

투고일 : 2016. 6. 13

심사일 : 2016. 6. 16

게재확정일 : 2016. 6. 17

NiTi 호선을 이용한 초기 배열 후 디지털 방식 투명교정장치의 적용

조선대학교 치과대학 치과교정학교실

임 성 훈

ABSTRACT

Digital fabrication and application of clear aligner after alignment with NiTi archwires

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University
Sung-Hoon Lim

There are interferences between the teeth to be moved and the clear aligner made from setup. These interferences generate forces which move teeth to the desired position. However, these can cause incomplete tooth capture of clear aligner. When these interferences exceed the acceptable deformation of aligner, unwanted intrusion of teeth to be moved occurs. When correction of rotation or tipping of teeth is attempted, intrusion prevails before rotation or tipping. However, clear aligner can induce labiolingual tipping or intrusion easily. To achieve preliminary alignment including control of rotation and tipping, NiTi archwires with fixed appliance can be used first, and then clear aligner can be used for finishing in mild Class I malocclusion cases. For this purpose, clear aligner can be made using a digital setup and 3D printing. To move teeth using a clear aligner, tooth capture is critical. To improve tooth capture of clear aligners, slingshot or vertical elastics can be used. These were discussed with illustrations.

Key words : clear aligner, digital setup, 3D printing

Corresponding Author

Sung-Hoon Lim

303, Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-825, Korea

Tel : +82-62-220-3870, e-mail : shlim@chosun.ac.kr

This study was supported by research funding from Chosun University Dental Hospital, 2015.

I. 서론

투명교정장치를 제작하는 방법으로는 모형을 setup하는 방법과 setup하지 않는 방법 두 가지가 있다. 모형을 setup하지 않는 방법은 Sheridan 등¹⁾이 소개한 Essix 장치를 사용하는 방법으로, Essix

장치 자체에 window와 돌기를 형성해서 힘을 가하거나, Essix 장치를 제작하기 위한 모형에 치아가 이동할 공간을 block out하고 장치가 치아에 힘을 가하도록 하기 위한 함요(divot)를 형성하는 방법이다. 모형을 setup해서 투명교정장치를 제작하는 방법에도 디지털 setup을 이용하는 방법과 매뉴얼 setup을 이

용하는 방법이 있다. 여기에서는 디지털 setup을 이용하는 방법에 대해 설명하고자 한다.

II. 투명교정장치의 디지털 방식 제작 과정

디지털 setup을 이용하는 경우 먼저 디지털 모형을 얻어야 한다. 이를 위해 환자의 치열을 인상 채득하여 얻은 석고 모형을 3D 스캐너로 스캔할 수 있으며, intraoral scanner를 이용하여 환자의 치열을 직접 스캔할 수도 있다. 스캔을 통해 3D 디지털 모형이 만들어지면, 이를 setup 프로그램에 불러와서 setup을 진행한다. 투명교정장치를 제작할 수 있는 setup 프로그

램으로는 Maestro 3D Ortho Studio (Age solutions, Pontedera, Italy), Ortho Analyzer (3Shape, Copenhagen K, Denmark), Orchestrate 3D (Orchestrate 3D, Rialto, CA, USA)가 있다. 본 보고에서는 Maestro 3D Ortho Studio를 기준으로 투명교정장치의 제작 과정을 설명하고자 한다.

1. 3D 디지털 모델을 setup 프로그램으로 불러온 후 모형을 정렬한다(Fig. 1).
2. 각 치아를 분리하기 위해 각 치아의 치은연을 따라 네 개의 점을 찍어 치은연이 marking되도록 한다 (Fig. 2A). 네 점을 기반으로 자동으로 생성된 치은

