

# 오픈-소스 소프트웨어를 이용한 콘빔 전산화단층영상의 중첩 및 시각화

조선대학교 치과대학 치과교정학교실

전 우 람, 임 성 훈\*

## ABSTRACT

### Cone-beam CT superimposition and visualization using open-source softwares

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University, Gwangju  
Woo-Ram Jeon, Sung-Hoon Lim\*

ITK-SNAP (<http://www.itksnap.org>) and 3D Slicer (CMFreg extension module; [www.slicer.org](http://www.slicer.org)) are open-source softwares which can be used for superimposition of cone-beam CT images. For superimposition, segmentation of bone is done with ITK-SNAP, and then voxel based superimposition of CBCT images can be performed using 3D Slicer. 3D Slicer has various visualization modules which are not provided in common commercial programs. 'Models' module is used to visualize two overlapping three-dimensional images, and this allows various visualizations by changing view mode and color of the model. In addition, differences between two CBCT images can be represented in a color map using 'ShapePopulationViewer' module. This report introduces how to superimpose and visualize CBCT images using ITK-SNAP and 3D Slicer, and the usefulness and limitations of both softwares will be discussed in comparison with commercial softwares.

Key words : Superimposition, CBCT, Visualization, Open-source software, ITK-SNAP, 3D Slicer

Corresponding Author

Sung-Hoon Lim

Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University, 303, Pilmun-daero, Gwangju, Korea.

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

## I. 서론

교정 치료 과정이나 성장 변화를 분석하기 위해 전통적으로 두부계측방사선사진을 비교하여 평가하였다. 하지만 이러한 이차원 영상은 치료 효과를 삼차원적으로 평가할 수 없다는 한계가 있으며 확대율이나 두부 자세 등을 포함한 촬영 자체의 오류도 무시할 수 없다<sup>1)</sup>. 최근에는 콘빔 전산화단층영상(CBCT)로 단면 영상을 촬영한 후 이를 삼차원 영상으로 재구성해주는 소프트웨어를 활용하여 치료 결과를 평가하고 있다. 대표적인 상업용 소프트웨어로 Invivo(Anatome, San Jose, CA, USA)와 OnDemand3D(CyberMed, Seoul, Korea)가 있으며 중첩, 모델 추출, 시각화 등을 시행할 수 있다.

하지만 Invivo에서는 중첩을 시행한 후 특정 영역만 분리하여 관찰할 수는 없다. 예를 들어 3D Slicer에서는 치료 전후 CBCT 영상을 두개저 기준으로 중첩한 후, 이 상태에서 하악골만을 분리하여 화면에 나타낼 수 있지만(Fig. 1), Invivo에서는 이와 같은 시각화가 불가능하다. 또는 관절와의 성장 변화를 관찰하고자하는 경우에도 하악 과두 등 주변 구조물로 인해 가려지므로 직접적인 관찰이 어렵다. 이러한 문제

를 해결하기 위해 원하는 부위만 분리(segmentation)하여 다른 소프트웨어에서 불러오는 방법이 있다. 하지만 분리된 모델을 저장할 때 방위(orientation)가 함께 저장되지 않기 때문에 중첩된 위치가 아닌 서로 독립적인 위치에 모델이 존재하는 문제가 발생한다.

한편, ITK-SNAP(<http://www.itksnap.org>)과 3D Slicer(CMFFreg extension module; [www.slicer.org](http://www.slicer.org))는 오픈-소스 소프트웨어로서, 소스코드가 무상으로 공개되어 있기 때문에 누구나 자유롭게 개발·개량에 참여할 수 있으며 무료로 사용할 수 있다. ITK-SNAP으로 모델을 분리, 추출하고 3D Slicer를 통해 CBCT 영상을 중첩하여 다양하게 시각화하는데, 이러한 시각화 기능 중에는 Invivo 등의 상업용 소프트웨어에서 지원하지 않는 기능도 많다. 따라서 본 보고에서는 오픈-소스 소프트웨어인 ITK-SNAP과 3D Slicer를 활용하여 CBCT 영상을 중첩하고 시각화하는 방법에 대해 소개하고, Invivo와의 비교를 통해 두 소프트웨어의 유용성과 한계성을 논하고자 한다.

