

## 안면 입체영상 중첩시 중첩 기준범위 설정에 따른 적합도 차이

최학희<sup>1</sup> · 조진형<sup>1,3</sup> · 박홍주<sup>2,3</sup> · 오희균<sup>2,3,4</sup> · 최진휴<sup>5</sup> · 황현식<sup>1,3,4</sup> · 이기현<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 치의학전문대학원 교정학교실, <sup>2</sup>구강악안면외과학교실, <sup>3</sup>치의학연구소, <sup>4</sup>2단계 BK21, <sup>5</sup>중앙대학교 의과대학 치과학교실

### Abstract

#### VALIDITY OF SUPERIMPOSITION RANGE AT 3-DIMENSIONAL FACIAL IMAGES

Hak-Hee Choi,<sup>1</sup> Jin-Hyoung Cho,<sup>1,3</sup> Hong-Ju Park,<sup>2,3</sup>

Hee-Kyun Oh,<sup>2,3,4</sup> Jin-Hugh Choi,<sup>5</sup> Hyeon-Shik Hwang,<sup>1,3,4</sup> Ki-Heon Lee<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Department of Orthodontics, <sup>2</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry,

<sup>3</sup> Dental Science Research Institute, <sup>4</sup> 2nd stage of BK21, Chonnam National University,

<sup>5</sup> Department of Dentistry, College of Medicine, Chung-Ang University

**Purpose:** This study was to evaluate the validity of superimposition range at facial images constructed with 3-dimensional (3D) surface laser scanning system.

**Materials and methods:** For the present study, thirty adults, who had no severe skeletal discrepancy, were selected and scanned twice by a 3D laser scanner (VIVID 910, Minolta, Tokyo, Japan) with 12 markers placed on the face. Then, two 3D facial images (T1-baseline, T2-30 minutes later) were reconstructed respectively and superimposed in several manners with RapidForm™2006 (Inus, Seoul, Korea) software program. The distances between markers at the same place of face were measured in superimposed 3D facial images and measurement were done all the 12 makers respectively.

**Results:** The average linear distances between the markers at the same place in the superimposed image constructed by upper 2/3 of the face was  $0.92 \pm 0.23$  mm, in the superimposed image constructed by upper 1/2 of the face was  $0.98 \pm 0.26$  mm, in the superimposed image constructed by upper 1/3 of the face and nose area was  $0.99 \pm 0.24$  mm, in the superimposed image constructed by upper 1/3 of the face was  $1.41 \pm 0.48$  mm, and in the superimposed image constructed by whole face was  $0.83 \pm 0.13$  mm. There were no statistically significant differences in the liner distances of the makers placed on the area included in superimposition range used for partial registration methods but there were significant differences in the linear distances of the markers placed on the areas not included in superimposition range between whole registration method and partial registration methods used in this study.

**Conclusion:** The results of the present study suggest that the validity of superimposition is decreased as superimposition range is reduced in the superimposition of 3D images constructed with 3D laser scanner for the same subject.

**Key words:** 3-dimensional facial image, Superimposition range, Validity.

### 1. 서 론

3차원 영상기술의 진보로 환자의 안면 연조직을 입체영상으로 재구성할 수 있는 새로운 장비와 진보된 소프트웨어가 빠르게 소개되고 있으며 교정영역에서도 이러한 입체영상

을 진단 및 치료평가에 이용하는 시도가 이루어지고 있다<sup>1,2)</sup>.

저출력 레이저와 CCD 카메라를 이용하여 물체 표면의 3차원 정보를 얻을 수 있는 3차원 레이저 스캔은 1980년대 Moss 등<sup>3)</sup>에 의해 안면 연조직 정보를 얻기 위한 목적으로 처음 시도된 이래, 인체에 무해하고 조작성 용이하다는 장

\*본 논문은 전남대학교병원 임상의학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(CNUHRCM-Y-200628)

점이 있어 안면 연조직 연구에 이용되고 있다. Kusnoto와 Evans<sup>4)</sup>는 안면 석고모델을 3차원 레이저 스캔하여 얻은 데이터를 석고모델의 실측치와 비교하여 레이저 스캔의 정확도를 보고하였고, Kau 등<sup>5,6)</sup>은 실제 환자의 안면을 대상으로 안면 연조직에 대한 레이저 스캔을 시간차를 두고 반복 촬영한 후 비교하여 3차원 레이저 스캔에 대한 임상활용 가능성을 제시하였으며, 백 등<sup>7)</sup>은 레이저 스캔으로 얻은 3차원 영상에서 연조직 분석을 위한 계측점을 제안하며 3차원 레이저 스캔이 임상에서 유용하게 사용될 수 있음을 보여 주었다.

