

## 악교정 수술을 위한 석고모형 수술시의 계측오차

이상휘 · 이승훈 · 주현호 · 원동환  
경상대학교 의과대학 치과학교실

### Abstract

### THE ACCURACY OF MEASUREMENTS DURING MODEL SURGERY FOR ORTHOGNATHIC PLANNING

Sang-Hwy Lee, Seung-Hoon Lee, Hyeon-Ho Ju, Dong-Hwan Won  
*Department of Dentistry, College of Medicine, Gyeongsang National University*

The errors in orthognathic surgery can occur during the preoperative preparations including the model surgery, but till now there's been some lack of reserches about them. So we wanted to verify the accuracies in measurements used in model surgery. We compared the accuracy of measurements by vernier calipers, which has been the main measurement tool for conventional model surgery, and that by height gauge, which is recently claimed to be more accurate, with 3 dimensional coordinate analyzer. We could have following results and have a plan to use them for the invention of new model surgery techniques.

1. The measurement errors in Group 1, which mean the difference between "the measurements by 3-D analyzer" and "the measurements by height gauge", were small enough with the range of 0.1~0.2mm in all planes.
2. The mean error in Group 2, which is the differences between the measurements of 3-D analyzer and those of vernier calipers, was 1.1mm.
3. The measurement errors in Group 2 were variable according to the factors including the differences of individuality and expertness of each measurers. But in case of Group 1, they were small and not variable by the expertness.
4. The measurements were more accurate at the points in anterior teeth than in molar teeth in Group 1 and 2.
5. The errors after model surgery increased remarkably, compared with those before surgery in Group 2. And the situation was different in Group 1 in that errors decreased after surgery.

Accoding to these results, it assumed that the measurements with height gauge during the model surgery for orthognathic surgery are accurate enough and can be maintained, regardless of complexity of models, individuality, or expertness of measurers.

**Key words** : Model surgery, Measurement, Height gauge

## I. 서 론

악안면 기형 환자들을 위한 악교정 수술(orthognathic surgery)은 정확한 진단 및 수술 계획 수립과 함께 이 계획을 환자에게 정확히 수술하는 것이 중요하다. 그러나 대개 치료 계획 과정중에서 수립된 예상 이동과 수술후의 실제 이동된 변화의 차이는 적지 않은 것으로 알려져 있다<sup>17,20,22)</sup>. 이러한 차이가 심한 경우 수술 결과는 심각하게 왜곡되어 기능 혹은 심미적으로 문제가 발생할 수 있으며<sup>7)</sup>, Omura<sup>10)</sup>는 이를 수술전 준비 과정과 수술 과정에서 발생하는 오차로 나누어서 구분한 바 있었다. 이중 수술 과정중에서 발생할 수 있는 오차와 이를 막기 위한 여러 가지 노력들은 비

교적 다양하게 보고되었었고<sup>12,19,21)</sup> Pollido 등<sup>17)</sup>과 최 등<sup>23)</sup>은 수술시 외부계측 방법의 정확성에 대하여 강조한 바 있었다.

한편 수술전 준비 과정에서 발생 가능한 오차에는 인상 채득, facebow transfer, 석고모형 mounting, 석고모형 수술(model surgery), 그리고 surgical splint의 제작 등이 지적된 바 있으나<sup>6)</sup> 수술시의 오차에 비해서는 비교적 소홀하게 다루어진 경향이 있었다. 그 이유는 이 오차들이 기공 과정에서 정확성을 기한다면 해결할 수 있는 것들로 인식되어 왔기 때문일 것이다.

이중에서도 석고모형 수술은 측두 계측 방사선 사진의 2차원적 진단을 3차원의 악골 관계로 확인해 볼 수 있게 해주기도 하지만, 무엇보다 수술에 결정적인 surgical splint를 제작할 수 있게 해주기 때문에 그 중요성은 아주 높다고 할 수 있다<sup>8)</sup>. 흔히 악교정 수술을 기획하는 단계에서는 치아의 위치보다는 골의 위치를 중심으로 예상을 하고 수치를 정해 왔다. 이러한 시도는 측두 계측 방사선 사진상에서 치아의 위치를 정확하게 정하기란 거의 불가능하기 때문이어서 당연한 것으로 받아들여질 수 있다. 하지만 이 2차원적인 기획 단계에서 실제 수술을 위한 석고모형 제

### 이 상 휘

660-702, 경상남도 진주시 칠암동 90번지  
경상대학교 의과대학 치과학교실

Sang-Hwy Lee

Department of Dentistry, College of Medicine, Gyeongsang National University  
90 Chilam-Dong Chirju, GyeongSangnam-Do, 660-702, South Korea  
Tel : 82-55-750-8263 Fax : 82-55-761-7024

E-mail : sanghwy@nongae.gnu.ac.kr

작 단계에 이르면 정확한 골의 형태를 재현하지 못한 상태에서 임의로 석고모형 base를 만들고 이 부위를 절단하며, 이 부위에서의 변화를 치아의 위치 변화와 함께 확인하여(그것도 단지 수직적인 관계에서만) 예상치 대로 모형을 이동한다. 결국 이러한 모든 단계들에서 오차의 발생이 가능하다고 생각된다.

더욱이 이 석고 모형 수술시의 오차는 surgical splint의 제작시 그대로 반영될 것이며, 지렛대 효과에 의해 기준이 되는 치아에서 멀리 떨어질수록 오차는 크게 나타날 수 있다. 즉, 치아에서 작은 오차라도 실제 수술시 골 절단부에서는 확대되어 큰 수치로 나타날 수 있다. 흔히 우리가 수술시 골 절단부에서의 골 이동량은 수 mm에 달하므로 (특히 surgical splint가 절대적으로 필요한 상악골 수술시) 이 효과는 상대적으로 큰 효과를 나타낸다고 할 수 있는 것이다.

석고모형 수술을 수행하는 방법은 Epker<sup>®</sup>와 Bell<sup>®</sup> 등이 소개한 바 있었고, 현재까지도 이 고전적인 방법이 계속적으로 널리 사용되어 왔다. 이 방법은 교합기에 mounting된 상악 석고모형에 수직 및 수평 기준선을 긋고 예상되는 골절단선 부위를 잘라 버어니어 캘리퍼스(vernier calipers)를 이용하여 기준선 부위를 측정하면서 예상 이동량 만큼 이동시키는 것이었다.

