

Cone-Beam CT를 이용한 악교정 수술용 스텐트 제작과 임상 적용

김용일¹ · 김종렬² · 김성식¹ · 손우성¹ · 박수병¹

¹부산대학교 교정학교실, ²구강악안면외과학교실

Abstract

SURGICAL STENT FABRICATION AND CLINICAL APPLICATION FOR ORTHOGNATHIC SURGERY USING Cone-Beam CT.

Yong-II Kim¹, Jong-Ryoul Kim², Seong-Sik Kim¹, Woo-Sung Son¹, Soo-Byung Park¹

¹Department of Orthodontics and ²Oral & Maxillofacial Surgery

College of Dentistry, Pusan National University

The application of CT with basis on 3 dimensional-reconstruction is getting more widely practiced. With the data obtained from cone-beam computed tomography(CBCT), not only the diagnosis of the patient with skeletal abnormality but also the virtual simulation of the orthognathic surgery were performed and its application would be popular in orthodontic field.

We reported a case, a 19-year old man who was diagnosed mandibular prognathism and required orthognathic surgery. In this case, the virtual orthognathic surgery was simulated and surgical wafer was fabricated by using CBCT data. That wafer was applied the actual orthognathic surgery.

After preoperative orthodontic treatment, we prepared surgery as follows. : (1)Acquisition of 3D image data, (2)Reconstruction of 3-dimensional virtual model, (3)Virtual model surgery, (4)Extraction of stereolithographic image, (5)Check-up for occlusal interference, (6)Fabrication of surgical stent by stereolithography.

Bilateral sagittal split ramus osteotomy was operated and used stereolithographic surgical stent. 1 month later, we superimposed CBCT datas of virtual surgery and that of actual surgery, and then compared the result. CT data's application for orthognathic surgery yielded satisfactory outcomes.

Key words: Cone-beam computed tomography, Virtual simulation, Orthognathic surgery

I. 서 론

악교정 수술은 정확한 진단에 기초하여 시행되어야 하며, 정확한 진단을 위해 많은 진단 기술의 발전을 이루었으며 수술 방식도 매우 다양하게 소개되고 있다.¹⁻⁵⁾ 정확한 진단에 있어서 전산화 단층촬영(CT)의 응용을 통한 3차원 재구성은 매복치의 정확한 위치 확인 및 치근 흡수의 여부 판단이 가능하도록 하였으며, 악관절의 형태와 위치 평가도 좀더 손쉽게 하였다. 그러나 임상에 적용함에 있어 아직 여러 문제점이 존재한다.⁶⁻⁸⁾ 기존의 CT는 방사선에 대한 노출량이 매우 크며, 촬영시 slice의 간격에 따라 해상도가 다르게 표현

된다. 또한 금속 물체가 존재하는 경우 상의 왜곡이 발생한다. 이러한 한계점으로 인해 치아의 구조물을 확인하기보다는 보다 큰 구조물로 골격의 좌우 차이를 비교하는 비대칭 분석을 시작으로 악안면 영역에 응용되고 있다.

최근 들어 CT로 악교정 수술시 골격적 문제를 인식하고, 가상 simulation에까지 적용하는 예가 보고되고 있다.^{9,10)} 특히 CT 데이터를 이용하여 RP(Rapid Prototyping) 모형을 제작하고, 그 모형상에서 가상 수술을 시행함으로써 실제 수술에 그 방식을 정확히 재현하기 위한 도구로 사용하기도 하였다.¹¹⁾ 또한 3DCT의 발전과 더불어 악교정 수술시에 3DCT데이터와 상하악 모형의 3D 스캔 모형을 중첩시켜 하

*본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 지원에 의해 이루어졌음.

나의 가상 모델을 만들고, 악교정 수술을 시행하여, 모의 수술의 계획에 맞추어 실제 악교정 수술을 위한 수술용 스텐트(surgical stent)를 제작한 증례를 소개한 바도 있다.³⁾

한편, Conebeam CT(CBCT)는 기존의 CT와는 달리 방사선원(x-ray beam source)과 검출기(detector)의 방식 차이로 인해 흔히 발생하는 상의 왜곡 또는 해상도 저하 현상을 최소화 할 수 있게 하였다.^{12,13)} Metal artifact는 악교정 수술을 필요로 하는 성인 환자에서 이미지의 질을 떨어뜨리는 요소로 작용하였다. 그러나 CBCT의 경우 해상도의 증가를 통해 CBCT데이터만으로 가상 모의 악교정 수술이 가능하도록 하였다. 이에 본 증례는 CBCT 데이터만을 이용하여 가상의 악교정 수술용 메디칼 이미지 소프트웨어(V-works 4.0, Cybermed, Seoul, Korea)를 이용하여 시행

하고, 여기서 얻어진 데이터를 3차원 이미지 소프트웨어(Rapidform 2006, INUS technology, Seoul, Korea)를 사용하여 stereolithographic apparatus(SLA)로 악교정 수술을 위한 수술용 스텐트를 만들어 임상에 적용한 증례를 보고하고자 한다.

II. 증례보고

본 증례의 19세 남성 환자는 하악 전돌감을 주소로 부산대학병원 치과교정과에 내원하여, 하악 전돌증을 동반한 골격성 III급 부정교합으로 진단하였으며, 상악 절치의 순축경사와 상하악 치열의 공극(space)이 존재하였다(Fig. 1).