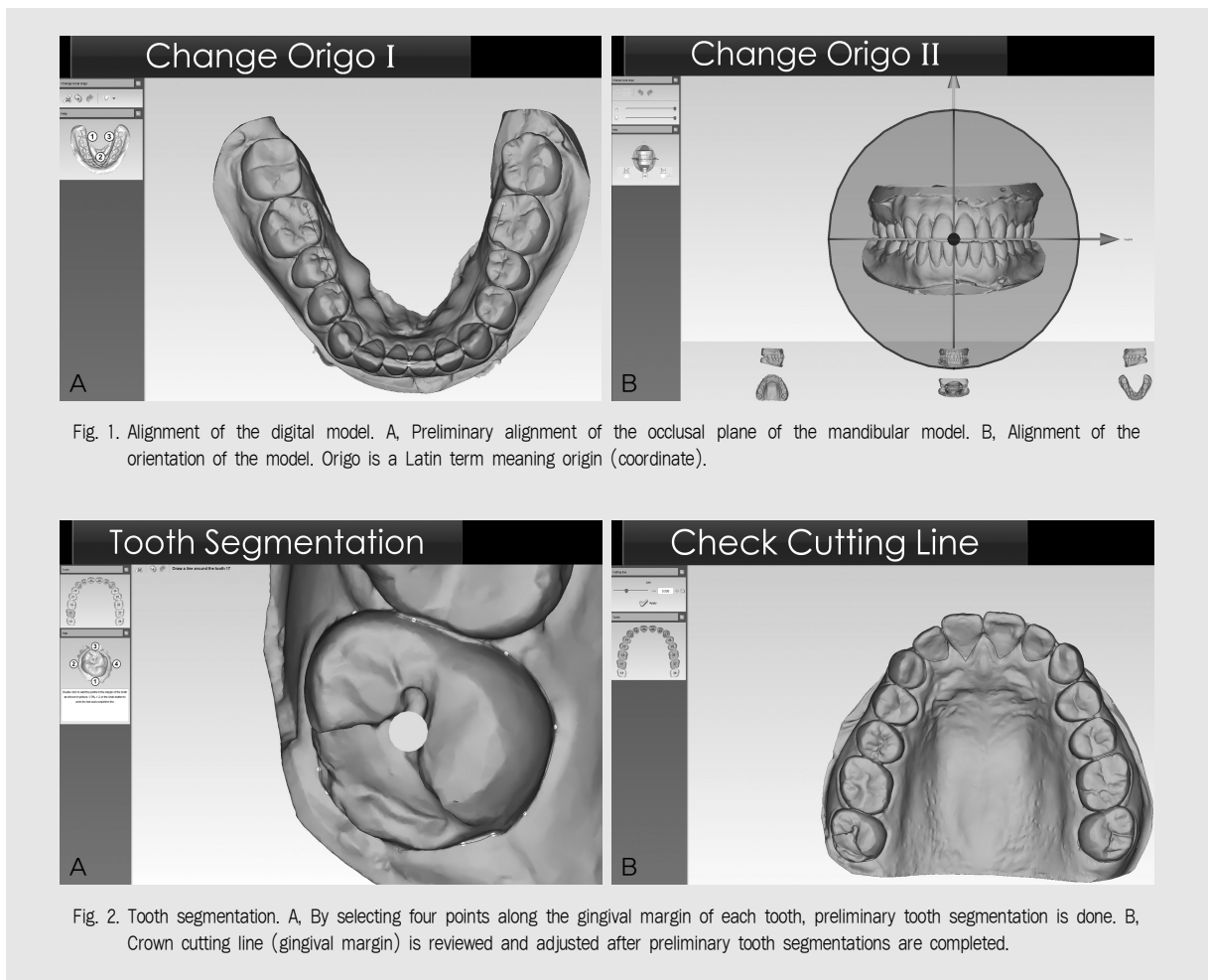


Fig. 1. Alignment of the digital model. A, Preliminary alignment of the occlusal plane of the mandibular model. B, Alignment of the orientation of the model. Origo is a Latin term meaning origin (coordinate).

Fig. 2. Tooth segmentation. A, By selecting four points along the gingival margin of each tooth, preliminary tooth segmentation is done. B, Crown cutting line (gingival margin) is reviewed and adjusted after preliminary tooth segmentations are completed.

연 marking이 부정확할 경우 점을 수정하거나 추가로 점을 찍는다. 이 marking에 따라 임상 치관이 분리되고, 치아의 이동이 가능해진다. 각 치아의 치은연 marking이 완료된 후 전체적으로 치관 cutting line이 제대로 설정되었는지 확인한다(Fig. 2B).

3. 각 치아의 장축을 조절한다(Fig. 3). 이 장축에 따라 가상의 치근이 형성되며, 이때 치근의 길이도 조절할 수 있다. 이 과정이 중요한데, setup 시 치아의 위치를 조절할 때 이 장축을 기준으로 translation, rotation이 조절되기 때문이다. 석고 모형은 물론, 방사선사진도 참조하여 각 치아의 장축을 조절하고, setup이 완료되었을 때 가능한 치근 평행이 이루어지도록 한다.

4. 치아의 위치 이동(Fig. 4). 3D transform widget을 이용하여 치아를 이동시킨다. 필요 시 다양한 형태의 composite attachment도 선택하여 형성할 수 있다(Fig. 4B). Composite attachment는 tooth capture를 증진하기 위한 것이며¹⁾, Invisalign에서 사용되는 attachment와는 다르다.

5. 투명교정장치 제작 간격 설정(Fig. 5). 각 투명교정장치 사이에 치아 이동이 어느 정도 일어나게 할 것인지를 결정하면, 필요한 투명교정장치의 수가 계산된다. 하나의 투명교정장치에서 일으킬 치아이동 범위를 크게 할수록 필요한 투명교정장치의 수는 줄어들지만, 장치의 적합도는 떨어지게 된다. 치관의 순설측 경사 이동은 다소 크게 해도 되지만, 회전, 토크 조

