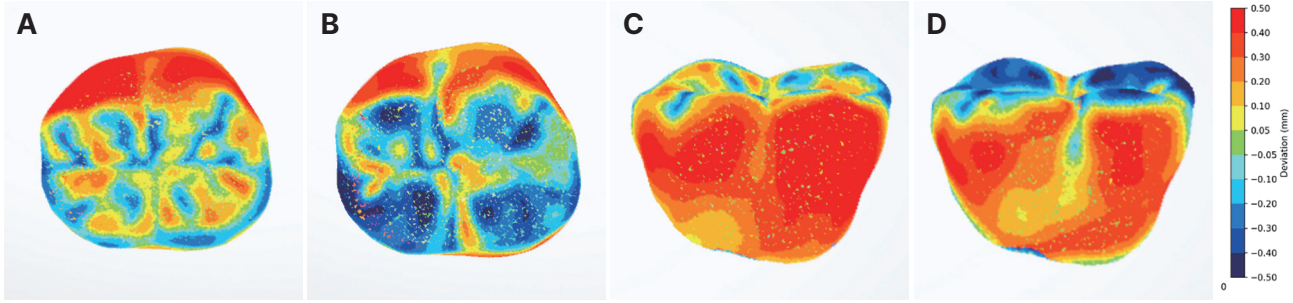

Fig. 6. Color map visualizing the RMS, ranging from red (+500 μm) to blue (–500 μm), with green indicating the tolerance range (± 50 μm). (A) Occlusal color map of AUTO, (B) Occlusal color map of DENT, (C) Buccal color map of AUTO, (D) Buccal color map of DENT.



Fig. 7. Final cementation of ECAD. (A) Upper view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

뒤 불편감이 없어 hook을 제거하고 표면 전처리제(Single Bond Universal, 3M ESPE, St. Paul, USA)와 레진 시멘트(Rely X™ Universal, 3M ESPE)를 이용하여 최종 접착하였다(Fig. 7).

증례 2

27세 남성 환자가 상악 우측 측절치의 보철치료를 위해 보철과에 내원하였다(Fig. 8, 9). 근단 치주염으로 인해 본원 보존과에서 근관치료를 완료한 상태로, 지르코니아 크라운으로 수복하기로 계획하였다. 고속 핸드피스를 이용해 절단연 1.5 mm, 순면과 구개면 및 인접면 1.0 mm 삭제 후 chamfer margin을 형성하였다(Fig. 10). 치은 압배 후 폴리비닐실록산 인상재(Honigum heavy & light, DMG)를 사용하여 최종인상을 채득하고 실리콘 교합인기재(I-sil bite, Spident)로 교합관계를 채득하여 작업모형을 제작 후 모델스캐너(Medit T500, Medit Co.)로 스캔하였다. 첫번째 증례와 같이 숙련된 술자가 CAD 소프트웨어(Exocad, Exocad GmbH)를 이용하여 수작업으로 디자인한 보철물(ECAD, Fig. 11A, 11D, 11G), Automate (3Shape A/S) 프로그램이 자동으로 디자인한 보철물(AUTO, Fig. 11B, 11E, 11H), Dentbird Crown (Imagoworks Inc.) 프로그램이 자동으로 디자인한 보철물(DENT, Fig. 11C, 11F, 11I)을 제작하였다.

상악 우측 측절치 단일 고정성 보철물을 지르코니아 블록(Shofu Zirconia Disk Lucent, Shofu Inc.)을 밀링(Cameleon CS, NeoBiotech) 및 소결(Cameleon Sintering Furnace, NeoBiotech)하여 제작한 후 환자에게 시적하여 인접면 접촉, 내면 적합도, 변연 적합도, 교합 및 외형을 평가하였다. 구강 내에서 인접면을 치실로 통과했을 때, 모두 가벼운 저항감으로 통과하였고 지대치에 적용 시 안정적으로 안착되었다. 변연을 탐침으로 확인 시 ECAD는 걸림 없이 부드럽게 연결되었으나, AUTO와 DENT는 설측 변연에서 걸림이 있었는데, 변연이 1 mm 정도 짧게 형성되어 설측 축면상에 설정되었다. 교합지와 심스탁으로 교합 확인 시, ECAD와 DENT는 교합점을 형성하였으나, AUTO는 접촉을 형성하지 못하였다(Fig. 11D - 11F). 외형 비교에서는 ECAD와 AUTO는 동일



