

삼차원 디지털 치아 모형의
가상 셋업과
석고 모형을 이용한 셋업의 비교

연세대학교 대학원
치 의 학 과
임 준

삼차원 디지털 치아 모형의
가상 셋업과
석고 모형을 이용한 셋업의 비교

지도교수 차 정 열

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2012년 12월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

임 준

임 준의 석사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2012년 12월 일

감사의 글

이 논문의 시작부터 완성되기까지 부족한 저를 이끌어 주시고 따뜻한 배려와 큰 관심으로 가르쳐 주신 차정열 지도 교수님께 진심으로 감사 드리며, 바쁘신 와중에도 진심 어린 조언과 큰 관심으로 부족한 논문을 세심하게 살펴주신 유형석 교수님과 이기준 교수님께 깊이 감사 드립니다. 또한 3년의 수련기간 동안 배움의 즐거움을 알게 해주신 박영철 교수님과 백형선 교수님, 황충주 교수님, 김경호 교수님, 정주령 교수님, 최윤정 교수님께 감사 드립니다.

교정학에 입문할 수 있는 기회를 주시고, 학문적 가르침 뿐 만 아니라 교정의사로서의 마음가짐과 태도를 일깨워 주신 이지연 선생님과 김정훈 선생님께 고개 숙여 감사의 인사를 드립니다.

의국 생활 동안 큰 힘이 되어 주신 의국 선배님들과 후배님들, 직원분들께 감사드리며, 특히 의국 선배님이신 유태권 선생님과 후배 김진석, 김경원 선생, 힘들 때 마다 위로가 되어준 고마운 친구, 이태윤, 정진준, 조훈, 한세민에게도 이 자리를 빌려 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 지금까지 사랑과 믿음, 정성으로 키워주신 부모님과 의지할 수 있는 버팀목이 되어준 형에게 진심으로 감사하고, 또 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

2012년 12월

저자 씀

차 례

표 차례	iii
그림 차례	iv
국문 요약	v
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 방법	4
가. 연구대상	4
나. 연구방법	4
1. 삼차원 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형을 이용한 셋업	4
2. 측정	5
1) 기준점 및 기준평면의 설정	5
2) 길이 측정	7
3) 각도 측정	8
4) ABO OGS	8
3. 통계 분석	14
III. 연구 결과.....	15
가. 조사자내 오차 검증	15
나. 두 셋업 모형의 길이 분석 및 비교	15

다. 두 셋업 모형의 대칭성 분석	15
라. 두 셋업 모형의 치아 각도 비교 분석	16
마. 두 셋업 모형의 질적 평가	16
 IV. 고찰	22
 V. 결론	26
 참고 문헌	28
 영문 요약	31

표 차례

Table 1. Comparison of arch dimension between the manual and virtual setup	18
Table 2. Comparison of angular variables between the right and left side	19
Table 3. Comparison of tip, torque, rotation between the manual and virtual setup	20
Table 4. Comparison of ABO OGS between the manual and virtual setup	21

그림 차례

Fig. 1. 3D digital model and virtual setup procedure	
A. 3D digital model	
B. Segmentation and normalization	
C. Checking tooth movements and changes in angulation and inclination	
D. Virtual setup	
E. Checking arch coordination	
F. Checking occlusal contact	10
Fig. 2. Definition of landmarks on digital model	11
Fig. 3. The reference planes for linear and angular measurements	11
Fig. 4. Measurement values for arch dimensions	12
Fig. 5. Measurement of angular variables – Tip (Angulation)	13
Fig. 6. Measurement of angular variables – Torque (Inclination)	13
Fig. 7. Measurement of angular variables – Rotation	13

국 문 요 약

삼차원 디지털 치아 모형의 가상 셋업과 석고 모형을 이용한 셋업의 비교

최근 삼차원 영상 기술의 발전으로 교정 영역에서도 디지털 모형을 이용한 모형 분석 및 가상 셋업, 치아 이동의 삼차원적 분석, CAD/CAM을 이용한 개인화된 교정 장치의 제작 등 활용 범위가 확대되고 있다. 특히 정확한 브라켓 위치 설정을 위해 간접 접착법을 사용해야 하는 설측 교정에서도 다양한 방식으로 디지털 모형이 활용되고 있으며, 간접 접착법을 위한 삼차원 가상 프로그램의 이용은 모형 분석 및 가상 셋업, 교정 장치의 간접 접착을 시행할 수 있는 장점이 있다.

최근, 이러한 삼차원 가상 셋업 시스템을 이용한 교정 증례와 가상 셋업 기법에 관한 기술적인 제안에 관한 보고는 많으나, 가상 셋업의 기준이나 특징에 관한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 삼차원 디지털 모형을 이용한 가상 셋업 모형을 석고 모형을 이용한 셋업과 비교하여 가상 셋업의 특성과 한계를 파악하는 것으로, 가상 셋업 모형의 arch dimension (치열궁 폭경 및 길이, 둘레, 수평 및 수직 피개)과 치아 각도 (tip, torque, rotation), American Board of Orthodontics Objective Grading System (ABO OGS)을 고전적인 모형 셋업과 비교하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 디지털 모형의 가상 셋업은 치열궁 둘레에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었으며 상악에서는 2.20 mm ($p<0.01$), 하악에서는 1.30 mm ($p<0.05$) 작게 관찰 되었다. 또한 수평피개 및 수직피개에서도 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다. ($p<0.01$)

2. 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형의 셋업 모두 토크 (torque)의 좌우 차이는 없었으나, 경사 (tip)와 회전 (rotation)의 좌우 비교시 디지털 모형의 가상 셋업이 석고 모형의 셋업에 비해 대칭적인 배열이 가능하였다.
3. 디지털 모형의 가상 셋업은 상, 하악 전치의 근심 경사 및 상악 전치의 순측 경사의 경향 ($p<0.05$)이 있었고, 하악 전치열에서 원심 회전 경향 ($p<0.05$)이 관찰되었다.
4. ABO OGS를 통한 평가에서 디지털 모형의 가상 셋업은 overjet 과 occlusal contact에서 유의성 있는 차이 ($p<0.01$)를 보여, total score에서도 통계적으로 유의성 있는 차이 ($p<0.01$)가 관찰되었다.

디지털 모형의 가상 셋업을 통해 삼차원 가상 프로그램을 이용한 교정 진단 및 치료 영역에서 더 많은 발전을 기대할 수 있지만 디지털 모형을 이용한 셋업 시 고전적인 방식과의 차이를 인식하고 인접면과 교합 접촉에 대해 세심한 조절이 필요하다.

삼차원 디지털 치아 모형의 가상 셋업과

석고 모형을 이용한 셋업의 비교

연세대학교 대학원 치의학과

(지도 차 정 열 교수)

임 준

I. 서 론

삼차원 영상 채득 기술의 발전으로 교정 영역에서도 삼차원 디지털 모형의 이용이 증가하고 있다. 디지털 모형은 보관을 위한 부가적인 공간이 필요 없으며, 자료의 검색과 분류가 쉬우며, 정확한 분석이 가능하며, 자료의 이동이 간편하다는 장점이 있다. 삼차원 디지털 스캐너와 스캔 자료를 영상으로 구현하는 소프트웨어가 꾸준히 발전함에 따라, 삼차원 디지털 모형의 활용 폭도 넓어지고 있다.

교정 영역에서의 디지털 모형은 진단 및 치료 계획의 수립에 필요한 다양한 모형 분석(Fleming 등, 2011; Gracco 등, 2007; Leifert 등, 2009; Mayers 등, 2005; Santoro 등, 2003) 뿐만 아니라 치료 목표의 시각화를 위한 셋업(Guo 등, 2011; Macchi 등, 2006; Redmond 등, 2004), 치료 종료 후 치료 결과의 질적 평가(Costallos 등, 2005; Hildebrand 등, 2008; Okunami 등, 2007), 교정 치료 후 치아 이동의 삼차원적 분석(Cha 등, 2007; Cho 등, 2010; Mavropoulos 등, 2005; Thiruvengkatachari 등, 2009),

CAD/CAM 혹은 Rapid Prototyping technique을 이용한 개인화된 교정 장치의 제작 (Fillion, 2007; Reynolds, 2011; Wiechmann 등, 2003) 등 다양한 활용이 가능하다.

삼차원 디지털 모형은 설측 교정 영역에서도 치료 결과의 정확성 향상을 위해 활발히 활용되고 있다. 성공적인 설측 교정 치료를 위해서는 브라켓 위치 설정이 매우 중요한 역할을 하는데(Wiechmann, 1999), 설측 교정은 장치 부착을 위한 접근이 불리하고, 설측 표면이 불규칙한 이유 등으로 간접 접착법을 이용한다(Geron, 1999; Shpack 등, 2007). 간접 접착법에 필요한 브라켓의 위치와 prescription을 결정하기 위한 다양한 방법(Hiro 등, 2008; Huge, 1998; Wiechmann, 1999)이 소개되었다.