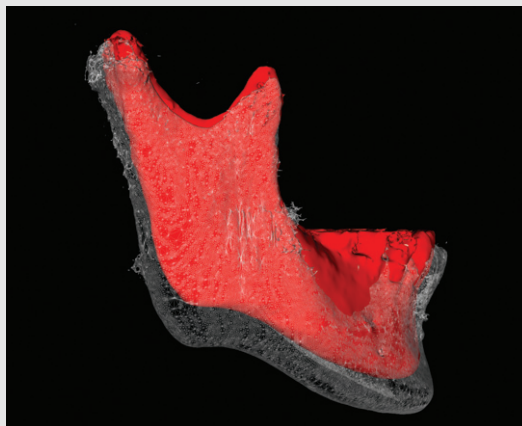


Fig. 1. Superimposition of two mandibles using ITK-SNAP and 3D Slicer: pretreatment (red shaded model), posttreatment (white wireframe model).

## II. 중첩(superimposition)

### 1) 분리(Segmentation)

특정 영역을 관찰하기 위해 중첩 영역이나 시각화 부위를 추출하는 과정을 분리라고 한다. 3D Slicer에서도 원하는 영역을 분리할 수 있지만 상당히 많은 시간과 노력이 필요하므로 비효율적이다. 따라서, 분리 과정은 ITK-SNAP이라는 별도의 오픈-소스 소프트웨어를 사용하는 것이 좋다. 이 소프트웨어는 분리 과정을 전용으로 만들어진 것으로, 여느 소프트웨어와 마찬가지로 해부학적 구조물에 따라 복셀 값(voxel value)이 서로 다른 점을 이용하여 분리를 시행한다.

분리 과정을 위해 'active contour segmentation mode'를 사용한다. 이 모드(mode) 내에서 관심 영역(region of interest)을 설정한 뒤, 'thresholding' 기능을 통하여 역치 값(threshold value)을 설정해주면 원하는 부위를 다른 구조물과 분리할 수 있다. 이 과정은 크게 두 가지를 분리해내기 위해 시행하는데, 하나는 두개저, 하악 결합 등 중첩에 사용되는 특정 영역이며 다른 하나는 하악골, 관절와 등 관찰이나 평가 대상이 되는 구조물이다. 이들 중 중첩에 필요한 영역은 'label map', 관찰 부위는 'volume'으로 사용되는데, ITK-SNAP에서는 같은 파일 형식으로 저장하되 3D Slicer에서 불러오는 옵션이 다르다 (Fig. 2, 3).

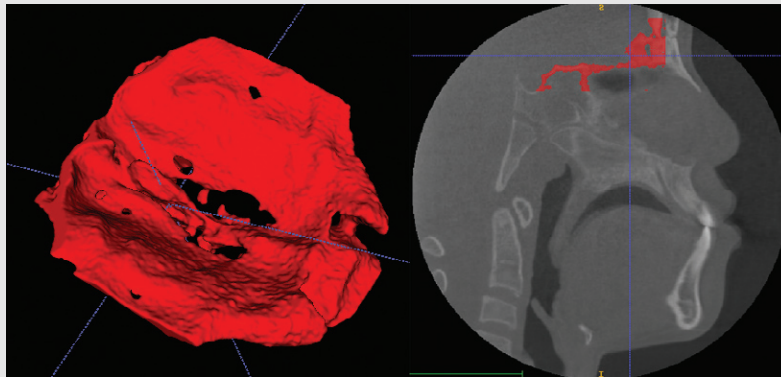


Fig. 2. Cranial base segmented for the voxel based registration, which would be used as 'label map' during registration.

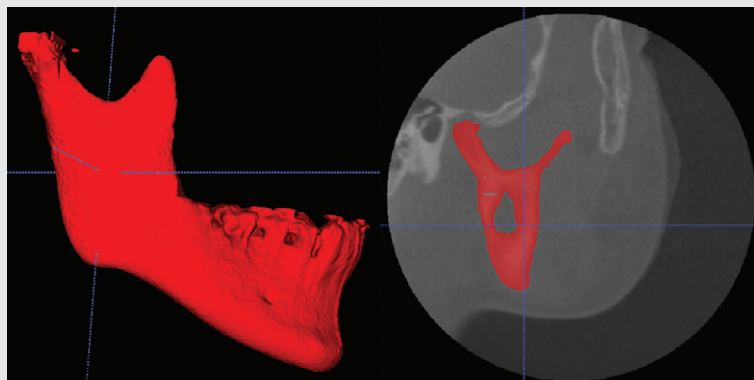


Fig. 3. Mandible segmented for the visualization, which would be used as 'volume' during registration.