Fig. 8. Intraoral photograph before treatment. The existing restoration on the upper right lateral incisor needs to be removed for root canal treatment. (A) Upper view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

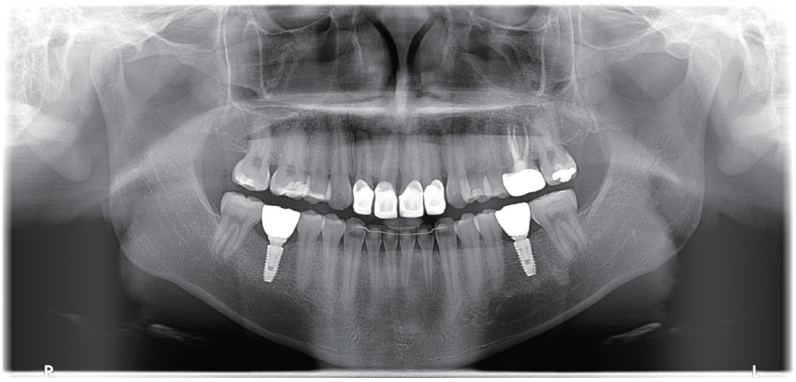

Fig. 9. Initial panoramic radiographic image.



Fig. 10. Intraoral photograph after tooth preparation. (A) Upper view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

악궁의 반대측 치아와 유사한 심미적 형태를 보였으나, DENT는 각지고 평탄한 형태로 형성되어 부족한 완성도를 보여주었다(Fig. 11A - 11C). 보철물의 장착을 위한 인접면 조정 시, 세 보철물 모두 조정이 필요하였다. 교합지와 심스탁을 이용하여 교합평가를 시행하였다. 설면이 최대 교두 간 접촉위와 전방 유도 시 인접 상악 절치들과 유사하게 접촉하도록 조정 시, DENT는 가장 많은 설면 삭제가 필요했으나, ECAD는 거의 조정을 할 필요가 없었고, AUTO는 설측 접촉이 부족하였다.

세 보철물을 중첩하여 비교하였다. 내면의 경우 절단측에서만 약 0.2 mm의 차이가 나타났고, 변연의 경우 설측에서 AUTO와 DENT가 ECAD보다 약 0.8 mm 짧게 형성되었다(Fig. 12).

AUTO와 DENT의 외형을 분석 소프트웨어(Python, Python Software Foundation)를 이용해 ECAD를 기준으로 RMS값을 산출하여 비교하였다(Table 3). 선각을 기준으로 순면, 설면, 근심면, 원심면으로 나누어 3차원 비교를 수행하고, 편차는 color map으로 시각화하였다.