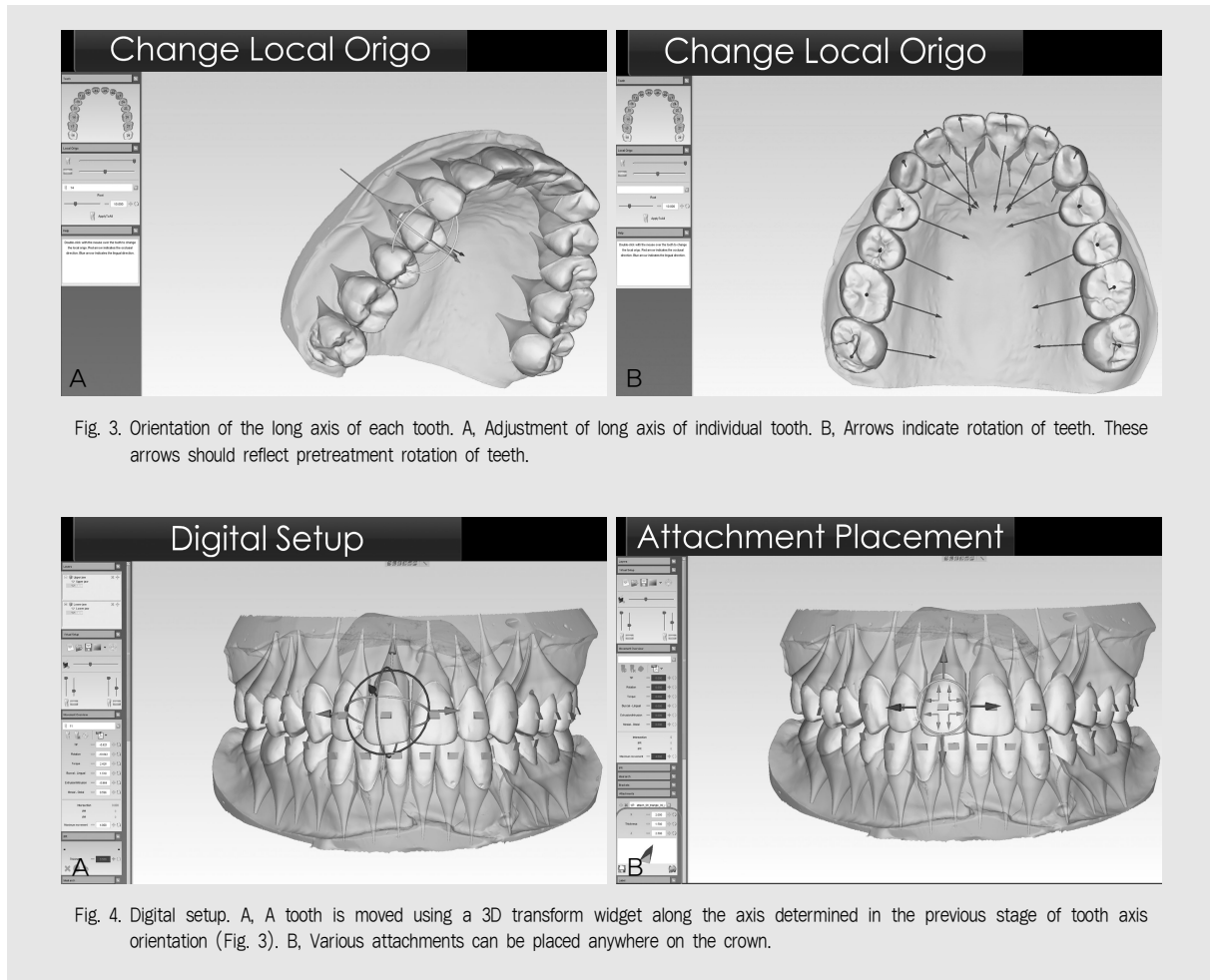


Fig. 3. Orientation of the long axis of each tooth. A, Adjustment of long axis of individual tooth. B, Arrows indicate rotation of teeth. These arrows should reflect pretreatment rotation of teeth.

Fig. 4. Digital setup. A, A tooth is moved using a 3D transform widget along the axis determined in the previous stage of tooth axis orientation (Fig. 3). B, Various attachments can be placed anywhere on the crown.

질, 정출과 같이 투명교정장치로 이루기 어려운 치아 이동의 경우에는 상대적으로 작게 해야 된다. 한 단계에서의 회전은 2.5° 이내²⁾, 이동 거리는 0.3mm 이내로 설정하는 것이 좋다(Fig. 5).

6. Cut and close (Fig. 6). 3D 디지털 모델의 바닥면이 열려 있는 경우에는 stl 파일 출력 전에 바닥면을 막아서 watertight 3D mesh 모형을 형성해야 프린팅이 가능하며, 프린팅 후 pressure moulding machine이나 vacuum forming machine으로 열성형하여 투명교정장치를 제작하려

면 모형의 바닥이 평평한 것이 좋다. 이를 위해 cut and close 기능을 사용한다. 이후 단계별 모형들을 stl 파일로 내보낸다. stl은 stereolithography의 약자로 3D 프린터 제조사인 3D Systems 사가 제안한 파일 포맷이며, 3D 프린팅에 사용되는 표준 파일의 하나이다.

7. 단계별 setup 모델의 3D 프린팅 및 투명교정장치 제작(Fig. 7). 각 단계별로 3D 프린팅한 모델에 pressure moulding machine (Ministar, Scheu-Dental, Iserlohn, Germany)을 이용하

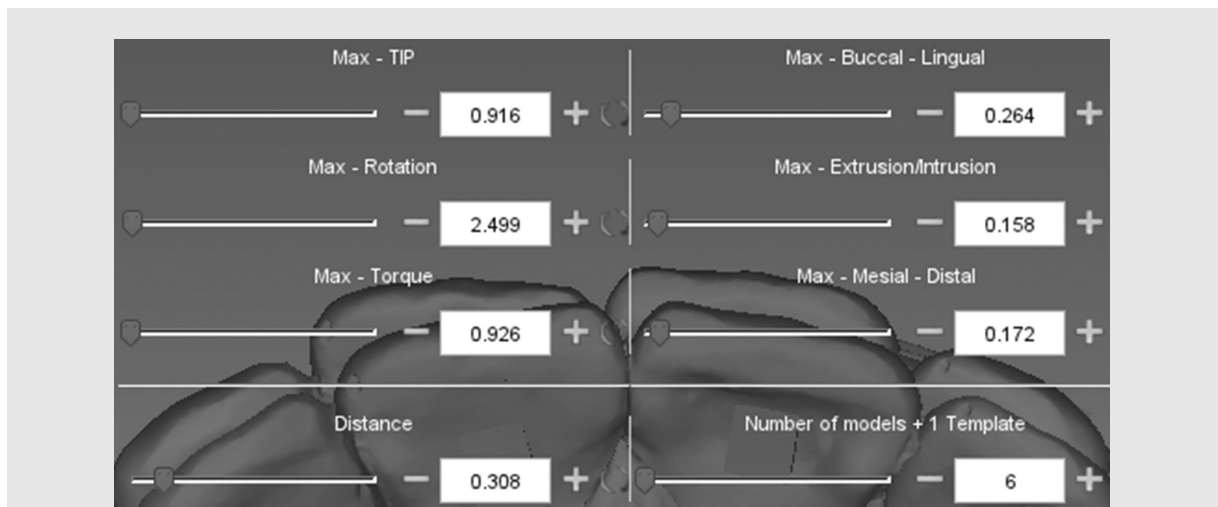


Fig. 5. Sequencing aligner stages. The amount of tooth movement between aligner stages can be limited in the tip, rotation, and torque, and also in the bucco-lingual, mesio-distal, and extrusion-intrusion movements. By adjusting these variables, number of aligners are determined.

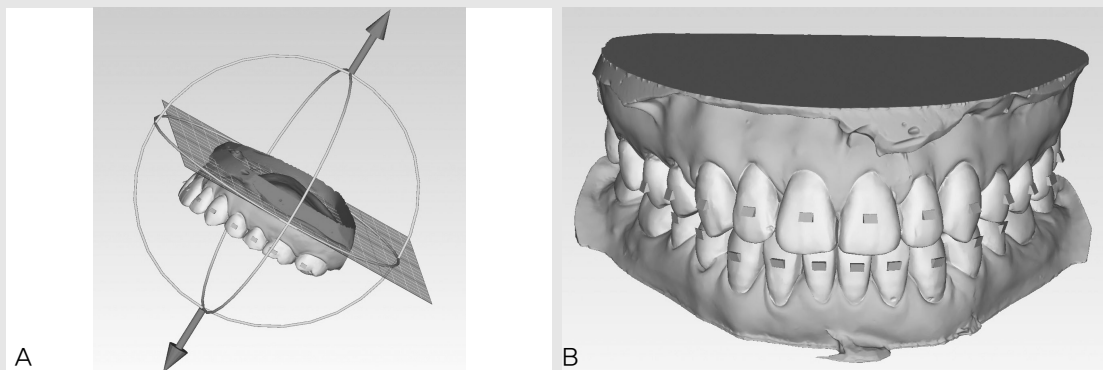


Fig. 6. Cut and close. Base of the setup model is cut flat (A) and the open bottom is sealed to make a watertight mesh model (B).