이러한 고전적인 석고모형 수술방법을 개선시키시 위한 노력은 상당히 부족했고 한계를 지니고 있었다. Ellis<sup>7</sup>가 기존 석고모형 수술의 문제점을 측정 방법의 측면에서 지적하고, Erickson<sup>10</sup>이 Erickson model surgery platform(Great Lakes Orthodontic Ltd., Tonawanda, NY, USA)의 사용을 주장하였으며, Nattestad 등<sup>15</sup>가 기준선 설정의 상이함에 따른 오차 발생을 주장한 보고 외에는 대개의 연구가 부수적인 방법 또는 기구의 사용이나<sup>11,16,18,19</sup> 수술 순서의 변화<sup>3,4</sup>에 대한 것이었다.

결국 석고모형 수술방법의 정확성에 관하여는 Ellis<sup>7</sup>만이 실질적인 연구를 통해 1mm 이상의 오차가 있음을 보고하면서 버어니어 캘리퍼스 외의 새로운 도구, 즉 Erickson model surgery platform와 model block의 사용을 주장한 바 있었다. 그러나 Ellis는 버어니어 캘리퍼스로 측정하여 발생한 석고모형 수술의 부정확성을 Erickson model surgery platform를 이용하여 비교, 증명하였으나 정작 이 도구의 정확성에 관하여는 언급하지 못하였다. 따라서 버어니어 캘리퍼스는 실제로 부정확한지, 그리고 이 Erickson model surgery platform 측정 방법은 정말로 정확한지, 그 외의 대안은 없는지 확인할 필요가 있다. 그런데 Erickson model surgery platform은 일반적으로 상품화된 height gauge와 석정반의 상업적 조합물로 생각할 수 있으므로 Erickson model surgery platform을 이용한 측정 방법의 정확성이란 결국 height gauge를 이용한 측정의 정확성이라고 할 수 있겠다.

석고모형 수술의 정확성을 제고하기 위해서는 우선 그 영향력이 가장 크고 기본이 될 수 있는 측정 방법이 정확하도록 노력하여야 할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 기존 석고모형 수술방법에서 사용된 측정 방법, 즉 버어니어 캘리퍼스와 height gauge의 정확성을 기준이 될 수 있는 다른 측정기를 동원하여 확인하고자 하였다. 그래서 이들 측정 방법 하에서는 어느 정도의 오차가 발생하며, 어느 방법이 정확한지 알아내고자 하였다. 그리고

이 결과를 바탕으로 향후 새로운 석고모형 수술방법의 고안시 함께 사용하여 정확하고 간편한 석고모형 수술방법을 개발하고자 한다.

## II. 연구 방법 및 재료

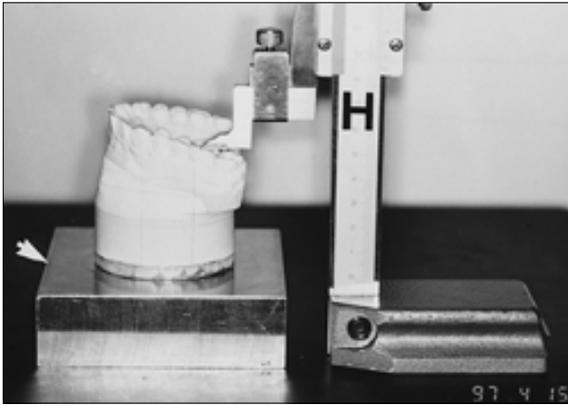
상악골 및 하악골을 동시에 수술해야 할 환자 10명에게서 상악의 인상을 채득한 뒤 석고모형을 제작하고 이를 복제하여 총 40개의 모형을 만든 뒤 환자에게서 얻은 facebow(Earpiece type, Teledyne Hanau co., Buffalo, NY, USA) 기록을 이용하여 반조절성 교합기(Hanau modular articulator, Teledyne Hanau co., Buffalo, NY, USA)에 각각 mounting하였다. 측정시 기준점이 위치할 석고모형들의 중절치, 견치, 제1, 2대구치 결손은 전혀 없는 상태였으며, 절단면의 중심 혹은 근심 협측 교두상에 기준점을 정해 이를 지나는 수직기준선과 모형 Frankfurt plane에 평행하는 수평 기준선을 각각 그려 석고모형 수술시에 사용할 수 있도록 하였다.

석고모형이 부착된 mounting plate를 정확하게 고정할 수 있는 stainless steel model block을 100×100×30(mm)의 크기로 제작하였고 그 편평도 오차는 0.05mm이하였다. 이 model block은 height gauge(Mitutoyo co., Japan, 0.02mm의 오차 한계)를 이용한 측정과 3차원 계측기(3-dimensional coordinate analyzer, VA 800A, Tokyo Semitsu co., Tokyo, Japan)를 이용한 측정시에 사용되었다. 즉, 석고 모형을 고정시킨 model block을 공업용 석정반(유니텍정밀, 한국, 0.01 mm의 편평도) 위에 올려 놓은 뒤 각 치아 기준점의 높이 나비 등을 height gauge나 3차원 계측기로 측정할 수 있도록 하였다(Fig. 1 참조).

이 상태에서 기준 평면을 설정하여 각 평면에서 측정을 시행할 수 있도록 하였다. 교합면이 위로 향하도록 석고모형을 위치시켰을 때 모형 Frankfurt plane에 평행인 수평면(axial plane)상에서 전치를 전방, 구치를 후방으로 하는 방향, 즉 전후방 관계는 X 좌표축으로, 또 같은 axial plane상에서 위의 X 좌표와 수직이 되는 협설 방향은 Y 좌표축으로 임의 설정하였다. 그리고 axial plane에 대해 수직이 되는 치아의 높이 방향, 즉 수직 방향은 Z축으로 하였으며 이에 대한 개략적인 모습이 Fig. 2에 나타나 있다.

측정을 시행한 사람들, 즉 측정자(measurer) 4사람은 모두 치과 의사로 본 실험의 의도를 잘 이해하고 있었으며 두 사람은 악안면 기형 진단의 경험이 10년 이상되는 staff와 구강 악안면 외과 3년차 수련의였으며 나머지 2사람은 악안면 기형의 진단에 전혀 경험이 없는 인턴들이었다. 따라서 이들을 석고 모형 수술 경험 여부에 따라서 숙련군 및 비숙련군으로 가정하고 대별하였다.