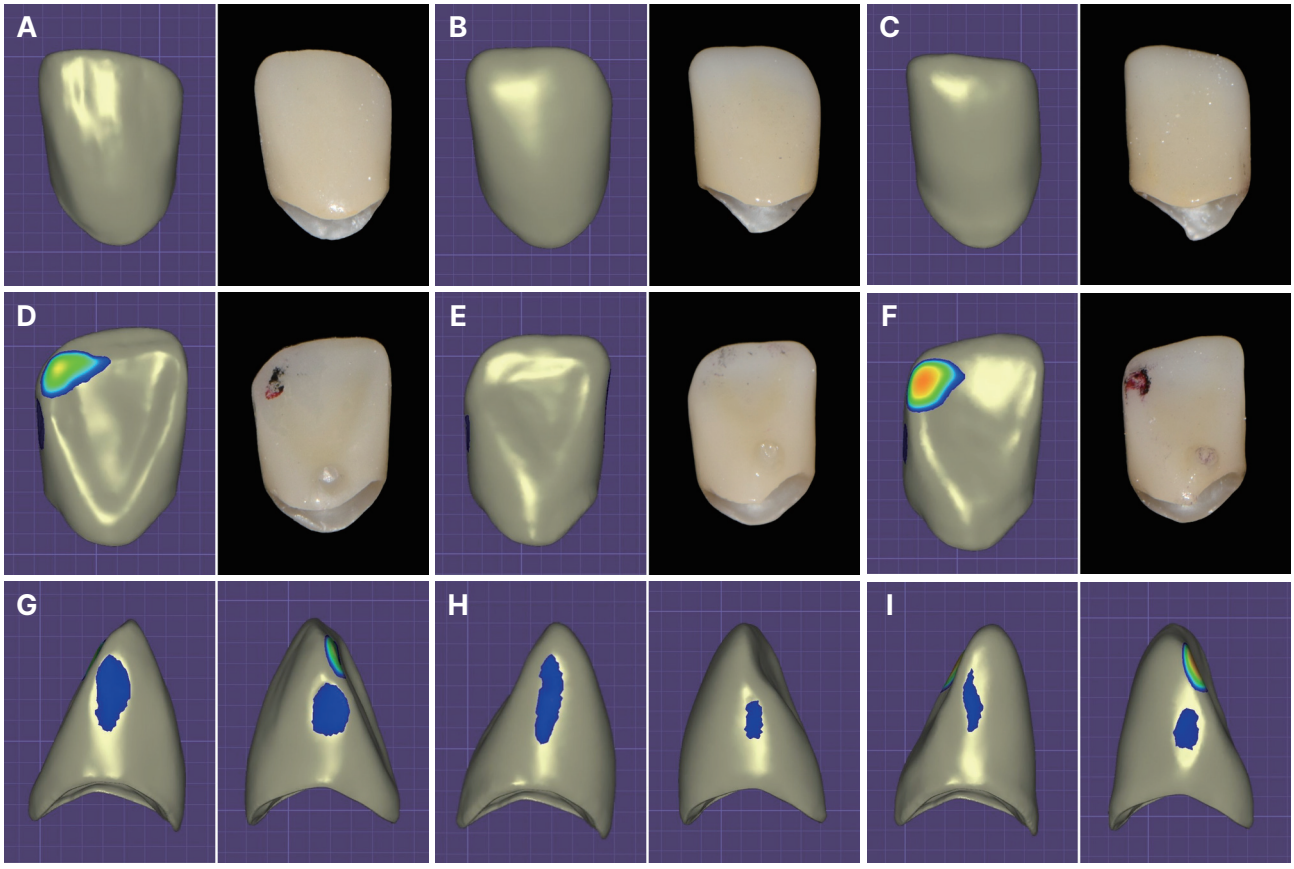

Fig. 11. Evaluation of crown contours on the labial surface and contact points on the lingual and proximal surfaces. (A) Labial surface of ECAD, (B) Labial surface of AUTO, (C) Labial surface of DENT, (D) Lingual contact points of ECAD, (E) Lingual contact points of AUTO, (F) Lingual contact points of DENT, (G) Mesial and distal contact points of ECAD, (H) Mesial and distal contact points of AUTO, (I) Mesial and distal contact points of DENT.

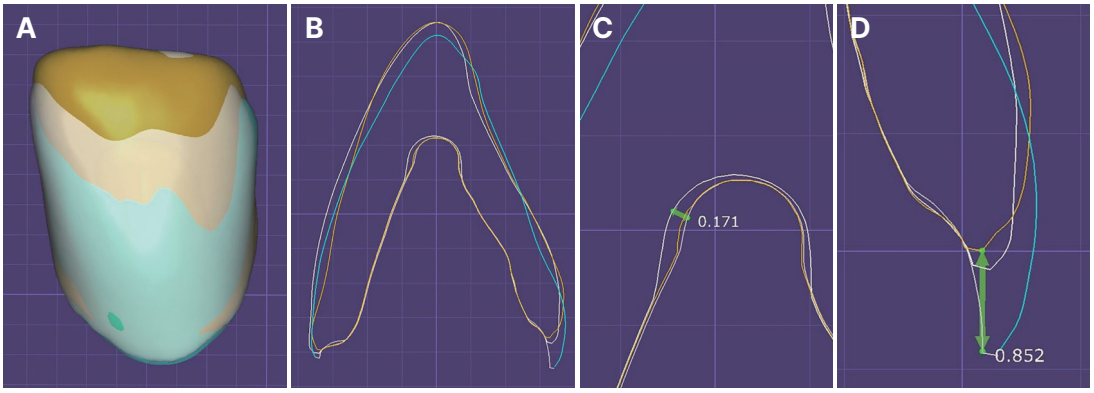

Fig. 12. Comparative analysis of crowns. The skyblue indicate the ECAD, the white indicate the AUTO, and the yellow indicate the DENT. (A) Overlapping, (B) Cross section at the middle portion, (C) Internal gap, (D) Marginal gap.