3차원 레이저 스캔으로 얻은 입체영상의 임상적 적용을 위해 정상 기준모델을 제작하여 개개 환자의 입체영상을 이 정상 기준모델과 중첩을 통해 분석하였고<sup>8-13)</sup>, 그 외에도 성장평가<sup>14,15)</sup>, 교정치료 전후<sup>16-18)</sup>, 및 악교정수술 전후 비교를<sup>19-26)</sup> 위해 입체영상의 중첩이 시도되었다. 이들 연구들에서 입체영상의 중첩을 위해 안면 전체 영역을 중첩하거나<sup>10-13,17,18,24)</sup> 치료에 영향받지 않은 안면의 일부분만을 선택하여 중첩을<sup>5,9,15,16,19-23,25,26)</sup> 시도하였으나 중첩 기준범위의 선택이 일부분만으로 중첩시 정확도, 일부분만을 기준으로 중첩하는 방법과 전체 안면 영상으로 중첩한 방법에 따른 차이, 그리고 중첩 기준범위에 따른 중첩양상에 관한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 안면부 기형이 없는 성인을 대상으로 3차원 레이저 스캔을 2회 시행하고 각각 안면 연조직의 입체영상을 구성하여 안면의 일부를 이용하여 이를 기준으로 중첩하는 여러 가지 부분중첩방법(partial registration)과 스캔된 안면 전체를 이용하는 방법(whole registration)을 비교분석하여 중첩 기준범위에 따른 두 상의 적합도를 살펴봄으로써 임상에서 3차원 레이저 스캔 영상 중첩에 도움이 되는 지점을 얻고자 시행되었다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

심한 악골 부조화나 안면부 연조직 기형이 없으며 레이저 스캔에 동의한 성인 30명을 본 연구의 대상으로 선발하였다.

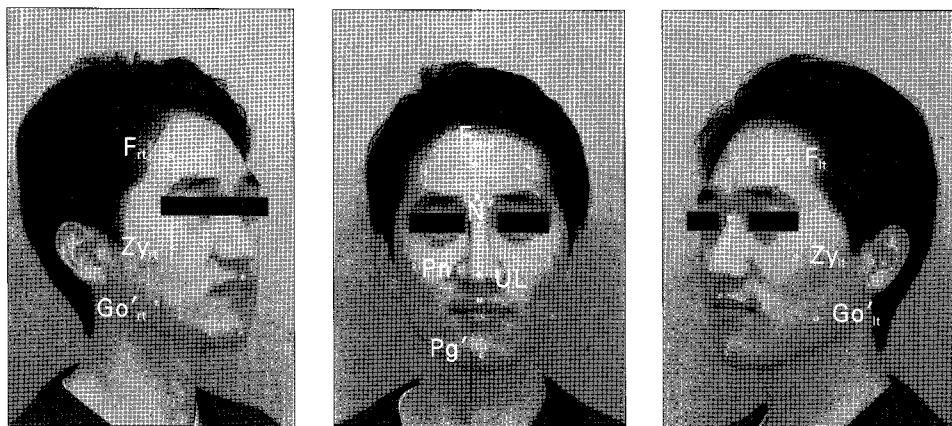
### 2. 연구방법

#### 1) 마커 부착

안면 연조직 중첩 후 중첩방법에 따른 차이를 정량적으로 측정할 수 있도록 마커(marker)를 안면부에 부착하였다. 3차원 레이저 스캔 후 재구성된 입체영상에서 식별이 용이하도록 붉은색의 X 표시가 있는 직경 5.0 mm 원형 스티커를 마커로 사용하여 이마(Forehead, F)의 중앙과 좌측 및 우측, 미간부(Glabella, G), 전두비융합부(Soft tissue nasion, N'), 비첨부(Pronasale, Pn), 관골부(Zygion, Zy)의 좌측과 우측, 상순(Upper lip, UL), 하악 우각부(Soft tissue gonion, Go')의 좌측과 우측, 턱끝 부위(Soft tissue pogonion, Pg')에 해당되는 12 부위에 임의로 부착하였다 (Fig 1).

#### 2) 3차원 레이저 스캔 및 안면 입체영상 재구성

시간간격을 두고 2회 촬영시 동일한 두부자세의 영상을 얻기 위하여 모든 대상자에서 두부자세재현기가 부착된 헤어밴드를 장착하게 하고 거울 1.5 m 지점에 서서 거울 속 눈동자를 보게끔 지시하여 자연두부자세(natural head posture, NHP)를 유도하고 두부자세재현기 내 물방울 수준기 표시가 중앙에 오도록 조정한 다음 촬영대상자를 의자에 앉힌 후 0.9 m 지점에서 비접촉식 3차원 스캐너(VIVID



**Fig. 1.** The positions of markers: F<sub>r</sub>, right area of forehead; F<sub>l</sub>, left area of forehead; F<sub>mid</sub>, middle area of forehead; G, glabella; N', soft tissue nasion; Pn, pronasale; Zy<sub>r</sub>, right zygion; Zy<sub>l</sub>, left zygion; UL, upper lip; Go'<sub>r</sub>, right soft tissue gonion; Go'<sub>l</sub>, left soft tissue gonion; Pg', soft tissue pogonion.

910, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 대상자의 얼굴 정면과 오른쪽, 왼쪽 세 방향을 각각 스캔하였다. 30분 후 두부자세재현기의 불방울 수준을 이용하여 동일한 두부자세를 재현시킨 다음 동일한 방법으로 2번째 스캔을 시행하였다 (Fig 2). 3차원 역설계 소프트웨어 프로그램 (RapidForm™2006, Inus, Seoul, Korea)을 이용하여 정면, 오른쪽, 왼쪽 세 방향에서 부분 스캔된 3차원 레이저 스캔 영상을 조합하여 하나의 전체 안면 입체영상으로 재구성하는 방식으로 각 대상에서 30분 간격으로 촬영된 2개의 전체 안면 연조직 입체영상 T1과 T2를 얻었다 (Fig 3).

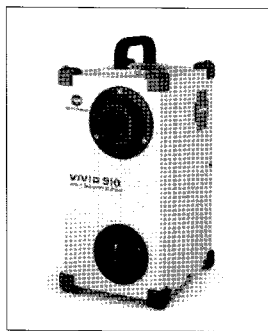


Fig. 2. Vivid 910 laser scanner used in this study.

3) 입체영상 중첩 및 중첩방법에 따른 차이 계측

입체영상 중첩 시 중첩 기준범위에 따른 차이를 비교하기 위하여 3차원 역설계 프로그램을 이용하여 30분 간격으로 얻어진 T1과 T2에서 전체 안면영상을 기준으로 중첩하는 whole registration 방법과 안면의 일부를 기준으로 중첩하는 partial registration 방법으로 각각 중첩을 시행하였다. 이 때, partial registration은 T1에서 안면 전부분, 상중안면부를 포함한 안면 상방 2/3, 이마와 눈을 포함한 안면 상방 1/2, 코와 안면 상방 1/3, 이마에 해당하는 안면 상방 1/3 부분을 중첩 시 기준이 되는 범위로 지정한 후 중첩 기준범위가 표시된 T1에 T2를 중첩하는 방법으로 시행되었다. 각 방법에 따라 중첩한 후, 중첩된 영상에서 프로그램의 계측기능을 이용하여 동일 마커간 최단거리를 측정하였다 (Figs 4 and 5).

4) 통계 및 분석

본 연구에서는 통계처리를 위해 SPSS (Statistical Package for the Social Science) 12.0 프로그램을 이용하였다. 30분 간격으로 얻은 안면 입체영상에서 스캔된 안면 전체를 이용한 whole registration과 중첩 기준범위로 안면 전부분, 상중안면부를 포함한 안면 상방 2/3, 이마와 눈을 포함한 안면 상방 1/2, 코와 안면 상방 1/3, 안면 상방 1/3 부분을 지정한 partial registration을 시행하여 중첩한 후

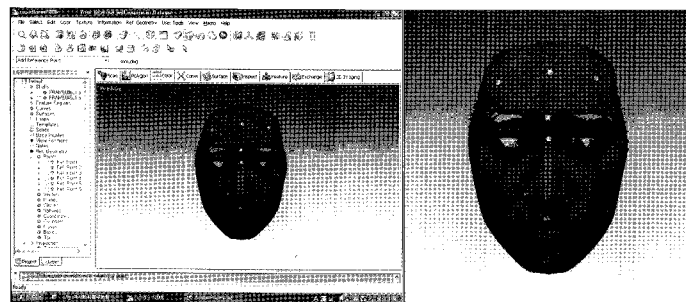


Fig. 3. Creation of reference point at the center of marker on 3D facial image.

