ORIGINAL ARTICLE

https://doi.org/10.22974/jkda.2022.60.5.001

투고일 : 2022. 1. 12 심사일 : 2022. 2. 9 게재확정일 : 2022. 3. 8

1

디지털 셋업 모형에서 제작된 jig를 이용한 두 가지 브라켓 간접 접착 방법의 정확성 비교

이종현, *최동순, 장인산, 차봉근

강릉원주대학교 치과대학 치과교정학교실

간추린 제목 : 브라켓 간접 접착법의 정확성

ORCID ID
Jong-Hyeon Lee, https://orcid.org/0000-0002-4410-5643
Dong-Song Choi, https://orcid.org/0000-0002-2892-2002
Insan Jang, https://orcid.org/0000-0001-7946-9212
Bong-Kuen Cha, https://orcid.org/0000-0001-5699-9421

ABSTRACT

Comparison of accuracy of two indirect bonding methods using a jig fabricated from digital setup model

Jong-Hyeon Lee, Dong-Song Choi, Insan Jang, Bong-Kuen Cha

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

Aim: To evaluate the accuracy of indirect bonding using a jig fabricated from the digital setup model.

Materials and Methods: Total 120 bracket jigs for the maxillary teeth were fabricated using computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) from 10 maxillary digital setup models. Brackets were bonded using the jigs on five models (Group 1), and using the jigs and additional vacuum tray on five models (Group 2). The models were scanned again and superimposed with each initial digital models for evaluation of bonding accuracy.

Results: Indirect bonding using CAD/CAM jigs showed the average bonding error of ± 0.1 mm at linear measurement and ± 2.0°at angular measurement except labio-lingual inclination (3.36°) at the premolar of Group 1. The bonding accuracy were not statistically different between both groups.

Conclusions: CAD/CAM jigs can transfer the bracket to the desired position regardless of whether additional vacuum tray is used or not, and this indirect bonding system provides clinically acceptable accuracy.

Key words : Accuracy, Bracket, Bonding, Digital model, Superimposition

Corresponding Author
Dong-Soon Choi, DDS, MSD, PhD, Professor
Department of Orthodontics, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University
E-mail : dschoi@gwnu.ac.kr

ACKNOWLEDGEMENT 이 논문은 2019년도 강릉원주대학교치과병원 학술연구조성비(SR1903) 지원에 의하여 수행되었음.

I. 서론

고정식 교정장치를 이용한 교정 치료 중 불필요한 교정 호선의 굴곡과 브라켓 재접착을 최소화하면서 좋은 치아 배열과 우수한 치료 결과를 얻기 위해서는 초기 브라켓 접착 단계에서 의도한 위치에 정확하게 브라켓을 접착시키는 것이 중요하다. 1972년 Silverman 등[1]은 브라켓을 먼저 석고 모형의 치아에 접착시킨 후에 custom tray를 제작하여 브라켓을 환자의 치아로 이동(transfer)시키는 소위 간접 접착법(indirect bonding method)을 소개하였다. 간접 접착법은 직접 접착법에 비해 더 나은 시야 확보, 과개선(overcorrection)의 용이성, 높은 재현성, 술식 시간 감소 등의 측면에서 우수성이 입증된 바 있다[2]. 간접 접착법에는 전통적으로 polyvinyl siloxane(PVS), putty, vacuum-form 등 다양한 재료와 방법의 transfer tray가 개발되어 지금까지도 사용되고 있다[3~7].

한편, 3차원(3D) 디지털 기술의 발전과 함께 최근에는 디지털 모형을 통해 computer-aided designed and computer-aided manufacturing(CAD/CAM) 기술을 이용하여 교정용 브라켓을 접착시키는 간접 접착법도 소개되었다[8~11]. Incognito system(Ormco, Orange, California), Suresmile system(Orametrix, Inc., Richardson, Texas), Orapix system(Cenos, Seoul, Korea)은 CAD/CAM 기술을 이용하여 브라켓 간접 접착법을 위한 transfer jig를 제공하는 상업 회사들이다. Jig를 만드는 과정은 회사마다 약간의 차이는 있으나, Orapix system을 예로 들어 설명하면 환자의 치열을 직접 스캔하거나 혹은 석고 모형을 스캔하고, 스캔된 디지털 모형으로 3TxerTM(Orapix, Seoul, Korea)와 같은 소프트웨어를 이용하여 이상적인 교합으로 치열을 셋업한다. 이 디지털 셋업 모형에 교정용 브라켓이 최적합되도록 가상으로 위치시키고, 그 위치 그대로 환자의 치아에 브라켓을 접착시킬 수 있도록 브라켓마다 개별화된 transfer jig를 형상화한 후, 이를 3D 프린터로 출력하여 제작한다(Fig. 1). Jig를 이용하여 브라켓을 접착할 때에는 치아 한 개씩 브라켓을 접착시켜야 하므로 전통적으로 사용해왔던 여러 치아를 한번에 접착시키는 tray 방식 보다 시간 소모가 크다. 이런 임상가의 불편함을 줄여주기 위해 Orapix system은 jig를 이용하여 모형에 브라켓을 접착한 후에 이를 다시 진공 압축 방식으로 제작한 vacuum tray를 치아별 jig와 함께 제공하여, 임상가가 jig 또는 vacuum tray를 선택하여 사용할 수 있게 한다.