골격적 부조화를 개선하기 위하여, 악교정 수술을 계획하

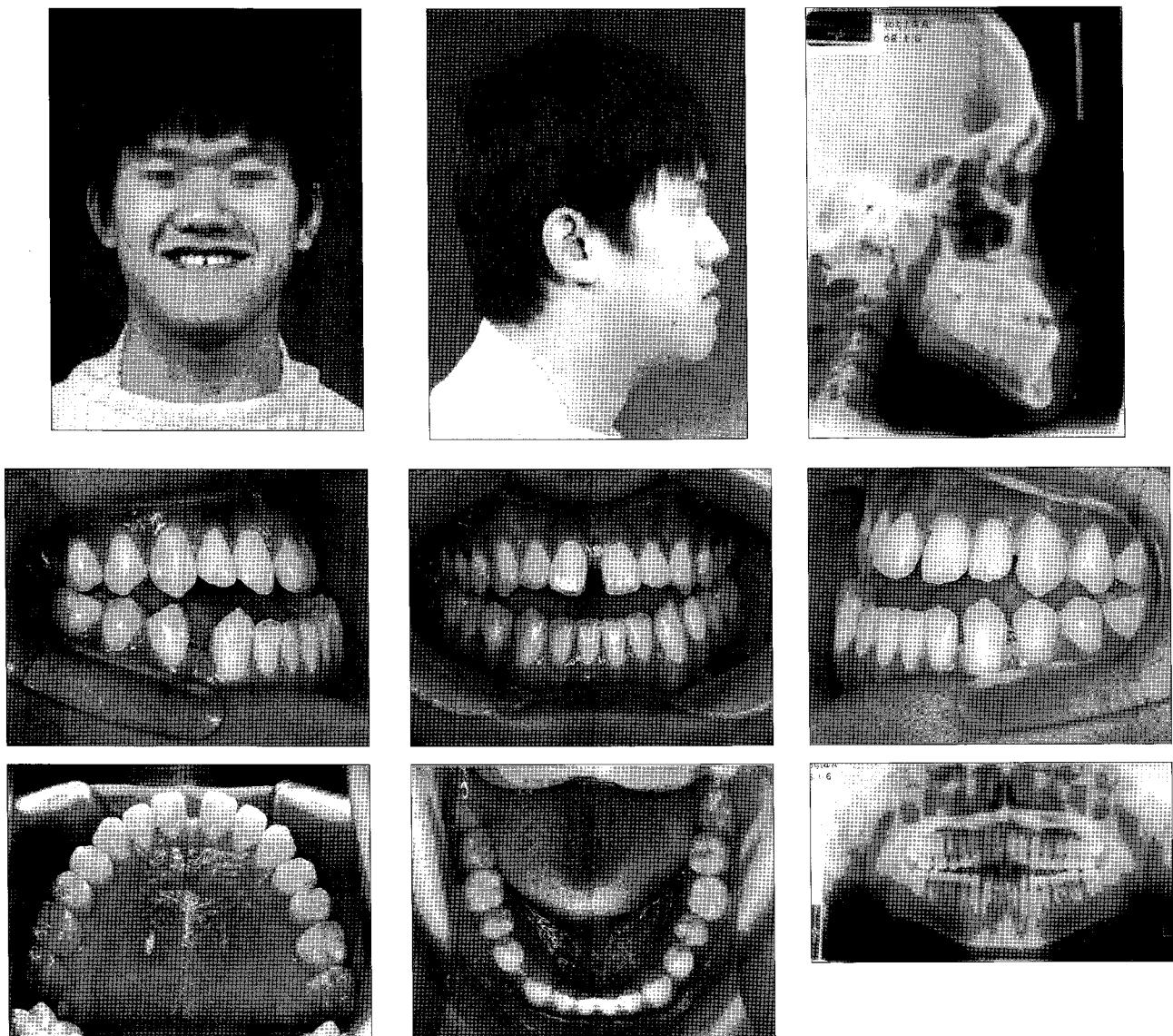


Fig. 1. Pretreatment photographic and radiographic film.

고, 하악에서 소구치 크기로 공간을 형성한 뒤 그 위치에 임플란트를 이용한 보철 수복을 시행하기로 하고 술전 교정 치료를 시작하였다. 악교정 수술로는 하악에서 양측성 상행지 골절단술(BSSRO)을 이용한 하악골의 후방이동과 관골증 대술(Malar augmentation)을 이용한 중안면부 개선을 시행하도록 계획하였다.

수술 계획에 맞추어 악교정 수술 준비를 시행하였다(Fig. 2). 준비는 6단계로 나누어 진행하였다. :

- 1) CBCT 촬영 (Acquisition of 3D image data)
- 2) 3D 가상 모델의 재구성
- 3) 가상 모의 수술
- 4) 3D 이미지 추출
- 5) 교합 간섭 제거를 위한 피드백
- 6) 수술용 스텐트의 제작 : SLA

각 단계는 다음에서 상술할 것이다.

1) CBCT 촬영(Acquisition of 3D image data)

CBCT는 기존의 CT에 비해 여러 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 브라켓과 아치와이어는 metal artifact로 작용하여 질 좋은 영상 획득에 방해가 된다. 악교정 수술을 위한 수

술용 스텐트를 만들기 위해서는 교합면을 정확히 채득하는 것이 중요하다. 그래서 CBCT영상의 질을 높이기 위하여 술 전 교정 치료가 완료된 상태에서 브라켓과 아치와이어를 제거하였다. 또한 상하악 치열이 접촉되어 교합면을 확인할 수 없으므로 상하악이 이개된 상태로 CBCT를 촬영하였다. 이 개 정도는 가능한 최소화되도록 설정하였다. CBCT는 85kVp, 5mA로 촬영시간 24초로 설정하고 촬영하였다.(VCT pro, Vatech, Seoul, Korea) 촬영 후 CBCT 데이터는 DICOM(digital imaging and communications in medicine) 포맷으로 저장하였다 (Fig. 3).

2) 3D 가상 모델의 재구성

CBCT에서 얻어진 환자의 DICOM 자료는 3D 메디칼 소프트웨어를 사용하여 악교정 수술을 위한 모델을 재구성하는데 사용하였다. 모델은 상악골과 하악골 모형으로 분절화(segmentation)하였다. 이렇게 만들어진 DICOM data의 3D 모델(segmentation modeling)은 골격형태의 계측, 가상 시뮬레이션 그리고 3D 입체 모형 제작에 이용할 수 있다 (Fig. 4).