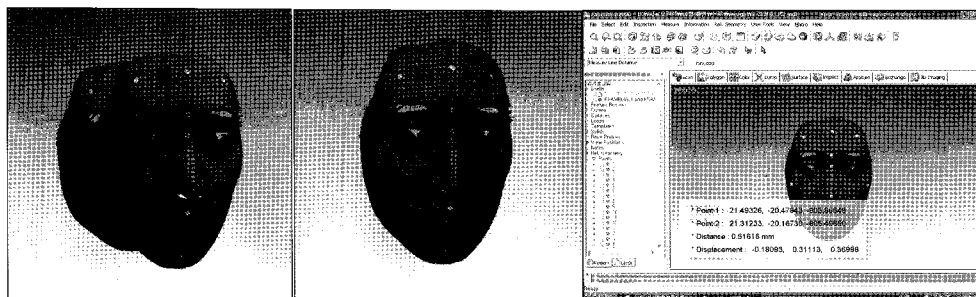
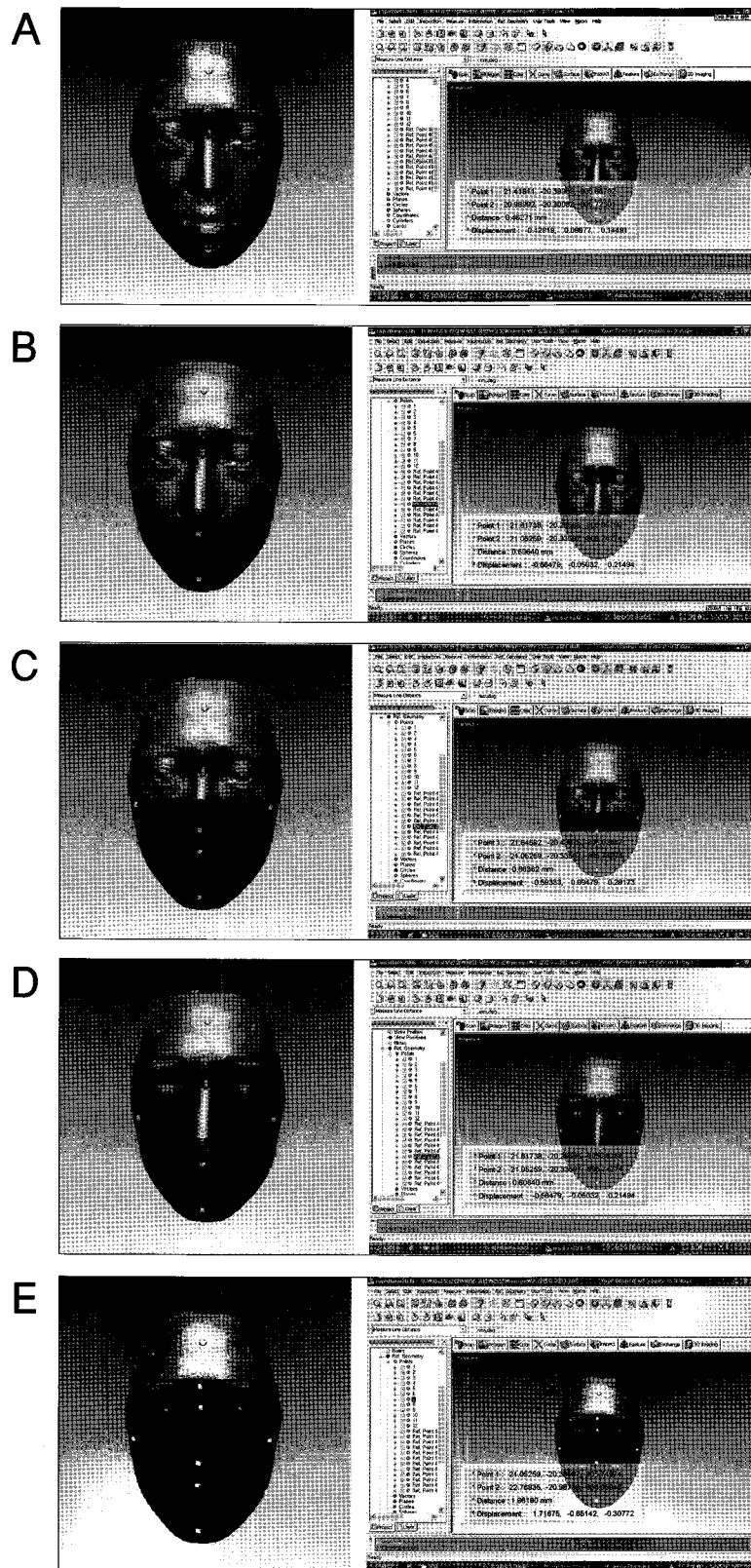


Fig. 4. Whole registration of 3D surface laser images and measurement of discrepancy of each marker between two images.



**Fig. 5.** Different ways of partial registrations of 3D images used in this study and measurements of discrepancy of each marker between two images. A, Partial registration using total area of face; B, partial registration using upper 2/3 area of face; C, partial registration using upper 1/2 area of face; D, partial registration using upper 1/3 and nose area of face; E, partial registration using upper 1/3 area of face.

동일 부위에 부착된 마커들에서 측정된 3차원 거리의 평균과 표준편차를 구하고 중첩 시 기준이 되는 중첩 기준범위에 따른 차이를 평가하기 위하여 여러 가지 partial registration 후 측정된 마커간 거리와 whole registration 후 측정된 마커간 거리를 대응표본  $t$  검정 (paired  $t$ -test)으로 비교분석하였다.

아울러 whole registration을 시행한 경우와 중첩 기준범위를 다르게 하여 partial registration을 시행한 경우가 얼마나 차이가 있는지 용이하게 파악하기 위하여 whole registration과 각각의 partial registration 후 측정된 마커간 거리의 차이를 절대값으로 구하고 이들의 평균과 표준편차를 각각 구하는 한편 이를 이용하여 도표를 작성하고 비교 분석하였다.