어떤 방법이 되었든 간접 접착법에서 가장 중요한 것은 브라켓을 의도했던 위치에 정확하게 접착시키는 것이다. 실리콘이나 vacuum tray를 이용하는 전통적인 간접 접착법의 정확성에 대해서는 많은 연구가 있어 왔고, 대체로 모두 임상적으로 수용할 만한 매우 작은 오차를 보여주었으며, 실리콘이 vacuum tray에 비해 다소 높은 정확성을 보여주었다[12,13]. Son 등[14]은 CAD/CAM 방법으로 제작된 jig를 사용하여 양호한 치료 결과를 보고하였으나, 이 증례보고는 브라켓의 접착 정확도에 관해서는 상세한 정보를 다루지 않았다. 최근에 Kim 등[15]은 구치부에서의 CAD/CAM jig를 이용한 간접 접착법의 정확성에 관해 연구했고, 교두의 높이가 높을수록 브라켓 접착 정확도는 낮아지는 경향에 주목했으나, 구치부 외에 다른 치아에서의 접착 정확성은 다루지 않았다. 이렇듯 CAD/CAM jig를 이용한 브라켓 간접 접착법의 정확성에 관해서는 여전히 그 정보가 많이 부족하고, 더구나 jig와 vacuum tray를 함께 사용할 경우에는 기공 과정이 더 추가되므로 브라켓의 접착 정확성에 영향을 줄 가능성이 높아진다고 생각할 수 있다.

이번 연구의 목적은 디지털 셋업 모형에서 CAD/CAM 기술로 제작한 jig를 이용한 간접 접착법과 jig와 vacuum tray를 복합적으로 사용한 간접 접착법의 정확성을 전치부터 구치까지 치아별로 비교 평가하는 것이었다.

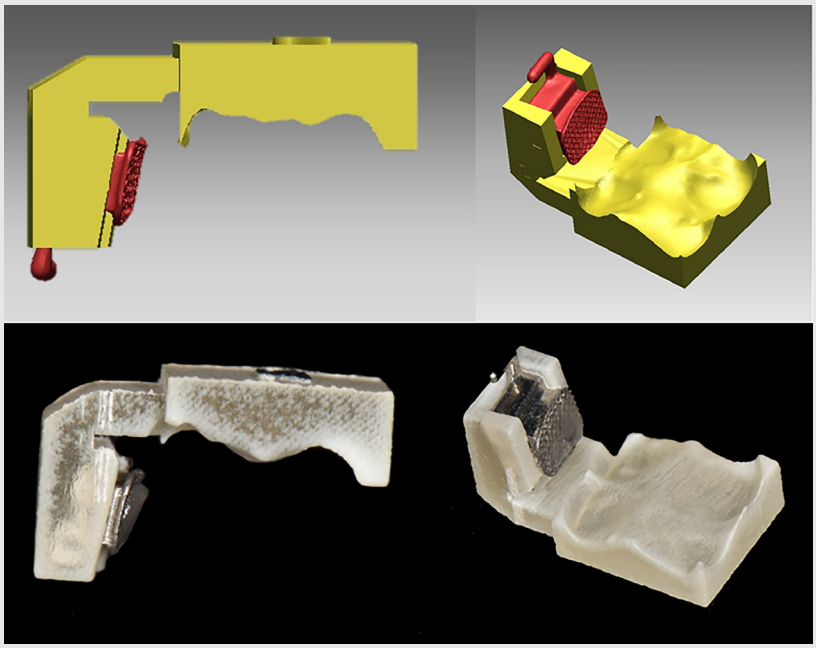

Fig. 1. Fabrication of transfer jig for indirect bonding.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

이 연구를 위해 중등도 이하의 총생을 보이는 10개의 상악 석고 모형을 수집하였다. 10개 중에서 5개의 모형은 CAD/CAM으로 제작한 jig 만을 사용하여 브라켓을 접착하는 Jig group(Group 1)으로, 나머지 5개의 모형은 jig와 vacuum tray 를 복합적으로 사용하여 브라켓을 접착하는 Jig and Vacuum tray group(Group 2)으로 구분하였다. Group 1과 Group 2의 구분은 별도의 선정기준 없이 임의로 정하였으며, 각 그룹별로 총 60개의 치아 즉, 중절치, 측절치, 견치, 제1소구치, 제2소구치, 제1대구치에 각각의 간접 접착법으로 브라켓을 접착하였고, 사용된 브라켓은 0.022 inch slot의 금속 브라켓(3M Unitek, 3M, USA)이었다.

2. 연구방법

1) Jig를 이용한 간접 접착법 (Group 1)

석고 모형을 3D 스캐너(Freedom HD, DOF, Korea)를 이용하여 스캔하여, STL 파일 형식의 디지털 가상 모형을 제작하였다. 그리고 이 디지털 모형을 3D 프린터(Projet MJP 3600 Series, 3D Systems, USA)로 다시 출력하여 실제 환자 대신 브라켓을 접착시킬 초기 모형(Initial model; I-model)을 준비하였다(Fig. 2).