## 2) 중첩 방법

성장기 환자의 중첩을 위해서는 안정적인 참고 영역이 필요한데, 성장이 이른 시기에 완료되어 성장에 대한 영향을 최소로 받는 부위가 중첩을 위해 사용될 수 있기 때문이다. Melsen<sup>2)</sup>에 따르면 '사골 사상판의 두 개 내면 (endocranial surface of the cribriform plate region of the ethmoid bone)' 과 '전두골의 내면(internal surface of the frontal bone)' 이 7세 정도에 성장이 완료되므로 이곳을 중첩 영역으로 설정하였다.

한편, 하악골의 특정 부위를 기준으로 치료 전후 치열 변화를 평가하기 위해 regional superimposition을 시행할 수 있다. 이를 위해 측두부계 측방사선사진 중첩과 마찬가지로 하악 결합의 내측 피질판과 하악골 하연을 중첩시키는 최적 중첩법을 사용하거나, 하악 결합의 소주상, 하악관, 대구치 치배 등에 중첩하는 안정골구조물 중첩법을 사용할 수 있다<sup>3, 4)</sup>. 하지만 2-3년 정도 단기간의 비교를 위해서는 안정골구조물 중첩법과 큰 차이가 없으므로<sup>3)</sup> 최적 중첩법을 많이 사용하는 편이다.

분리한 구조물을 3D Slicer에 불러온 후 중첩을 시행한다. 중첩을 위해 사용하는 모듈은 'Transform', 'Landmark registration', 'Voxelbase registration'이다. 'Transform' 모듈은 CBCT 영상을 관상면, 시상면, 축상면 상에서 평행 이동하거나 회전 이동하여 수동으로 중첩을 시행하는 것으로, 정확하진 않지만 조작이 쉬워 대략적인 중첩에 유용하다. 'Landmark registration' 모듈은 치료 전후 CBCT 영상에 기준점(landmark)을 설정하고 두 기준점을 일치시켜 중첩해나가는 방식으로 'Transform' 모듈보다 좀더 정확한 방법이다(Fig. 4). 하지만 이 방법 역시 수동으로 기준점을 일치시키는 것이기 때문에 정밀한 중첩법은 아니다. 반면, 'Voxelbase registration' 모듈은 두 CBCT 영상에 특정 중첩 영역을 지정하여, 이 영역의 유사한 복셀들이 최소 거리를 갖도록 자동으로 중첩하는 방법으로 세 가지 방법 중 가장 정밀한 중첩법이다(Fig. 5). 비록 'Voxelbase registration' 모듈을 사용하는 것이 가장 정확한 방법일지라도 'Transform'이나 'Landmark registration' 모듈을 통해 대략적인 중첩을 선행해야 한다. 이는 각각의 중첩 영역이 어

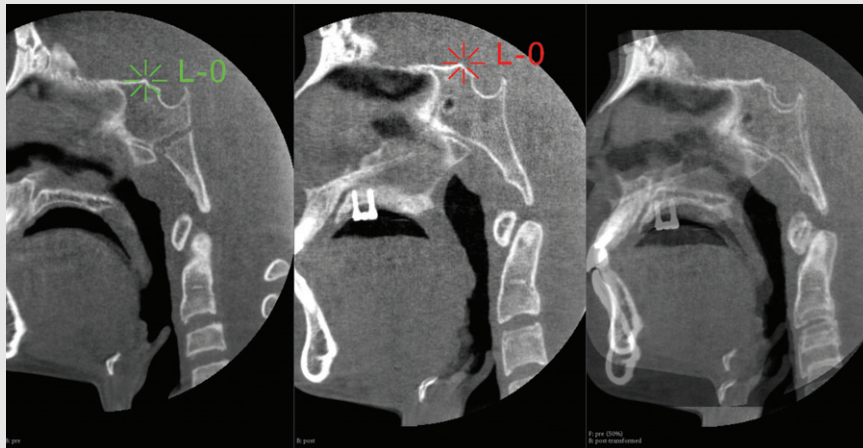


Fig. 4. 'Landmark registration' module superimposes two CBCT images by matching each landmark(green pretreatment landmark, red posttreatment landmark).