버어니어 캘리퍼스(Mitutoyo co., Japan, 0.05mm의 오차 한계)와 height gauge를 이용한 측정의 오차를 알아보기 위해서 0.001mm의 오차 한계를 가진 3차원 계측기를 기준 측정기로 사용하였다. 이미 언급한 석고모형 40개의 기준 치아 8개(좌, 우측 중절치, 견치, 제1대구치 및 제2대구치)에 위치한 기준점에 대하여 3차원 계측기를 이용하여 3차원 좌표값, 즉 전후방 길이(X) 측방 길이(Y) 수직 높이(Z)를 측정하였다(Fig. 3 참조). 아울러 이 3차원 계측기가 가지고 있는 근본적인 측정 오차를 확인하기 위해서 하



**Fig. 1.** 각 기준점에 대한 측정.  
 석정반상에서 model block에 올려진 석고모형의 기준점에 대하여 전후방 길이(X축), 측방 길이(Y축), 수직 높이(Z축)를 height gauge로 측정하는 모습. (화살표 ; model block, H ; height gauge)



**Fig. 2.** 각 좌표축 및 평면의 위치 관계.  
 model Frankfurt plane에 평행인 수평면(axial plane)을 XY 평면, 그리고 이와 수직인 축을 Z축으로 하여서 기준 평면을 설정하였다. 그래서 모형의 치아에 대한 전후방 길이는 X값, 측방 길이는 Y값, 수직 높이는 Z값이 되도록 하였다.



**Fig. 3.** 3차원 계측기로 석고 모형 기준점을 측정.  
 3차원 계측기를 이용하여 모형의 기준점에 대한 3차원 좌표값인 전후방 길이(X), 측방 길이(Y), 수직 높이(Z)를 측정하는 모습. (화살표 ; 3차원 계측기의 측정단)

나의 석고모형상의 상이한 3개점을 순차적으로 각각 30회씩 3차원 계측기로 측정하고, 아래와 같은 방법에 의해 방법 오차 (method of error)<sup>5)</sup>를 구하였다.

$$\text{method of error } E = \sqrt{\sum (X_2 - X_1)^2 / 2(n-1)}$$

(X<sub>2</sub> ; 2번째 측정치, X<sub>1</sub> ; 1번째 측정치, n ; 측정 횟수)

같은 석고모형 40개를 각각 stainless steel model block에 mounting한 뒤, 공업용 석정반 위에서 height gauge를 이용하여 같은 위치의 점들의 3차원 좌표값, 즉 전후방 길이(X), 측방 길이(Y), 수직 높이(Z)를 4 사람의 측정자가 각각 측정하였다. 그리고 이 측정치를 먼저 측정한 3차원 계측기의 측정치와 비교하여 차이, 즉 오차를 구하고 이 결과들을 실험 제1-a군(X), 실험 제1-a군(Y), 실험 제1-a군(Z)으로 정하였다.

**Table 1.** 전체 실험의 요약

Group	No of measure. †	time	methods
Group 1-a(X,Y,Z)*	1280	before model surgery	(3D-analyzer)-(height gauge)▲
Group 2-a**	1280	before model surgery	(3D-analyzer)-(vernier calipers)▲▲
Group 1-b(X,Y,Z)†	1280	after model surgery	(3D-analyzer)-(height gauge)▲
Group 2-b††	1280	after model surgery	(3D-analyzer)-(vernier calipers)▲▲

\* Group 1-a(X,Y,Z) ; 3차원 계측기와 height gauge 측정치의 차이를 구한 실험 제 1군중 석고모형 수술 이전에 측정을 시행하여 얻은 오차들

\*\* Group 2-a ; 3차원 계측기와 vernier calipers 측정치의 차이를 구한 실험 제 2군중 석고모형 수술 이전에 측정을 시행하여 얻은 측정치

† Group 1-b(X,Y,Z) ; 실험 제 1군중 석고모형 수술 이후에 측정을 하여 얻은 오차들

†† Group 2-b ; 실험 제 2군중 석고모형 수술 이후에 시행한 측정치

† No of measure. (총측정 횟수) ; 기준점에 대한 측정을 시행한 횟수

1280(total measurements) = 40(number of casts) × 8(number of points per casts) × 4(number of measurer)

▲ (3D analyzer)-(height gauge) ; 3차원 계측기를 이용한 측정치에서 height gauge를 이용한 측정치를 뺀 값

▲▲ (3D analyzer)-(vernier calipers) ; 3차원 계측기를 이용한 측정치에서 버니어 캘리퍼스를 이용한 측정치를 뺀 값

마찬가지로 버니어 캘리퍼스를 이용해 측정자가 각 기준점에서의 수직 높이, 즉 Z 좌표 평면의 길이를 측정하였다. 이 버니어 캘리퍼스는 height gauge와 달리 수직적인 Z좌표계의 길이만을 기록할 수밖에 없고 다른 좌표계의 측정은 불가능하다. 또 버니어 캘리퍼스의 측정치를 위와 같은 방법으로 3차원 계측기 측정치와의 차이, 즉 오차를 구하고 이를 실험 제2-a군로 하였다.

이와 같이 석고모형 수술시행 이전의 측정 오차 뿐 아니라 석고모형 수술 후의 측정 오차도 함께 확인하고 비교하기로 하였다. 이를 위해서 상기 석고모형 40개에 대하여 전방, 측방 이동과 후방 impaction이 다르게 포함되는 석고모형 수술을 4 사람의 측정자가 버니어 캘리퍼스와 height gauge를 이용하여 시행하였다. 그리고 석고모형 수술 이전과 똑같이 각 기준점을 3차원 계측기로 측정하여 기준 측정값을 얻은 뒤 4 측정자가 버니어 캘리퍼스와 height gauge로 각 기준점의 전후방 길이(X), 측방 길이(Y), 수직 높이(Z)를 다시 측정하여, 3차원 계측기와의 측정치 차이를 각각 실험 제1-b군(X), 실험 제1-b군(Y), 실험 제1-b군(Z) 및 실험 제2-b군으로 정하였다.