가상(virtual)의 디지털 모형에서 3TxerTM(Orapix, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 브라켓 위치를 결정

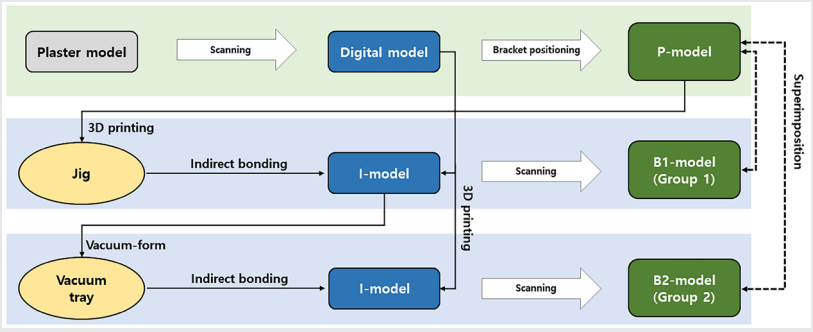

Fig. 2. Schematic diagram on fabrication of jig and vacuum tray and evaluation of bonding accuracy.

하였다. 브라켓 위치를 정하기 전에 디지털 모형의 모든 치아들을 치간 접촉점에서 분할(segmentation)한 후, 좋은 치아 배열 상태로 다시 정렬시키는 셋업(set-up) 과정을 거쳤다. 셋업 모형에 가상의 브라켓을 위치시키고, 브라켓과 치아 교합면을 연결하는 가상의 jig를 형상화 시켰다. Jig 형상을 polyjet type의 3D 프린터(Projet MJP 3600 Series, 3D Systems Co., Rock Hill, SC, USA)로 출력함으로써 transfer jig를 제작하였다(Fig. 1). 이 transfer jig를 이용하여 I-model에 브라켓 접착제 Transbond™ XT Light Cure Adhesive(3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 이용하여 통법대로 브라켓을 접착시켰다. 브라켓 접착의 정확도 비교를 위해서 브라켓이 접착된 상태로 다시 스캔(Trios 3, 3Shape, Copenhagen, Denmark)하여 브라켓이 접착된 디지털 모형, B1-model을 만들었다.

앞서 jig를 형상화 시키기 위해 만들었던 가상 셋업 모형은 jig 형상 없이 브라켓과 치아 사이의 위치 정보만을 유지시키면서 치열은 이전의 부정교합 상태로 되돌려 놓음으로써 브라켓이 실제 환자의 초기 치열에서 어디에 접착되어야 하는지를 보여줄 수 있는 계획 모형(Planned model; P-model)을 추가적으로 만들었다. 이렇게 브라켓을 접착 후 스캔한 B1-model과 가상으로 브라켓이 위치되어 있는 P-model을 중첩하여 비교함으로써 브라켓의 접착 정확도를 평가하였다(Fig. 2).

2) Jig와 Vacuum tray를 이용한 간접 접착법(Group 2)

Group 2도 group 1과 마찬가지로 CAD/CAM으로 제작된 transfer jig를 이용하는 것까지는 동일하다. 차이는 jig를 이용하여 바로 대상 치아에 브라켓을 접착시키는 것이 아니라, 먼저 별도의 모형에 개별 치아마다 jig를 이용하여 브라켓을 부착한 후, 접착된 브라켓 전체를 포함하는 vacuum tray를 추가로 제작하는 것이다. Vacuum tray는 악궁 전체를 피개하는 one piece 형태 또는 임상가의 편의를 위해서 전방부와 좌우 구치부로 분리하는 three pieces 형태로 제작될 수 있는데, 이번 연구에서는 2.0mm 두께의 vacuum tray(Track® B, Forestadent, Germany)를 진공 압축 성형 방식으로 제작하여 three pieces 형태로 준비하였다(Fig. 3). Vacuum tray를 사용하여 group 1과 동일한 브라켓 접착제를 이용하여 I-model에 브라켓을 접착하였다. 브라켓이 접착된 모형을 정확도 비교를 위해서 다시 스캔하여 디지털 모형, B2-model을 만들고, B2-model과 해당 환자의 P-model을 중첩하여 비교함으로써 브라켓의 접착 정확도를 평가하

Fig. 3. Vacuum tray for indirect bonding.

였다(Fig. 2).

3) 간접 접착법의 정확도 평가

앞서 설명한 대로 jig를 이용한 간접 접착법(Group 1)과 jig와 vacuum tray를 이용한 간접 접착법 (Group 2)으로 브라켓을 접착한 후 그 모형을 다시 스캔하여 각각 B1-model, B2-model로 준비하였다. B1-model과 B2-model은 각각의 원래 계획 모형인 P-model과 디지털 중첩(superimposition)을 시켰고, 계측을 위한 3차원 좌표계는 P-model에서 절치 유두를 원점으로 하여 설정하였다(Fig. 4). 디지털 모형의 중첩은 브라켓 외에는 위치의 변화가 없을 것으로 간주되는 치아와 구개면을 이용하여 최적중첩법(best-fit method)을 이용하여 중첩시켰고, 모형 중첩과 계측을 위해 범용 소프트웨어 Rapidform XOR3(INUS Technology, Seoul, Korea)를 사용하였다.