는 정도 가까운 거리에 있어야만 'Voxelbase registration' 모듈이 제대로 작동하기 때문이다.

### Ⅲ. 시각화(Visualization)

CBCT 영상을 연구 목적에 따라 이해하기 쉽게 화면에 나타내는 과정을 시각화라고 한다. 중첩된 두 삼

차원 영상을 시각화하기 위해 'Models' 모듈을 사용한다. 'Models' 모듈에서는 모델의 뷰 모드(view mode)와 색을 변경할 수 있는데, 치료 전 모델은 기본 표면 구조인 shaded view로 설정하고 치료 후 모델은 wireframe view로 설정한다. wireframe의 투명도를 조절하면 이를 통과하여 치료 전 모델이 보이기 때문에 치료 전후의 차이를 이해하기 쉽게 시각적으로 나타낼 수 있다(Fig. 6).

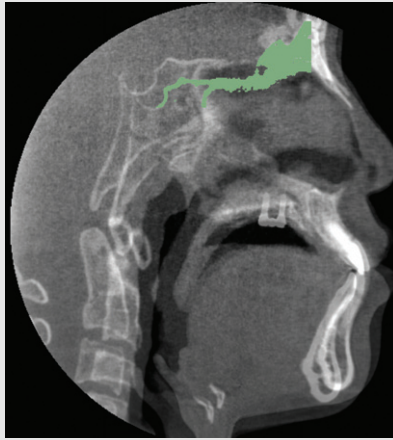


Fig. 5. 'Voxel base registration' module matches the grayscale values of the selected voxels.

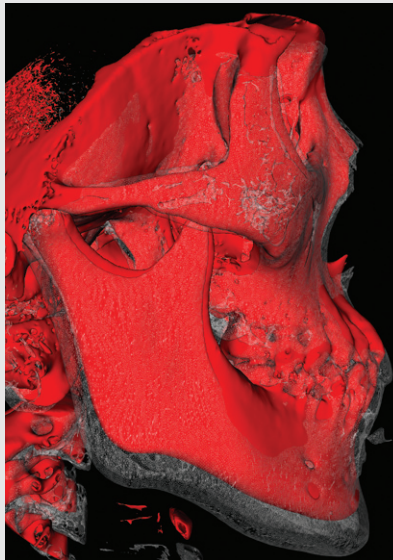


Fig. 6. Wireframe view of one CBCT image and shaded view of the other CBCT image can depict the difference between two CBCT images clearly. In the above image, pretreatment image was shown in red surface model with shaded view, and posttreatment image was shown with white wireframe view.

이와 같은 과정으로 성장 변화의 정성적인 면을 시각화하였다면, 정량적인 시각화를 위해서는 'Model to model distance' 모듈과 'ShapePopulationViewer' 모듈을 사용한다. 'Model to model distance' 모듈에서는 두 모델의 거리 차를 계산하는데, 계산된 결과를 'ShapePopulationViewer' 모듈을 통해 시각화하는 것이다. 이 모듈에서는 두 CBCT 영상 간의 차이가 색상 지도(color map)로 표현되기 때문에 치료 후 변화를 색 분포를 통해 시각적으로 확인할 수 있다(Fig. 7). 또한, 색상 지도를 기반으로 모델에 화살표를 입혀주면 성장이 어느 방향으로 이루어졌는지도 시각화할 수 있

다(Fig. 8).

한편, 하악 과두, 관절와 등 특정 해부학적 구조물만을 시각화할 수도 있는데, 다른 구조물에 의해 가려진 부분의 성장 변화를 관찰하는데 활용할 수 있다. 예를 들어 과두의 내측면, 상면 등은 두개골에 의해 보이지 않는 부위이므로 평가가 곤란하다. 따라서, 분리 과정에서 특정 영역만 분리해낸다면 그 부위만을 시각화할 수 있으며, 이를 통해 치료 전후 하악골 또는 관절와를 보다 잘 비교할 수 있다(Fig. 1, 9).