### III. 연구성적

30분 간격으로 얻은 두 안면 입체영상을 안면 전체를 이용한 whole registration과 중첩 기준범위를 달리 지정한 partial registration을 시행하여 중첩한 후 마커간 3차원 거리를 측정하고 평균과 표준편차를 산출한 결과 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 중첩 후 마커간 거리는 중첩 기준범위와 관계없이 전반적으로  $Go'_{rt}$ ,  $Go'_{lt}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 크게 나타나는 경향을 보였다.

안면상방 2/3를 기준으로 중첩한 경우 전체 마커간 거리의 평균은  $0.92 \pm 0.23$  mm, 안면상방 1/2의 경우  $0.98 \pm 0.26$  mm, 이마와 코부위의 경우  $0.99 \pm 0.24$  mm, 안면상방 1/3의 경우  $1.41 \pm 0.48$  mm로 나타났으며 전체 안면으로 중첩한 경우  $0.83 \pm 0.13$ mm로 나타났다.

중첩 기준범위에 따른 차이를 평가하기 위하여 whole registration과 중첩 기준범위를 달리 설정한 partial registration으로 중첩을 시행한 후 측정된 마커간 거리의 차이를 대응표본  $t$  검정으로 각각 분석한 결과, 중첩 기준범위로 안면 전체를 지정하여 partial registration한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교하여 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 상중안면부를 포함한 안면 상방 2/3 부분을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교하여  $Go'_{rt}$ ,  $Go'_{lt}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이마와 눈을 포함한 안면 상방 1/2 부분을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교하여 Pn,  $Go'_{rt}$ ,  $Go'_{lt}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 이마와 코를 포함한 부분을 중첩 기준범위로 지정한 경우에도 Pn,  $Go'_{rt}$ ,  $Go'_{lt}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이마에 해당되는 안면 상방 1/3 부분을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교한 결과  $N'$ ,  $Zy_{rt}$ ,  $Zy_{lt}$ , Pn,  $Go'_{rt}$ ,  $Go'_{lt}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들, 즉 중첩 기준범위에 해당되는 이마 외의 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 (Table 1).

whole registration을 시행한 경우와 중첩 기준범위를 다르게 하여 partial registration을 시행한 경우 어느 부위에서 얼마나 차이가 있는지 용이하게 파악하기 위하여 whole registration과 각각의 partial registration 후 측정된 마

**Table 1.** Linear distance (mm) between each marker on composite facial images according to superimposition methods at T1 and T2

Marker position	Whole registration	Partial registration				
	Mean $\pm$ SD	Total Mean $\pm$ SD	Upper 2/3 Mean $\pm$ SD	Upper 1/2 Mean $\pm$ SD	Upper 1/3 & nose Mean $\pm$ SD	Upper 1/3 Mean $\pm$ SD
$F_{rt}$	$0.79 \pm 0.41$	$0.79 \pm 0.40$	$0.83 \pm 0.49$	$0.75 \pm 0.41$	$0.91 \pm 0.42$	$0.92 \pm 0.53$
$F_{mid}$	$0.83 \pm 0.39$	$0.83 \pm 0.39$	$0.86 \pm 0.47$	$0.87 \pm 0.41$	$0.81 \pm 0.52$	$0.95 \pm 0.50$
G	$0.70 \pm 0.37$	$0.72 \pm 0.37$	$0.73 \pm 0.48$	$0.72 \pm 0.44$	$0.74 \pm 0.49$	$0.86 \pm 0.50$
$F_{lt}$	$0.88 \pm 0.58$	$0.83 \pm 0.60$	$0.84 \pm 0.65$	$0.91 \pm 0.66$	$0.96 \pm 0.58$	$1.05 \pm 0.63$
$Zy_{rt}$	$0.84 \pm 0.45$	$0.82 \pm 0.44$	$0.91 \pm 0.52$	$0.94 \pm 0.53$	$0.96 \pm 0.51$	$1.31 \pm 0.62^{**}$
$N'$	$0.69 \pm 0.41$	$0.70 \pm 0.43$	$0.68 \pm 0.48$	$0.70 \pm 0.43$	$0.77 \pm 0.49$	$1.05 \pm 0.67^{**}$
Pn	$0.53 \pm 0.29$	$0.57 \pm 0.29$	$0.56 \pm 0.31$	$0.73 \pm 0.33^{**}$	$0.68 \pm 0.33^{**}$	$1.38 \pm 0.87^{***}$
$Zy_{lt}$	$0.82 \pm 0.47$	$0.84 \pm 0.48$	$0.81 \pm 0.50$	$0.92 \pm 0.61$	$0.95 \pm 0.49$	$1.45 \pm 0.98^{**}$
$Go'_{rt}$	$1.09 \pm 0.49$	$1.06 \pm 0.50$	$1.32 \pm 0.72^*$	$1.38 \pm 0.82^*$	$1.29 \pm 0.60^*$	$1.74 \pm 1.09^{**}$
UL	$0.86 \pm 0.55$	$0.82 \pm 0.41$	$1.01 \pm 0.59^{**}$	$1.15 \pm 0.68^{***}$	$1.04 \pm 0.59^{**}$	$1.89 \pm 1.13^{***}$
Pg'	$1.06 \pm 0.56$	$0.98 \pm 0.56$	$1.31 \pm 0.69^*$	$1.44 \pm 0.85^{***}$	$1.41 \pm 0.52^{***}$	$2.38 \pm 1.70^{***}$
$Go'_{lt}$	$0.94 \pm 0.51$	$0.95 \pm 0.51$	$1.16 \pm 0.82^*$	$1.27 \pm 0.81^{**}$	$1.29 \pm 0.67^{***}$	$1.89 \pm 1.22^{***}$