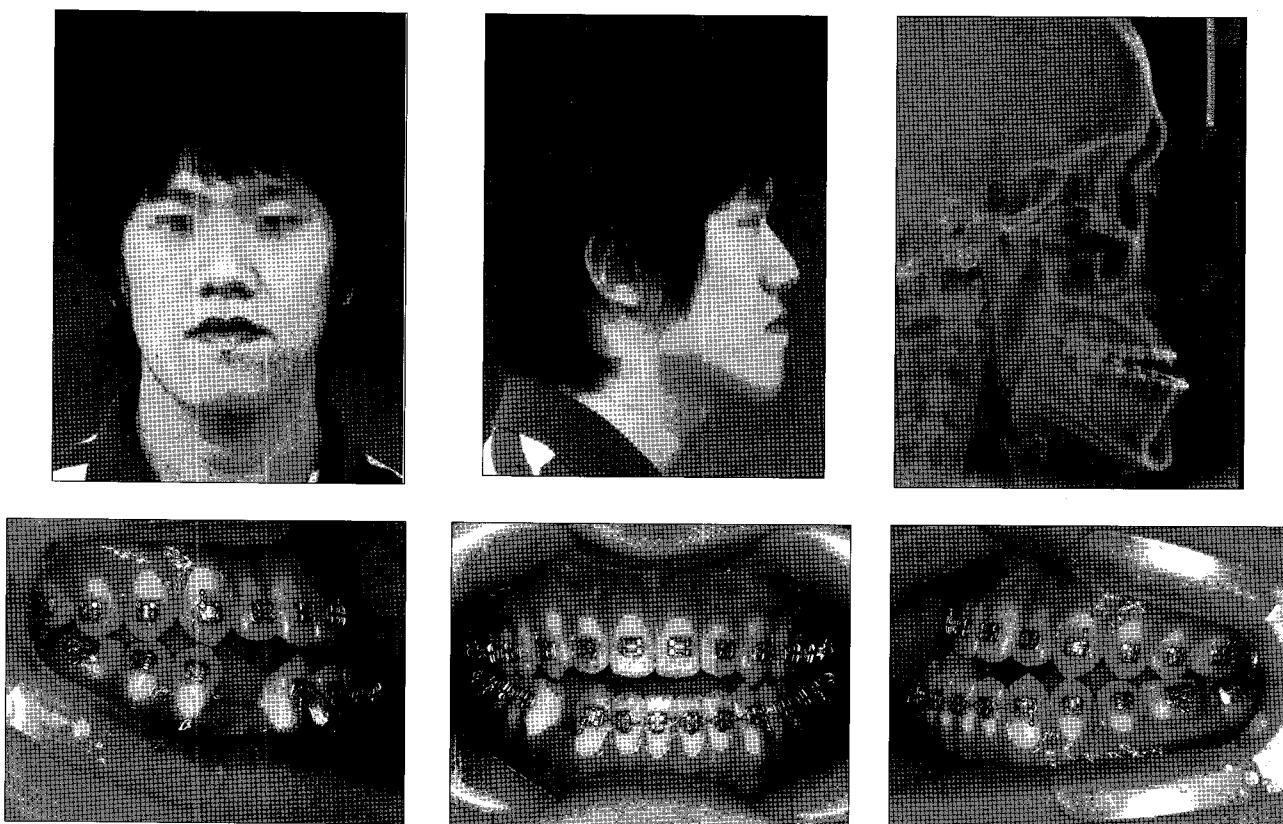


Fig. 2. Preoperative photographic and radiographic film.

3) 가상 모의 수술

V-works 프로그램은 술자가 재구성된 모델상에서 가상의 절단면을 설정하고 그 상에서 임의로 악교정 수술이 가능하도록 도와준다. 재구성된 모델에서 양측성 상행지 골절단술과 유사한 위치에 절단면을 설정하여 하악골을 3개의 분절로 처리하여 후방이동을 위한 준비를 완료하였다 (Fig. 5).

악교정 수술의 예측은 paper surgery를 시행하여 수술 양을 결정하고, model surgery를 시행하여 교합관계 설정을 좀더 정확히 하게 된다. 이 중례에서도 같은 방식으로 하악골의 후방 이동량을 결정하고 모의 수술에 적용하도록 하였

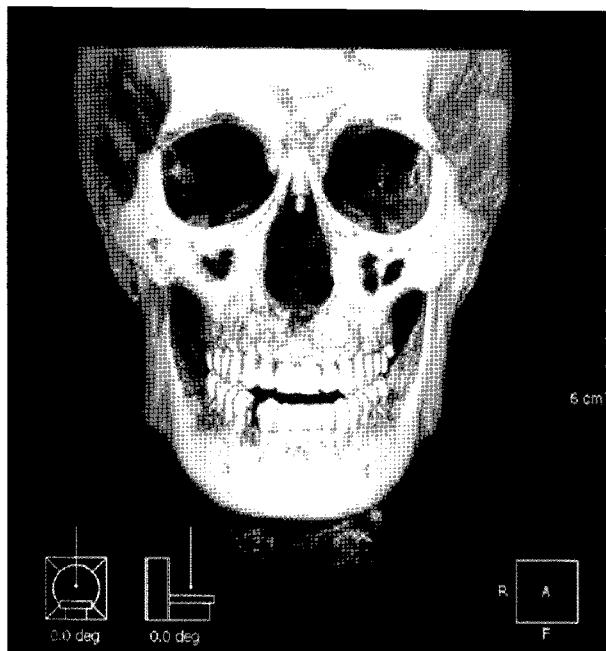


Fig. 3. CBCT before orthognathic surgery.

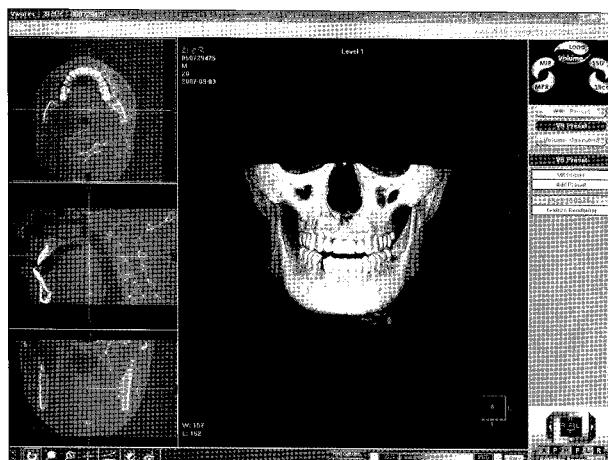


Fig. 4. Skull model segmented using 3D medical imaging software.