최근에는 개인화된 치료가 가능한 교정 장치의 제작을 위한 셋업 및 브라켓 위치 결정에 삼차원 디지털 모형이 활용되고 있다(Ludwig 등, 2012; Reynolds, 2011).

SureSmile[®] (Orametrix Inc., Richardson, TX)은 실시간으로 채득한 환자 구강 내 영상을 이용하여 재구성한 삼차원 모형을 이용하여 셋업을 진행한다(Mah and Sachdeva, 2001; Moles, 2009; Muller-Hartwich 등, 2007; Sachdeva 등, 2005). 또한 OrthoCAD[®] (Cadent Inc., Carlstadt, NJ)는 석고 모형을 이용하여 stereolithography 형식 (STL file)으로의 변환을 통해 디지털 모형을 제작한다. 이렇게 제작된 디지털 모형을 이용하여 가상 셋업 (virtual setup)을 시행한다(Joffe, 2004; Redmond 등, 2004). Incognito[™] appliance (3M Unitek, Monrovia, CA)는 교정 의사의 prescription에 따라 진행된 셋업 모형을 삼차원 디지털 모형으로 제작한 후 CAD/CAM을 이용하여 개인화된 브라켓을 제작한다(Grauer and Proffit, 2011; Pauls, 2010).

다른 방식으로 브라켓 부착시 Rapid prototype jig를 이용하여 간접 접착을 시행하는 Orapix 3D Dental System이 있는데, 이 시스템은 석고 모형을 삼차원 광학 스캐너로 스캔하여 제작한 삼차원 디지털 모형을 삼차원 소프트웨어를 이용하여 분석 및 진단하고, 치료 계획에 맞게 삼차원 가상 셋업을 진행한다. 그리고 최종적으로

가상 셋업 모형 상에서 브라켓 위치를 결정하고, transfer jig를 제작하게 된다 (Fillion, 2007, 2010, 2011). 이로 인해 간접 접착법의 사용에 필요한 석고 모형의 셋업 과정이 없어 가공 과정이 단순화 되고 가공 시간을 줄일 수 있다.

최근 앞서 소개한 다양한 삼차원 디지털 셋업 시스템을 이용한 교정 증례와 가상 셋업 기법에 관한 기술적인 제안, 디지털 모형의 정확성에 관한 연구는 많이 보고 되고 있으나 디지털 모형을 이용한 가상 셋업의 기준이나 특징에 관한 연구는 보고된 바 없다.

따라서 이번 연구의 목적은 개별화된 치료 목표에 맞는 prescription의 브라켓 위치 설정을 위한 필수 과정인 모형 셋업의 새로운 방법인 삼차원 디지털 모형을 이용한 가상 셋업 모형을 석고 모형을 이용한 셋업과의 비교를 통해 가상 셋업의 특징과 한계를 파악하여 디지털 모형의 가상 셋업 시 주의할 점을 알아보는 것이다.

II. 연구 대상 및 방법

가. 연구 대상

경미한 총생과 측모 돌출도를 개선하기 위해 상, 하악 제1 소구치 발치를 동반한 교정 치료 환자 10명을 대상으로 하였다. 모든 증례에서 선천적 치아 결손이나 치아 크기 부조화는 없었으며, 설측 교정 장치를 이용하였다.

나. 연구 방법

1. 삼차원 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형을 이용한 셋업

1) 디지털 모형의 제작

삼차원 디지털 모형의 제작을 위해 약 ± 15 micron의 해상도를 갖는 광학 LASER 스캐너 (Orapix KOD-500, Orapix, Korea)를 이용하여 상악과 하악, 교합된 상태에서의 상하악 모형 스캔하였다. 스캔 자료는 stereolithography (STL) 파일로 저장하고, 3Txer program (Orapix, Seoul, Korea)을 이용하여 3차원 디지털 모형으로 변환하였다. 디지털 모형의 상태 및 교합 상태는 교정 의사에 의해 최종 확인하였다.

2) 모형 셋업

실험대상자의 초진 석고 모형을 이용하여 석고 모형의 셋업과 삼차원 디지털 모형의 가상 셋업 두 가지 방식으로 진행되었다. 환자 개인의 치료계획에 따라 고정원 종류와 상, 하악 전치의 위치, 와이어 play에 의해 발생하는 토오크 상실과 회전 조절을 위한 과조정 (overcorrection)의 양 등을 교정의사가 지시하였다. 이때

견치 간 폭경과 악궁 형태는 환자 고유의 것을 유지할 수 있는 악궁 형태를 두 가지 방식의 셋업에 동일하게 적용하였고, 교정의사가 지시한 과조정은 석고 모형의 셋업은 readout arm이 달린 각도기로 측정하여 그 양을 표현하고, 디지털 모형의 가상 셋업은 프로그램에서 제공하는 정량화된 각도를 기입하여 조절하여 두 가지 방식의 셋업이 동일한 기준으로 갖고 진행할 수 있도록 하였다.

A. 석고 모형의 셋업

실험 대상자의 초진 석고 모형을 교합기 상에 옮겨 각 치아를 분리한 후 교정의사의 지시에 따른 prescription을 기준으로 셋업을 시행하였다. 3차원 분석을 위해 석고 셋업 모형은 광학 LASER 스캐너 (Orapix KOD-500, Orapix, Korea)를 이용하여 디지털화하였다.

B. 삼차원 디지털 모형의 가상 셋업 (Fillion, 2011) (Fig. 1)

삼차원 디지털 모형은 3Txer program (Orapix, Seoul, Korea)상에서 가상 셋업을 진행하였다. 디지털 모형을 개개 치아 별로 절단하여 dental unit을 만들고, 각 dental unit은 표준화 (normalization)과정을 통해 각 치아의 장축를 결정하고 수치화하였다. 이후 환자 개인에 알맞은 악궁 형태를 선택하고, 발치 계획에 있는 제1 소구치를 제외한 나머지 치아의 배열을 자동 배열 기능 (automatic alignment)을 통해 일차적으로 시행하였다. 그리고 치료계획에 따라 이상적인 위치로 개별적 치아의 조정을 시행하고, 마지막으로 상, 하악 치아간의 충돌 (collision)을 확인하여 이를 해소하였다.

서로 다른 두 가지 방식의 셋업 과정은 동일한 치료계획에 따라 동일하고 숙련된 셋업 기술자에 의해 작업되었으며 교정 의사에 의해 최종 확인 및 수정을 통해 마무리되었다.

2. 계측

디지털화 된 석고 셋업 모형과 가상 셋업 모형의 계측은 Rapidform 2006® (Inus Technology, Seoul, Korea)을 이용하였다.

1) 기준점 및 기준평면의 설정 (Cho 등, 2010)

(1) 기준점 (Fig. 2)

- 교합점 (Occlusal point): 전치 절단연의 중점, 혹은 견치 및 소구치의 교두점, 혹은 구치의 근심협측 및 원심협측 교두 사이 가장 오목한 점
- 근심점 (Mesial point): 전치부 치아의 절단연에서 최근심점, 혹은 구치부 치아의 변연 융선의 최근심점
- 원심점 (Distal point): 전치부 치아의 절단연에서 최원심점, 혹은 구치부 치아의 변연 융선의 최원심점
- 협측치은점 (Buccocervical point): 전치부 치아의 발육구의 최하방점, 혹은 구치부 치아의 수직구의 최하방점
- 설측치은점 (Linguocervical point): 전치부 치아 치은 변연의 최하방점, 혹은 구치부 치아의 수직구의 최하방점
- FA 점 (FA point): 임상 치관의 facial axis의 중점

(2) 기준평면 (Fig. 3)

- 교합평면 (Occlusal plane): 상, 하악 전치부 절단연, 견치의 교두점, 제2 소구치의 협측 교두점, 제1, 2 대구치의 근심 협측 교두 점의 3차원적 위치 정보를 이용하여 각 계측점을 가장 균일하게 나누는 삼차원적 평면

- 시상평면 (Sagittal plane): 상악 양측 중절치의 교합점 (Occlusal point) 의 중점과 상악 양측 제1 대구치 원심점 (Distal point)의 중점을 이은 선을 포함하며, 교합평면 (Occlusal plane)과 수직인 평면
- 관상평면 (Coronal plane): 교합평면 (Occlusal plane)과 시상평면(Sagittal plane)에 수직인 평면
- 상악 Andrew 평면 (Upper Andrew's plane): 상악 치아의 FA 점 (FA point)을 통과하는 평면
- 하악 Andrew 평면 (Lower Andrew's plane): 하악 치아의 FA 점 (FA point)을 통과하는 평면
- 근원심 경사 평면 (Angulation plane): 임상치관을 근원심으로 2등분하고, 각 치아의 교합점 (Occlusal point), 협측치은점 (Buccocervical point), 설측치은점 (Linguocervical point)을 지나는 평면
- 협설 경사 평면 (Inclination plane): 치관의 FA 점 (FA point)을 접하는 평면 (tangent plane)

2) 길이 측정 (Fig. 4)

- 견치 간 폭경 (Inter canine width): 양측 견치 교두첨 간 거리를 측정하였다.
- 제2 소구치 간 폭경 (Intersecond premolar width): 양측 제2 소구치 협측 교두첨 간 거리를 측정하였다.
- 제1 대구치 간 폭경 (Interfirst molar width): 양측 제1 대구치 근심협측 교두첨 간 거리를 측정하였다.
- 제2 대구치 간 폭경 (Intersecond molar width): 양측 제2 대구치 근심협측 교두첨 간 거리를 측정하였다.