그리고 이들 각 군의 측정 오차에 대하여 평균, 표준 편차, 및 음수 빈도의 비율(즉, 3차원 계측기의 측정치보다 height gauge나 버니어 캘리퍼스의 측정치가 큰 경우의 빈도)과 이들의 치아, 석고모형 수술 전, 후의 시기, 석고모형 수술 경험 유, 무에 따른 숙련-비숙련 구분에 따라 차이가 있는지를 알아 보고자 하였다. 그리고 이를 위해 ANOVA(Analysis of variance) test, t-test, 및 x2(chisquare) test를 이용해 통계적으로 분석하고 유의성이 있는지 확인하였다.

### III. 결 과

3차원 계측기의 측정 오차를 확인하기 위하여 같은 3점을 반복 측정하여 얻은 방법 오차( method of error ) E = 0.1028(mm)였다. 이 0.1mm의 오차는 height gauge 및 버니어 캘리퍼스를 3차원

계측기로 비교할 때 항상 나타날 수 있는 오차 정도라고 생각되었다.

3차원 계측기를 기준으로 하여 height gauge를 이용한 측정치와 비교하였던 실험 제1군의 성적을 보면(Table 2 참조), 전후방 길이(X)는 0.23mm, 측방 길이(Y)는 0.18mm의 차이를 보였고, 수직 높이(Z)는 가장 정확하여 0.11mm의 차이를 보였다. 그리고 이들 결과를 종합하여 계산한 3차원 공간상에서의 측정 오차는 평균 0.38mm인 것으로 나타났다. 또 전후방 길이(X)에 대한 음수의 비율은 45.2%, 측방 길이(Y)는 32.5%인데 반하여, 수직 높이(Z)는 84.1%를 보였다.

3차원 계측기에 대한 버니어 캘리퍼스의 측정 차이를 비교한 실험 제2군의 결과는 실험 제1군의 결과보다 크게 증가한 1.11mm로 나타났고 음수값의 비율은 89.6%로 height gauge를 이용한 측정에서보다 높았다(Table 2 참조).

숙련도가 측정시의 오차 발생에 관여하는 지를 확인하기 위하여 이전 석고모형 수술시행 경험 유무에 따라 숙련군(측정자 1과 2)과 비숙련군(측정자 3과 4)으로 나누었을 때의 결과가 Table 3에 나와 있다. 이에 따르면 숙련군의 측정 오차는 전후방 길이(X)에서 0.22mm, 측방 길이(Y)에서 0.17mm, 그리고 수직 높이(Z)에서는 0.10mm였으며, 음수의 비율은 33.3%에서 84.4%까지 차이가 있었다. 비숙련군의 오차는 전후방 길이(X)에서 0.24mm, 측방 길이(Y)에서 0.18mm, 수직 높이(Z)에서는 0.12mm로 나타났으며, 숙련군과 비숙련군의 결과들은 측방 길이(Y)만을 제외한 나머지가 95% 또는 99% 수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났으나 실제 평균의 차이는 극히 작았다. 또 음수의 비율에서는 모두 p값이 0.05 이상으로 유의성이 없었다.

한편 실험 제 2군에서는 숙련군의 경우 오차값이 0.88mm인데 반하여 비숙련군에서는 1.15mm로 99% 수준에서 유의성있게 차이가 있었고, 음수의 비율도 각각 91.5%와 87.1%로 99% 수준에서 유의성이 있었다.

치아의 위치에 따라서 측정 오차가 어떻게 발생하는지도 확인하였다(Table 4 참조). 실험 제 1군중 전후방 길이(X)에서는

**Table 2.** 3차원 계측기의 측정치와 Height gauge 및 Vernier calipers 측정치간의 차이

	Mean*±SD**(mm)	negative val.(%)***
Group 1(X)	0.231±0.319	45.2
Group 1(Y)	0.176±0.211	32.5
Group 1(Z)	0.111±0.122	84.1
Group 1(total) <sup>†</sup>	0.375±0.458	-
Group 2	1.112±1.273	89.6

Group 1(실험 제 1군); 3차원 계측기와 height gauge 측정치의 차이

Group 2(실험 제 2군); 3차원 계측기와 vernier calipers 측정치의 차이

\* Mean(평균); 3차원 계측기와 height gauge 혹은 vernier calipers 측정치간 차이의 평균

\*\* SD(standard deviation, 표준편차); 측정오차에 대한 표준 편차

\*\*\* negative val.(percentage of negative value, 음수 빈도의 비율); 각 측정치의 차이값인 측정 오차가 음수인 빈도의 비율, 즉 3차원 계측기의 측정치보다 height gauge나 버니어 캘리퍼스의 측정치가 더 큰 경우의 비율

<sup>†</sup>Group 1(total); 3차원 계측기로 측정된 기준점 (x,y,z)과 height gauge로 측정된 동일한 기준점 (x',y',z')의 3차원상 길이 차이, 즉 (x-x')<sup>2</sup>+(y-y')<sup>2</sup>+(z-z')<sup>2</sup>

**Table 3.** 숙련도 차이에 대한 측정치의 차이

Expert <sup>†</sup>	Mean±SD(mm)	P	negative val.(%)	P'
Group 1(X) Exp <sup>++</sup>	0.219±0.290	0.048*	46.0	0.444
None.	0.244±0.344		44.5	
Group 1(Y) Exp.	0.172±0.237	0.423	33.3	0.393
None.	0.179±0.181		31.6	
Group 1(Z) Exp.	0.103±0.106	0.003**	84.4	0.798
None.	0.118±0.136		83.9	
Group 2 Exp.	0.883±0.957	0.000**	91.5	0.005**
None.	1.153±1.286		87.1	

Expert.(expertness) ; 석고 모형 수술에 대한 경험 유무에 따른 숙련도.

Exp.(expert, 숙련자) ; 측정자(measurer) 1과 2.

None.(nonexpert, 비숙련자) ; 측정자 3과 4.

P (probability by ANOVA) ; 측정오차에 대한 유의수준.

P' (probability by x2 test) ; 음수(negative value) 빈도의 비율에 대한 유의 수준.