브라켓 위치와 각도 변화를 3차원적으로 평가하기 위해 양측 상악 중절치, 측절치, 견치, 제1소구치, 제2소구치, 제1대구치의 브라켓 base에 총 4개의 점을 표시하였다(Fig. 5). 브라켓 계측점은 Yun 등[16]의 방법, 즉 point 1, 2, 3은 브라켓 베이스 부분에서 각각 근심 치경부의 모서리, 근심 교합면의 모서리, 원심 교합면의 모서리로 정의하였고, point 4는 point 1과 3의 중점으로 정의하였다.

Point 4로부터의 시상면, 관상면, 수평면까지의 거리를 측정하여, 계획된 위치와 실제 접착 후의 3차원적인 위치 차이를 평가하였다. Point 2와 3을 잇는 선을 수평면(X-Z plane)에 투사한 선으로 회전(rotation) 변화를 평가하였다. Point 1, 2, 3으로 생성된 면과 수평면(X-Z plane)의 각도가 브라켓의 순설측 경사(labio-lingual inclination)를 평가하기 위해서 측정되었다. Point 1과 point 2를 잇는 선을 이용하여 근원심 경사(mesio-distal angulation)의 차이를 평가하였다(Fig. 6).

B-model과 P-model간의 브라켓 위치 차이를 평가한 값에서 양의 값은 전방, 외측방, 정출성 위치 변화를, 각도 계측에서는 근심경사, 순측경사, 근심설측 회전을 의

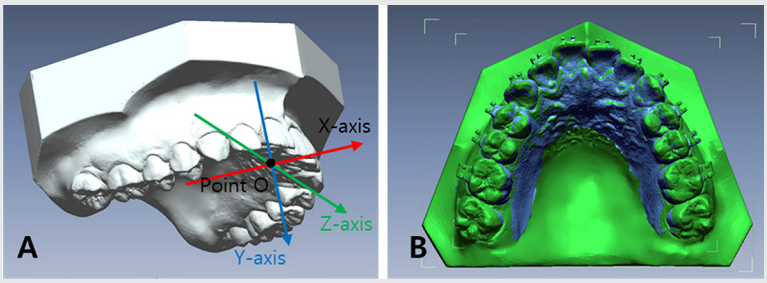

Fig. 4. A. 3-dimensional coordinate system for evaluation; B. Superimposition of P-model and B-model by best-fit method.

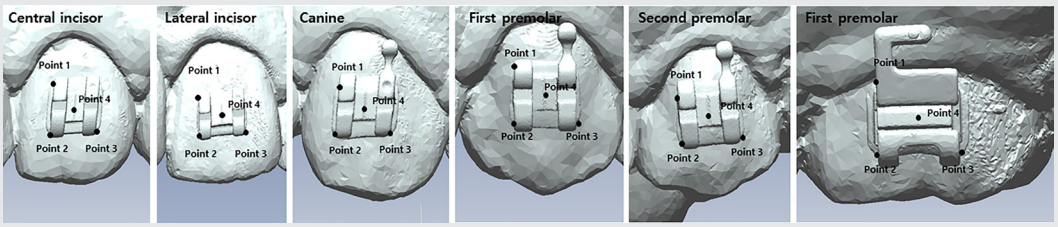

Fig. 5. Reference points for evaluation of the bracket position. Point 1, the mesio-gingival point of bracket tube base; Point 2, the mesio-occlusal point of the bracket or tube base; Point 3, the disto-occlusal point of the bracket or tube base; Point 4, the midpoint of the Point 1 and Point 3.

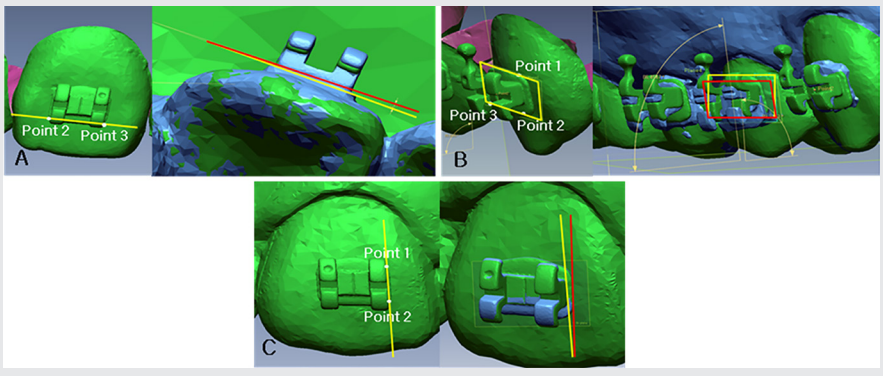

Fig. 6. Measurements of angular differences of the bracket position between the B-model (red line) and P-model (yellow line). A. Rotation; B. Bucco-lingual inclination; C. Mesio-distal angulation.

미하는 것으로 표시하였다. Group 1과 Group 2 간의 브라켓 접착 정확도의 차이는 Mann-Whitney U-test를 사용하여 검정하였다. 통계적인 유의성은 P<0.05 로 정의하였고, 통계 분석을 위해 SPSS 소프트웨어 version 25.0(IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하였다.