- 치열궁 길이 (Arch Length): 양측 중절치 교합점 (Occlusal point)의 중점과 양측 제 1대구치 원심점 (Distal point)의 중점 간 거리를 측정하였다.
- 치열궁 둘레 길이 (Arch perimeter): 제2 대구치 원심점 (Distal point)에서 반대편 제2 대구치 원심점 (Distal point)까지의 치열궁 둘레 길이로 sectional measuring method를 이용하여 측정하였다
- 수평 피개 (Overjet): 상, 하악 중절치의 교합점 (Occlusal point)의 중점을 시상평면 (Sagittal plane)으로 투영 후 교합 평면 (Occlusal plane)에 투영하여 생성된 점 사이 거리를 측정하였다.
- 수직 피개 (Overbite): 상, 하악 중절치의 교합점 (Occlusal point)의 중점을 시상평면 (Sagittal plane)으로 투영 후 관상평면 (Coronal plane)에 투영하여 생성된 점 사이 거리를 측정하였다.

3) 각도 측정 (Fig. 5-7)

- 경사 (Tip, Angulation): 교합평면 (Occlusal plane)에 대하여 임상 치관이 근원심 방향으로 기울어진 각도를 의미하고, 교합평면 (Occlusal plane)과 근원심 경사 평면 (Angulation plane) 사이 각도를 측정하였다. 측정값이 90° 이상이면 치관의 근심 경사를, 90° 이하면 치관의 원심 경사를 의미한다.
- 토오크 (Torque, Inclination): 교합평면 (Occlusal plane)에 대하여 임상 치관이 협설 방향으로 기울어진 각도를 의미하고, 교합평면 (Occlusal plane)과 협설 경사 평면 (Inclination plane) 사이 각도를 측정하였다. 측정값이 90° 이상이면 치관의 설측 경사를, 90° 이하면 치관의 순측 경사를 의미한다.
- 회전 (Rotation): 교합면에서 볼 때 정중 시상면 (Mid-sagittal plane)에 대한 임상치관의 회전된 각도를 의미하고, 치아의 근심점 (Mesial point)와 원심점

(Distal point)를 교합평면 (Occlusal plane)에 투사한 벡터 (vector)와 시상평면 (Sagittal plane) 사이 각도를 측정하였다. 두 그룹의 측정값의 차이가 양의 값을 나타내면 mesial-in rotation을, 음의 값을 나타내면 distal-in rotation을 의미한다.

4) American Board of Orthodontics Objective Grading System (ABO OGS)

셋업 모형의 질적 평가를 위해 The American Board of Orthodontics Calibration kit를 이용하여 두 가지 방식으로 진행된 셋업 모형을 평가하였다. 가상 셋업 모형은 Rapid prototype 모형을 제작 (ProJet™ HD 3000, 3DSYSTEMS™, SC)하여 측정에 사용하였다. 석고 셋업 모형은 모형 자체를 측정하였다. ABO OGS에서 평가하는 8가지 항목 중에서 파노라마 방사선 사진 통해 알 수 있는 치근 평행성 (Root parallelism)을 제외한 7개 항목 (Alignment, Marginal ridge, Buccolingual inclination, Occlusal relationship, Occlusal contact, Overjet, Interproximal contact)이 이번 평가에 사용되었다(Casko 등, 1998).

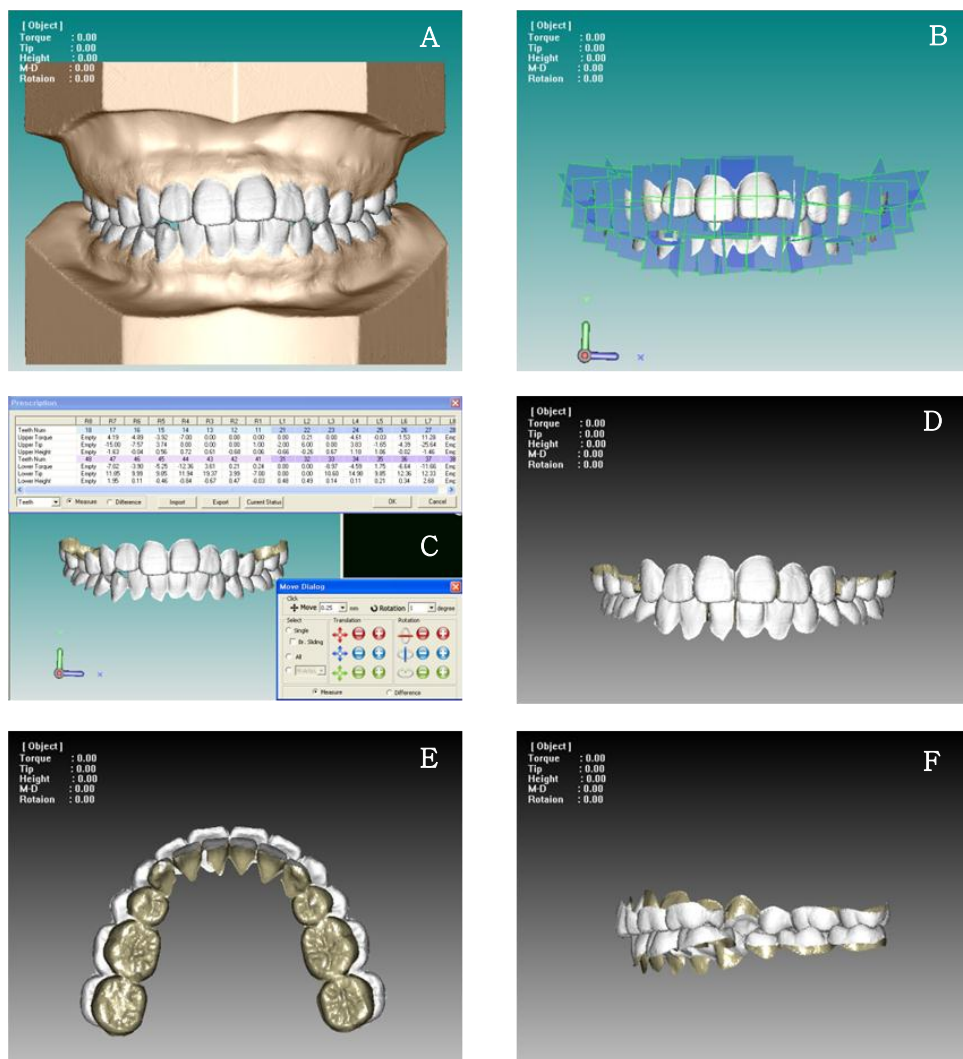


Fig. 1. 3D digital model and virtual setup procedure.
A, 3D digital model. **B,** Segmentation and normalization. **C,** Checking tooth movements and changes in angulation and inclination. **D,** Virtual setup. **E,** Checking arch coordination. **F,** Checking occlusal contact



Fig. 2. Definition of landmarks on digital model.

1, Occlusal point: the midpoint of the edge of the incisors; 2, Mesial point: the most mesial point; 3, Distal point: the most distal point; 4, Buccocervical point: the lowest and most concave point in the buccogingival line; 5, Linguocervical point: the lowest and most concave point in the linguogingival line; 6, FA point: the midpoint of the facial axis of clinical crown

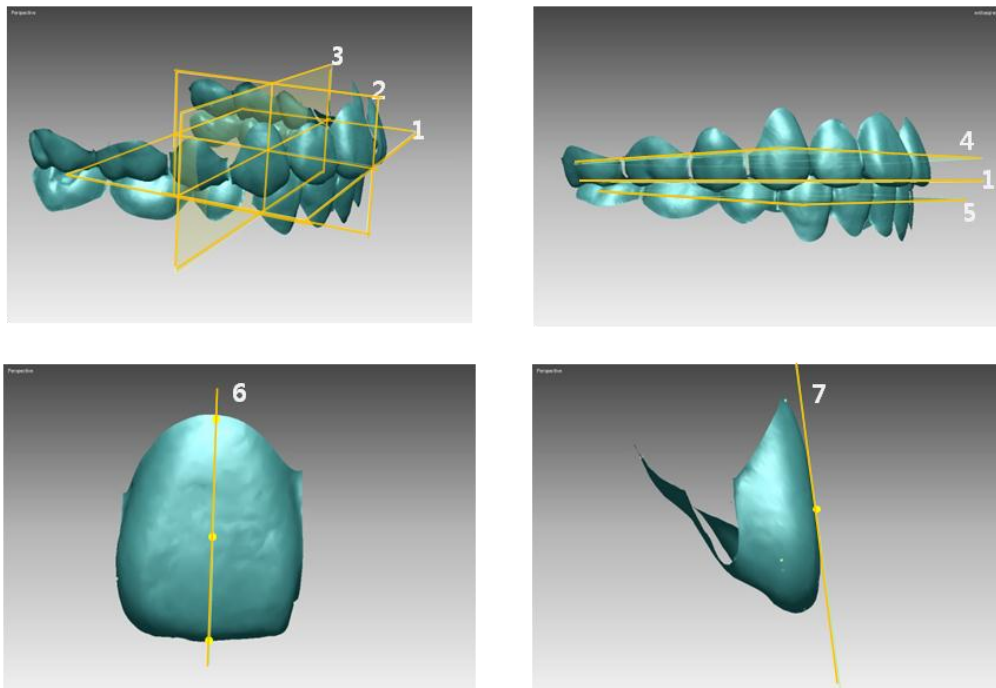


Fig. 3. The reference planes for linear and angular measurements.