\* : P < 0.05, \*\* : P < 0.01

0.19mm(#21)에서 0.28mm(#17)까지의 차이를, 측방 길이(Y)에서는 0.16mm(#16)에서 0.21mm(#23)의 차이를, 그리고 수직 높이(Z)에서는 0.09mm(#21)에서 0.12mm(#17)의 차이를 보였다. 그리고 이들 측정치의 차이는 측방 길이(Y)의 95%나 전후방 길이(X), 수직 높이(Z)의 99% 수준에서 각각 유의성을 보였다. 또 측정 오차 중 음수의 비율은, 28.0%에서 86.8%까지 다양하게 나타났고 수직 높이(Z)가 비교적 높은 비율을 보였으며 p<0.01였다.

한편 실험 제 2군에서의 치아별 오차는 실험 제1군에 비해 훨씬 커서 0.76mm(#23)에서 1.78mm(#27)의 차이가 있었고 99%의 유의 수준에서 의미있는 차이를 보였다.

석고모형 수술 전, 후의 측정 오차에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 시기를 구분하여 비교하였다 (Table 5 참조). 실험 제 1군중 석고모형 수술 이전 시기에서는 전후방 길이(X)가 0.28mm, 측방 길이(Y)는 0.19mm, 그리고 수직 높이(Z)는 0.11mm의 차이를 보였다. 또 이들의 음수 비율은 각각 36.4%, 29.2%, 그리고 81.1%였고 모두 99%의 유의 수준에서 의미가 있었다. 한편 석고모형 수술 이후의 시기에서는 오차가 오히려 감소하여 전후방 길이(X)가 0.18mm, 측방 길이(Y)가 0.16mm, 수직 높이(Z)는 0.11mm의 오차를 보였으며 음수의 비율은 54.1%, 35.8%, 85.2%였다. 결국 이들 술전, 후의 차이는 수직 높이(Z)를 제외하고 (p>0.05) 전후방 길이(X)와 측방 길이(Y)에서 유의성이 있었다 (p<0.01).

실험 제 2군에서는 석고모형 수술 이전의 오차가 0.63mm, 음수의 비율이 88.4%인데 반하여 수술 후에는 1.80mm, 94.4%를 보였으며 이들은 각각 99% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

#### IV. 고 찰

악교정 수술시 악골의 이동량은 대개 수 mm이므로 악교정 수술을 위한 준비 과정은 고도의 정확성을 요구한다고 할 수 있다. 특히 치아의 위치에서 계측시 발생하는 오차는 실제 수술 상황

에서 확대되어 나타날 것이므로 간과되어서는 안된다. 이미 언급한 대로 이 오차는 악교정 수술을 위한 surgical splint 제작시 그대로 반영될 것이다. 따라서 이 오차가 비록 작은 것일지라도 상악골이나 하악골의 골절단면, 혹은 얼굴 전체의 관점에서는 몇 배 확대된 결과를 나타날 것이다. 예를 들어 석고모형 수술시 상악 제1대구치에서 약 1mm의 오차가 발생하였다고 가정하면 maxillary buttress에서는 약 4mm 정도의 오차가 발생할 수 있을 것으로 계산된다. 통상적으로 상악골 비대칭의 수술시 maxillary buttress에서의 이동량이 3~5mm 정도 될 수 있다는 것을 감안한다면 이는 분명히 심각한 차이라고 할 수 있다. 우리가 흔히 수술시 직접 느낄 수 있는 예상 이동량과 현실 사이의 차이를 보며 느끼는 당혹감의 원인 중에는 이러한 오차가 틀림없이 있을 것으로 생각된다.

석고모형 수술시의 오차 발생은 석고모형 수술 자체에 의한 것과 석고모형 수술 전후의 준비 기공 과정에서 발생하는 것으로 나눌 수 있다. 우선 석고모형 수술 전후의 준비 과정 중에서는 다양한 오차의 원인이 존재하는데 Ellis<sup>8)</sup>는 악교정 수술 준비시 face-bow transfer의 부정확성에 관하여 지적하면서 이를 확인하는 방법을 제시하였고, Nattestad<sup>10)</sup>는 하악골의 rotation center와 face-bow의 관계를 들어 설명한 바 있었다. 또 Marko<sup>13)</sup>와 Hohl<sup>14)</sup>는 악교정 수술 준비를 위한 교합기의 선택에 관하여 발표하였고, Omura<sup>15)</sup>는 두부계측 방사선 사진(cephalometric radiograph)을 교합기상에 올려진 모형과 비교 중첩시켜 오차를 줄이는 방법을 제시하였다. 이러한 석고모형 수술준비 과정 뿐 아니라 완성된 석고모형 수술 후에도 준비한 석고모형 수술 결과를 환자에게 옮기는 과정에서 오차가 발생할 수 있으므로 Nattestad<sup>15)</sup>는 이 과정중의 기준선 설정 차이에 따른 오차의 발생에 관해 연구하였고 Schweska<sup>16)</sup>는 상악 전치부의 positioning device 사용을 제안하였다.

이렇게 석고모형 수술 전후의 준비 과정에 관하여는 다양한 연구가 이루어진 반면 석고모형 수술 자체에 관해서는 충분한 연

**Table 4.** 측정 기준 치아에서의 측정치 차이

Tooth <sup>+</sup>	Mean±SD(mm)	P	negative val.(%)	P'	
Group 1(X)	#17	0.279±0.428	0.000**	36.5	0.000**
	#16	0.264±0.394		43.7	
	#13	0.276±0.316		43.7	
	#11	0.224±0.253		38.4	
	#21	0.193±0.206		39.3	
	#23	0.199±0.253		54.4	
	#26	0.213±0.299		47.5	
	#27	0.204±0.330		58.5	
Group 1(Y)	#17	0.157±0.153	0.015*	30.2	0.002**
	#16	0.156±0.135		28.6	
	#13	0.185±0.171		28.0	
	#11	0.177±0.180		30.8	
	#21	0.192±0.357		32.1	
	#23	0.208±0.244		33.3	
	#26	0.159±0.189		43.1	
	#27	0.172±0.169		33.6	
Group 1(Z)	#17	0.120±0.132	0.004**	82.1	0.330
	#16	0.117±0.110		82.4	
	#13	0.104±0.120		84.6	
	#11	0.101±0.126		86.8	
	#21	0.093±0.090		85.9	
	#23	0.107±0.146		86.8	
	#26	0.113±0.123		82.8	
	#27	0.130±0.120		81.5	
Group 2	#17	1.564±1.453	0.000**	96.0	0.000**
	#16	1.039±1.289		88.4	
	#13	1.089±1.210		90.9	
	#11	0.843±1.078		82.3	
	#21	0.881±1.114		88.4	
	#23	0.763±0.998		88.4	
	#26	0.941±1.144		84.3	
	#27	1.778±1.385		98.0	

<sup>+</sup>Tooth (#17, #16, #13, #11, #21, #23, #26, #27) ; 기준점이 위치한 치아 (각 번호는 상악 우측 제2대구치, 제1대구치, 견치 및 중절치와 상악 좌측 중절치, 견치, 제1대구치 및 제2대구치를 각각 지칭)

P (probability by ANOVA) ; 측정오차에 대한 유의수준.

