

## 6축 모형수술 시뮬레이터의 정확도에 관한 연구

전재호 · 이형철<sup>1</sup> · 지현진<sup>2</sup> · 전영진<sup>3</sup> · 김용일 · 손우성 · 박수병 · 김성식 · 황대석<sup>4</sup>부산대학교 치의학전문대학원 치과교정학교실, <sup>1</sup>예쁜 미소 바른 이 치과의원, <sup>2</sup>국방과학연구소,<sup>3</sup>이루미 치과의원, <sup>4</sup>부산대학교 치의학전문대학원 구강악안면외과학교실**Abstract** (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2010;36:23-27)

## Reliability study of 6-axis model surgery simulator for orthognathic surgery

Jae-Ho Jeon, Hyung-Chul Lee<sup>1</sup>, Hyun-Jin Ji<sup>2</sup>, Yeong-Jin Jeon<sup>3</sup>, Yong-Il Kim,  
Woo-Sung Son, Soo-Byung Park, Sung-Sik Kim, Dae-Seok Whang<sup>4</sup>*Department of Orthodontics, School of Dentistry, Pusan National University, <sup>1</sup>Pretty Smile Orthodontic Clinic,  
<sup>2</sup>Agency of Defense Development, Daejeon, Republic of Korea, <sup>3</sup>Erumi Dental Clinic, Busan, Republic of Korea,  
<sup>4</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Pusan National University*

The purpose of this study was to evaluate the reliability of 6-axis model surgery simulator (6AMSS) for orthognathic surgery. A rectangular parallelepiped plastic block was assembled to model-mounting plate of 6AMSS. Left-right (X), anterior-posterior (Y), up-down (Z) translation and pitching ( $\emptyset X$ ), rolling ( $\emptyset Y$ ) and yawing ( $\emptyset Z$ ) rotation was planned and performed using 6AMSS. The actual translation and rotation were measured with dial gauge and precisional protractor, respectively. Comparison between the planned and actual movements of plastic block for each variable were made using paired *t*-test. Statistical analysis for X, Y, Z,  $\emptyset X$ ,  $\emptyset Y$  and  $\emptyset Z$  movement have shown no significant differences between planned and actual movement ( $P > 0.05$ ). This indicate that model surgery performed with the aid of the 6AMSS is accurate in 3D translation and rotation. The 6AMSS is practically useful for accurate fabrication of surgical splint for orthognathic surgery.

**Key words:** Orthognathic surgery procedure, Orthognathic surgery

(원고접수일 2009. 11. 30 / 1차수정일 2009. 12. 29 / 2차수정일 2010. 1. 20 / 게재확정일 2010. 1. 26)

## I. 서 론

악교정 수술을 위한 모형수술은 악안면 기형 환자의 진단과 치료계획을 수립하기 위한 목적으로 통상적으로 시행하는 과정이다. 현재까지 모형수술을 위한 다양한 장비와 기법들이 소개되었지만, 조작의 어려움과 부정확성 등 한계점 또한 함께 보고되고 있다<sup>1,5</sup>. 모형수술의 오차는 모형을 정확하지 않은 위치에 부착하거나 기준점을 잘못 표시하거나 이동량을 잘못 측정하여 발생한다. 특히 양악수술 증례에서 상악모형을 계획한 위치에 재위치시키는 과정이 가장 어려우며 부정확하다<sup>6</sup>. 재위치된 모형을 기준으로 수술용 스플린트를 제작하기 때문에 모형수술은 실제 수술을 정확하게 시행하기 위해 아주 중요한 과정이라 할 수 있다<sup>6</sup>.