시각화 과정을 위해 사용하는 3D Slicer는 구강악안면 영역의 연구를 위해 만들어진 'Slicer CMF' 라는 별도의 버전을 사용할 수도 있다. 이 버전은 같은

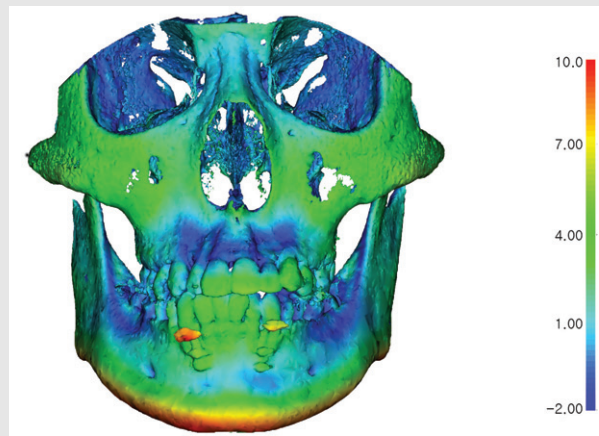


Fig. 7. 'ShapePopulationViewer' module can show the difference between two CBCT images in color map.

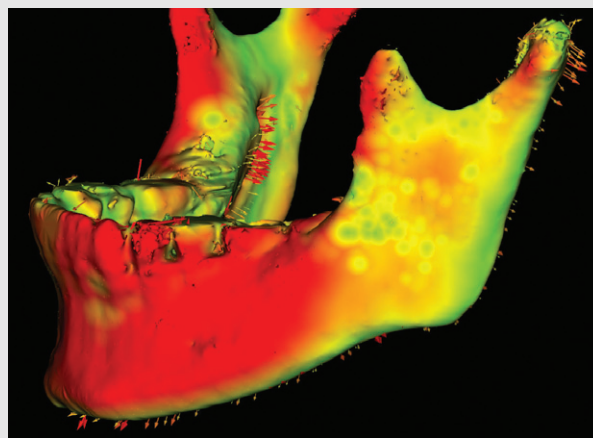


Fig. 8. Arrows at surface of the model allow to know the direction of growth change.



Fig. 9. Comparison of the clipped images of glenoid fossae of pretreatment (red shaded model) and post-treatment (white wireframe model).

소프트웨어이지만 구강악안면 영역 연구에 자주 사용되는 특정 모듈만 모아두어 사용이 편리하다. 본 보고에서 소개한 모델 분리 및 중첩 과정에 관한 동영상을 <https://www.youtube.com/watch?v=mk4NpKYpH40>에서 볼 수 있다.

#### IV. 고찰

성장 조절이나 교정치료의 효과를 객관적으로 분석하기 위해서는 정확한 중첩과 시각화 과정이 필요하다. 3D Slicer는 치료 전후 CBCT 영상을 복셀 단위로 중첩한 후 이 상태로 특정 부위만 분리할 수 있다. 즉, 두개저 중첩을 시행하더라도 특정 구조물만을 시각화할 수 있으므로 다른 구조물에 의해 가려진 부위도 관찰할 수 있다.

ITK-SNAP을 통해 분리하는 것은 중첩 영역과 시각화 부위 두 가지이다. Invivo를 통해서도 이러한 분리 과정이 가능하지만 앞서 설명했듯이 방위가 유지되지 않는다는 단점이 있다. 또한 상기도의 3차원적

분석 시 영상 소프트웨어의 정확성을 비교한 연구<sup>5)</sup>에서, ITK-SNAP이 Invivo에 비해 분리 과정이 더욱 정확하다고 보고되었다. 해부학적 구조물에 따라 정확성에 차이가 있을 수 있으나 Invivo의 분리 과정이 더 정밀하지 않을 수 있다는 것이다.

하지만 ITK-SNAP의 분리 결과가 Invivo에 비해 정확하다고 하더라도 분리 과정 자체는 Invivo보다 비효율적이다. 전술한 것처럼 ITK-SNAP 역시 해부학적 구조물 간에 복셀 값이 다르다는 점을 이용하여 분리를 시행하므로 설정한 범위와 비슷한 값을 갖는 부위가 함께 분리된다. 이렇게 함께 분리되는 부분은 대개 관심 영역이 아니거나 삼차원 영상 주변에 지지 분하게 붙어있는 인공물(artifact)인 경우가 많다. Invivo에서는 이를 삼차원 조각(three-dimensional sculpting) 기능을 통해 매우 간단히 제거할 수 있고, 실수로 제거한 부위를 쉽게 되돌릴 수도 있다(Fig. 10). 반면 ITK-SNAP에서는 불필요한 부위를 단층 영상마다 반복적으로 지워야 하며, 잘못 지운 경우 실행 취소가 불가능하다. 이는 번거롭고 시간이 많이 소요되는 과정이므로 분리 과정 자체는