다. paper surgery 및 model surgery를 통해 악교정 수술 시 하악골의 우측 후방이동량은 12mm, 좌측 후방이동량은 8mm로 결정하였다 (Fig. 6).

이를 바탕으로 V-works 프로그램상에서 모의 수술을 시행하여 하악골을 후방이동 하였다. 모의 수술은 2차원 컴퓨터 모니터 상에서 하게 되므로 하악골의 이동에 세심한 주의를 기울여야 한다. 또한 하악골 후방이동시 다음을 만족하도록 시행하였다 (Fig. 5). :

- (1) paper surgery와 model surgery 상의 후방 이동량
- (2) 상하악 치열의 정중선 일치
- (3) 견치 관계 확립
- (4) 구치관계 확립
- (5) maximum intercuspsation.

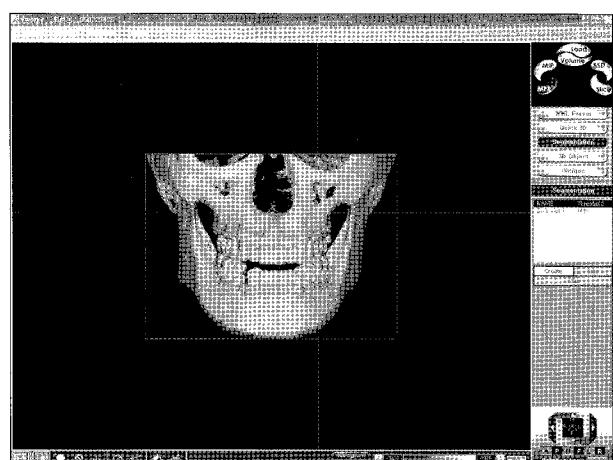
하악골의 후방이동 시행 후 x,y,z 평면상에서 이동량을 기록하였다. 수술 데이터를 3D 이미지화하기 위해 STL(stereolithography) 포맷으로 저장하였다.

4) 3D 이미지 추출

CBCT 데이터는 원하는 이미지만을 잘라내어 분절화(segmentation)할 수 있고 결합시키는 것도 가능하다. 악교정 수술용 스텐트를 제작하기 위해 모형 수술시에 3D 입체 이미지 파일 형식인 STL 포맷으로 저장하였다. 악교정 수술후 상하악 STL 데이터는 3D 이미지 소프트웨어인 Rapidform 2006을 이용하여 수술용 스텐트를 제작하는데 사용되었다 (Fig. 7).

5) 교합간섭 제거를 위한 피드백

Rapidform 2006은 CAD/CAM을 위한 프로그램으로 자



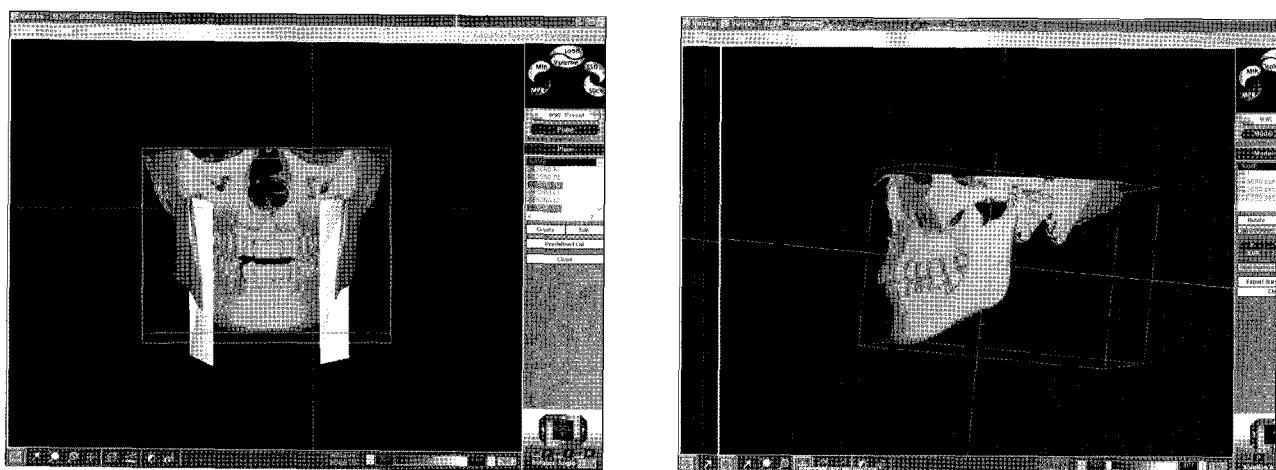


Fig. 5. Virtual surgery.

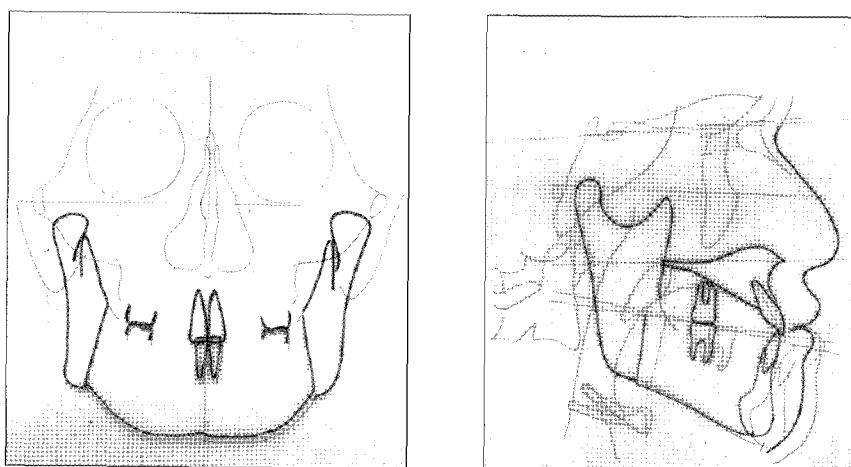


Fig. 6. Paper surgery.