1, Occlusal plane; 2, Sagittal plane; 3, Coronal plane; 4, Upper Andrew's plane;
5, Lower Andrew's plane; 6, Angulation plane; 7, Inclination plane

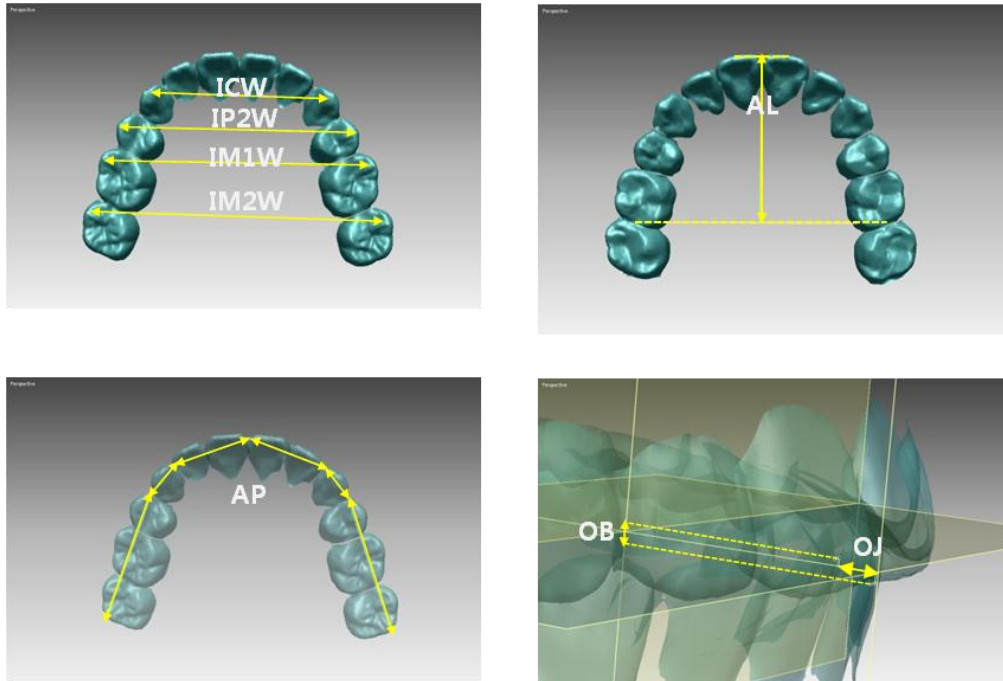


Fig. 4. Measurement values for arch dimensions.

ICW, Inter canine width: distance between the cusp tip of the right and left canines; **IP2W**, Intersecond premolar width: distance between the cusp tip of the right and left second premolar; **IM1W**, Interfirst molar width: distance between the mesiobuccal cusp tip of the right and left first molar; **IM2W**, Intersecond molar width: distance between the mesiobuccal cusp tip of the right and left second molar; **AL**, Arch length: distance between the midpoint of occlusal point of central incisor and the midpoint of distal point of first molar; **AP**, Arch perimeter: perimeter between the distal point of the right and left second molar; **OJ**, Overjet: horizontal distance between the midpoint of upper and lower central incisor occlusal point; **OB**, Overbite: vertical distance between the midpoint of upper and lower central incisor occlusal point.

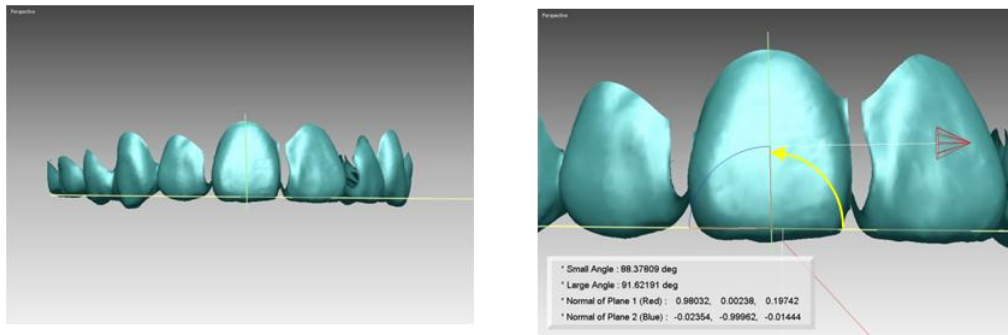


Fig. 5. Measurement of angular variables – Tip (Angulation)
Tip measure angles between the occlusal and angulation plane

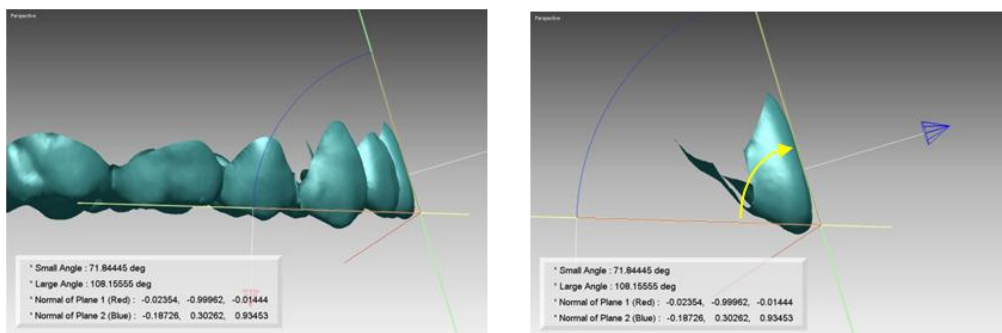


Fig. 6. Measurement of angular variables – Torque (Inclination)
Torque measure angles between the occlusal and inclination plane

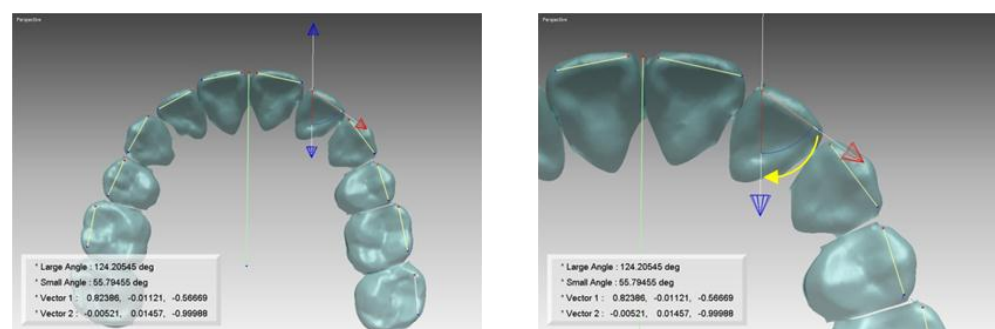


Fig. 7. Measurement of angular variables – Rotation
Rotation measure angles between the sagittal plane and the vector composed of mesial and distal point of each tooth

3. 통계분석

SPSS software version 17.0 (IBM, Chicago, IL)을 이용하여 기준점과 계측 항목에 관한 통계 분석을 시행하였다. 실험의 신뢰성과 재현성을 평가하기 위해, 모든 변수들은 한 표본당 2회, 1개월 간격으로 측정하였다. 신뢰성에 관한 평가를 위해, intraclass correlation coefficient (ICC)을 시행하였다. 석고 셋업 모형과 가상 셋업 모형을 통해 얻어진 측정값의 기술통계량 (Means and standard deviations)을 구하고, 두 그룹 모두 좌, 우측 측정 수치를 비교하여 대칭성을 확인하였고. 두 그룹간 측정치의 통계적 유의성을 판별하기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였으며, p -value가 0.05 이하일 경우 통계적으로 유의한 차이를 보인다고 판정하였다.

III. 연구결과

가. 조사자내 오차 검정

측정의 신뢰성을 판단 하기 위한 Intraclass correlation coefficient를 조사한 결과 그 범위는 $r=0.991$ 에서 0.998 ($p<0.001$) 사이로 모든 변수의 측정값은 높은 신뢰도를 보였다.