P' (probability by x2 test) ; 음수(negative value) 빈도의 비율에 대한 유의 수준.

\* : P < 0.05, \*\* : P < 0.01

구가 이루어지지 못하였다. Anwar<sup>1)</sup>는 Lockwood의 key-spacer planning system을 소개하였고, Ellis<sup>2)</sup>는 상악 전치의 위치를 확인할 수 있는 방법을 제시하였으며, Cottrel<sup>3)</sup>과 Buckley<sup>4)</sup>는 상악악 동시 수술을 위한 수술과 석고모형 수술 순서의 변화에 대해 발표한 바 있었다. 또 Ellis<sup>5)</sup>는 악교정 수술을 위한 석고모형 수술의 정확성에 관해 연구하고 고전적인 방법이 부정확하다고 주장하였다.

오래전부터 널리 사용되어 온 석고모형 수술 술식은 상악 model에 기준선을 긋고 가상의 골절단선에서 잘라 예상되는 양만큼 이동시키는 것이었다<sup>6)</sup>. 그리고 이러한 고전적 석고 모형

수술 방법에서는 측정 도구로 버어니어 캘리퍼스가 사용되었다. 이에 대하여 Erickson<sup>7)</sup>과 Ellis<sup>8)</sup>는 Erickson 석고모형 수술 platform, 즉 height gauge를 사용하여 측정을 하여야 한다고 주장하였으며 특히 Ellis는 버어니어 캘리퍼스로는 복잡한 표면의 석고 모형에 대한 정확한 측정을 할 수 없어 오차가 발생할 수 있다고 하였다. 따라서 실제 이동이 일어나는 치아의 위치에서 측정을 시행할 수 있고 버어니어 캘리퍼스의 측정 오차나 시각 오차(parallax error)를 막기 위해 Erickson model surgery platform, 즉 height gauge와 model block을 사용해야 한다고 하였다.

3차원 계측기의 측정치를 기준으로 하여 height gauge의 측정

**Table 5.** 석고 모형 수술 전, 후의 측정치 차이

	Mean±SD(mm)	P	negative val.(%)	P'
Group 1-a(X) <sup>▲</sup>	0.279±0.374	0.000**	36.4	0.000**
Group 1-b(X) <sup>▲▲</sup>	0.184±0.243		54.1	
Group 1-a(Y)	0.192±0.194	0.000**	29.2	0.000**
Group 1-b(Y)	0.159±0.226		35.8	
Group 1-a(Z)	0.113±0.118	0.378	81.1	0.000**
Group 1-b(Z)	0.109±0.126		85.2	
Group 2-a(Z)	0.627±0.626	0.000**	88.4	0.003**
Group 2-b(Z)	1.795±1.805		94.4	

▲ Group 1-a(X,Y,Z) ; 실험 제 1군중 석고 모형 수술 이전에 시행한 측정치

▲▲ Group 1-b(X,Y,Z) ; 실험 제 1군중 석고 모형 수술 이후에 시행한 측정치

Group 2-a ; 실험 제 2군중 석고 모형 수술 이전에 시행한 측정치

Group 2-b ; 실험 제 2군중 석고 모형 수술 이후에 시행한 측정치

P (probability by t-test) ; 측정오차에 대한 유의수준.

P' (probability by t-test) ; 음수(negative value) 빈도의 비율에 대한 유의 수준.

\* : P < 0.05, \*\* : P < 0.01

치의 정확성을 확인하였던 실험 제 1군의 성적을 보면(Table 2 참조), 전후방 길이(X)의 측정이 가장 부정확하고 수직 높이(Z)가 가장 정확하게 측정되는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 예상 가능한 사실로, 수직 높이(Z) 측정의 경우 height gauge의 측정단이 치아 위에 안정되게 놓여질 수 있지만 다른 전후방 길이(X)나 수직 높이(Y)의 경우 그렇지 못하고 3차원 공간에 놓이기 때문일 것이다. 그러나 오차의 정도는 모두 그리 크지 않아, 0.1mm에서 0.2mm 정도의 오차였고, 3차원 계측기 사용시의 방법 오차가 약 0.1mm인 점과 model block에 mounting plate를 고정시키는 과정에서도 오차가 생길 수 있다는 점을 생각한다면 측정 오차는 크지 않은 정도라고 할 수 있다. 따라서 height gauge를 이용하여 석고 모형 수술시 측정을 시행한다면 비교적 정확한 측정이 가능하다고 생각된다. 반면 이들 오차가 각각의 X, Y, Z 좌표축에서는 작게 나타났으나 하더라도 3차원 좌표 평면에서 이들간의 실제 거리(실험 제 1군의 total)는 0.4mm에 가까운 것으로 계산되므로, 오차가 커질 수 있는 가능성이 있어 항상 주의를 기울여야 할 것으로 생각되었다.

한편, 버어니어 캘리퍼스의 측정 오차를 확인한 실험 제 2군에서는 오차의 정도가 크게 증가하여 1.1mm 이상인 것으로 확인되어, 예상과 같이 버어니어 캘리퍼스의 측정이 몹시 부정확하다는 사실을 확인시켜 주었다(Table 2 참조). 더구나 이 오차값은 수직 높이(Z)에서만 발생한 것을 확인한 것이기 때문에 실제 X, Y 좌표축까지 고려한다면 그 오차는 훨씬 커질 것으로 예상된다. 이렇게 상대적으로 큰 오차가 발생하는 이유는 Ellis<sup>9</sup>의 주장과 같이 복잡한 표면의 석고 모형을 버어니어 캘리퍼스로 정확하게 측정할 수 없기 때문이라고 생각된다. 특히 곡면을 가진 물체에서 기준 평면도 불안정한 상태일 경우 측정단을 일정하게 위치시키는 일은 불가능에 가깝기 때문일 것이다.