여 각각 0.5mm, 0.75mm 두께의 polyethylene terephthalate glycol (PET-G)(Duran[®], Scheu-Dental)으로 투명교정장치를 제작한다. Attachment를 사용할 경우에는 attachment를 치아에 부착하는 데 사용하는 template를 제작해야 한다. Template를 열성형방법으로 제작하기 위해서는 모델이 있어야 하는데, 이를 위해 치아 이동 전 상태의 모델에 attachment만 추가로 형성된 모델도 추가로 프린팅한다.

8. Template 제작(Fig. 8). Template 형성용 모델을 이용하여 먼저 Copyplast[®] 0.5mm (Scheu-

Dental)로 열성형을 하고, 여기에 Duran[®] 1.0mm를 덧씌워 열성형하여 보강한다. 치아에 attachment를 부착하는 과정은 다음과 같다. (1) 치면세마, 산부식, 수세, 건조. (2) Bonding agent 도포. (3) Template 내의 attachment에 해당하는 recess 부위에 flowable resin을 충전(Fig. 8A), (4) Template를 치열에 장착하여 광중합(Fig. 8B). Copyplast[®]는 저밀도 polyethylene 재질로 composite resin과 화학적으로 결합하지 않으므로 광중합 후 쉽게 제거할 수 있다.

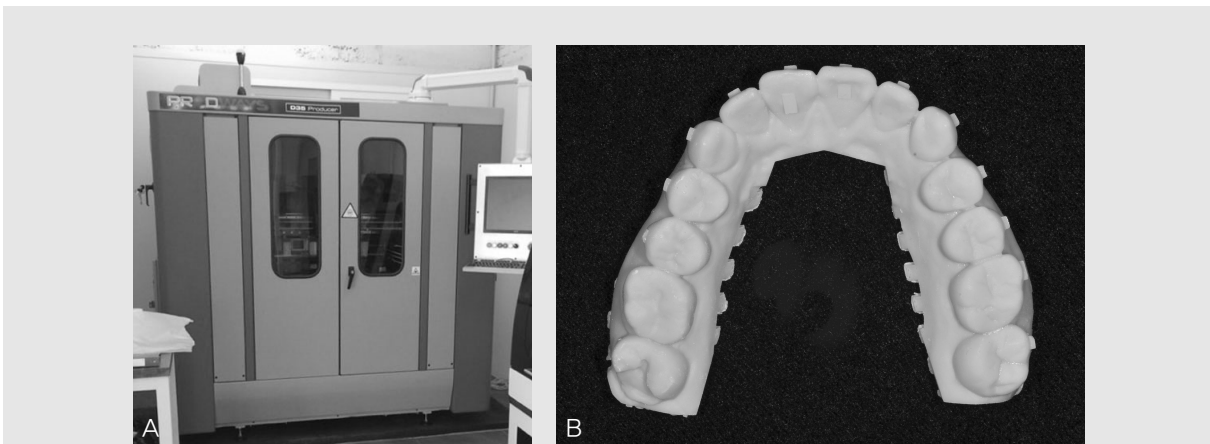


Fig. 7. 3D Printing of aligner models. A, 3D printer (D35, Prodways, Les Mureaux, France). B, Printed model.

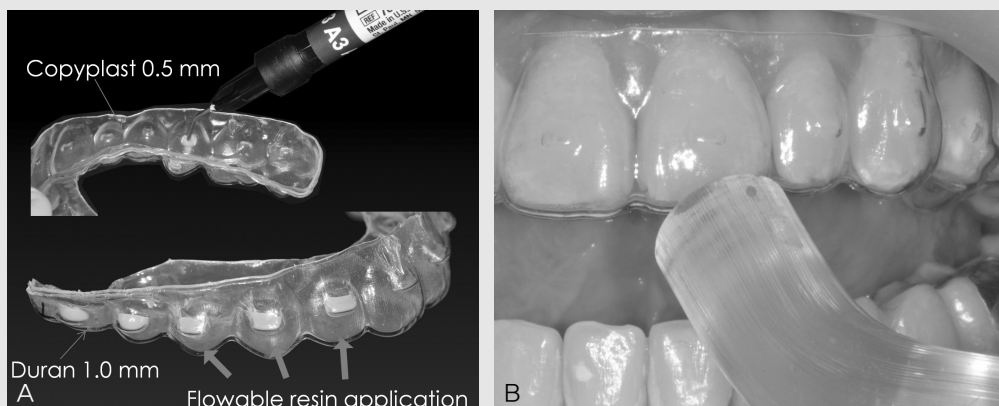


Fig. 8. Forming composite attachments using template and flowable resin. A, Flowable resin is filled in the recess for composite attachment. B, Template is placed on the dentition and the flowable resin is light-cured.

Ⅲ. 투명교정장치 적용 증례

“이가 삐뚤삐뚤해요”를 주소로 내원한 27세 여환으로, 초기 배열은 상악 전치부에 부착한 설측 브라켓과, 하악 전치부 설측 및 하악 좌측 구치부 협측에 부착한 mini-tube appliance와 NiTi 호선으로 시행하였다(Fig. 9). 설측 브라켓을 torque에 대한 고려 없이 부착하면, 일반적인 SWA 순측 브라켓보다도 더 낮은

순설측 두께를 갖도록 부착할 수 있다. 단, 이 경우에는 2D 브라켓과 같은 개념으로 원형 호선만 사용해야 한다. 본 증례에 사용한 것과 같은 설측 자가결찰 브라켓(Clippy-L, Tomy, Tokyo, Japan)은 2D 브라켓에 비해 두께가 약간 더 두껍지만, 근원심 경사도 (tip) 조절의 정확도는 더 우수하다. .013" Copper NiTi와 .014" NiTi를 사용하여 5개월간 초기 배열을 완료한 후 장치들을 제거하였으며, 투명교정장치 제