나. 두 셋업 모형의 길이 분석 및 비교 (Table 1)

길이 측정의 결과, 상악 제1대구치간 폭경을 제외한 모든 변수에서 석고 모형의 셋업 그룹이 더 큰 값을 보였다. 가장 큰 차이값을 보인 변수는 상악 치열궁 둘레 (UAP, $2.20 \text{ mm} \pm 1.31 \text{ mm}$, $p<0.01$)였다. 또한 수직 피개와 수평 피개 역시 각각 0.50 mm , 0.46 mm 석고 모형의 셋업 그룹이 컸으며, 상악 치열궁 길이 (UAL, $0.55 \text{ mm} \pm 0.75 \text{ mm}$, $p<0.05$), 하악 제2 소구치간 폭경 (LIP2W, $0.96 \text{ mm} \pm 1.16 \text{ mm}$, $p<0.05$), 제1 대구치간 폭경 (LIM1W, $1.46 \text{ mm} \pm 1.30 \text{ mm}$, $p<0.05$), 제2 대구치간 폭경 (LIM2W, $1.25 \text{ mm} \pm 1.40 \text{ mm}$, $p<0.05$)에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다.

다. 두 셋업 모형의 대칭성 분석 (Table 2)

셋업 모형의 대칭성 평가 결과, 석고 모형의 셋업 그룹에서 경사 (Tip)에서는 상악 측절치 (U2, $1.94^\circ \pm 2.23^\circ$, $p<0.05$)와 하악 견치 (L3, $1.96^\circ \pm 1.70^\circ$, $p<0.01$)에서, 회전 (Rotation)에서는 상악 중절치 (U1, $0.57^\circ \pm 0.61^\circ$, $p<0.05$) 및 제2 소구치 (U5, $2.42^\circ \pm 2.11^\circ$, $p<0.05$), 제2 대구치 (U7, $2.29^\circ \pm 2.49^\circ$, $p<0.05$), 하악 제2 소구치 (L5, $1.57^\circ \pm 1.04^\circ$, $p<0.01$)에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였고, 토크 (Torque)는 좌우

차이가 없었다. 디지털 모형의 가상 셋업 그룹에서의 좌우 비교 시 경사 (Tip)에서는 상악 중절치 (U1, $1.02^{\circ} \pm 1.26^{\circ}$, $p < 0.05$) 및 측절치 (U2, $1.68^{\circ} \pm 1.34^{\circ}$, $p < 0.01$)에서, 회전(Rotation)에서는 상악 제2 소구치 (U5, $1.98^{\circ} \pm 1.76^{\circ}$, $p < 0.05$)에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였으며, 토오크 (Torque)에서는 좌우 차이는 없었다.

라. 두 셋업 모형의 치아 각도 비교 분석 (Table 3)

석고 모형의 셋업 그룹과 디지털 모형의 가상 셋업 그룹의 치아 각도 비교 결과, 경사 (Tip)는 상악 중절치 (U1, $-1.21^{\circ} \pm 1.42^{\circ}$, $p < 0.01$) 및 제2 소구치 (U5, $-1.16^{\circ} \pm 2.23^{\circ}$, $p < 0.05$), 하악 측절치 (L2, $-1.19^{\circ} \pm 1.64^{\circ}$, $p < 0.01$)에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 토오크 (Torque)는 상악 중절치 (U1, $2.78^{\circ} \pm 4.31^{\circ}$, $p < 0.05$) 및 측절치 (U2, $3.42^{\circ} \pm 5.08^{\circ}$, $p < 0.01$), 견치 (U3, $2.00^{\circ} \pm 3.93^{\circ}$, $p < 0.05$), 하악 견치 (L3, $1.75^{\circ} \pm 3.23^{\circ}$, $p < 0.05$)에서, 회전 (Rotation)은 상악 제1 대구치 (U6, $2.98^{\circ} \pm 4.18^{\circ}$, $p < 0.01$)와 하악 측절치 (L2, $2.30^{\circ} \pm 2.63^{\circ}$, $p < 0.01$) 및 제1 대구치 (L6, $1.45^{\circ} \pm 2.16^{\circ}$, $p < 0.01$), 제2 대구치 (L7, $1.73^{\circ} \pm 3.83^{\circ}$, $p < 0.05$)에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 경사 차이값 (Tip difference)은 상악 제1 대구치를 제외한 모든 항목에서 디지털 모형의 가상 셋업 그룹이 큰 값을 보였고, 토오크 차이값 (Torque difference)은 상악 전치 부에서 석고 모형의 셋업 그룹이 큰 값을 보였으며, 회전 차이값 (Rotation difference)은 하악 전치열에서 석고 모형의 셋업 그룹이 큰 값을 보였다.

마. 두 셋업 모형의 질적 평가 (Table 4)

ABO OGS 비교 결과 Interproximal contact은 두 그룹 모두 0으로 치간 공극은 관찰되지 않았다. 또한 두 그룹 모두 통과 기준 감점 점수인 감점 25점을 넘지 않았

다. 전반적으로 디지털 모형의 가상 셋업 그룹이 석고 모형의 셋업 그룹 보다 감점이 많았으며, 특히 Overjet (-2.70 ± 2.31 , $p<0.01$), Occlusal contact (-3.10 ± 1.79 , $p<0.01$), Total score (-7.20 ± 4.80 , $p<0.01$) 항목에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다.

Table 1. Comparison of arch dimension between the manual and virtual setup (unit: mm)

		Manual	Virtual	Difference	<i>p</i> -value
Upper	ICW	37.65±1.09	37.07±1.25	0.57±0.81	0.114
	IP2W	45.62±1.01	45.02±1.23	0.60±0.82	0.059
	IM1W	51.01±1.15	51.14±1.03	-0.13±0.64	0.508
	IM2W	57.62±1.69	56.96±1.81	0.66±1.07	0.114
	Arch Length	31.73±1.17	31.19±1.26	0.55±0.75	0.047*
	Arch Perimeter	105.74±3.23	103.55±3.15	2.20±1.31	0.007*
Lower	ICW	28.35±0.71	28.13±1.16	0.22±1.06	0.575
	IP2W	36.44±0.88	35.48±1.62	0.96±1.16	0.037*
	IM1W	42.17±1.25	40.71±2.02	1.46±1.30	0.013*
	IM2W	49.37±1.76	48.12±2.31	1.25±1.40	0.028*
	Arch Length	27.77±1.03	27.70±1.24	0.07±0.95	0.721
	Arch Perimeter	99.09±2.72	97.75±3.33	1.34±1.63	0.028*
	Overjet	3.15±0.34	2.68±0.33	0.46±0.34	0.005†
	Overbite	1.95±0.34	1.45±0.32	0.50±0.34	0.005†

Note) Wilcoxon signed rank test was done.

* significance at the 0.05 level.

† significance at the 0.01 level (unit: mm)

ICW, Inter canine width; **IP2W**, Intersecond premolar width; **IM1W**, Interfirst molar width; **IM2W**, Intersecond molar width;

Table 2. Comparison of angular variables between the right and left side (unit: °)