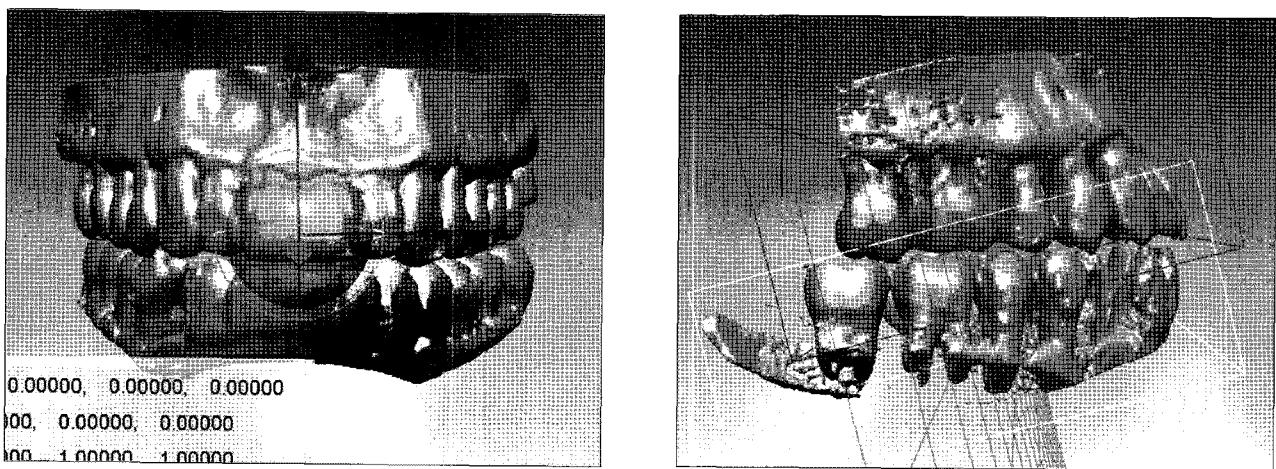


Fig. 7. Extraction STL image.

주 사용된다. Rapidform 2006을 이용하여, 상하악 위치관계를 설정하여 수술용 스텐트를 제작하는데 사용하였다. Rapidform 2006은 3D이미지간의 동일 평면간 겹침을 확인할 수 있는 기능이 있어 이들간의 간격 또는 겹침 양상을 확인할 수 있다. 이 기능을 이용하여, 앞서 언급한 조건을 만족하면서 상하악의 교합 간섭이 없도록 설정하였다 (Fig. 8).

그러나 3D이미지를 2차원 컴퓨터 모니터상에서 조작하는 것은 쉬운 일이 아니다. 흔히 3D 이미지를 평면 화면상에서 조작할 때 일어나는 실수는 교합 간섭을 발견하지 못하는 것이다. 따라서 교합 간섭 제거와 수술용 스텐트를 위한 적정한 두께 형성이 이루어지지 않으면, 3단계에서 5 단계를 반복하여 수술용 스텐트가 최적의 조건이 되도록 반복하여야 한다.

6) 수술용 스텐트의 제작 : SLA

수술용 스텐트는 Rapidform 2006을 통해 디자인한 형

태를 STL 포맷으로 처리하고 이를 이용하여 제작되었다. SLA는 UV 광선을 이용하여 액상레진을 중합시키면서 모형을 만드는 방식이다. RP모델은 다양한 방식으로 제작되고 있으나 치과 임상에서는 stereolithography방식으로 제작된 반투명 모델과 적층 방식으로 제작된 불투명 모델이 주로 사용된다. 여기에서는 SLA를 이용한 반투명 모델로 제작하였다^{14,15)} (Fig. 9).

가상 모의 수술을 이용하여 제작한 수술용 스텐트의 정확성과 술전 계획한 수술양을 확인하기 위하여, 악교정 수술전에 채득한 상하악 모형을 교합기에 부착하였다. 교합기 상에서 model surgery를 시행한 뒤, 수술용 스텐트를 장착하여 술후, 스텐트의 안정성과 적합도를 재차 검증하여 보았다. 이것은 술전 최종 점검을 위한 작업이었다.

전신마취 하에 양측성 상행지 골절단술을 시행하였다. 술중 CBCT를 이용하여 제작한 수술용 스텐트를 적용하여 악교정 수술을 시행하였다. (Fig. 10)

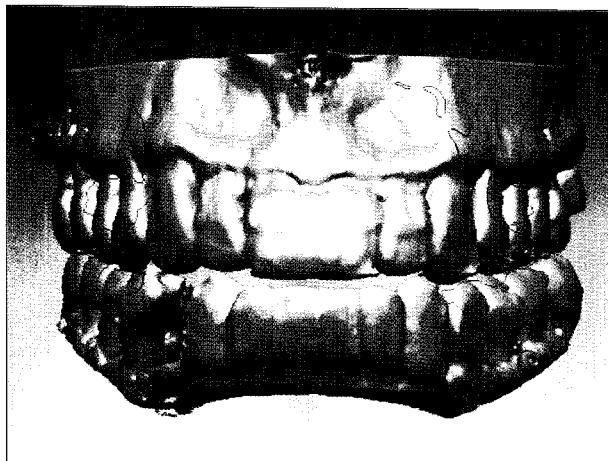


Fig. 8. Check-up for occlusal interference.