Table 3. Labial, lingual, mesial, distal, and total RMS(root-mean-square) values of the deep learning-based prostheses relative to the ECAD (Case 2)

Type/Surface	Labial	Palatal	Mesial	Distal	Total
AUTO	0.17	0.16	0.23	0.15	0.18
DENT	0.15	0.14	0.25	0.21	0.20

AUTO는 부족한 교합 형성 부위가 하늘색(약 -100 μm), DENT는 풍융하지 못한 순면 치경부 1/3이 파란색(약 -400 μm)으로 나타났다(Fig. 13).

즉, 변연적합도, 교합, 외형에서 ECAD가 가장 적합하게 형성된 것으로 나타났다. 기능적, 환자의 심미적 성향을 고려하여 최종적으로 ECAD 보철물을 환자에게 장착하였다. 보철물을 임시 접착한 후 2주 동안 불편감이 없어 hook을 제거하고 표면 전처리제(Single Bond Universal, 3M ESPE)와 레진 시멘트(Rely X™ Universal, 3M ESPE)를 이용하여 최종 접착하였다(Fig. 14).

고찰

딥러닝 기술의 핵심 구조 중 하나인 GAN은 Goodfellow 등이 처음 제안한 모델로, 생성자(Generator)와 판별자(Discriminator)라는 두 개의 신경망이 서로 경쟁하는 구조를 갖는다.[11] 생성자는 실제와 유사한 데이터를 생성하여 판별자를 속이려 하고, 판별자는 데이터가 실제인지 생성된 것인지를 구별하려 한다. 이러한 적대적 학습(Adversarial training)을 통해 모델의 성능은 지속적으로 향상되며, 이 특성은 사실적인 3D 형태의 생성에 강점을 보인다.[12] 치과 보철학 분야에서도 영상 품질 향상, 치료 결과 시뮬레이션, 보철물 형태 재현 등 다양한 영역에서 활용 가능성이 보고되고 있다.[4,5]

보철물의 변연 적합성과 디자인 정확도는 장기적 성공을 결정하는 핵심 요소이며, 최근 연구들은 딥러닝 모델이 변연 설정에서 높은 정확도를 보일 수 있음을 보여주고 있다.[13,14] Zhang 등은 S-Octree CNN 기반 모델을 통해 치아 변연을 자동으로 추출하였으며 전문가가 설정한 기준선과 비교해 90.6 - 97.4%의 정확도를 보고하였고, Sawangsri 등은 Automate 프로그램으로 생성한 변연이 수작업으로 설정한 변연과 유사했다고 보고하였다.[13,15]

보철물 디자인 측면에서도 딥러닝 프로그램의 활용 가능성이 제시되고 있다. 선행 연구들에 따르면 Dentbird Crown으로 제작된 구치부 보철물은 교합면 정확도, 인접면 접촉 강도 및 변연 적합도에서 우수한 결과를 보였으며, 이는 구치부의 비교적 단순한 형태와 기능 중심의 요구로 인해 자동화된 설계가 안정적으로 적용될 수 있음을 시사한다.[10,16] 본 연구에서도 딥러닝 기반으로 제작된 구치부 보철물은 내면 적합도, 변연 적합도 및 교합 측