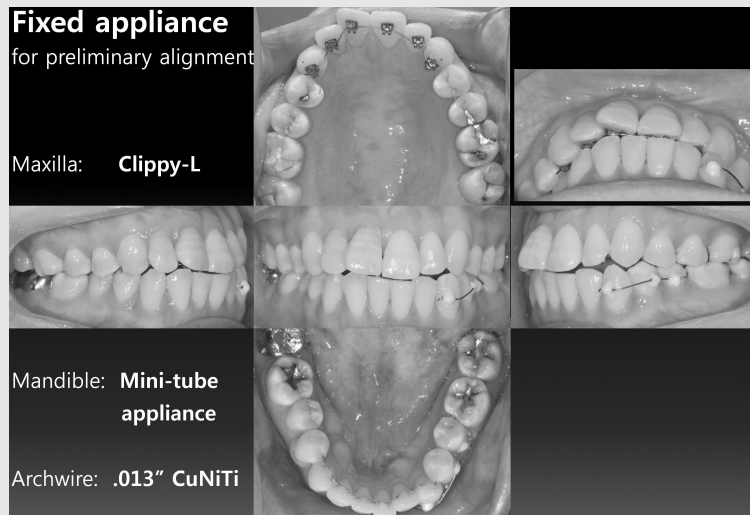


Fig. 9. Preliminary alignment using NiTi archwire. Lingual self-ligating brackets were bonded on maxillary anterior teeth and mini-tube appliance was bonded on mandibular anterior and left posterior teeth.

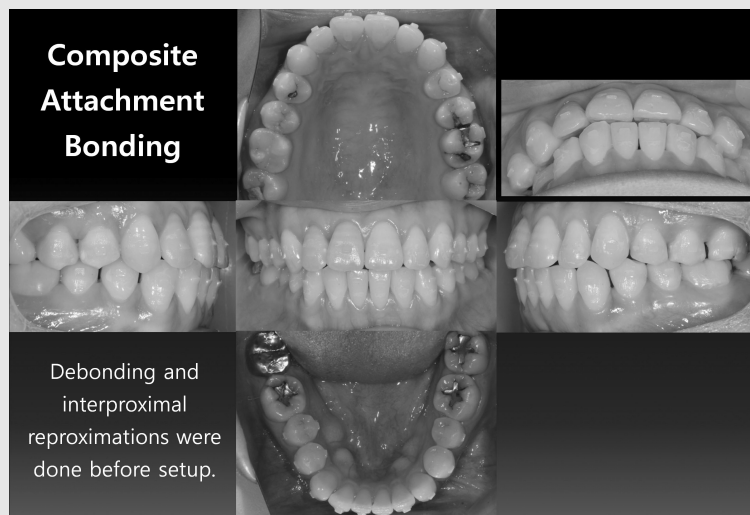


Fig. 10. Preliminary alignment was completed and composite attachments were bonded. Debonding and interproximal reproximation were done before impression taking for fabrication of clear aligners.

작을 위한 인상 채득 전에 인접면 법랑질 삭제(interproximal reproximation)를 시행하였다. 이후 상기한 제작 과정을 통해 투명교정장치를 제작하였다(Figs. 1~8).

Template를 이용하여 삼각형 형태의 attachment들을 형성하였으며, 이때 attachment의 폭은 2mm, 두께는 1.5mm, 높이는 2.5mm로 설정하였다(Fig. 4B). 이는 attachment 모델의 설정값으로, attachment 모델의 절반이 치아 모델 내부에 매몰되기 때문에 실제 치아 외부에 형성되는 attachment의 두께와 높이는 설정값의 절반이 되며, 폭만 설정값과 동일하게 형성된다(Fig. 7B). 각 단계별로 0.5mm Duran[®]으로 제작한 장치를 1주, 0.75mm Duran[®]으로 제작한 장치를 1주씩 착용하도록 하였으며, 다음 단계의 장치가 잘 맞지 않을 경우 기존 단계의 장치를 더 착용토록 하였다. 투명교정장

치 치료 3개월째 장치가 치아를 충분히 capture하지 못하는 부위들이 관찰되었다(Fig. 11). 이에 tooth capture가 안되는 치아들의 치은측 치아면에 composite resin hook 또는 plastic button을 부착하였으며, 이에 대응되는 투명교정장치 부위는 가위로 잘라주었다. 이후 slingshot elastic¹⁾을 적용하기 위해 투명교정장치의 설면에 lingual button을 부착하여 composite resin hook 또는 plastic button과 lingual button을 고무줄로 연결하였다(Fig. 12A). Lingual button을 부착하는 대신 elastic hook forming thermoplier¹⁾로 hook을 형성할 수도 있으며, 투명교정장치의 치은연 부위에 slit을 형성할 수도 있다. 교합의 정착을 위해 추가로 전치부 상하악 plastic button 사이에 수직 고무줄을 적용하여 정출시켰다(Fig. 12B). 이러한 slingshot 또는 수직 고무줄을 이용한 치아 이동에

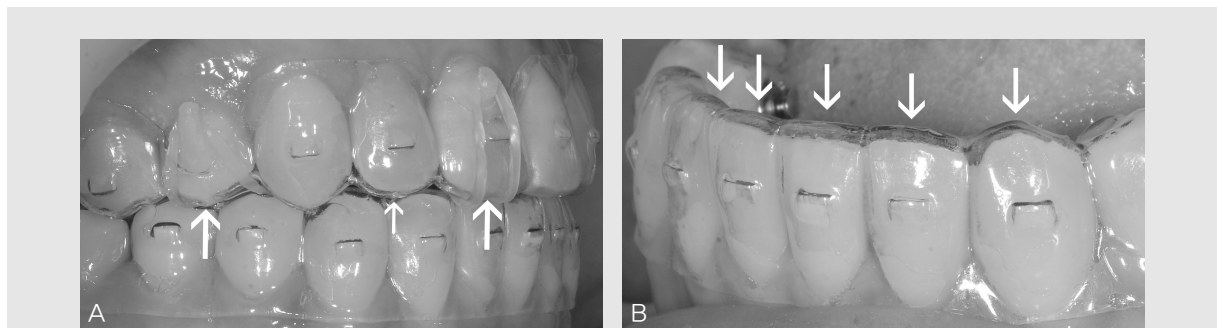


Fig. 11. Incomplete tooth captures were observed in the areas indicated by white arrows. A, Composite resin hooks were formed on the tooth showing incomplete tooth capture and slingshot elastics were applied from composite resin hooks bonded on the gingival side of tooth to the lingual buttons on the lingual side of the aligner. B, Incomplete tooth captures were seen on the mandibular anterior teeth.