III. 연구결과

가상의 디지털 모형에서 계획했던 브라켓 위치(P-model)와 3D 프린팅으로 제작한 jig (Group 1)와 jig 및 vacuum tray (Group 2)를 이용하여 실제로 간접 접착법으로 브라켓을 접착한 이후의 브라켓 위치(B-model)의 차이를 Table 1에 요약하였다.

전치부에 접착된 브라켓의 위치는 전후방적으로 Group 1은 평균 0.14mm, Group 2는 평균 0.11mm의 차이를 보이며 계획했던 위치보다 평균적으로 더 순측에 접착되는 것으로 보였고, 통계적으로 군간 차이는 없었다. 나머지 치아에서는 전후방적으로, 측방적으로, 수직적으로 모두 평균 0.1mm 이내의 차이를 보였고, 역시 통계적으로 군간 차이가 없었다.

근원심 경사의 차이는 Group 1의 전치에서 평균 -0.47°, Group 2에서 평균 -1.03°를 보여 계획했던 위치보다 약간 더 원심경사 되어 접착되는 것으로 보였고, 통계적으로는 군간 차이는 없었다. 그 외에 Group 1의 대구치에서, 그리고 Group 2의 견치에서 각각 -0.56°, -0.58°의 차이를 보였고 나머지 치아에서는 모두 0.5° 미만의 차이만을 보였다. 브라켓의 순설측 경사 차이는 Group 1의 전치에서 평균 -1.11°, 소구치에서 평균 3.36°, 대구치에서 평균 1.03°의 차이를 보였으나, Group 2와는 통계적 차이를 보이지 않았다. 브라켓의 회전은 전치에서 Group 1이 평균 -1.46°, Group 2가 평균 -1.53°의 차이가 있었으나, 통계적으로 군간 차이는 없었다.

평균적으로 군간 차이는 없었지만, 거리 계측에서 가장 큰 차이를 보인 것은 Group 2의 전치에서 -0.55mm의 차이를 보인 측방 계측치였으며, 계획보다 더 내측(근심측)으로 접착된 결과를 보여 주었다. 각도 계측치에서는 가장 큰 차이를 보인 것은 Group 2의 소구치에서 -8.12°의 차이를 보인 순설측 경사였다. 군간 차이는 없었지만, 회전에 대한 오차는 전치와 견치에서 더 큰 경향을 보였고, 순설측 경사의 오차는 소구치에서 더 큰 경향을 보였다.

IV. 고찰

심한 총생의 경우에는 가상 모형에서 개별 치아를 깨끗하게 분리하는 것도 어렵고 치열이 어느정도 배열되기 전까지는 브라켓을 접착시킬 수 없는 문제가 있으므로 이번 연구에 선택된 모형은 중등도 이하의 총생을 갖는 모형을 선택했으며, 그 외에 Class I, II, III 등의 다른 부정교합 여부는 고려하지 않았다. 이번 연구는 디지털 모형에서 정한 가상의 브라켓 위치와 간접 접착법으로 브라켓을 접착시킨 후에 스캔한 디지털 모형을 소프트웨어를 이용하여 중첩시킴으로써 브라켓의 접착 정확도를 평가하였다. 이전의 연구들도 이번 연구와 같이 두 모형에서 변화되지 않은 부위를 기준 부위로 best-fit 중첩을 시행하여 비교 분석하였다[15,17,18]. 그런데 정밀한 스캐너라 하더라도 크기가 작은 브라켓의 복잡한 구조물까지 세밀하게 스캔하는 데는 한계가 있을 수 있고[19], 또 스캐너 간의 해상도 차이, 스캔할 때마다 변하는 미세한 픽셀 이미지의 변화로 인해 같은 브라켓이라 하더라도 완벽히 동일한 위치에 계측점을 찍는 것은 어려운 일이다. 따라서 이번 연구는 계측점 인기에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해서 별도로 P-model의 브라켓 이미지를 따로 분리하여 B-model의 브라켓과 best-fit 방법으로 중첩시킨 후 브라켓 이미지 만을 치환시킴으로써 브라켓 계측점 point 1, 2, 3, 4를

Table 1. Linear and angular bonding errors and differences between Group 1 and Group 2