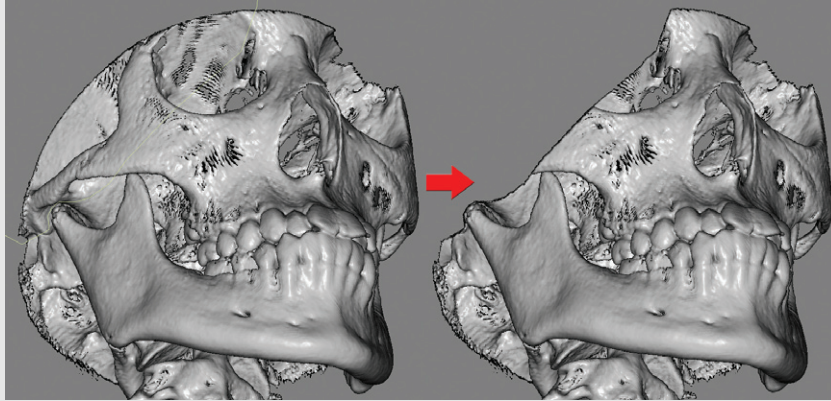


Fig. 10. Invivo software provides three-dimensional sculpting tool, which can remove unnecessary parts very efficiently.

Invivo가 더 효율적이라고 할 수 있다.

한편, CBCT 중첩 방법은 기준점 기반(landmark based), 표면 기반(surface based), 복셀 기반(voxel based)으로 대별된다<sup>6)</sup>. 기준점 기반 중첩은 해부학적 기준점이나 참고선을 이용하므로 이차원 영상 중첩과 유사하지만, 이차원 평면이 아닌 삼차원 공간 개념이므로 기준점을 정확히 위치시키기가 더욱 어렵다.

표면 기반 중첩은 삼차원 구조물의 표면인 셸(shell)을 이용하는 것으로 정확한 중첩을 위해 양질의 표면 모델(surface model)이 요구된다. 급속구 개확장술 후 중안모의 즉각적인 변화를 평가한 연구<sup>7)</sup>에서 삼차원 표면 모델을 통한 표면 기반 중첩을 통해 치료 결과를 정량화, 시각화할 수 있다고 보고되었다. 또한 표면 기반 중첩과 기준점 기반 중첩을 비교한 연구<sup>8)</sup>에서는 기준점 기반 중첩이 가장 낮은 정확도를 보이는 반면, 표면 기반 중첩은 정확하고 재현성 있는 중첩법이라고 평가되었다.

한편, Cevidanes 등<sup>9)</sup>은 다양한 연구 목적을 위해 복셀 기반 중첩법을 소개하였다. 이 중첩법은 CBCT 영상을 중첩하기 위해 복셀의 그레이 스케일 값을 일

치시켜나간다. 즉, 복셀 기반 중첩은 방사선투과성(radiolucency)과 방사선불투과성(radiopacity)을 이용하여 모든 과정이 자동으로 이루어지므로 수행자 오류(operator error)의 가능성을 최소화한다. 표면 기반과 복셀 기반 중첩을 비교한 연구<sup>10)</sup>에서, 두 중첩법 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 표면 기반 중첩이 절대 거리(absolute distance)에 더 많은 번거움이 있었다고 보고되었다. ITK-SNAP은 중첩 영역을 분리하여 3D Slicer에서 'label map'으로 불러올 수 있으며 이를 통해 복셀 단위로 중첩을 시행할 수 있다. Invivo의 경우에도 'volume registration' 도구를 이용하여 중첩할 경우, 3D slicer와 마찬가지로 복셀 단위로 중첩하는 것으로 생각된다. 반면, OnDemand3D의 경우에는 표면 기반 중첩만 가능하다.

하지만 3D Slicer에서 시행하는 중첩 과정은 Invivo에 비해 복잡할 뿐만 아니라 상당히 많은 시간이 소요된다. 중첩에 필요한 영역과 관심 영역을 모두 분리한 후, 이를 다른 소프트웨어에 옮겨야 하므로 과정 자체에 더 많은 단계를 요하기 때문이다. 또한 모든 과정을 완료하였더라도 중첩 연산에 필요한 시간이 길

계는 20~25분 정도로, Invivo에 비해 수 배 이상 소요된다.