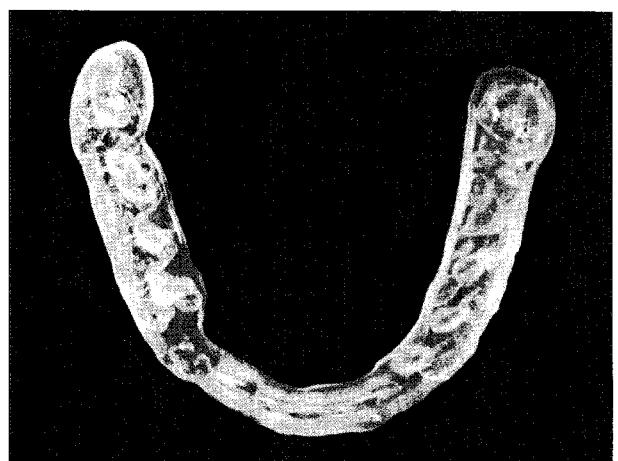
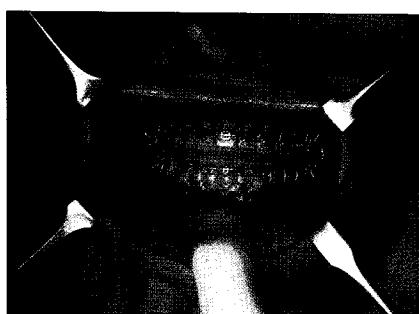


Fig. 9. Surgical stent fabricated by SLA.



a. Surgical stent positioning.



b. Screw Fixation.
Fig. 10. Orthognathic surgery.



c. Check-up for hinge movement

악교정 수술 1개월 후 중첩을 위하여 CBCT를 촬영하였으며, 통상의 방법으로 교정치료를 마무리 하였다. 하악 우측부위는 소구치 크기의 임플란트 식립을 위한 공간을 마련한 뒤 교정치료를 마무리 하였다 (Fig. 11).

III. 총괄 및 고찰

악교정 수술을 위한 가상 모의 수술과정은 여러 단계의 과정을 거쳐야만 했다. 이 과정에서 상하악 모형을 스캔하여 기존의 자료와 합쳐야 하는 부가적인 기술이 필요하였다.³⁾ CBCT는 기존의 CT에 비교하여, 방사선 노출량의 감소와 metal artifact에 의한 해상도 저하의 감소 그와 더불어,^{12,13)} isocubic voxel로 교합면 표현이 우수한 장점을 가지고 있

다. 그러나 악교정 수술 환자에서 브라켓과 아치와이어가 여전히 치아의 형태를 재구성하는데 방해 요소로 작용하여 기술적 어려움이 존재하였다. 본 증례에서도 원활한 CT 이미지의 재구성을 위하여 술전 교정이 완료된 상태에서 브라켓과 아치와이어를 제거하여 악스바이트를 물린 상태로 CBCT를 촬영하였다. 만일, 금속 브라켓이 아닌 세라믹이나 레진 브라켓이 사용되는 경우라면, CBCT촬영 전에 장치를 모두 제거하는 번거러움을 최소화 할 수 있었을 것으로 생각된다.

CBCT에서 얻어진 단일 데이터는 가상 모의 수술과 수술 용 스텐트를 디자인하기 위한 기초 자료로 활용되었다. 수술 용 스텐트 제작시 모의 수술에서 얻어진 하악 수술시의 후방 이동량을 참조하며, 수술용 스텐트의 공간은 가능한 최소가