**손우성**

602-739 부산 서구 아미동 1-10번지

부산대학교 치의학전문대학원 치과교정학교실

**Woo-Sung Son**

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Pusan National University

1-10, Amidong, Seogu, Pusan, 602-739, Korea

Tel: +82-51-240-7443 Fax: +82-51-247-7361

E-mail: wsson@pusan.ac.kr

이에 모형수술을 정확히 시행하기 위해 6축 모형수술 시뮬레이터를 개발하였다.(Fig. 1.) 자체 제작한 정중시상면을 기준으로 안궁전이를 할 수 있는 face bow를 이용하거나 Cone beam CT를 이용하여 상악 치열 중 3부위의 좌표를 추출하여 상악골과 상악치열의 삼차원 위치를 복제하는 방법으로 시뮬레이터에 상악모형을 마운팅한 후 하악모형을 통상적인 방법으로 마운팅하여 모형수술을 진행한다. 상악모형과 하악모형은 6축 정밀 매뉴얼 스테이지에 의해 시뮬레이터에 연결되며 3방향의 평행이동과 3축을 중심으로 한 회전이동이 가능하다. 석고의 절단이나 기준선 표시 과정이 필요 없으며 좌우(X), 전후방(Y) 평행이동은 마이크로미터 다이얼을 이용하여 시행하므로 0.01 mm 단위까지 정밀하다. 수직 평행이동(Z)은 랩잭을 이용하며, 여기에 버니어 캘리퍼 눈금을 표시하여 0.05 mm 단위까지 정밀하다. 좌우 축( $\emptyset X$ , pitch)과 전후 축( $\emptyset Y$ , roll)을 중심으로 한 회전이동은 0.1° 단위로 눈금을 읽을 수 있으며 수직 축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset Z$ , yaw)은 1° 단위로 눈금이 표시되어 있다. 6 방향의 이동은 6개의 다이얼로 각각 독립적인 이동이 가능하며 부가적인 잠금나사로 이동을 허용하거나 제한한다. 이 연구는 새롭게 개발한 6축 모형수술 시뮬레

\*본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

이터의 평행이동과 회전이동의 정확도를 평가하고자 시행하였다.

## II. 연구대상 및 방법

3방향의 평행이동과 3축을 중심으로 한 회전이동의 정확도를 각각 평가하기 위해 좌우 평행이동(X), 전후 평행이동(Y), 수직 평행이동(Z), 좌우 축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset X$ , pitch), 전후축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset Y$ , roll), 수직 축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset Z$ , yaw) 항목으로 나누어 계획한 이동량과 6축 시뮬레이터로 이동을 시킨 후의 이동량을 비교하였다.

좌우 평행이동(X)의 정확도를 평가하기 위해 1.00 mm를 계획하여 이동시킨 후 측정하고 다시 원점으로 복귀시켜 2.00 mm를 계획하여 이동시킨 후 측정하는 방법으로 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 mm를 이동시켜 측정하고 이 과정을 25회 반복하였다. Y, Z축 방향의 평행이동도 같은 방법으로 측정하였다.

좌우 축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset X$ )의 정확도를 평가하기 위해 2.00°를 계획하여 이동시킨 후 측정하고 다시 원점으로 복귀시켜 4.00°를 계획하여 이동시킨 후 측정하는 방법으로 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00°를 이동시켜 측정하고 이 과정을 25회 반복하였다.  $\emptyset Y$ ,  $\emptyset Z$  방향의 회전이동도 같은 방법으로 측정하였다.

평행 이동량은 다이얼 게이지(No.2046S®, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 0.01 mm 단위까지 측정하였고, 회전 이동량은 디지털 초정밀 경사계(Pro3600®, SmartToll technology, USA)를 이용하여 0.01° 단위까지 측정하였다. 계획한 값과 실측한 값을 paired t-test를 시행하여 통계적으로 검증하였다.

## III. 결 과

### 1. X축 방향의 평행이동

X축 방향(좌우축)으로 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 mm를 계획하여 이동시킨 후 실측값은 각각 1.00 ± 0.01, 2.00 ± 0.00, 3.00 ± 0.00, 4.00 ± 0.00, 5.00 ± 0.00 mm이었으며, (Table 1.) 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. ( $P > 0.05$ )

### 2. Y축 방향의 평행이동

Y축 방향(전후방)으로 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 mm를 계획하여 이동시킨 후 실측값은 각각 1.00 ± 0.00, 2.00 ± 0.00, 3.00 ± 0.00, 4.00 ± 0.00, 5.00 ± 0.00 mm이었으며, (Table 2.) 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. ( $P > 0.05$ )