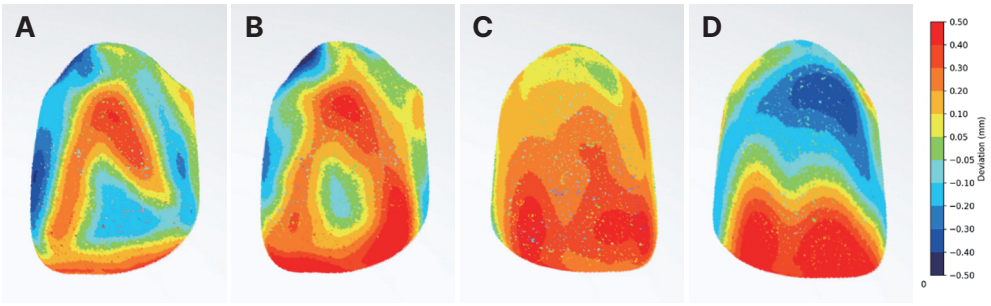

Fig. 13. Color map visualizing the RMS, ranging from red (+500 μm) to blue (-500 μm), with green indicating the tolerance range (± 50 μm). (A) Lingual color map of AUTO, (B) Lingual color map of DENT, (C) Buccal color map of AUTO, (D) Buccal color map of DENT.



Fig. 14. Final cementation of ECAD. (A) Upper view, (B) Frontal view, (C) Right lateral view.

면에서 뚜렷한 결함 없이 기능적 수복이 가능하였으며, 이러한 결과는 딥러닝 기반 디자인의 기본적인 재현성과 임상적 적용 가능성을 확인한 선행 연구 결과와 일치한다.

Automate과 Dentbird Crown으로 제작된 전치부 보철물 또한 폭, 높이, 치축 각도 및 인접면 접촉 등에서 CAD (Exocad) 기반 수작업 보철물과 유사했다는 연구결과가 있는 반면, 전치부 보철물은 형태적 다양성과 심미적 요구가 커 자동화된 설계의 한계가 보고되어 왔다.[17-20] Hlaing 등과 Park 등은 딥러닝 소프트웨어가 전치부보다 구치부 보철물 디자인에서 더 우수한 결과를 보였다고 보고하였으며, 이는 전치부 보철물에서 치아 폭, 높이, 치축 각도 및 외형 재현에 대한 요구가 상대적으로 복잡하기 때문으로 해석된다.[19,20] 본 연구에서도 변연 적합도 및 외형 재현 측면에서 ECAD 기반 수작업 설계가 상대적으로 우수한 결과를 보였으며, 이는 자동화된 딥러닝 설계가 개별 증례의 형태적 특성을 완전히 반영하는 데 아직까지는 제한이 있음을 시사한다.

본 증례에서는 CAD 소프트웨어(Exocad)와 두 종류의 딥러닝 기반 소프트웨어(Automate, Dentbird Crown)로 제작한 단일 보철물을 인접면 접촉, 내면 적합도, 변연 적합도, 교합 및 외형 측면에서 비교하였다. 구치부에서는 세 가지 디자인 방식으로 제작된 보철물 모두 안정적인 내면 적합을 보였으며, 탐침 시 변연이 부드럽게 연결되는 양상이 관찰되었고, 대합치와 3점 이상의 교합점 형성도 확인되었다. 다만 인접면 접촉에서는 차이가 나타나 ECAD와 AUTO는 치실 통과 시 저항감을 보인 반면, DENT는 상대적으로 접촉이 부족하였다. 또한 딥러닝 기반 보철물(AUTO, DENT)은 술자가 제작한 보철물(ECAD)보다 협면이 풍융하게 형성되어, 환자는 ECAD가 기존 치아 형태와 가장 유사하고 자연스럽다고 평가하였다. 이는 디자인 방식에 따라 외형 및 인접면 형성 양상이 다르게 나타날 수 있음을 보여준다.

전치부에서는 소프트웨어 간 형태적 차이가 더 뚜렷하게 나타났다. ECAD와 AUTO는 동명치와 유사한 형태를 구현한 반면, DENT는 윤곽이 각지고 평탄하게 형성되어 심미적으로 부족한 결과를 보였다. 딥러닝 보철물인 AUTO와 DENT는 설측에서 약 0.8 mm 짧은 변연을 형성하였으며, AUTO는 교합점을 형성하지 못했다.