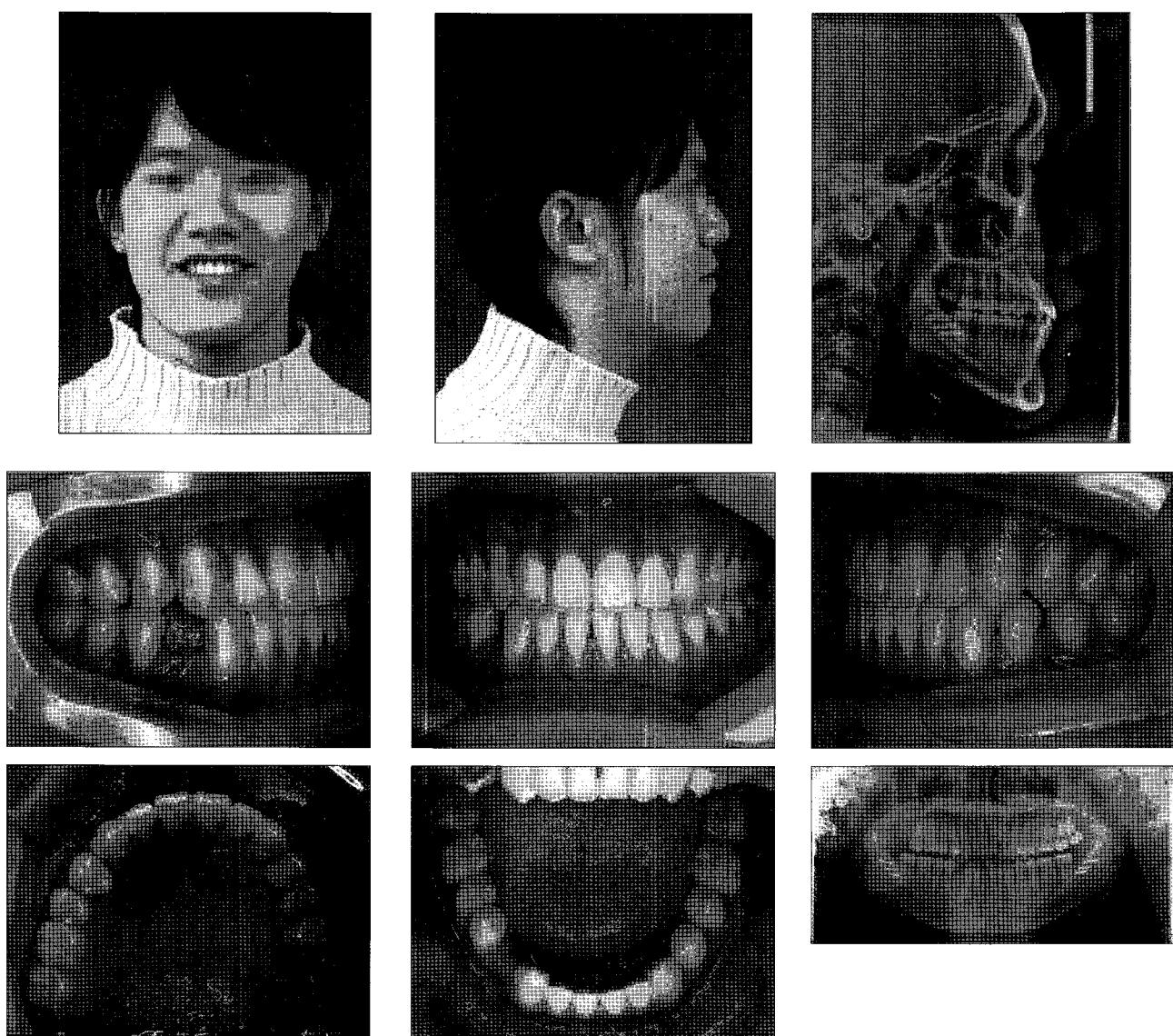


Fig. 11. Post-treatment photographs and radiographic films.

되어야 한다.

SLA로 제작된 스텐트의 형태를 평가하기 위하여 악교정 수술이 시행되지 않은 술전 상태의 위치로 스텐트를 제작하여 보았다.(Fig. 12) 이 작업은 스텐트의 안정성과 교합면의 적합도를 확인하기 위한 사전 작업이었다. 이 결과를 바탕으로, 가상 모의 수술을 시행한 후, SLA로 제작된 수술용 스텐트를 model surgery가 시행된 교합기에서 확인하였다. 이는 실제 악교정 수술 후에 스텐트의 안정성과 적합도를 확인해 보기 위한 목적이었다.(Fig. 13)

악교정 수술을 시행하고 제작된 수술용 스텐트를 활용하여 양측성 상행지 골절단술을 시행하였다. 악교정 수술 1개월 후 상하악 수술용 아치와이어를 제거하고 안정화 호선을 장착하였다.

CBCT를 촬영하여 실제 악교정 수술 후와 가상 모의 수술 계획을 비교하여 정확성을 검토하여 보았다. 중첩을 시행하기 위하여 v-works 프로그램에서 가상 모의 수술을 시행한 데이터와 악교정 수술 1개월 후 얻어진 데이터를 동시에 처리하여 두개저와 관골, 상악골을 중심으로 중첩하여 위치시켰다.(Fig. 14) 모델의 상악 모형을 중첩시킨 상태에서 하악골의 근심절편은 가상 모의 수술시에 술후 위치에 따른 조정이 불가능하여 술전 위치 그대로 나타나게 되었다. 중첩의 평가는 하악골의 원심절편을 중심으로 이루어져야 한다. 모의 수술과 악교정 수술후 얻어진 CBCT상의 결과는 정량적으로 평가하기는 어려우나, 어느 정도 모의 수술과 실제 수술 사이에 큰 차이가 없는 것으로 생각되며 임상적으로 받아들일만한 오차라 생각된다.¹⁶⁾

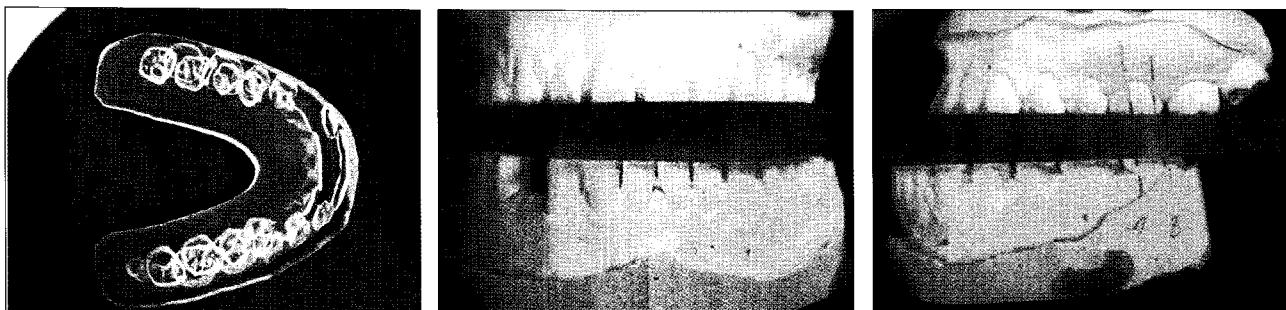


Fig. 12. A stent for pilot test.

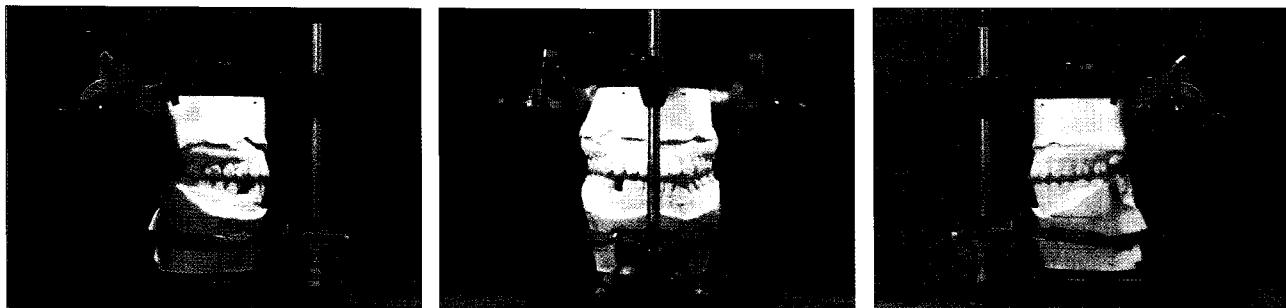


Fig. 13. Post-operative check-up for occlusal adaptation in an articulator.