### 3. Z축 방향의 평행이동

Z축 방향(상하방)으로 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 mm를 계획하여 이동시킨 후 실측값은 각각 1.01 ± 0.02, 2.01 ± 0.02, 3.00 ± 0.02, 4.00 ± 0.02, 5.00 ± 0.02 mm였으며, (Table 3.) 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. ( $P > 0.05$ )

### 4. X축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset X$ , pitch)

X축(좌우축)을 중심으로 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00°를 계획하여 회전이동시킨 후 실측값은 각각 2.00 ± 0.03, 4.00 ± 0.02, 6.00 ± 0.02, 8.00 ± 0.02, 10.03 ± 0.09 mm이

**Table 1.** Planned and actual measures of X-translation. (left-right)

	Planned (mm)	N	Actual (mm) Mean ± SD	Significance
X	1	25	1.00 ± 0.01	0.161*
	2	25	2.00 ± 0.00	1.000*
	3	25	3.00 ± 0.00	1.000*
	4	25	4.00 ± 0.00	0.161*
	5	25	5.00 ± 0.00	0.161*

\* $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

**Table 2.** Planned and actual measures of Y-translation. (anterior-posterior)

	Planned (mm)	N	Actual (mm) Mean ± SD	Significance
Y	1	25	1.00 ± 0.00	0.335*
	2	25	2.00 ± 0.00	0.083*
	3	25	3.00 ± 0.00	0.161*
	4	25	4.00 ± 0.00	0.161*
	5	25	5.00 ± 0.00	0.574*

\* $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

**Table 3.** Planned and actual measures of Z-translation. (up-down)

	Planned (mm)	N	Actual (mm) Mean ± SD	Significance
Z	1	25	1.01 ± 0.02	0.203*
	2	25	2.01 ± 0.02	0.406*
	3	25	3.00 ± 0.02	0.922*
	4	25	4.00 ± 0.02	0.422*
	5	25	5.00 ± 0.02	0.932*

\* $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

였으며,(Table 4.) 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.( $P > 0.05$ )

#### 5. Y축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset Y$ , roll)

Y축(전후축)을 중심으로 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00°를 계획하여 회전이동시킨 후 실측값은 각각  $2.00 \pm 0.02$ ,  $4.00 \pm 0.02$ ,  $6.00 \pm 0.03$ ,  $8.01 \pm 0.02$ ,  $10.01 \pm 0.05$  mm이었으며(Table 5), 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.( $P > 0.05$ )

#### 6. Z축을 중심으로 한 회전이동( $\emptyset X$ , yaw)

Z축(상하축)을 중심으로 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00°를

**Table 4.** Planned and actual measures of  $\emptyset X$ -rotation. (pitch)

	Planned (°)	N	Actual (°) Mean $\pm$ SD	Significance
$\emptyset X$	2	25	$2.00 \pm 0.03$	0.350*
	4	25	$4.00 \pm 0.02$	0.542*
	6	25	$6.00 \pm 0.02$	0.940*
	8	25	$8.00 \pm 0.02$	0.286*
	10	25	$10.03 \pm 0.09$	0.240*

\*  $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

**Table 5.** Planned and actual measures of  $\emptyset Y$ -rotation. (roll)

	Planned (°)	N	Actual (°) Mean $\pm$ SD	Significance
$\emptyset Y$	2	25	$2.00 \pm 0.02$	0.876*
	4	25	$4.00 \pm 0.02$	0.278*
	6	25	$6.00 \pm 0.03$	0.361*
	8	25	$8.01 \pm 0.02$	0.923*
	10	25	$10.01 \pm 0.05$	0.077*

\*  $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

**Table 6.** Planned and actual measures of  $\emptyset Z$ -rotation. (yaw)

	Planned (°)	N	Actual (°) Mean $\pm$ SD	Significance
$\emptyset Z$	2	25	$2.01 \pm 0.11$	0.739*
	4	25	$4.02 \pm 0.13$	0.438*
	6	25	$6.03 \pm 0.10$	0.213*
	8	25	$8.00 \pm 0.13$	0.828*
	10	25	$9.98 \pm 0.11$	0.417*

\*  $P > 0.05$  considered statistically no difference between planned and actual measures.