Exocad는 술자의 주관적 판단과 치아 형태 라이브러리를 기반으로 디자인이 이루어지는 반면, 딥러닝 기반의 Automate와 Dentbird Crown은 자동화된 설계 과정을 통해 보철물 형태를 생성한다. 본 증례에서 Automate로 설계된 보철물은 인접치 형태를 반영한 것으로 보이는 외형적 유사성을 나타낸 반면, Dentbird Crown으로 설계된 보철물은 상대적으로 단순화된 윤곽을 보이는 경향이 관찰되었다. 이러한 외형적 차이는 각 소프트웨어의 자동 설계 방식 및 구현 전략의 차이에서 기인했을 가능성이 있다. 이는 딥러닝 기반 디자인이 구치부와 같이 기능적 요구도가 높은 영역에서는 유용하게 적용될 수 있는 반면, 전치부의 섬세한 윤곽과 심미적 특성을 충분히 재현하기 위해서는 추가적인 개선이 필요함을 시사한다. 그러나 본 증례에서 Automate와 Dentbird Crown을 이용한 자동 설계는 약 2분 이내에 완료된 반면, 숙련된 술자가 Exocad를 이용하여 수작업으로 설계한 경우 약 30분의 디자인 시간이 소요되었다. 이는 딥러닝 기반 보철물 디자인이 CAD 기반 수작업 방식에 비해 설계 시간을 유의하게 단축시킬 수 있음을 보고한 선행 연구 결과들과 일치한다.[9,10,16] 이러한 시간 효율성은 장점으로 작용할 수 있으나, 자동 디자인 결과에 대해서는 추가적인 임상적 검토와 수정이 필요하다.

본 연구는 ECAD, AUTO, DENT 보철물을 비교함에 있어 술자의 판단에 따라 선택된 ECAD 보철물을 기준으로 삼았다는 점에서, 이상적인 보철물 형태에 대한 객관적인 기준 설정에 한계가 있다. 또한 보철물의 인접면 접촉, 교합 및 외형에 대한 평가는 단일 술자에 의해 수행되었으며, 치실, 교합지, 심스탁, 탐침 등 평가 도구를 활용하여 평가하였으나, 평가 과정에 주관성이 개입되었을 가능성이 있다. 한편, 증례 2에서 딥러닝 기반 보철물의 설측 변연이 약 0.8 mm 짧게 형성되었는데, 이는 치아 삭제 과정에서 변연부가 명확하게 형성되지 않은 경우 딥러닝 기반 보철물 제작 시 변연 설정 오류가 발생할 수 있음을 시사한다. 더불어 본 연구는 제한된 증례 수를 기반으로 수행되었으므로 연구 결과를 일반화하는 데에는 주의가 필요하다.

향후 연구에서는 디지털 분석을 기반으로 한 정량적 지표를 병행하여 평가의 객관성을 보완하고, 구강스캐너 사용에 따른 차이를 분석할 필요가 있다. 또한 보다 다양한 증례를 포함하고 브릿지 및 임플란트 수복물 등으로 적용 범위를 확장함으로써, 딥러닝 기반 보철 디자인의 임상적 유용성을 보다 포괄적으로 평가할 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론

본 증례들은 구치부와 전치부 단일치 수복에서 딥러닝 기반 소프트웨어로 제작한 지르코니아 고정성 보철물을 술자가 직접 CAD로 디자인한 방식과 비교하여 평가하였다. 구치부에서는 인접면 접촉과 협면 풍융도, 전치부에서는 변연 설정, 교합점 형성 및 심미적 외형에서 일부 한계가 관찰되어, 딥러닝으로 보철물을 제작하는 방식이 시간 효율적이지만 술자가 디자인하는 방식보다는 정교한 디자인에 있어 아직 부족함을 시사한다. 향후 딥러닝 기반 보철물 디자인의 신뢰성을 높이기 위해서는 다양한 임상 증례의 축적, 알고리즘 개선 등의 추가 연구가 필요하다.

ORCID

Jeong-Eun Choi https://orcid.org/0009-0007-2313-1600
Young-Eun Cho https://orcid.org/0000-0003-0341-2150