3차원 계측기와 height gauge 측정치의 차이를 계산한 실험 제 1군의 전후방 길이(X), 측방 길이(Y)에 대한 음수의 비율은

45.2%, 32.5%인데 반하여, 수직 높이(Z)는 84.1%를 보여 height gauge 측정시 수직 높이(Z)가 뚜렷히 길게 측정되는 경향을 보였다(Table 2 참조). 그리고 이러한 경향은 실험 제 2군의 버어니어 캘리퍼스 측정시 더욱 심해져서 음수의 비율이 89.6%에 달하는 것으로 나타났다. 버어니어 캘리퍼스에서 정상보다 길게 측정되는 비율이 큰 것은 이미 언급한 바와 같이 두 곡면 사이의 정확한 직선 거리를 버어니어 캘리퍼스로 측정하는 것이 어렵기 때문이었으나, height gauge의 경우 다소 의외의 결과로 생각되었으며 height gauge의 측정단이 위치하면서 힘이 가해질 수 있어 마모 등이 발생될 수도 있으므로 이에 의할 수도 있다고 생각되었다. 만일 그렇다면 이에 대비한 준비가 필요할 것으로 예상된다.

측정자의 숙련도에 따른 오차의 정도를 비교하기 위해 height gauge의 측정 오차를 숙련군과 비숙련군으로 나눈 조사에서는(Table 3 참조), 두 군 사이에 전후방 길이(X)와 수직 높이(Z) 항목에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 안정된 측정 결과를 보이는 측정 방법이라도 숙련도나 개인차에 의해 측정 오차가 유의성있게 나타날 수 있다는 증거가 될 수 있겠으나 그 정도가 0.1~0.2mm이기 때문에, height gauge를 사용하면 숙련도에 크게 상관없이 정확하게 측정할 수 있는 것으로 생각되었다. 그렇지만 버어니어 캘리퍼스로 측정할 실험 2군에서는 숙련군의 0.9mm 오차에 대하여 비숙련군은 1.2mm의 오차를 보이는 결과로 보아 숙련도 차이가 height gauge를 이용한 경우에서보다 측정 오차를 더 크게 만든다고 할 수 있다. 따라서 버어니어 캘리퍼스를 이용해 석고 모형 수술을 시행할 경우 오차가 더 많이 발생함은 물론 숙련도에 따라서 영향을 많이 받을 수 있다는 사실을 염두에 두어야 할 것으로 생각된다.

측정된 치아의 위치에 따라서도 측정 오차가 어떻게 다른 지를 확인하였는데(Table 4 참조), height gauge의 측정 오차를 나타내 주는 실험 제 1군 결과에서는 전후방 길이(X) 측방 길이(Y) 수직 높이(Z) 모두 99% 수준에서 유의성 있는 차이를 보였다. 그러나

이들 각 치아에서의 오차는 전후방 길이(X)나 측방 길이(Y) 측정 시 약 0.05mm 이하, 수직 높이(Z)에서는 0.03mm의 오차 변화를 보였다. 따라서 height gauge를 이용한 측정시 치아의 위치나 종류와는 큰 관계가 없이 일정한 측정이 가능한 것으로 생각할 수 있겠다. 그러나 버어니어 캘리퍼스를 이용한 실험 제 2군에서는 측정 오차의 차이가 실험 제 1군보다 크게 증가하여 오차가 가장 작은 견치의 0.76mm에서 가장 큰 제2대구치의 1.78mm까지 1mm 이상되는 오차의 변화를 보였다. 또 두 군 모두에서 구치부보다는 전치부에서의 오차가 작아서 상악 중절치에서의 오차가 가장 작았고, 제1대구치와 제2대구치에서 가장 컸다. 특히 악안면 기형 환자들의 석고모형은 구치부로 갈수록 교합기의 기저 평면에서 멀어지기 때문에 버어니어 캘리퍼스의 측정단을 안정되게 기저 평면과 측정점 사이에 위치시키기 어렵기 때문이 아닐까 생각되었다.

석고모형 수술 전, 후의 시기 차이가 오차의 발생에는 어떻게 영향을 미치는지 확인하기 위해 시기에 따른 오차 발생을 비교하였을 때(Table 5 참조), height gauge를 사용한 실험 제 1군에서는 모든 항목에서 석고모형 수술 후 오차가 감소하였지만 큰 차이는 아니었다. 아마도 height gauge가 모형의 형태 변화에 큰 영향을 받지 않는 측정 방법이고, height gauge로 측정을 반복하면서 이 도구의 사용에 익숙해진 때문이 아닌가 한다. 이러한 결과는 숙련도에 따른 오차의 변화 조사에서도 마찬가지로 결과를 보였었기 때문에, 결국 height gauge를 사용하면 모형의 복잡성이나 숙련도에 영향을 받지 않고 정확한 측정을 할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 버어니어 캘리퍼스를 사용하였던 실험 제 2군에서는 모형 수술 이후에서의 측정 오차( $1.81 \pm 1.81\text{mm}$ )가 이전 오차( $0.63 \pm 0.63\text{mm}$ )보다 훨씬 커져서 두 오차 사이에는 1.1mm 이상의 차이를 보였고, 이 차이는 99% 수준에서 유의성이 있었다. 그러므로 버어니어 캘리퍼스를 이용한 측정이 측정물의 형태에 영향을 받을 가능성이 높아 모양이 더욱 복잡해진 석고 모형 수술 이후의 측정이 더욱 잘못될 수 있다는 사실과 함께 버어니어 캘리퍼스를 이용한 측정 방법이 쉽게 숙련되기 어렵다고 생각할 수 있다.