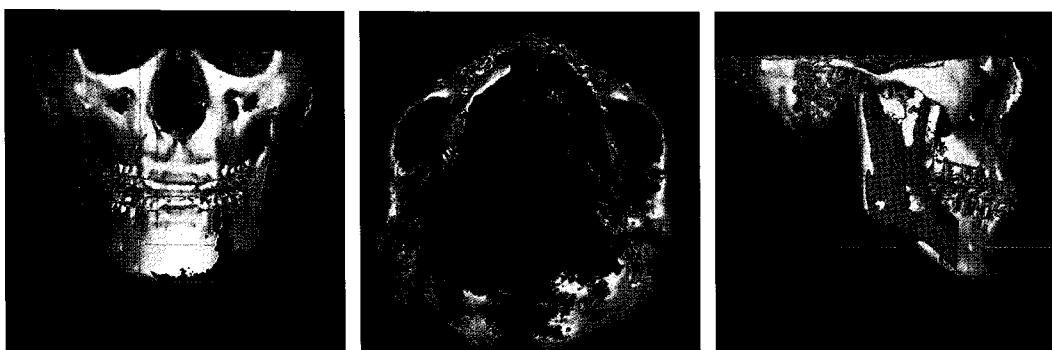


Fig. 14. 3D superimposition.

Yellow color : post-operative CBCT, Purple color : Distal segment of mandible after virtual surgery,
Green color : proximal segment of mandible after virtual surgery.

이러한 임상 적용을 바탕으로 좀 더 개선된 프로그램을 이용한다면 중첩의 정량적 평가는 물론이고 가상 모의 수술시에 하악골의 분절편 모두 술자가 원하는 방향으로 조작이 가능하리라 생각된다. 통상의 악교정 수술을 준비하기 위해서는 모의수술(paper surgery와 model surgery)을 시행하여야 하며, 이를 위해서는, 악교정 수술전 환자에게서 상하악 모형을 채득하고 교합기에 장착하여 모형상에서 임의로 시행하고 수술용 스텐트를 다시 제작하여야 한다. 또한 측모 두부 방사선 사진을 이용한 paper surgery의 경우도 확대율을 고려하여 실계측치와 비교해야 하고, 좌우측의 차등적 후방이동에 대해서는 model surgery와 동시에 검토해야 하는 번거러움을 가지고 있다. 그러나 CBCT를 이용하는 경우, 한번에 채득된 데이터를 이용하여 삼차원 계측과 가상 모의 수술 및 술후 골격적 변화양상을 한번에 확인해 볼 수 있으며 더 나아가 악교정 수술을 위한 수술용 스텐트의 제작에까지 활용이 가능하여 그 장점이 있다고 하겠다. 그러나 본 증례에서는 프로그램상의 어려움으로 인해 한 개의 프로그램으로 모든 작업을 동시에 수행하는데 어려움을 겪었으며 술후 중첩을 위한 도구가 미흡하여 정확한 정량적 평가에 있어 어려움이 있었다. 앞으로 이 부분에 대한 보완과 발전이 이루어지리라 생각된다.

IV. 결 론

CBCT로부터 얻어진 데이터만으로 골격적 기형을 가진 환자의 진단 뿐만 아니라 가상 모의 악교정 수술을 시행해 보았다. 또한 이 모의 수술을 바탕으로 실제 악교정 수술에 적용하여 보았다. CBCT데이터만으로도 악교정 수술의 진단 및 치료 계획의 설정 그리고 실제 악교정 수술에까지 임상적 적용이 가능하였다.

References

- Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF et al : Clinical Feasibility of Computer-Aided Surgical Simulation(CASS) in the Treatment of Complex Crano-Maxillofacial Deformities. *J Oral Maxillofac Surg* 65 : 728, 2007.
- Park SH, Yu HS, Kim KD et al : A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129 : 600,e23, 2006.
- Uechi J, Okayama M, Shibata T et al : A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130 : 786, 2006.
- Katsumata A, Fujishita M, Maeda M et al : 3D-CT evaluation of facial asymmetry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 99 : 212, 2005.
- Nakasima A, Terajima M, Mori N et al : Three-dimensional computed-generated head model reconstructed from cephalograms, facial photographs, and dental cast models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127 : 282, 2005.
- Walker L, Enciso R, Mah J : Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128 : 418, 2005.
- Koyama J, Nishiyama H, Hayashi T : Follow-up study of condylar bony changes using helical computed tomography in patients with temporomandibular disorder. *Dentomaxillofac Radiol* 36 : 472, 2007.
- Hitzel H, Wiese M, Wenzel A : Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. *Dentomaxillofac Radiol* 36 : 192, 2007.
- Marchetti C, Bianchi A, Bassi M et al : Mathematical Modeling and Numerical Simulation in Maxillo-facial Virtual Surgery(VISU). *J Craniofac Surg* 17 : 661, 2006.
- Nkenke E, Zachow S, Benz M et al : Fusion of computed tomography data and optical 3D images of the dentition for streak artifact correction in the simulation of orthognathic surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 33 : 226, 2004.
- Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF et al : A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg* 61 : 222, 2003.
- Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL et al : Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology : CB Mercury, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 35 : 219, 2006.
- Danforth RA, Dus I, Mah J : 3-D volume imaging for dentistry: a new dimension. *J Calif Dent Assoc* 31 : 817, 2003.
- Sinn DP, Cillo JE Jr, Miles BA : Stereolithography for craniofacial surgery. *J Craniofac Surg* 17 : 869, 2006.
- Im YG, Chung SI, Son JH et al : Functional prototype development: inner visible multi-color prototype fabrication process using stereolithography. *J Mater Process Technol* 130-131 : 372, 2002.
- Cevidans LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr et al : Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol* 34 : 369, 2005.

저자 연락처

우편번호 602-739
부산시 서구 구덕로 305
부산대학교 치의학전문대학원 치과교정학교실
박수명

원고 접수일 2008년 09월 08일
개재 확정일 2009년 03월 10일

Reprint Requests

Soo-Byung Park
Dept. of Orthodontics, School of Dentistry,
Pusan National University
GuDeokRo 305, Seo-Gu, Busan, Korea 602-739
Tel : 82-51-240-7446 Fax : 82-51-247-7361
Email : sbypark@pusan.ac.kr

Paper received 8 September 2008
Paper accepted 10 March 2009