계획하여 회전이동시킨 후 실측값은 각각  $2.01 \pm 0.11$ ,  $4.02 \pm 0.13$ ,  $6.03 \pm 0.10$ ,  $8.00 \pm 0.13$ ,  $9.98 \pm 0.11$  mm이었으며(Table 6.), 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다.( $P > 0.05$ )

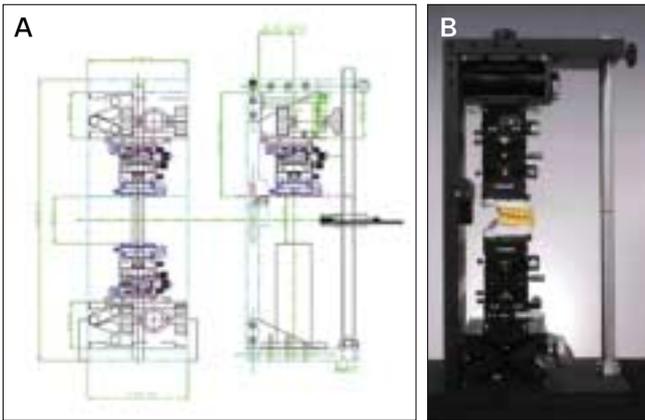
## IV. 고 찰

악교정 수술은 악안면 기형과 부정교합의 치료를 위해 상악악골을 삼차원적으로 재위치시켜 양호한 안모와 교합을 얻기 위해 시행하는 외과적 술식이다. 치료계획 수립, 모형수술, 실제 수술과정에서 상순에 대한 상악절치의 위치, 두개골에 대한 상악골의 위치를 결정하여 정확하게 재위치시켜야 한다<sup>7-12</sup>. 치료계획을 결정한 후, 모형수술을 시행한다<sup>13-15</sup>. 모형수술 결과로 얻어진 새로운 악간관계에서 수술용 스플린트를 제작하고 외과의는 이를 이용하여 절단된 상악골을 재위치시키기 때문에 모형수술은 최대한 정확하게 시행해야 한다. 현재까지 모형수술을 위한 다양한 장비와 기법들이 소개되었지만, 조작의 어려움과 부정확성 등 한계점 또한 함께 보고되고 있다<sup>1-5</sup>.

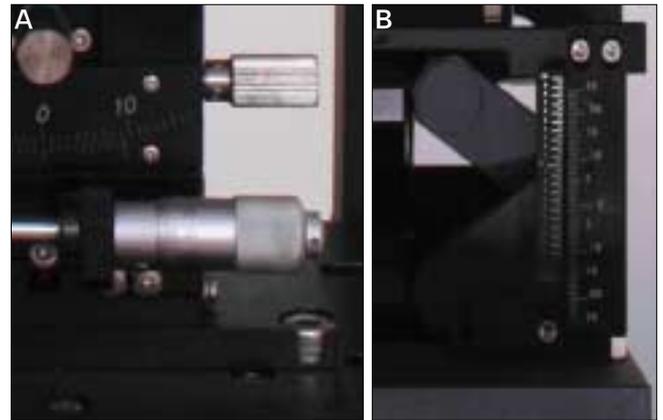
모형수술 시 좌우, 전후, 상하 방향의 평행이동과 좌우축, 전후축, 상하축을 중심으로 한 회전이동을 모두 구현할 수 있으며 이동량을 별도의 기구를 사용하지 않고도 직접 읽을 수 있는 장비를 개발하여 6축 모형수술 시뮬레이터라고 명명하였다.(Fig. 1. A, B.) 6축 모형수술 시뮬레이터는 악교정 수술을 위한 모형수술단계에서 상악악 모형을 석고의 절단 과정 없이 좌우(X), 전후(Y), 수직 방향(Z)의 평행이동과 좌우축( $\emptyset X$ , pitch), 전후축( $\emptyset Y$ , roll), 수직축( $\emptyset Z$ , yaw)을 중심으로 한 회전이동이 각각의 다이얼에 의해 이동이 가능하며 6개의 잠금나사로 각각의 이동을 허용하거나 제한한다. X, Y 이동은 마이크로미터로 조절되는 슬라이딩 테이블로 구성되어 있으며,(Fig. 2. A.) Z 이동은 랩잭 형태의 테이블로 구성되어 있다. 랩잭 테이블의 수직벽과 시뮬레이터 본체에 버니어 캘리퍼 눈금을 표시하였다.(Fig. 2. B.)  $\emptyset X$ 와  $\emptyset Y$ 의 회전이동은 워엄과 워엄기어(Fig. 3. A.)를 이용하여 다이얼을 돌리면 축을 중심으로 한 회전이동이 가능하도록 설계하였다.(Fig. 3. B, C.) 회전축은 회전스테이지의 상단 평면 중심을 지나면서 상단 평면에 수직인 직선 위 50 mm 지점에서 일어난다.  $\emptyset Z$ 의 회전은 단순 회전플레이트 형식으로 설계하였으며(Fig. 4. B.) 회전축은 회전 플레이트의 중심을 지나면서 스테이지에 수직인 직선이다.