Variables	Manual				Virtual			
	Right side Mean±SD	Left side Mean±SD	Difference Mean±SD	p-value	Right side Mean±SD	Left side Mean±SD	Difference Mean±SD	p-value
Tip (°)								
U1	92.21±1.62	92.05±1.23	0.16±1.13	0.646	93.84±2.21	92.83±1.56	1.02±1.26	0.037*
U2	95.88±2.05	93.94±1.75	1.94±2.23	0.047*	96.82±2.22	95.14±2.11	1.68±1.34	0.007†
U3	93.34±1.63	93.36±2.47	-0.03±2.22	0.959	94.50±3.45	94.29±3.14	0.21±1.98	0.721
U5	94.83±2.82	95.06±2.04	-0.23±3.28	0.878	96.40±2.14	95.82±2.58	0.58±2.90	0.575
U6	91.85±2.18	92.14±2.22	-0.29±1.65	0.646	91.10±2.55	90.47±3.74	0.63±2.29	0.386
U7	88.35±2.38	87.89±4.39	0.45±3.07	0.646	89.86±5.14	90.97±4.49	-1.12±2.18	0.169
L1	91.08±1.13	91.63±1.27	0.56±1.24	0.169	91.71±0.56	92.28±1.02	0.57±0.86	0.074
L2	91.56±0.66	91.58±1.35	0.02±1.21	0.646	93.07±1.51	92.45±1.49	-0.62±1.42	0.386
L3	94.64±2.31	96.61±2.17	1.96±1.70	0.009†	95.80±2.91	96.11±2.38	0.31±2.08	0.646
L5	96.46±2.96	96.47±2.40	0.05±3.03	0.959	97.37±2.40	96.65±2.78	-0.71±2.63	0.445
L6	92.53±1.16	92.13±1.40	-0.40±1.86	0.646	92.52±1.63	92.26±2.70	-0.28±2.86	0.878
L7	93.18±2.15	92.64±1.77	-0.54±1.64	0.333	93.11±2.53	94.02±3.26	0.90±2.56	0.285
Torque (°)								
U1	74.86±2.95	75.49±2.45	-0.63±1.07	0.169	72.24±4.42	72.56±4.36	-0.32±1.17	0.508
U2	78.30±3.05	78.72±2.79	-0.42±2.68	0.878	75.40±6.58	74.77±5.78	0.63±1.83	0.285
U3	92.09±2.42	92.28±2.65	-0.19±1.28	0.575	90.30±3.63	90.06±3.90	0.24±2.33	0.959
U5	93.72±2.99	93.22±2.59	0.50±1.92	0.721	94.24±2.34	93.55±3.64	0.68±3.31	0.575
U6	100.28±4.49	99.11±5.58	1.17±2.54	0.139	99.85±5.13	99.81±3.84	0.04±3.22	0.799
U7	102.92±4.42	102.16±5.08	0.76±2.81	0.386	102.62±4.51	102.00±4.42	0.62±3.22	0.959
L1	88.61±2.77	88.46±1.89	-0.15±1.30	0.959	88.68±5.35	88.39±5.08	-0.30±0.89	0.333
L2	90.64±2.39	89.62±3.42	-1.02±2.14	0.139	89.67±5.52	89.05±6.25	-0.63±1.64	0.333
L3	97.16±3.83	96.95±3.78	-0.20±2.24	0.959	95.15±4.41	95.46±4.44	0.31±1.36	0.508
L5	108.39±4.09	109.25±4.86	0.86±3.12	0.386	107.88±4.32	108.75±4.40	0.87±2.81	0.445
L6	115.06±4.40	115.14±3.30	0.13±1.54	0.799	115.78±4.82	114.70±3.86	-1.09±1.75	0.059
L7	116.18±5.49	114.50±4.56	-1.68±4.15	0.241	115.86±4.66	116.66±4.59	0.80±1.64	0.114
Rotation (°)								
U1	80.16±1.73	79.59±1.83	0.57±0.61	0.025*	80.74±3.31	80.59±3.17	0.15±0.49	0.386
U2	59.02±2.42	58.64±2.17	0.38±1.21	0.333	58.32±2.46	57.70±2.88	0.62±1.09	0.074
U3	37.37±4.15	36.88±3.25	0.49±1.81	0.508	37.42±3.72	37.14±2.00	0.28±2.20	0.241
U5	28.03±3.48	25.60±3.89	2.42±2.11	0.013*	27.19±3.14	25.20±3.43	1.98±1.76	0.017*
U6	17.90±4.02	18.21±3.53	-0.32±2.52	0.959	15.18±2.87	14.96±2.49	0.22±1.95	0.646
U7	8.27±4.98	10.56±5.04	-2.29±2.49	0.037*	8.26±4.50	9.59±4.45	-1.33±2.10	0.074
L1	83.91±1.52	84.24±1.57	0.33±0.80	0.114	83.51±1.84	84.10±1.74	0.59±0.85	0.059
L2	66.80±2.13	66.74±2.33	-0.06±1.04	0.445	64.29±2.01	64.64±2.14	0.35±2.24	0.721
L3	40.90±1.76	40.60±2.56	-0.31±2.26	0.721	38.53±2.65	39.48±3.77	0.95±2.50	0.445
L5	26.14±1.73	27.71±1.59	1.57±1.04	0.007†	25.68±3.13	25.97±3.03	0.29±1.64	0.285
L6	21.63±1.11	21.83±2.21	0.20±1.80	0.575	20.25±1.88	20.29±2.07	0.04±1.74	0.878
L7	18.31±2.02	18.88±3.37	0.58±2.84	0.445	16.61±2.30	17.11±4.31	0.50±2.50	0.508

Note) Wilcoxon signed rank test was done.

*significance at the 0.05 level.

†significance at the 0.01 level (unit: °)

U1, the upper central incisor; U2, the upper lateral incisor; U3, the upper canine; U5, the upper second premolar; U6, the upper first molar; U7, the upper second molar; L1, the lower central incisor; L2, the lower lateral incisor; L3, the lower canine; L5, the lower second premolar, L6, the lower first molar; L7, the lower second molar

Table 3. Comparison of tip, torque, rotation between the manual and virtual setup (unit: °)

Position	Tip				Torque				Rotation			
	Manual	Virtual	Difference	<i>p</i> -value	Manual	Virtual	Difference	<i>p</i> -value	Manual	Virtual	Difference	<i>p</i> -value
U1	92.13±1.40	93.33±1.93	-1.21±1.42	0.003†	75.18±2.66	72.41±4.28	2.78±4.31	0.030*	79.87±1.76	80.67±3.16	-0.79±2.42	0.179
U2	94.91±2.10	95.98±2.28	-1.07±2.65	0.218	78.51±2.85	75.09±6.03	3.42±5.08	0.005†	58.83±2.25	58.01±2.63	0.81±2.57	0.232
U3	93.35±1.77	94.39±3.21	-1.05±2.87	0.135	92.19±2.47	90.18±3.67	2.00±3.93	0.025*	37.13±3.64	37.28±2.91	-0.15±4.03	1.000
U5	94.95±2.40	96.11±2.33	-1.16±2.23	0.033*	93.47±2.73	93.90±3.00	-0.43±3.16	0.526	26.82±3.80	26.20±3.36	0.619±3.84	0.737
U6	92.00±2.15	90.79±3.13	1.21±3.01	0.093	99.69±4.97	99.83±4.41	-0.14±3.63	0.896	18.05±3.69	15.07±2.62	2.98±4.18	0.009†
U7	88.12±3.44	90.42±4.74	-2.30±5.67	0.126	102.54±4.66	102.31±4.36	0.23±4.04	0.263	9.42±5.02	8.93±4.41	0.49±6.05	0.627
L1	91.35±1.20	91.99±0.85	-0.64±1.37	0.059	88.54±2.32	88.53±5.08	0.00±4.05	0.940	84.08±1.51	83.80±1.77	0.27±1.57	0.765
L2	91.57±1.04	92.76±1.50	-1.19±1.64	0.009†	90.13±2.92	89.36±5.75	0.77±4.21	0.351	66.77±2.17	64.47±2.03	2.30±2.63	0.002†
L3	95.63±2.41	95.95±2.59	-0.33±2.81	0.911	97.06±3.71	95.30±4.31	1.75±3.23	0.030*	40.75±2.15	39.02±3.23	1.73±3.77	0.048
L5	96.45±2.63	97.01±2.56	-0.56±4.19	0.502	108.82±4.39	108.31±4.27	0.50±3.04	0.654	26.92±1.81	25.83±3.00	1.20±3.44	0.062
L6	92.33±1.27	92.40±2.18	-0.74±2.41	0.881	115.07±3.79	115.24±4.29	-0.17±3.59	0.911	21.73±1.71	20.27±1.93	1.45±2.16	0.012*
L7	92.91±1.94	93.57±2.88	-0.65±3.34	0.502	115.34±4.99	116.26±4.52	-0.92±3.57	0.100	18.60±2.72	16.86±3.37	1.73±3.83	0.040*

(Note) Wilcoxon signed rank test was done. *significance at the 0.05 level. †significance at the 0.01 level (unit: °)

U1, the upper central incisor; **U2**, the upper lateral incisor; **U3**, the upper canine; **U5**, the upper second premolar; **U6**, the upper first molar; **U7**, the upper second molar; **L1**, the lower central incisor; **L2**, the lower lateral incisor; **L3**, the lower canine; **L5**, the lower second premolar; **L6**, the lower first molar; **L7**, the lower second molar

Table 4. Comparison of American Board of Orthodontics Objective Grading System between the manual and virtual setup (unit: point)

	Manual	Virtual	Difference	<i>p</i> -value
A	2.90±1.73	4.10±2.73	-1.20±2.86	0.324
MR	0.60±0.70	1.40±1.78	-0.80±1.81	0.167
BI	2.40±2.17	1.90±1.37	0.50±2.07	0.308
OJ	0.70±0.82	3.40±2.17	-2.70±2.31	0.009†
OC	2.10±1.60	5.20±1.62	-3.10±1.79	0.005†
OR	2.60±2.12	2.50±2.17	0.10±1.79	0.891
IPC	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.000
Total	11.30±3.95	18.50±4.28	-7.20±4.80	0.008†

Note) Wilcoxon signed rank test was done.