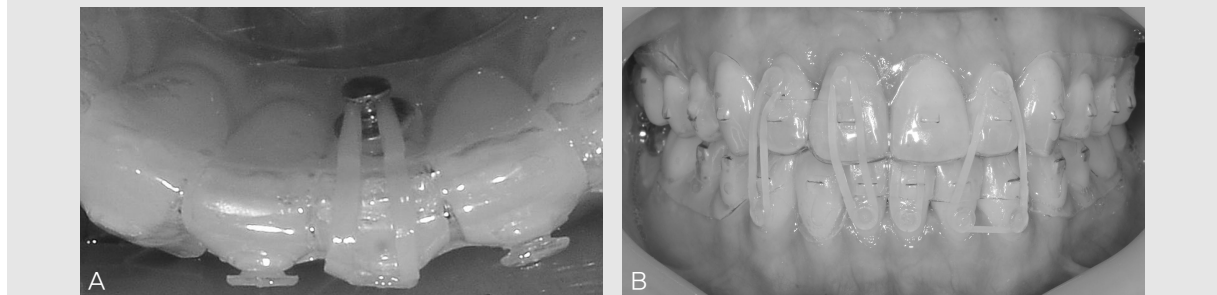


Fig. 12. Slingshot and vertical elastics. A, Slingshot elastic was applied from plastic button bonded on the labial surface of the mandibular left central incisor to the lingual button bonded on the lingual side of the aligner. B, Vertical elastics were worn between upper and lower anterior teeth.

서 투명교정장치는 치아를 직접적으로 움직이기보다는, 치아의 이동 방향을 가이드 하는 역할을 한다. 예를 들어, 투명교정장치 없이 전치에 부착된 버튼에 수직 고무줄을 착용하면, 고무줄에 의한 힘이 치아의 저항중심 순측을 지나게 되므로 정출력과 함께 설측으로 경사되는 모멘트가 발생하고, 이에 의해 전치부의 배열이 흐트러질 수 있다. 그러나 투명교정장치를 착용한 상태에서 수직 고무줄을 착용하면 치아가 정출되면서 setup한 위치로 유도될 수 있다. 본 환자에서는 5개월간의 고정식 교정장치 치료 및 4개월간의 투명교

정장치 치료를 통해 성공적으로 치료할 수 있었다 (Fig. 13). 치료 전후 모형 중첩(Fig. 14)에서 인접면 법랑질 삭제를 통해 악궁 확장 없이 치아를 배열할 수 있었던 것이 관찰되었다.

IV. 고찰

2015년에 보고된 systematic review³⁾에서 투명교정장치는 절치의 압하, 구치의 협설 경사 조절에 효



Fig. 13. Posttreatment intraoral photographs.



Fig. 14. Superimposition of pre- and post-treatment models. Light gray color shows pretreatment model and dark gray color shows posttreatment model.

과적일 수 있으나, 전치의 순설 경사 조절이나 정출, 견치 및 소구치와 같이 둥근 치아의 회전 조절에는 효과적이지 못하다고 보고되었다. 또한 투명교정장치 치료는 고정식 교정장치 치료에 비해 전후방적 교합관계 개선이나 교합접촉 개선이 불량하다⁴⁾. 이러한 문제점으로 인해 I급의 경미한 부정교합 외에는 투명교정장치를 적용하기 어렵다. 투명교정장치는 주로 치관의 경사 이동을 일으키며, 치근 이동을 일으키기 어렵다⁵⁾. 따라서 주로 치관의 경사 이동이 필요한 경우에 한해 투명교정장치를 적용하는 것이 바람직하며, 특히 약간의 절치 전돌과 함께 spacing이 있는 경우에 가장 효과적이다. 그러나 투명교정장치가 치아를 충분히 capture하지 못하면 치관의 경사 이동조차도 이루기 어렵다. 이러한 tooth capture가 잘 되도록

하기 위해 attachment를 사용하는 것인데, attachment가 있어도 종종 투명교정장치의 진행에 비해 치아 이동이 느리게 나타나는 tooth movement lag이 나타나면서 tooth capture에 실패하는 부위가 생긴다. 장치 장착 초기 단계에서는 tooth capture가 잘 이루어지다가도, tooth movement lag이 축적되면서 tooth capture에 실패하게 된다. Tooth capture에 실패한다는 것은 장치와 실제 치아 사이의 차이가 장치가 변형되면서 장착될 수 있는 한계를 넘어선다는 것을 뜻한다. 이러한 상태가 되면, 치아를 움직이고자 하는 부위에서는 장치와 실제 치아 사이에 국소적인 조기 접촉이 발생하고, 이 조기 접촉 부위에서 치아가 압하력을 받게 된다 (Fig. 15). 특히 회전 조절이 필요한 경우 이러한 문