SD, Standard deviation; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

커간 거리의 차이를 절대값으로 산출하고 이들의 평균과 표준편차를 각각 구하는 한편 이를 이용하여 도표를 작성하여 다음과 같은 결과를 얻었다 (Table 2 and Fig 6). Whole registration를 시행한 경우와 안면 전체를 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우를 비교한 결과 평균 0.1 mm 내외의 작은 차이를 보였으며 중첩 기준범위로 안면 상방 2/3, 안면 상방 1/2, 코와 안면 상방 1/3, 안면 상방 1/3 부분을 지정하여 중첩한 경우 하안면 영역에서 마커간 3차원 거리의 차이가 큰 경향을 보였고 Pg' 부위에서 가장 큰 차이를 보였다. 특히 안면 상방 1/3 부분을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우 모든 마커들에서 마커간 3차원 거리차의 절대값이 평균 0.4 mm 이상으로 나타났고 하안면 부위에 위치한 UL, Go'lt, Pg' 부위에 부착된 마커들에서는 평균 1.0 mm 이상의 차이를 보였다.

#### IV. 고 찰

두부방사선규격사진이 도입되면서 이는 교정의사의 일반적인 의사소통의 수단으로써 치료 전후 평가에 이용되었으나 2차원적인 방사선사진은 환자에게 익숙하지 않고 교정의사에게도 연조직에 대한 정확한 정보를 줄 수 없어 현실적인 평가를 내리기 어려운 면이 있었다. 이에 Ferrario 등<sup>27,28)</sup>은 CCD 카메라 2대를 이용하여 정면과 측면 사진을 촬영한 후 mesh diagram analysis를 통해 연조직의 3차원 분석을 시도하였으나 2차원 사진을 통해 합성된 3차원 이미지도 단순한 망상 골격구조를 나타내어 세밀한 분석을 하기에는 많은 한계점이 있었다.

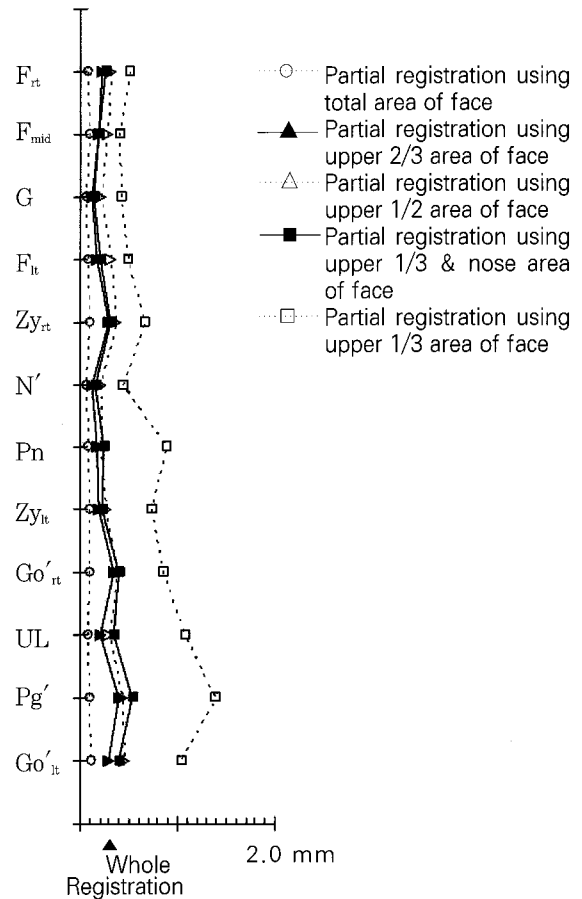


Fig. 6. Comparison of various partial registration methods with whole registration method in linear distance.