		Group 1 (Jig)					Group 2 (Jig and vacuum tray)					Mann-Whitney	
Tooth	Measurements	Mean	SD	Median	Min	Max	Mean	SD	Median	Min	Max	P-value	Sig.
Incisors													
	Anteroposterior (mm)	0.14	0.09	0.15	−0.02	0.26	0.11	0.10	0.14	−0.08	0.20	0.989	ns
	Lateral (mm)	−0.06	0.09	−0.04	−0.30	0.04	−0.06	0.20	−0.04	−0.55	0.19	0.883	ns
	Vertical (mm)	0.01	0.07	0.03	−0.11	0.09	0.06	0.12	0.02	−0.02	0.40	0.242	ns
	Mesiodistal angulation (deg)	−0.47	1.64	−0.34	−3.31	2.86	−1.03	1.48	−0.68	−3.97	0.92	0.495	ns
	Labiolingual inclination (deg)	−1.11	2.33	−1.51	−4.08	2.86	−0.72	1.12	−0.73	−3.00	1.03	0.478	ns
	Rotation (deg)	−1.46	1.52	−1.02	−5.28	−0.18	−1.53	0.50	−1.42	−2.44	−0.93	0.414	ns
Canine													
	Anteroposterior (mm)	−0.04	0.05	−0.05	−0.13	0.04	0.02	0.11	0.00	−0.12	0.20	0.280	ns
	Lateral (mm)	0.01	0.08	0.00	−0.11	0.21	−0.03	0.07	−0.03	−0.14	0.12	0.218	ns
	Vertical (mm)	−0.07	0.12	−0.09	−0.28	0.11	0.01	0.06	0.01	−0.10	0.12	0.052	ns
	Mesiodistal angulation (deg)	0.10	2.07	0.08	−2.31	3.68	−0.58	2.03	−0.83	−4.23	2.62	0.579	ns
	Labiolingual inclination (deg)	0.08	2.35	0.39	−5.99	2.20	0.99	1.66	1.09	−1.46	3.87	0.579	ns
	Rotation (deg)	1.36	1.94	1.93	−2.43	4.02	0.39	1.40	0.40	−1.88	2.79	0.247	ns
Premolar													
	Anteroposterior (mm)	0.02	0.09	0.02	−0.16	0.14	−0.06	0.10	−0.07	−0.21	0.07	0.678	ns
	Lateral (mm)	−0.10	0.08	−0.08	−0.21	0.01	0.00	0.22	0.05	−0.52	0.20	0.149	ns
	Vertical (mm)	0.07	0.21	0.06	−0.35	0.48	−0.07	0.15	−0.05	−0.34	0.11	0.478	ns
	Mesiodistal angulation (deg)	−0.10	0.54	−0.02	−1.27	0.62	−0.09	0.84	0.16	−1.40	1.03	0.327	ns
	Labiolingual inclination (deg)	3.36	2.86	2.84	0.17	7.85	0.78	3.84	1.63	−8.12	5.69	0.414	ns
	Rotation (deg)	0.01	0.81	−0.04	−1.05	1.32	0.66	1.15	0.58	−0.68	2.85	0.478	ns
Molar													
	Anteroposterior (mm)	−0.06	0.07	−0.06	−0.18	0.05	−0.08	0.12	−0.05	−0.31	0.06	1.000	ns
	Lateral (mm)	0.00	0.08	−0.01	−0.13	0.12	−0.01	0.17	0.07	−0.41	0.16	0.579	ns
	Vertical (mm)	0.00	0.05	0.00	−0.10	0.09	0.02	0.17	0.02	−0.24	0.34	0.796	ns
	Mesiodistal angulation (deg)	−0.56	1.15	−0.42	−2.39	1.54	−0.03	0.91	−0.20	−1.35	1.66	0.218	ns
	Labiolingual inclination (deg)	1.03	1.18	1.14	−0.82	2.78	0.16	1.30	0.48	−2.16	1.69	0.280	ns
	Rotation (deg)	0.12	0.88	−0.06	−0.94	1.58	−0.33	0.65	−0.28	−1.63	0.49	0.393	ns

완벽히 동일한 점에 찍을 수 있게 하였다. 또, 구강 스캐너의 경우 악궁 전체를 스캔하는 과정 중에 약간의 치열궁의 왜곡(distortion)이 발생할 수 있고[20], 이는 접착 정확도 평가에 대한 잠재적인 오류의 원인이 될 수 있다. 따라서 본 연구는 스캔 중 발생할 수도 있는 악궁의 미세한 왜곡에 의한 모형간 중첩 오차를 줄이기 위해서 악궁을 3개, 즉 전방부와 좌우 측방부로 나누어 중첩을 시행하였고, 그 상태로 각각의 브라켓 위치 차이를 측정하였다.

이번 연구 결과 브라켓의 접착 정확도는 전반적으로 매우 우수한 접착 정확도를 보여주었다. 거리 항목에서 오차의 평균값이 가장 큰 치아는 Group 1의 전치 전후방 값에서 관찰되었고 불과 0.14mm였다. 한편 모든 치아를 통틀어 가장 큰 오차는 Group 2의 전치의 측방적 위치값에서 -0.55mm로서 계획한 위치보다 약간 더 근심측으로 접착되었다. 비록 작은 수치이긴 하지만 전치가 견치, 소구치, 대구치에 비하여 근원심으로 더 큰 오차를 보여준 이유는 아마도 전치의 절단면 형태가 다른 치아의 교합면 형태와 달리 직선형에 가까워 잠재적으로 근원심으로 오차가 발생할 가능성이 있는 것 같다. Kim 등[15]의 연구에서는 대구치의 브라켓 접착 정확도가 근원심과 협설측으로 0.5mm를 넘지 않았으나, 수직적으로는 대조군과 실험군에서 최대 오차 값이 0.54mm와 0.71mm로서 본 연구 보다는 다소 높게 측정되었다. Park 등[17]의 연구에서도 브라켓은 다소 교합면 쪽으로 접착되는 경향을 보이며 수직적으로 가장 큰 오차를 보였고, 그 다음 순위로 근원심 오차 였는데 방향은 본 연구와 같이 약간 근심으로 접착되는 경향을 보고하였다.