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. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. J Dent Res 2020;99:769-74.
3. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: Current applications and future perspectives. Quintessence Int 2020;51:248-57.
4. Rokhshad R, Khosravi K, Motie P, Sadeghi TS, Tehrani AM, Zarbakhsh A, Revilla-León M. Deep learning applications in prosthodontics: A systematic review. J Prosthet Dent 2025 May 13:S0022-3913(25)00300-2. doi: 10.1016/j.prosdent.2025.04.009. Online ahead of print.
5. Takahashi T, Nozaki K, Gonda T, Mameno T, Ikebe K. Deep learning-based detection of dental prostheses and restorations. Sci Rep 2021;11:1960.
6. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. J Dent Res 2021;100:232-44.
7. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barmak AB, Gallucci GO, Att W, Özcan M, Krishnamurthy VR. Artificial intelligence models for tooth-supported fixed and removable prosthodontics: A systematic review. J Prosthet Dent 2023;129:276-92.
8. 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.
9. 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.
10. 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 software powered by generative adversarial network: A comparative study. J Dent 2023;138:104739.
11. Goodfellow IJ, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S, Courville A, Bengio Y. Generative adversarial nets. Adv Neural Inf Process Syst 2014;27:2672-80.
12. Kong HJ, Kim YL. Accuracy of artificial intelligence-designed dental crowns: A scoping review of in-vitro studies. Appl Sci 2025;15:9866.
13. Sawangsri K, Bekkali M, Lutz N, Alrashed S, Hsieh YL, Lai YC, Arreaza C, Nassani LM, Hammoudeh HS. Acceptability and deviation of finish line detection and restoration contour design in single-unit crowns: Comparative evaluation between two AI-based CAD software programs and dental laboratory technicians. J Prosthet Dent 2025;134:409-17.
14. Choi J, Ahn J, Park JM. Deep learning-based automated detection of the dental crown finish line: An accuracy study. J Prosthet Dent 2024;132:1286.e1-9.
15. Zhang B, Dai N, Tian S, Yuan F, Yu Q. Extraction method of tooth preparation margin line based on S-Octree CNN. Int J Numer Method Biomed Eng

2019;35:e3241.
16. 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.
17. Çakmak G, Cho JH, Choi J, Yoon HI, Yilmaz B, Schimmel M. Can deep learning-designed anterior tooth-borne crowns fulfill morphologic, aesthetic, and functional criteria in clinical practice? J Dent 2024;150:105368.
18. Cho JH, Çakmak G, Jee EB, Yoon HI, Yilmaz B, Schimmel M. A comparison between commercially available artificial intelligence-based and conventional human expert-based digital workflows for designing anterior crowns. J Prosthet Dent 2025 Jul 7:S0022-3913(25)00520-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2025.06.005. Online ahead of print.
19. Hlaing NHMM, Çakmak G, Karasan D, Kim SJ, Sailer I, Lee JH. Artificial intelligence-driven automated design of anterior and posterior crowns under diverse occlusal scenarios. J Esthet Restor Dent 2025 Sep 5. doi: 10.1111/jerd.70029. Online ahead of print.
20. Park EB, Cho YE. Single-unit fixed restoration using the automated crown shaping artificial intelligence program. J Dent Rehabil Appl Sci 2024;40:169-78.

딥러닝 기반 자동 설계 소프트웨어를 이용한 고정성 보철 제작: 증례보고

최정은 전공의, **조영은*** 조교수
단국대학교 치과대학 치과보철학교실

딥러닝(Deep learning)은 인간의 개입 없이 대규모 데이터로부터 특징을 자동으로 학습하는 모델로, 성능이 지속적으로 향상되면서 다양한 응용 분야로 활용 범위가 확대되고 있다. 치과 분야에서도 치아 우식의 탐지, 진단 및 치료 계획 수립, 임플란트 주위염의 예측 등 다양한 과정에 활용되며, 최근 보철학의 분야에서도 고정성 보철물의 디자인에 적용이 시도되고 있다. 본 증례보고에서는 2가지 딥러닝 기반 소프트웨어(Automate, Dentbird Crown)로 제작한 단일 고정성 보철물과 술자가 직접 CAD 소프트웨어(Exocad)로 제작한 보철물을 비교하였다. 인접면 접촉, 내면 및 변연 적합도, 교합, 외형 등을 비교 평가하여 주목할 만한 결과를 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

(구강회복응용과학지 2026;42(1):60-71)

주요어: computer-aided design; computer-aided manufacturing; 딥러닝

*교신저자: 조영은
(31116)충청남도 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 치과보철학교실
Tel: 041-550-1924 | Fax: 041-559-7898 | E-mail: yecho77@hanmail.net
접수일: 2025년 12월 15일 | 수정일: 2026년 1월 12일 | 채택일: 2026년 1월 22일