반면, 시각화 기능에 있어서는 3D Slicer가 Invivo에 비해 우수한 점이 많다. 즉, Invivo에서는 조절할 수 없는 여러가지 시각화 과정을 통해 비교 대상 간의 차이를 직관적으로 나타낼 수 있다. 예를 들어 Invivo에서는 투명도를 조절할 수는 있지만 서로 다른 CBCT 영상에 각각 다른 뷰 모드를 설정할 수 없으므로 세 가지 이상의 대상, 또는 같은 대상일지라도 여러 시기를 비교하는 종단 연구에는 사용하기 어렵다. 또한, 특정 부위만을 나타내주는 기능이 없기 때문에 부위별 성장 변화나 치료 반응을 평가하기 곤란하며, 특히 인접 해부학적 구조물에 가려지는 부위는 관찰이 거의 불가능하다. 뿐만 아니라, 3D Slicer에서는 비교 대상 간의 차이를 색상 지도로 나타내어 정량 분석이 가능하며 이를 기반으로 화살표를 표면에 입혀 시각화한다면 어떤 방향으로 성장 변화가 일어났는지 쉽게 이해할 수 있다(Fig. 7, 8).

그러나 3D Slicer는 구강악안면 영역에 대한 연구만을 위해 제작된 것이 아니라 의학 분야의 보다 광범위한 목적을 위해 설계된 소프트웨어이므로, 시각화

과정을 위해 사용되는 모듈의 종류가 너무 많고 그 사용법이 복잡하여 직관적인 조작이 어렵다. 그럼에도 불구하고, 일단 사용 방법에 익숙해지면 쉽게 사용할 수 있으므로 치료 결과 분석 및 연구를 위해 이들 오픈-소스 소프트웨어를 유용하게 응용할 수 있을 것이다.

## V. 결론

오픈-소스 소프트웨어인 ITK-SNAP을 활용하여 CBCT 영상에서 중첩 영역과 관심 부위를 추출하고, 이를 3D Slicer를 통해 복셀 단위로 중첩할 수 있다. 또한, 여러 시각화 모듈을 활용하면 비교 대상 간의 차이를 직관적으로 나타낼 수 있고, 주변 구조물에 의해 가려진 부위도 용이하게 시각화할 수 있다. 이들 소프트웨어는 상업용 소프트웨어인 Invivo에 비해 사용 방법이 복잡하지만 Invivo에 비해 시각화 기능이 강력하므로, 치료 전후 결과 평가 및 연구에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Ludlow JB, Gubler M, Cevidanes L, Mol A. Precision of cephalometric landmark identification: cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(3):312.e1-e10.
2. Melsen B. The cranial base. The postnatal development of the cranial base studied histologically on human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 1974;32(Suppl 62):86-101.
3. 단행본: 전국 치과대학?치의학전문대학원 치과교정학 교수협의회. 치과교정학. 제3판. 지성출판사. 2014. 340.(한글)
4. Nguyen T, Cevidanes L, Franchi L, Ruellas A, and Jackson T. Three-dimensional mandibular regional superimposition in growing patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:747-54
5. Weissheimer, A., Menezes, L.M., Sameshima, G.T., Enciso, R., Pham, J., and Grauer, D. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:801-13
6. Bazina M, Cevidanes L, Ruellas A, Valiathan M, Quereshy F, Syed A, Wu R, and Palomo JM. Precision and reliability of Dolphin 3-dimensional voxel-based superimposition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:599-606
7. Ong SC, Khambay BS, McDonald JP, Cross DL, Brocklebank LK, Ju X. The novel use of three-dimensional surface models to quantify and visualize the immediate changes of the mid-facial skeleton following rapid maxillary expansion. *Surgeon* 2015;13:132-8.s
8. Gkantidis N, Schauseil M, Pazera P, Zorkun B, Katsaros C, Ludwig B. Evaluation of 3-dimensional superimposition techniques on various skeletal structures of the head using surface models. *PLoS One* 2015;10(2):e0118810.
9. Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner MA. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of softtissue changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137(Suppl):S120-9.
10. Almkhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. *PLoS One* 2014;9(4):e93402.