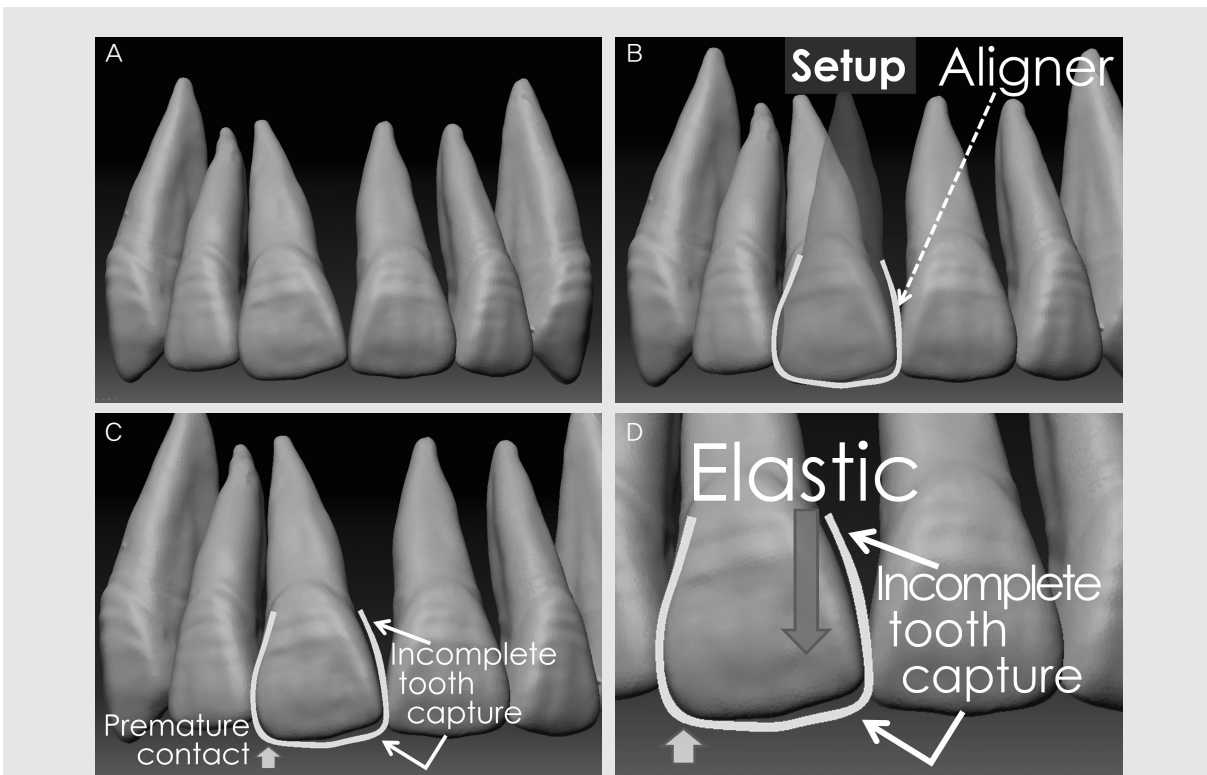


Fig. 15. Illustration of incomplete tooth capture in tipping control. A, Maxillary right central incisor was tipped mesially. B, Tipping was corrected at setup and then clear aligner (white line) was made. C, Clear aligner was seated on the patient's teeth. Mesial side of the right central incisor was not captured by the aligner due to premature contact on the distal side of incisal edge. D, Slingshot or vertical elastic can be applied to extrude and capture the mesial side of the right central incisor.

제가 흔히 발생한다(Fig. 16). 회전 조절의 경우 조기 접촉이 절치 순설면의 경사면에서 일어나기 때문에 수평력과 함께 압하력이 발생될 수밖에 없다²⁾. 특히 견치와 소구치와 같이 둥근 형태의 치아에서는 회전 조절이 매우 어려우며^{3,6,7)}, 넓은 형태를 갖는 절치에서도 setup에서 치아의 회전을 많이 시킬수록 치아에 가해지는 수직력이 과도해지며, 치아의 회전보다는 압하가 주로 일어나게 된다^{2,8)}. 또한 투명교정장치를 장착하는 과정에서 setup에 따라 제작된 장치와 치아 사이에 간섭이 발생함에 따라 장치의 치은측이 벌어지게 되어 치아의 치은 부위에 교정력을 효과적으로 전달하기 어려우며, 이에 따라 치체이동을 이루기 어렵

다⁸⁾. 투명교정장치로 치근의 위치를 조절을 하는 것이 불가능하지는 않지만 치근의 이동이 필요한 경우 고정식 장치를 사용하여 치료하는 것이 더 효율적이다.

경미한 I급 부정교합의 치료에 있어서, 투명교정장치로 이루기 어려운 근원심 경사와 회전의 조절은 본 증례에서와 같이 고정식 장치에 NiTi 호선을 적용하여 달성한 후, 투명교정장치로 가장 잘 할 수 있는 치아 이동인 설측 경사 이동과 고무줄을 추가하여 얻을 수 있는 전치부 수직 정렬만 투명교정장치로 달성하는 것이 보다 효율적이다. 전치의 압하가 필요한 경우에는 압하가 필요한 치아가 아니라 그 인접 치아에서 tooth capture가 잘 되어야만 압하력이 발생될 수