*significance at the 0.05 level. †significance at the 0.01 level (unit: point)

A, Alignment and rotation; **MR**, Marginal ridge; **BI**, Bucco-Lingual inclination; **OJ**, Overjet; **OC**, Occlusal contact; **OR**, Occlusal relationship; **IPC**, Interproximal contact; **Total**, total score

IV. 고찰

본 연구는 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형의 셋업이라는 두 가지 형태의 셋업 방식을 비교하기 위해 진행되었다. 치아 모형의 비교를 위한 연구 방법으로 가장 많이 선택되는 방법은 중첩을 통한 치아 변위량의 평가 방법으로, 주로 교정이나 성장 후에도 안정적인 기준점으로 알려진 경구개 전방부 palatal rugae를 기준으로 중첩하게 되지만 셋업 모형의 경우 치아의 분리 과정에서 palatal rugae의 소실로 인해 안정 구조물로의 중첩이 불가능하다는 문제가 있다. 대안으로 최적 중첩법을 이용한 중첩 하여 비교할 수 있는데, 이는 시각적으로 제공하는 정보가 뛰어나지만 치아이동 양상의 객관적인 평가가 불가능하다. 따라서 이번 연구에서는 서로 다른 두 가지 방식의 셋업 모형의 중첩 없이 모형 분석을 통해 비교하였다.

길이 변수는 석고 모형의 셋업군에 비해 디지털 모형의 가상 셋업 그룹이 전체적으로 작은 값을 보였으며, 이중 가장 큰 차이를 보인 항목은 상악 치열궁 둘레로써 디지털 모형의 가상 셋업 그룹이 평균 2.2 mm 작았다. 이는 디지털 모형에 관한 이해가 필요하다. 광학 LASER 스캐너 (Orapix KOD-500, Orapix, Korea)로 얻은 스캔 자료는 stereolithography 파일 (STL file)로 저장되는데, 이는 모형의 표면의 위치 정보를 담고 있어 삼차원 디지털 모형으로 재구성 시 모형 내부는 비어있는 상태로 보여진다. 따라서 총생이 있는 초진 디지털 모형의 치아를 분리하면 석고 모형의 분리된 치아와 다르게 실제 치아가 갖는 인접면의 형태 재현이 불가능하므로 디지털 모형에서의 분리된 치아는 실제 치아의 근원심 폭정보다 작게 표현될 수 있다. 또한 디지털 모형은 석고모형에서는 불가능한 두 개체가 겹쳐지는 이

동이 가능하다. 따라서 디지털 모델의 가상 셋업은 치아의 근원심 위치 설정에서의 오류가 발생할 가능성이 높아 주의가 필요하다.

치아 각도를 통해 본 좌우 대칭성에 관한 평가에서 토크 (torque)는 두 실험군 모두 대칭성을 보였지만, 경사 (tip)와 회전 (rotation)에서의 일부 치아에서는 대칭성을 보여주지 못하였다. 이는 치아의 마모, 형태학적 변이, 임상치관 길이 차이 등이 치아의 Facial axis의 판단을 어렵게 만드는 요소로 작용하기 때문으로 예상된다. 디지털 모형의 가상 셋업 그룹보다 석고 모형의 셋업 그룹에서 비대칭적 경사 및 회전을 보이는 치아가 많았는데, 이번 실험에 사용한 디지털 가상 셋업 프로그램인 3Txer (Orapix, Seoul, Korea)는 치아의 표준화 (normalization)를 통해 치아의 경사 및 토크 등의 변화량을 실시간으로 확인할 수 있어 더욱 정밀한 셋업이 가능했던 것으로 보인다.

두 셋업 모형의 치아 각도의 비교에서 디지털 모형의 가상 셋업 그룹에서 상악 전치부 치관의 근심 경사 경향을 보였고, 상악 전치부 치관의 순측 경사 경향을 보였으며, 하악 전치열의 원심 회전 경향을 보였다. 이는 디지털 모형의 가상 셋업 그룹이 경사 (tip)를 더욱 크게 셋업 하는 경향을 의미하지만, 석고 모형의 셋업 그룹과의 차이가 평균 1° 내외라는 점에서는 임상적으로 큰 의미는 없을 것으로 보인다. 토크는 상악 전치부에서만 통계적으로 유의성이 있는 차이를 보였는데, 발치 증례에서 토크 조절을 위한 과조정 (overcorrection)이 디지털 모형의 가상 셋업 그룹에서 더 강조되었기 때문으로 보인다. 이는 셋업 시 정량적인 분석이 가능하여 발생되었다고 보여진다. 하악 전치열에서 디지털 모형의 가상 셋업의 원심 회전 경향은 악궁 형태의 차이 때문으로 보인다. 즉, 인접면에서의 부정확성이 치열궁 둘레 뿐만 아니라 악궁 형태에서도 석고 모형에 비해 악궁 형태가 좁아지는 경향을 보인다 할 수 있다.

두 셋업 모형의 질적 평가를 위해 American Board of Orthodontics Objective grading system (ABO OGS)을 평가하였다. ABO OGS는 OrthoCAD[®] (Cadent Inc., Carlstadt, NJ)를 이용하면 디지털 모형을 이용하여 측정이 가능하다. 그러나 이 프로그램을 이용하여 측정한 디지털 모형의 ABO OGS 측정법의 부정확성에 관한 다양한 보고가 있다. Costalos 등 은 alignment와 buccolingual inclination 항목에서, Hildebrand 등 은 alignment, occlusal contact, overjet 항목에서, Okunami 등 은 occlusal contact, occlusal relationship, total score 항목에서 석고 모형과 디지털 모형의 ABO OGS가 통계적으로 유의성 있는 차이를 보인다고 하였다(Costallos 등, 2005; Hildebrand 등, 2008; Okunami 등, 2007). 이는 ABO gauge를 이용하여 측정하는 석고 모형과 달리 디지털 모형에서는 측정하는 점을 이용하여 프로그램 상에서의 연산을 통해 점수가 측정되므로 두 측정 방법의 차이가 다양한 항목에서 차이가 나타나는 것으로 보인다. Okunami 등 은 디지털 모형을 이용한 ABO OGS 대신 Rapid Prototype 모형의 제작 및 ABO gauge 를 이용한 측정 방법을 대안으로 제시하였으며(Okunami 등, 2007), 이번 연구에서는 가상 셋업 모형을 Rapid Prototype 모형으로 제작하여 ABO OGS 측정을 진행하였다.

석고 모형의 셋업에 비해 디지털 모형의 가상 셋업은 overjet, occlusal contact, total score에서 더 많은 감점을 보였다. Overjet (ABO OGS에서의 overjet은 하악 전치의 절단면과 상악 전치의 설면과 접촉여부, 하악의 기능교두와 상악의 중심구와의 위치 관계로 판별한다.)과 occlusal contact은 모두 상하악 치열의 교합과 연관된 항목으로 교합 접촉을 위한 미세 조정은 디지털 모형의 가상 셋업에서 불리함을 의미하고, 임상적으로는 finishing에서의 조절이 더 많이 필요하다는 것을 의미한다. 다만, 감점의 총점 (total score)는 두 그룹 모두 통과 기준 점수인 25점을 넘지 않아 임상적으로 받아들여질 만한 근거를 제공한다.

디지털 모형의 가상 셋업의 장점은 치료 목표의 시각화를 통해 치료 계획을 효과적으로 수립할 수 있다는 것이다. 또한 자동 배열 기능의 사용으로 빠르고 표준화된 셋업이 가능하며 그 수정이 간편하고, 석고 모형을 보관할 필요가 없어 자료 보관이 용이하며, Rapid prototyping transfer jig 제작이 가능하여 가공 과정이 단순화되고, 컴퓨터 파일로 저장되고 이동할 수 있어, 교정 의사와의 의사소통이 쉽고 빠르게 이뤄질 수 있고, 치아의 경사(tip), 토크(torque) 등의 정보를 정량적으로 얻을 수 있어 셋업에서 필요한 과조정 (overcorrection) 등을 정밀하게 조절할 수 있다. 또한 가상 셋업 모델은 환자 혹은 다른 교정 의사와의 의사소통 수단으로의 활용도 가능하다.

그러나, 삼차원 개체를 2차원 평면인 스크린에서 조작해야하므로 공간 감각의 한계가 존재하고, 디지털 모형의 특성상 치아 이동 및 위치 설정의 제한점이 없어, 인접면 혹은 교합면에서의 충돌이 나타날 가능성이 있다는 문제가 있어 이를 다루는데 술자의 기술에 따른 차이가 나타날 수 있다는 단점이 존재한다. 따라서, 교정 의사는 최종적으로 디지털 모형의 가상 셋업 시 인접면 및 상하악 치열의 충돌을 확인하고 수정하여야 하며, 임상에서 wire bending, 적절한 치료 mechanic을 사용하여 치료를 진행해야 할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 삼차원 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형을 이용한 셋업의 비교를 통해 디지털 모형의 가상 셋업의 특성을 분석하고 셋업 결과의 질적 평가를 시행하였다.