Table 2. The difference between whole registration method and partial registration methods in linear distance (mm) of each marker on composite facial images according to superimposition methods at T1 and T2

Marker position	Total	Upper 2/3	Upper 1/2 & nose	Upper 1/3	Upper 1/3
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
F <sub>rt</sub>	0.07 ± 0.07	0.23 ± 0.35	0.26 ± 0.31	0.31 ± 0.21	0.51 ± 0.42
F <sub>mid</sub>	0.09 ± 0.10	0.19 ± 0.20	0.19 ± 0.16	0.28 ± 0.22	0.40 ± 0.34
G	0.06 ± 0.05	0.12 ± 0.19	0.13 ± 0.15	0.21 ± 0.15	0.41 ± 0.36
F <sub>lt</sub>	0.07 ± 0.07	0.18 ± 0.18	0.21 ± 0.24	0.30 ± 0.22	0.49 ± 0.49
Z <sub>yr</sub>	0.08 ± 0.09	0.29 ± 0.37	0.31 ± 0.39	0.36 ± 0.35	0.65 ± 0.51
N'	0.06 ± 0.07	0.12 ± 0.11	0.16 ± 0.14	0.21 ± 0.16	0.44 ± 0.50
Pn	0.07 ± 0.07	0.18 ± 0.18	0.24 ± 0.24	0.21 ± 0.21	0.87 ± 0.80
Z <sub>yft</sub>	0.09 ± 0.10	0.18 ± 0.20	0.22 ± 0.21	0.26 ± 0.25	0.73 ± 0.80
Go' <sub>rt</sub>	0.09 ± 0.13	0.34 ± 0.49	0.40 ± 0.59	0.37 ± 0.36	0.85 ± 0.88
UL	0.07 ± 0.11	0.21 ± 0.21	0.34 ± 0.35	0.30 ± 0.19	1.07 ± 1.05
Pg'	0.09 ± 0.12	0.39 ± 0.46	0.54 ± 0.59	0.44 ± 0.33	1.38 ± 1.45
Go' <sub>lt</sub>	0.11 ± 0.12	0.29 ± 0.45	0.39 ± 0.49	0.45 ± 0.34	1.04 ± 1.03

SD, Standard deviation.

레이저를 이용한 3차원 스캔은 스캐너의 저출력 레이저 슬릿빔이 물체 표면에 투영되고 물체 표면의 형태에 따라 왜곡된 영상을 CCD 카메라가 받아 기록하면서 이루어진다.<sup>7,11)</sup> 이러한 과정을 통하여 물체의 3차원 영상 정보를 획득할 수 있으며 비교적 간단하게 정밀한 영상을 얻을 수 있다. 또한 인체 계측용으로 사용되는 많은 레이저 스캐너는 인체에 안전한 레이저 Class II type을 채택하여 인체에 무해하므로<sup>7)</sup> 이를 이용하여 얻은 안면 연조직의 3차원 정보를 토대로 정확한 평가가 어려웠던 안면 연조직에 대한 분석이 가능하게 되었다. Kusnoto 등<sup>4)</sup>은 12개 계측점을 표시한 안면 석고모델을 3차원 레이저 스캔하여 얻은 데이터와 실제 석고모델에서 측정된 계측점간 거리를 비교하여 레이저 스캔의 정확도를 보고하였고 Kau 등<sup>5,6)</sup>은 실제 환자를 대상으로 안면 연조직에 대한 레이저 스캔을 3분, 3일 또는 1주일 간격을 두고 반복 촬영한 후 얻은 입체영상과 비교하여 시간 변화에 관계없이 정확하다고 보고하며 안면 연조직의 변화 연구에 신뢰할 만한 수단으로 레이저 스캔 데이터를 사용할 수 있다고 하였다.

Moss 등<sup>8-11,14,16-23,25,26)</sup>과 Kau 등<sup>12,13,15,24)</sup>은 정상 기준모델 형성, 개개 환자에서 얻은 입체영상과 정상 기준모델과의 차이분석, 성장 평가, 교정치료 전후, 수술 전후 비교 등 많은 연구들에서 소프트웨어 프로그램을 이용하여 3차원 레이저 스캔으로 얻은 안면 연조직 데이터의 중첩을 시행한 바 있다. 이들 연구들에서 입체영상의 중첩을 위하여 안면 전체 영역을 포함하거나<sup>10-13,17,18,24)</sup> 안면의 일부분만을 선택하는 방법으로 중첩<sup>8,9,13,16,19-23,25,26)</sup>을 시도하였다. 그러나 중첩 기준범위의 선택에 있어서 실제로 일부분을 선택하여 중첩하는 것이 얼마나 정확한지 그리고 변화가 거의 없을 것으로 예상되는 일부분만을 선택하여 중첩하는 방법과 안면 모두를 포함하는 방법에 의해 얼마나 차이가 나타날 수 있는지 밝혀지지 않았고 중첩 기준범위가 달라질 경우 나타날 수 있는 중첩양상에 대한 연구 또한 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 동일한 대상에서 30분 간격으로 2회 3차원 레이저 스캔을 시행하여 시간에 따른 안면 연조직 입체영상을 구성하고 중첩한 다음 마커 적합정도를 계측하여 중첩 기준범위에 따른 차이를 살펴보았다.