이번 연구에서 Group 1과 Group 2 모두 세가지 방향의 각도 중에서 순설측 경사가 나머지 각도, 즉 근원심 경사와 회전에 비해서 더 큰 오차를 보여주었다. 최대 오차는 소구치에서 관찰되었고, jig만을 이용했을 때 7.85°(순측 경사), jig와 vacuum tray를 이용했을 때 -8.12°(설측 경사)로 관찰되었다. 순설측으로의 최대 오차가 Group 1과 Group 2 샘플에서 서로 반대 방향으로 발생한 이유는 정확히 알 수 없으나, 소구치는 전치와 견치에 비해 브라켓의 접착 위치가 교합면에 가까워 jig가 치아의 순면을 충분히 덮을 수 없고, 또 대구치에 비해서는 치아의 교합면 면적이 작아서 치아의 교합면도 충분히 이용할 수 없는 것이 이유일 수 있다. 혹은 상악 소구치용 브라켓이 다른 상악 중절치, 견치, 대구치의 브라켓에 비해 크기가 다소 작은데, 이런 이유로 브라켓을 jig에 연결시키는 과정에서 오차가 발생하는 것일 수도 있다. 보통 022-inch slot의 브라켓에서 019x025-inch의 각형 와이어를 삽입했을 때 브라켓과 와이어 사이의 순설측 경사에 대한 play는 약 ±10° 정도로 보고된 바 있다[21,22]. 따라서 브라켓 접착 중에 발생할 수도 있는 오차에 브라켓과 와이어 간의 play까지 결합되었을 경우에는 임상가가 계획했던 치아의 순설측 각도를 조절하는 데 어려움을 겪을 가능성이 있다. 특히 이런 가능성은 소구치에서 더 발생할 가능성이 크므로 CAD/CAM jig를 이용한 간접 접착시에 세심한 주의가 필요하다고 사료된다. 소구치에서 순설측 경사를 제외하고는 나머지 모두 ABO 기준[23]이나, 이전의 다른 논문[24]에서 제시한 0.5mm, 2.0°이내라는 기준을 충족시켰다. Park 등[17]은 본 연구와 같은 CAD/CAM으로 제작한 jig를 이용한 간접 접착법의 정확도를 경도 또는 중등도의 총생을 갖는 전치부에서 resin base의 유무로 나누어 평가하였는데 본 연구 보다는 더 작은 순설측 각도 오차를 보고하였다. 그 연구에서는 가상의 브라켓과 실제 접착 후 스캔한 브라켓 이미지의 중앙에 3차원적 축을 직접 만들고 축간의 각도를 측정함으로써 브라켓 접착 정확도를 평가하였는데, 그들이 사용한 브라켓은 자가결찰 브라켓이라서 slot을 cap이 덮고 있는 구조였기 때문에 순설측 각도를 잘 구별할 수 없었을 수도 있다.

Jig를 이용한 간접 접착법의 경우 교정치료 중에 브라켓이 탈락하여 재접착이 필요한 경우에도 해당 치아에만 브라켓을 접착시킬 수 있는 장점이 있으나, 개별 치아에 하

나 하나 브라켓을 접착해야 하므로 다소 번거롭고 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 한편 jig 외에 vacuum tray를 복합적으로 사용하면 진료실에서의 간접 접착 시간을 줄일 수 있지만, 이 방법의 경우 jig만을 이용한 간접 접착법 보다 기공 과정이 추가되므로 오차도 증가할 가능성이 있다고 생각되었다. 하지만, 이번 연구에서 jig 만을 이용한 Group 1과 jig와 vacuum tray를 복합적으로 사용한 Group 2 간에 브라켓의 접착 오차는 통계적으로 유의할 만한 차이가 없었으므로, 임상가는 jig만을 사용하는 방법과 jig와 vacuum tray를 복합적으로 사용하는 방법을 편의에 따라 선택하면 될 것으로 사료된다. 참고로 CAD/CAM으로 제작한 hard acrylic tray와 soft one-layer silicone tray를 이용한 간접 접착법의 정확도 비교 연구에서 두 방법 모두 임상적으로 받아들일 수 있으나 hard acrylic tray의 정확도가 다소 부족하였다[18]. 그러나 이번 연구는 개별 치아에 jig를 사용하여 브라켓을 모형에 임시 접착한 후에 vacuum tray를 진공 압축으로 제작하는 방식이기 때문에 CAD/CAM으로 직접 acrylic tray를 제작하는 이전 연구와는 tray 제작 방식에서 차이가 있어 직접적인 비교는 어렵다. 이번 연구는 실험실 환경에서 실시한 연구라는 한계가 있다. 실제 진료실 환경 및 구강내에서 브라켓을 접착할 때에는 제한된 접근성, 접착 시 jig를 위치시키는 손가락의 압력, 접착제의 점도와 두께, 시술자의 경험, 환자의 협조 등의 다양한 변수가 간접 접착의 정확도에 영향을 줄 수 있고[25], 치아의 마모의 정도[15], 치열의 불규칙함의 정도와 레진 베이스의 유무[17]도 브라켓 간접 접착의 정확도에 미세한 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되었으므로 이런 부분에 대한 추가 연구가 필요하다.