1. 디지털 모형의 가상 셋업은 치열궁 둘레에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었으며 상악에서는 2.20 mm ($p<0.01$), 하악에서는 1.30 mm ($p<0.05$) 작게 관찰 되었다. 또한 수평피개 및 수직피개에서도 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다. ($p<0.01$)
2. 디지털 모형의 가상 셋업과 석고 모형의 셋업 모두 토크 (torque)의 좌우 차이는 없었으나, 경사 (tip)와 회전 (rotation)의 좌우 비교시 디지털 모형의 가상 셋업이 석고 모형의 셋업에 비해 대칭적인 배열이 가능하였다.
3. 디지털 모형의 가상 셋업은 상, 하악 전치의 근심 경사 및 상악 전치의 순측 경사의 경향 ($p<0.05$)이 있었고, 하악 전치열에서 원심 회전 경향 ($p<0.05$)이 관찰되었다.
4. ABO OGS를 통한 평가에서 디지털 모형의 가상 셋업은 overjet 과 occlusal contact에서 유의성 있는 차이 ($p<0.01$)를 보여, total score에서도 통계적으로 유의성 있는 차이 ($p<0.01$)가 관찰되었다.

디지털 모형 셋업을 통해 삼차원 가상 프로그램을 이용한 교정 진단 및 치료 영역에서 더 많은 발전을 기대할 수 있지만, 디지털 모형을 이용한 가상 셋업 시

고전적인 방식의 석고 모형을 이용한 셋업 방식과의 차이를 인식하고, 인접면과 교합 접촉에 대한 세심한 조절이 필요하다.

참고 문헌

- Casko, J. S., Vaden, J. L., Kokich, V. G., et al. 1998. "Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. American Board of Orthodontics". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114(5): 589-599.
- Cha, B. K., Lee, J. Y., Jost-Brinkmann, P. G., et al. 2007. "Analysis of tooth movement in extraction cases using three-dimensional reverse engineering technology". *European journal of orthodontics* 29(4): 325-331.
- Cho, M. Y., Choi, J. H., Lee, S. P., et al. 2010. "Three-dimensional analysis of the tooth movement and arch dimension changes in Class I malocclusions treated with first premolar extractions: a guideline for virtual treatment planning". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138(6): 747-757.
- Costalos, P. A., Sarraf, K., Cangialosi, T. J., et al. 2005. "Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128(5): 624-629.
- Fillion, D. 2007. "Computer generated conception and fabrication of transfer trays for indirect bonding of lingual attachment: The Orapix system". *Rev Orthopedic Dento Faciale* 41: 000-000.
- Fillion, D. 2010. "Clinical advantages of the Orapix-straight wire lingual technique". *International orthodontics* 8(2): 125-151.
- Fillion, D. 2011. "Lingual straightwire treatment with the Orapix system". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 45(9): 488-497; quiz 515.
- Fleming, P. S., Marinho, V., Johal, A. 2011. "Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review". *Orthodontics & craniofacial research* 14(1): 1-16.
- Geron, S. 1999. "The lingual bracket jig". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 33(8): 457-463.
- Gracco, A., Buranello, M., Cozzani, M., et al. 2007. "Digital and plaster models: a comparison of measurements and times". *Progress in orthodontics* 8(2): 252-259.
- Grauer, D., Proffit, W. R. 2011. "Accuracy in tooth positioning with a fully customized lingual orthodontic appliance". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140(3): 433-443.
- Guo, H., Zhou, J., Bai, Y., Li, S. 2011. "A three-dimensional setup model with dental roots". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 45(4): 209-216; quiz 235-206.

- Hildebrand, J. C., Palomo, J. M., Palomo, L., et al. 2008. "Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133(2): 283-289.
- Hiro, T., Iglesia, F., Andreu, P. 2008. "Indirect bonding technique in lingual orthodontics: the HIRO system". *Progress in orthodontics* 9(2): 34-45.
- Huge, S. A. 1998. "The customized lingual appliance set-up service (CLASS) system". *Lingual Orthodontics*: 163-173.
- Joffe, L. 2004. "OrthoCAD: digital models for a digital era". *Journal of orthodontics* 31(4): 344-347.
- Leifert, M. F., Leifert, M. M., Efstratiadis, S. S., et al. 2009. "Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136(1): 16 e11-14; discussion 16.
- Ludwig, B., Alexander, J. C., Cacciafesta, V., et al. 2012. "JCO roundtable. Lingual orthodontics. Part 1". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 46(4): 203-217.
- Macchi, A., Carrafiello, G., Cacciafesta, V., et al. 2006. "Three-dimensional digital modeling and setup". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129(5): 605-610.
- Mah, J., Sachdeva, R. 2001. "Computer-assisted orthodontic treatment: the SureSmile process". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(1): 85-87.
- Mavropoulos, A., Karamouzou, A., Kiliaridis, S., et al. 2005. "Efficiency of noncompliance simultaneous first and second upper molar distalization: a three-dimensional tooth movement analysis". *The Angle orthodontist* 75(4): 532-539.
- Mayers, M., Firestone, A. R., Rashid, R., et al. 2005. "Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128(4): 431-434.
- Moles, R. 2009. "The SureSmile system in orthodontic practice". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 43(3): 161-174; quiz 184.
- Muller-Hartwich, R., Prager, T. M., Jost-Brinkmann, P. G. 2007. "SureSmile--CAD/CAM system for orthodontic treatment planning, simulation and fabrication of customized archwires". *International journal of computerized dentistry* 10(1): 53-62.
- Okunami, T. R., Kusnoto, B., BeGole, E., et al. 2007. "Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: digital vs plaster dental casts". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131(1): 51-56.
- Pauls, A. H. 2010. "Therapeutic accuracy of individualized brackets in lingual orthodontics". *Journal of orofacial orthopedics* 71(5): 348-361.

- Redmond, W. J., Redmond, M. J., Redmond, W. R. 2004. "The OrthoCAD bracket placement solution". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(5): 645-646.
- Reynolds, R. 2011. "CAD/CAM lingual bracket systems. The new superior invisible braces?". *The New York state dental journal* 77(2): 20-23.
- Sachdeva, R., Fruge, J. F., Fruge, A. M., et al. 2005. "SureSmile: a report of clinical findings". *Journal of clinical orthodontics : JCO* 39(5): 297-314; quiz 315.
- Santoro, M., Galkin, S., Teredesai, M., et al. 2003. "Comparison of measurements made on digital and plaster models". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(1): 101-105.
- Shpack, N., Geron, S., Floris, I., et al. 2007. "Bracket placement in lingual vs labial systems and direct vs indirect bonding". *The Angle orthodontist* 77(3): 509-517.
- Thiruvengkatachari, B., Al-Abdallah, M., Akram, N. C., et al. 2009. "Measuring 3-dimensional tooth movement with a 3-dimensional surface laser scanner". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135(4): 480-485.
- Wiechmann, D. 1999. "Lingual orthodontics (part 1): laboratory procedure". *Journal of orofacial orthopedics* 60(5): 371-379.
- Wiechmann, D., Rummel, V., Thalheim, A., et al. 2003. "Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(5): 593-599.

ABSTRACT

Comparison of virtual and manual tooth set up with digital and plaster model : extraction case

JOON IM, D. D. S.

Department of Dental Science

Graduate School of Yonsei University

(Directed by Prof. JUNG-YUL CHA, D.D.S., M.S.D., Ph. D.)

Since the 3-dimensional (3D) imaging technology developed, it has been utilized in the orthodontic field and is becoming more versatile: cast analysis and virtual set up using digital cast, three-dimensional analysis of tooth movement and customized orthodontic appliances by CAD/CAM. In particular, digital model is applied in lingual orthodontics which uses indirect bonding system for precise bracket positioning. 3D virtual setup program has an advantage of cast analysis and model setup for indirect bonding and bonding of orthodontic appliances using 3D virtual program.

At present, even though many articles on techniques in lingual orthodontic cases and virtual set up by 3D virtual setup system are available, there is no article on its criteria and features of virtual setup. Therefore, the aim of the study was to find out the characteristics and its limitations of virtual setup via three-dimensional digital model by comparing those with manual setup using plaster model. The arch dimension (arch width and length, perimeter, overjet and overbite), angular variables (tip, torque, rotation), and ABO OGS of digital virtual setup model was compared to those of plaster model setup and we got results below;

1. The digital virtual setup model resulted in smaller arch perimeter than that of plaster setup model; 2.20 mm in upper arch ($p<0.01$) and 1.30 mm in lower arch ($p<0.05$). Also, the digital virtual setup showed a significant decrease in overbite and overjet ($p<0.01$).
2. There were no difference between virtual setup and manual setup in torque of the left and right sides of the arch, while virtual setup model resulted in more symmetrically aligned in tip and rotation of the both sides of the arch than those of manual setup.
3. The digital virtual setup had a tendency of mesial angulation of anterior teeth, labial inclination of upper anterior teeth ($p<0.05$) and distal-in-rotation of lower teeth ($p<0.05$).
4. The evaluation result by ABO OGS showed a statistical significance: the virtual setup model was deducted more in overjet and occlusal contact and total score ($p<0.01$) than the manual setup model.

We could expect further developments in orthodontic diagnosis and treatment with digital model setup using 3D virtual program. However, we need to recognize the difference between the digital setups and manual setups and a delicate adjustment in interproximal and occlusal contact is needed.