정중 시상면과 상순의 하연을 상악모형에 조사하는 직교 레이저 빔을 시뮬레이터의 전방 지지봉에 결합할 수 있도록 하여(Fig. 5.) 정중선과 상순 하연을 계속 확인하면서 모형수술을 시행할 수 있도록 하였다.

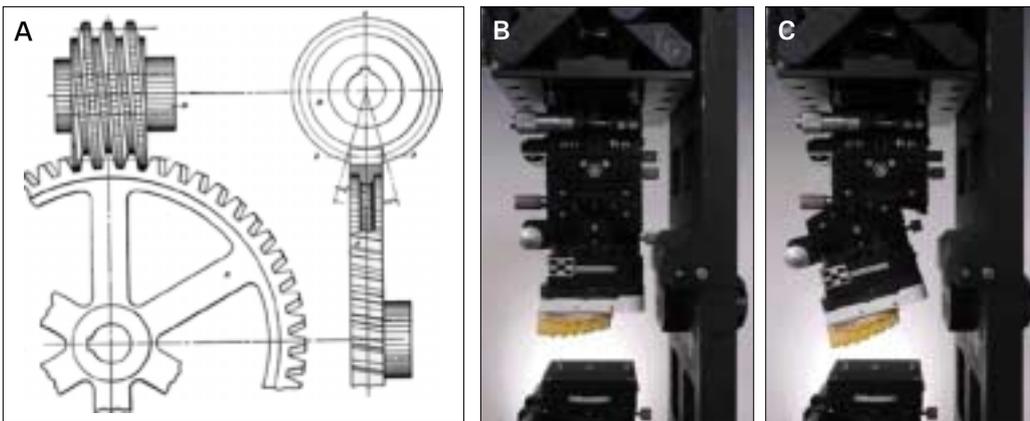
현재 이용되고 있는 모형수술의 한 방법은 특정 구조물(예: 상악 전치 절단, A point, ANS)을 중심으로 특정 각도만큼 회전시켜 이동을 표현하는 방법이 있다. 이 방법대로



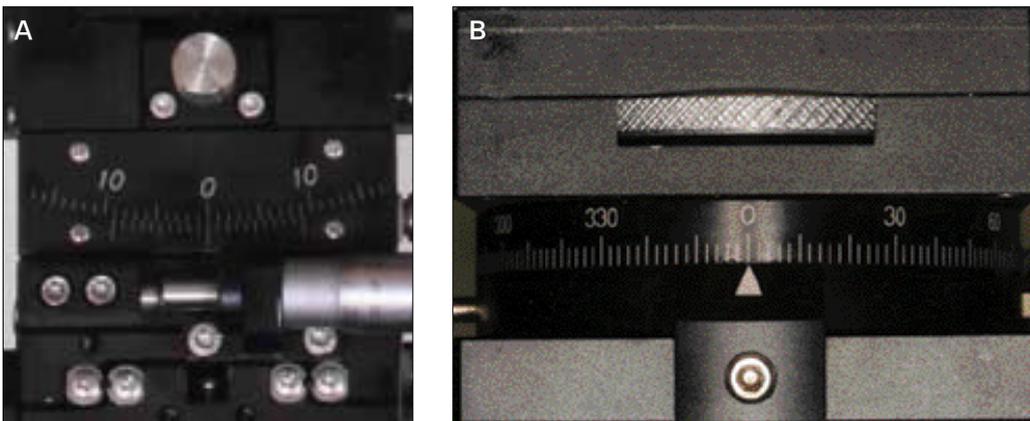
**Fig. 1.** A. Drawing of 6-axis model surgery simulator; B. Actual photo of 6-axis model surgery simulator.