V. 결론

디지털 셋업 모형에서 CAD/CAM 기술로 제작한 jig를 이용한 브라켓 간접 접착술과 추가적으로 vacuum tray를 복합적으로 사용한 경우의 정확도에 대한 평가 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- Jig만을 이용한 군과 jig와 vacuum tray를 복합적으로 사용한 군간에 브라켓 접착 정확도는 유의한 차이가 없었다.
- 디지털 셋업 모형에서 CAD/CAM 기술로 제작한 jig를 이용한 브라켓 간접 접착술은 vacuum tray의 사용 여부에 관계없이 임상적으로 수용할만한 정확도를 보여주었다.

참 고 문 헌

1. Silverman E, Cohen M, Gianelly AA, Dietz VS. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. Am J Orthod 1972;62(3):236-244.
2. Kalange JT. Indirect bonding: A comprehensive review of the advantages. World J Orthod 2004; 5(4): 301-307.
3. 차봉근. 교정용 브라켓의 간접 접착법. 대한치과의사협회지 1999;37(7):530-535.
4. Klocke A, Shi J, Kahl-Nieke B, Bismayer U. Bond strength with custom base indirect bonding techniques. Angle Orthod 2003;73(2):176-180.
5. Moskowitz EM, Knight LD, Sheridan JJ, Esmay T, Tovilo K. A new look at indirect bonding. J Clin Orthod 1996;30(5):277-281.
6. Read MJF, O'Brien KD. A clinical trial of an indirect bonding technique with a visible light-cured adhesive. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990;98(3):259-262.
7. Shiau JY, Rasmussen ST, Phelps AE, Enlow DH, Wolf GR. Bond strength of aged composites found in brackets placed by an indirect technique. Angle Orthod 1993;63(3):213-220.
8. 차정열. CAD/CAM 기술을 활용한 최신 교정치료-교정진단에서 간접 부착술식까지. 대한치과의사협회지 2014;52(1):17-26.
9. Garino F, Garino GB. Computer-aided interactive indirect bonding. Prog Orthod 2005;6(2):214-623.
10. Mayhew MJ. Computer-aided bracket placement for indirect bonding. J Clin Orthod 2005;39(11):653-660.
11. Redmond WJ, Redmond MJ, Redmond WR. The OrthoCAD bracket placement solution. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004;125(5):645-646.
12. Castilla AE, Crowe JJ, Moses JR, Wang M, Ferracane JL, Covell DA, Jr. Measurement and comparison of bracket transfer accuracy of five indirect bonding techniques. Angle Orthod 2014;84(4):607-614.
13. Schmid J, Brenner D, Recheis W, Hofer-Picout P, Brenner M, Crismani AG. Transfer accuracy of two indirect bonding techniques-an in vitro study with 3D scanned models. Eur J Orthod 2018;40(5):549-555.
14. Son KH, Park JW, Lee DK, Kim KD, Baek SH. New virtual orthodontic treatment system for indirect bonding using the stereolithographic technique. Korean J Orthod 2011;41(2):138-146.
15. Kim J, Chun YS, Kim M. Accuracy of bracket positions with a CAD/CAM indirect bonding system in posterior teeth with different cusp heights. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2018;153(2):298-307.
16. Yun D, Choi DS, Jang I, Cha BK. Clinical application of an intraoral scanner for serial evaluation of orthodontic tooth movement: A preliminary study. Korean J Orthod 2018;48(4):262-267.
17. Park JH, Choi JY, Kim SH, Kim SJ, Lee KJ, Nelson G. Three-dimensional evaluation of the transfer accuracy of a bracket jig fabricated using computer-aided design and manufacturing to the anterior dentition: An in vitro study. Korean J Orthod 2021;51(6):375-386.
18. Pottier T, Brient A, Turpin YL, Chauvel B, Meuric V, Sorel O, Brezulier D. Accuracy evaluation of bracket repositioning by indirect bonding: hard acrylic CAD/CAM versus soft one-layer silicone trays, an in vitro study. Clin Oral Investig 2020;24(11):3889-3897.
19. Jung YR, Park JM, Chun YS, Lee KN, Kim M. Accuracy of four different digital intraoral scanners: Effects of the presence of orthodontic bracket. Int J Comput Dent 2016;19(3):203-215.
20. Park GH, Son K, Lee KB. Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan. J Prosthet Dent 2019;121(5):803-810.
21. Creekmore TD. Dr. Thomas D. Creekmore on torque. J Clin Orthod 1979;13(5):305-310.
22. Dellinger EL. A scientific assessment of the straight-wire appliance. Am J orthod 1978;73(3):290-299.
23. Casko JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE Jr., Bills ED. Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. American Board of Orthodontics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;114(5):589-599.
24. Xue C, Xu H, Guo Y, Xu L, Dhami Y, Wang H, Liu Z, Ma J, Bai D. Accurate bracket placement using a computer-aided design and computer-aided manufacturing-guided bonding device: an in vivo study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2020;157(2):269-277.
25. Grünheid T, Lee MS, Larson BE. Transfer accuracy of vinyl polysiloxane trays for indirect bonding. Angle Orthod 2016;86(3):468-474.