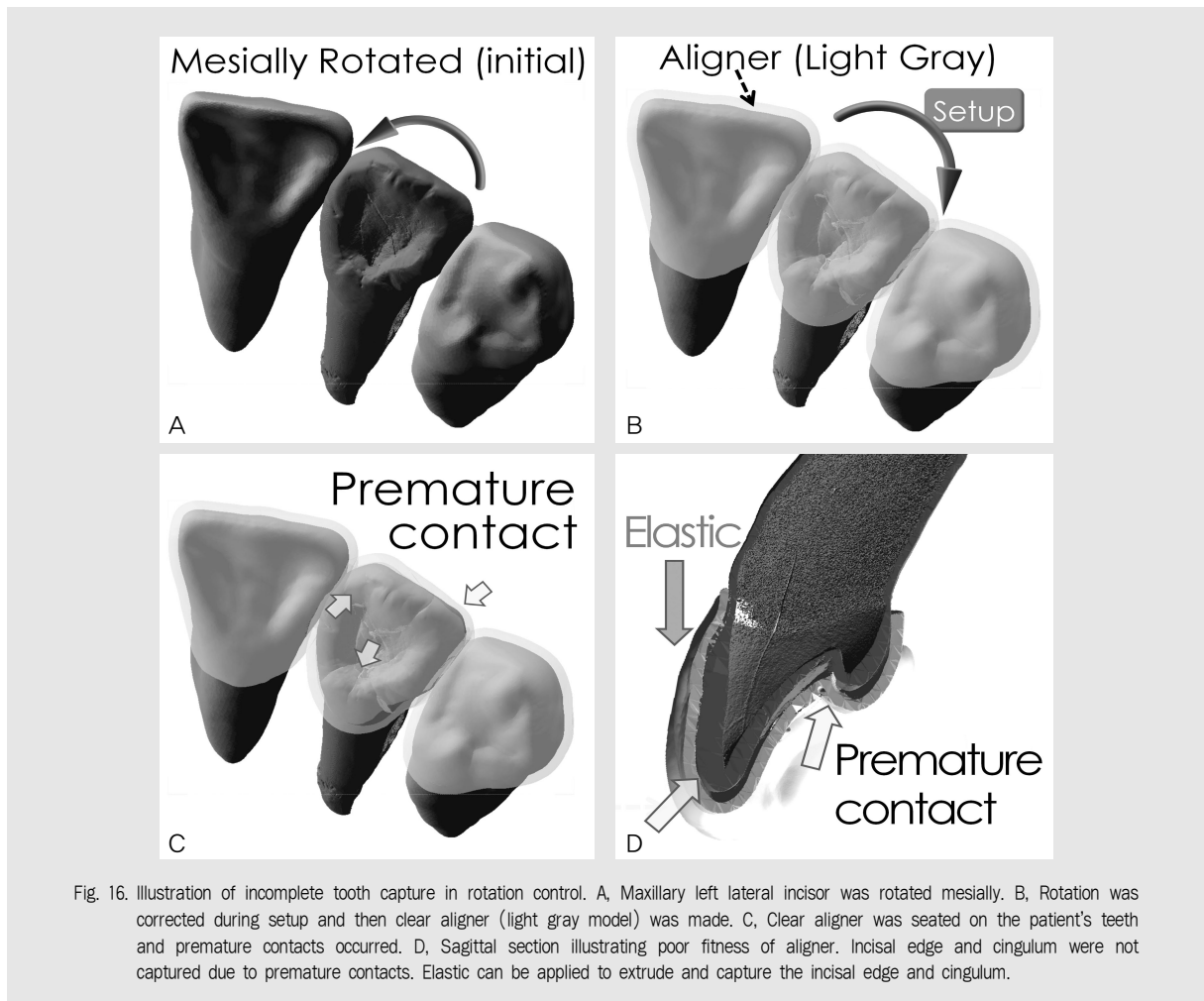


Fig. 16. Illustration of incomplete tooth capture in rotation control. A, Maxillary left lateral incisor was rotated mesially. B, Rotation was corrected during setup and then clear aligner (light gray model) was made. C, Clear aligner was seated on the patient's teeth and premature contacts occurred. D, Sagittal section illustrating poor fitness of aligner. Incisal edge and cingulum were not captured due to premature contacts. Elastic can be applied to extrude and capture the incisal edge and cingulum.

있다. 그러나 압하시킬 치아에서 발생하는 조기 접촉이 인접치의 tooth capture를 방해하기 때문에 압하가 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인접치에 slingshot elastic을 적용하여 인접치의 tooth capture를 증가시키거나, 압하시킬 치아의 절단면 부위의 투명교정장치에 구멍 또는 intrusion slit을 형성하고 여기에 slingshot elastic을 적용하여 치아의 교합면에 직접 압하력을 가하는 방법^{9,10)}을 적용하는 것이 좋다.

디지털 setup을 위해서는 컴퓨터 작업만 두세 시간 가량 소요된다. 필요한 치아 이동이 많은 경우에는 이 방법이 효율적일 수 있으나, 필요한 치아 이동이 적은 경우에는 매뉴얼 setup이 더 효율적이며, 교합을 더 잘 맞출 수 있고, 장치의 적합성(fitness)도 더 낫다. 향후 인공지능 기술을 통해 치아의 segmentation 및 정렬 과정, 그리고 기초적인 setup까지 자동화되기 전까지는 디지털 setup보다는 매뉴얼 setup이 더 효율적인 경우가 많을 것이다.

Tooth capture가 잘 되게 하기 위해 attachment를 적용하는 방법에는, 본 증례에서 소개한 바와 같이 디지털 방식으로 설계하여 형성하는 방법도 있지만, 기공 작업을 위한 인상 채득 전에 치면에 composite mound를 형성하거나, 미니-몰드를 이용하여 각형의 attachment를 형성하는 방법¹¹⁾이 더 좋다. 이 방법을 사용할 경우 기존에 주로 사용되던 매뉴얼 setup을 이용하여 투명교정장치를 제작할 때에도 attachment를 적용할 수 있다. 모든 치아에

slingshot elastic이나 수직 고무줄을 걸 수는 없기 때문에 attachment를 사용하는 것이 도움이 되기는 하지만, tooth capture를 개선하는 데는 attachment보다 고무줄이 훨씬 더 효과적이다.

Tooth capture를 증진하기 위해 attachment에 의한 undercut이 많이 형성되도록 하면 장치 착탈이 매우 어려워지고 착탈 과정에서 장치의 순면 치은측이 순측으로 벌어지는 변형이 발생하는 문제가 있다. 반면, undercut이 적게 형성되도록 하면 tooth capture에 별로 도움이 되지 못한다. 임상치관 길이가 짧거나 치간 부위 undercut이 부족하여 장치의 유지력을 얻기 어려운 경우를 제외하고는 attachment 사용이 필수적인 것은 아니며, attachment 사용이 꼭 필요한 경우라면 근본적으로 투명교정장치를 적용하는 것이 바람직하지 않은 경우라고 할 수 있다.

V. 요약

경미한 I급 부정교합의 경우, 회전 및 경사 조절은 먼저 NiTi 호선을 사용하여 달성한 후, 순설 이동 및 약간의 수직 조절은 투명교정장치로 이루는 방법을 선택할 수 있다. 이때 tooth capture가 잘 안 되는 부위에서는 slingshot 또는 수직 고무줄을 사용하여 보완할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Sheridan JJ, Hilliard K, Armbruster P. Essix Appliance Technology: Applications, Fabrications and Rationale. GAC International, Bohemia, NY. 2003.
2. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Fialka-Fricke J, Kubein-Meesenburg D et al. Initial forces and moments delivered by removable thermoplastic appliances during rotation of an upper central incisor. *Angle Orthod.* 2010;80:239-246.
3. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):881-889.
4. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:292-298
5. Zhang XJ, He L, Guo HM, Tian J, Bai YX, Li S. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. *Korean J Orthod.* 2015;45(6):275-281.
6. 김태원. 투명교정장치의 이론과 실제 1. 개정판. 명문출판사, 서울. 2007. p. 99.
7. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145:728-736.
8. Brezniak N. The clear plastic appliance: a biomechanical point of view. *Angle Orthod.* 2008;78:381-382.
9. Ambruster P, Sheridan JJ, Nguyen P. An Essix Intrusion Appliance. *J Clin Orthod* 2003;37:412-416.
10. Park JH, Kim TW. Deep-Bite correction using a clear aligner and intramaxillary elastics. *J Clin Orthod* 2009;43:152-157
11. 김형문, 임성훈, 강성남, 김선영. 디지털 방식 투명 플라스틱 교정장치의 진료실 내 제작. *대한치과교정학회임상저널* 2015;5:239-246.