**Fig. 2.** A. Micrometer dial controlling X, Y translation; B. Graduation on lab-jack controlling Z translation.



**Fig. 3.** A. Worm and worm gear; B. Before  $\theta$ X rotation; C. After  $\theta$ X rotation ( $15^\circ$ ).



**Fig. 4.** A.  $\theta$ X,  $\theta$ Y rotational stage; B.  $\theta$ Z rotational stage.

수술을 시행한다면 6축 모형수술 시뮬레이터는 회전축의 위치 이동이 불가능하여 응용할 수 없다. 하지만 상악 교합 평면의 회전각도와 상악 전치의 위치로 표현하는 방법을 이용하면 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 즉, '상악 교합 평면을 x도 회전하며, 상악 전치의 위치는 현재보다 상방으로 a mm, 전방으로 b mm 이동시킨다.' 라는 방법으로 수술을 시행한다면, 술전 상악 전치 절단면의 위치를 기록하는 인디케이터를 시뮬레이터에 장착하여 고정하고 회전축

의 위치에 관계없이 회전을 한 후 상악 전치 절단면의 위치를 인디케이터를 참고하여 전후 상하 좌우로 평행이동시켜 a, b mm 만큼 이동시키면 된다.

이번 연구는 6축 모형수술 시뮬레이터로 시행하는 3개의 직각 좌표축을 따르는 평행이동과 3개의 직각 좌표축을 중심으로 한 회전이동의 정확도를 평가하기 위해 시행하였는데, 실험 결과 계획한 양과 이동 후 실측한 값 사이에는 통계적으로 차이가 없음을 보여주었다. 6축 모형수술 시뮬

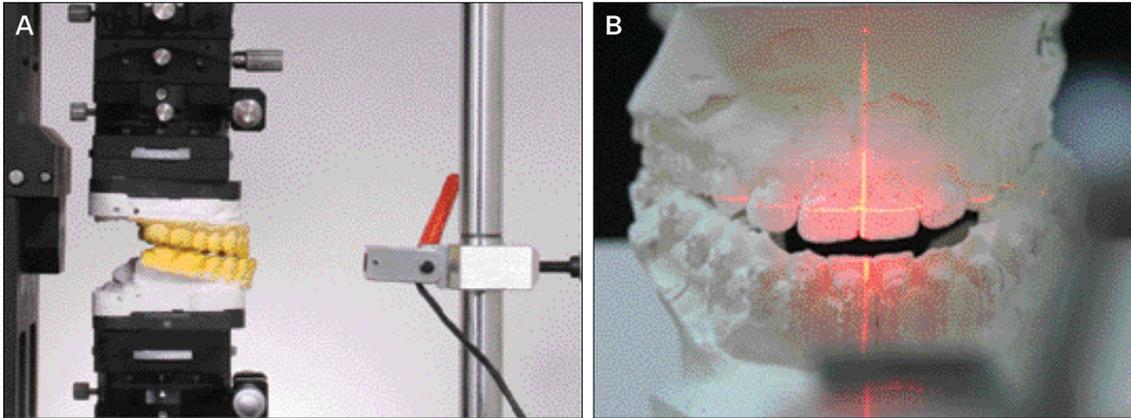


Fig. 5. A. Lateral view of mounted casts and laser beam; B. Laser beam on the cast. Vertical line is the mid-sagittal, horizontal line is equal to upper lip line.