일반적으로 석고모형 수술을 시행하는 수련의들이 경험 부족인 채로 악교정 수술 환자에 대한 석고모형 수술을 수행하고 있는 우리의 현실 하에서는 여러 인자에 의한 영향을 덜 받고 정확하게 계측할 수 있는 방법이 아닌가 한다. 즉, height gauge와 model block의 사용은 측정자의 개인성이나 숙련도, 측정 기준점의 위치, 측정 시기 등의 차이에 구애받지 않고 일관되게 정확한 결과를 만들 수 있으며, 반면에 버어니어 캘리퍼스는 그렇지 못하다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 모형의 형태나 숙련도 등에 영향을 많이 받는 버어니어 캘리퍼스를 이용한 측정 방법보다는 height gauge를 사용하는 방법이 정확성을 요구하는 석고모형 수술에서 더 적당하다고 생각되며 이를 이용한 새로운 수술 방법의 개발이 앞으로 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

악교정 수술을 위한 석고모형 수술시 측정 방법의 정확성은 영향을 크게 미칠 수 있는 기본 요소라고 생각된다. 이를 확인하기 위해 일반적인 석고모형 수술방법에서 사용되는 버어니어 캘리퍼스와 더 나은 것으로 주장되는 height gauge의 측정 정확성을 3차원 계측기를 이용하여 비교하고 다음과 같은 결론을 얻었으며, 향후 새로운 석고모형 수술방법을 고안하는데 이용할 수 있게 되었다.

1. Height gauge를 이용한 측정 오차를 확인한 실험 제1군에서는 전후방 길이(X), 측방 길이(Y), 수직 높이(Z)의 모든 평면에서 0.1에서 0.2mm의 범위에 있어 상당히 정확하였다.
2. 버어니어 캘리퍼스를 이용한 측정오차인 실험 제2군에서는 수직 높이(Z)만을 비교하였음에도 1.1mm의 큰 오차가 있었다.
3. 측정자의 숙련도에 따라서 버어니어 캘리퍼스를 이용한 측정시의 오차 변화는 크게 나타났지만, height gauge의 측정 오차는 비교적 작고 일정하였다.
4. 두 측정 도구 모두에서 전치부가 가장 정확하고 구치부로 갈수록 측정 오차가 커졌다.
5. 석고모형 수술 전, 후의 시기에 따른 측정 정확도를 비교하였을 때 버어니어 캘리퍼스를 이용하면 석고모형 수술 후의 측정 오차가 이전보다 크게 증가하여 height gauge를 이용하였을 경우와 달랐다.

따라서 악교정 수술을 위한 석고모형 수술시 height gauge를 이용한 측정 방법은 개인차나 숙련도, 모형 형태의 복잡함에 거의 영향을 받지 않고 안정되고 정확하게 측정을 수행을 시행할 수 있는 방법으로 사료되었다.

## 참고문헌

1. Anwar M, Harris M : Model surgery for orthognathic planning. British J Oral and Maxillofac Surg 28:393-397, 1990.
2. Bell WH. : Correction of the short-face syndrome--vertical maxillary deficiency ; A preliminary report. J Oral Surg 35:110-120, 1977.
3. Buckley MJ, Tucker M : An alternative approach for staging simultaneous maxillary and mandibular osteotomies. Int J Adult Orthod Orthognath Surg 2:75-78, 1987.
4. Cottrell DA, Wolford LM : Altered orthognathic surgical sequencing and a modified approach to model surgery. J Oral Maxillofac Surg 52:1010-1020, 1994.
5. Dahlberg G : Stastical methods for medical and biological students. Interscience Pub., N.Y., 1940, cited from Sandler PJ : Reproducibility of cephalometric measurements. Br J Orthod 15:105-110, 1988.
6. Ellis E : A method to accurately predict the position of the maxillary incisor in two-jaw surgery. J Oral Maxillofac Surg 42:402-404, 1984.
7. Ellis E : Accuracy of model surgery. J Oral Maxillofac Surg 48:1161-1167, 1990.
8. Ellis E : Accuracy of face-bow transfer. J Oral Maxillofac Surg 50:562-567, 1992.
9. Epker BN, Fish LC : Definitive immediate presurgical planning. In Epker BN, Fish LC : Dentofacial deformities. St. Louis, CV Mosby co., 1986, pp. 128-146.
10. Erickson KM, Bell WH, Goldsmith DH : Analytical model surgery. In

- Bell WH : Modern practice in orthognathic and reconstructive surgery. Philadelphia, WB Saunders co., 1992, pp. 154-216.
11. Hohl TA : Use of an adjustable (anatomic) articulator for cast prediction in segmental surgery. In Bell WH : Surgical correction of dentofacial deformities. Philadelphia, WB Saunders co., 1980. pp. 169-177.
  12. Kahnberg KE, Sunzel B, strand P : Planning and control of vertical dimension in Le Fort I osteotomies. J Craniomax Fac Surg 15;238-243, 1987.
  13. Marko JV : Simple hinge and semiadjustable articulators in orthognathic surgery. Am J Orthod Dentofac Orthop 90:37-44, 1986.
  14. Nattestad A, Vedtofte P, Mosekilde E : The significance of an erroneous recording of the centre of mandibular rotation in orthognathic surgery. J Craniomax Fac Surg 19;254-259, 1991.
  15. Nattestad A, Vedtoft P : Pitfalls in orthognathic model surgery. Int J Oral Maxillofac Surg 23:11-15, 1994.
  16. Omura T, Glickman RS, Super S : Method to verify the accuracy of model surgery and prediction tracing. Int J Adult Orthod Orthognath Surg 11;265-271, 1996.
  17. Polido WD, Ellis E, Sinn DP : An assessment of the predictability of maxillary repositioning. Int J Oral Maxillofac Surg 20:349-352, 1991.
  18. Pretta FM, Caruso WA : The use of acrylic spacers in orthognathic model surgery. J Oral Maxillofac Surg 41;473-475, 1983.
  19. Schwestka R, Engelke D, Zimmer B, et al : Positioning control of the upper incisors in orthognathic surgery. Eur J Orthod 13;367-371, 1991.
  20. Van Sickels JE, Larsen AJ, Tripplett RG : Predictability of maxillary surgery : a comparison of internal and external reference marks. Oral surg Oral med Oral pathol 61;542-545, 1986.
  21. Wylie GA, Epker BN, Mossop Jr. : A technique to improve the accuracy of total maxillary surgery. Int J Orthod Orthognath Surg 3;143-147, 1988.
  22. 김선용, 이의웅 : 악교정 수술시 골편의 술전 예측치와 술후 실제치에 관한 연구. 대한구강악안면외과학회지 22(2);241-250, 1996.
  23. 최수원, 박형식, 차인호 : 외부 계측법에 의한 상악골 채위치의 정확도에 관한 연구(II). 대한구강악안면외과학회지 22(4);537-543, 1996.