레이터의 X, Y 이동은 마이크로미터 다이얼로 구동되므로 0.01 mm까지 정밀도를 가지지만, Z 이동은 버니어 캘리퍼 눈금을 보며 이동시키기 때문에 0.05 mm의 정밀도를 가진다. 이 때문에 수직이동에서 더 큰 표준편차가 나타난 것으로 생각된다.  $\theta X$ ,  $\theta Y$  회전이동은  $0.1^\circ$ 의 정밀도를 가지는 눈금이 표시되어 있지만, (Fig. 4. A.)  $\theta Z$  회전이동은  $1^\circ$ 의 정밀도를 가지는 눈금만이 표시되어 있다. (Fig. 4. B.) 이로 인해 수직 축을 중심으로 한 회전이동이 더 큰 표준편차를 가지는 것으로 생각된다.

이동의 정확도뿐 아니라, 석고절단 과정을 거치지 않으므로 모형수술의 시간이 절약되고 주변이 오염되지 않으며 재현성이 매우 높고 교정의와 외과의 간에 명확한 정보 소통이 가능하다는 장점이 있다.

비록, 모형수술의 정확도가 실제수술에 정확히 반영되지는 않지만, 6축 모형수술 시뮬레이터를 이용하여 모형수술을 시행하면 계획하고 의도한 양만큼 모형수술단계에서 정확하게 구현하여 수술용 스플린트를 만들 수는 있음이 증명되었다.

6축 모형수술 시뮬레이터를 이용하여 제작한 수술용 스플린트를 실제 수술에 적용하였을 때 얼마나 정확한 수술을 하였는지에 대한 연구가 추가적으로 필요하리라 생각한다.

## V. 결 론

본 연구는 6축 모형수술 시뮬레이터의 정확도를 알아보기 위해 시행되었으며 실험 결과 6축 모형수술 시뮬레이터로 모형수술을 시행하면 모든 방향으로 의도한 이동량만큼 정확히 이동된다는 결론을 얻었다.

## 참고문헌

1. Bell WH. Correction of the short-face syndrome-vertical maxillary deficiency: a preliminary report. *J Oral Surg* 1977;35:110-20.
2. Bell WH, Creekmore TD, Alexander RG. Surgical correction of the long face syndrome. *Am J Orthod* 1977;71:40-67.
3. Epker BN, Fish LC. Surgical-orthodontic correction of open-bite deformity. *Am J Orthod* 1977;71:278-99.
4. Hohl TA. Use of an adjustable (anatomic) articulator for case prediction in segmental surgery. In: Bell WH, Proffit WR, White RP, eds. *Surgical correction of dentofacial deformities*. Philadelphia: W. B. Saunders; 1980:169-77.
5. Hill SC. Cephalometric planning and model surgery. In: Bell WH, ed. *Surgical correction of dentofacial deformities-New concepts*. Philadelphia: W. B. Saunders; 1985:217-26.
6. Ellis E 3rd. Accuracy of model surgery: evaluation of an old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg* 1990;48:1161-7.
7. Härle F, Le Fort I osteotomy (using miniplates) for correction of the long face. *Int J Oral Surg* 1980;9:427-32.
8. Ellis E 3rd. Modified splint design for two-jaw surgery. *J Clin Orthod* 1982;16:619-22.
9. Ripley JF, Steed DL, Flanary CM. A composite surgical splint for dual arch orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1982;40:687-8.
10. Turvey TA, Hall DJ, Fish LC, Epker BN. Surgical-orthodontic treatment planning for simultaneous mobilization of the maxilla and mandible in correction of dentofacial deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;54:491-8.
11. Bell WH, Mannai C, Luhr HG. Art and science of the Le Fort I down fracture. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1988;3:23-52.
12. Luhr HG. Miniplate fixation of Le Fort I osteotomies [discussion to Rosen HM]. *Plast Reconstr Surg* 1986;78:755.
13. Bell WH, Proffit WR. Maxillary excess. In: *Surgical correction of facial deformities*. Philadelphia: W. B. Saunders; 1980:234-441.
14. Epker BN, Stella JP, Fish LC. *Dentofacial deformities: integrated orthodontic and surgical correction*. St Louis: Mosby; 1986.
15. Ehmer U, Rohling J, Dorr K, Becker R. Calibrated double split cast simulations for orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1989;3:223-7.