Ferrario 등<sup>28)</sup>은 2차원에서와 달리 안면부 3차원 계측치가 촬영시 두부자세의 변화에 민감하지 않다고는 하였으나 두부자세에 따른 연조직의 미세한 변화가 중첩 결과에 영향을 미칠 것으로 생각되어 본 연구에서는 촬영시마다 동일한 두부자세를 재현할 수 있는 두부자세재현기<sup>29-31)</sup>를 사용하였다. 또한 중첩방법에 따른 차이를 평가하기 위하여 중첩 후 안면의 일정 부위에서 두 입체영상간 거리를 측정하기로 하고 그 부위를 명확히 하기 위하여 얼굴에 마커를 부착한 상태에서 레이저 스캔을 시행하였고 마커에 계측점을 설정하고 중첩 후 계측점을 이용하여 마커간 거리를 계측하였다.

본 연구에서는 안면 입체영상을 중첩하기 위하여 3차원 역설계 소프트웨어 프로그램(RapidForm™2006, Inus, Seoul, Korea)의 중첩기능을 이용하였다. 3차원 스캔 데이터를 중첩하는 소프트웨어 프로그램들에서는 iterative closest point (ICP) 알고리즘에 의하여 가장 가까운 점을 찾아 중첩이 진행된다<sup>32)</sup>. 반복적인 샘플링을 통해 가장 가까운 거리에 있는 점들을 찾은 후 컴퓨터 연산 과정에 의해 점간 거리가 주어진 기준치 이상이 되는 점(outlier)들이 중첩과정에서 배제된 다음 best-fit point to surface 알고리즘을 통해 점 배제과정에서의 오차를 다시 확인해 나가는 식으로 중첩이 이루어진다<sup>32-34)</sup>. 중첩 기준범위에 따른 차이를 평가하기 위하여 whole registration과 중첩 기준범위를 달리한 partial registration으로 중첩을 시행하고 각 마커간 3차원 거리를 계측하여 대응표본 *t* 검정으로 분석한 결과 중첩 기준범위로 안면 전부분을 선택하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration을 시행한 경우와 비교 시 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 상중안면부를 포함한 안면 상방 2/3 부분을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교 시  $Go'_{n,}$ ,  $Go'_{n,}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 이마와 눈을 포함한 안면 상방 1/2 또는 이마와 코를 포함한 영역을 중첩 기준범위로 지정한 partial registration을 시행한 경우에는 Pn,  $Go'_{n,}$ ,  $Go'_{n,}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이마에 해당되는 안면 상방 1/3을 중첩 기준범위로 지정하여 partial registration을 시행한 경우에는 whole registration으로 중첩한 경우와 비교한 결과  $N'$ ,  $Zy_{n,}$ ,  $Zy_{n,}$ , Pn,  $Go'_{n,}$ ,  $Go'_{n,}$ , UL, Pg' 부위에 부착된 마커들, 즉 이마 외의 부위에 부착된 마커들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

중첩결과 안면 전체영상을 whole registration으로 중첩한 경우와 중첩 기준범위로 안면 전체를 지정하여 partial registration을 시행하여 중첩된 영상에서 동일마커간 거리를 계측하여 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 안면 상방 2/3, 안면 상방 1/2, 코와 안면 상방 1/3, 안면 상방 1/3 부분 등 안면 일부분을 중첩 기준범위로 정하여 partial registration한 경우에는 whole registration한 경우와 비교 시 중첩 기준범위 내에 위치한 마커들에서 통계적 차이는 나타나지 않았으나 중첩기준 범위 밖의 마커들은 유의한 차이를 보였다. 그리고 각 중첩방법에 따른 마커간 거리를 평균으로 구한 결과 whole registration한 경우는  $0.83 \pm 0.15\text{mm}$  중첩 기준범위로 안면 전부분을 지정하여 partial registration을 시행한 경우는  $0.83 \pm 0.13\text{mm}$ 로 나타났으며, 안면 상방 2/3의 안면

일부분을 중첩기준으로 중첩을 한 경우는  $0.92 \pm 0.23$  mm, 안면 상방 1/2의 경우  $0.98 \pm 0.26$  mm, 코와 안면 상방 1/3의 경우  $0.99 \pm 0.24$  mm, 안면 상방 1/3 부분의 경우  $1.41 \pm 0.48$  mm로 나타나 중첩 기준범위가 감소될 수록 마커간 거리는 증가되는 양상을 보였다. 이는 중첩이 이루어지는 동안 ICP 알고리즘 진행 시 많은 점들이 존재하는 넓은 면적으로 중첩한 경우에는 가까운 거리의 점들도 증가하게 되는데 상대적으로 적은 수의 점들이 존재하는 좁은 면적으로 중첩을 시행할 경우 가까운 점들의 수 또한 상대적으로 줄어들게 되므로 중첩오차가 커지는 것으로 생각할 수 있다.

중첩 기준범위를 달리한 partial registration과 whole registration으로 중첩한 후 마커간 거리의 평균을 구한 결과 중첩 기준범위에 관계없이 전반적으로  $Go'_n$ ,  $Go'_u$ , UL,  $Pg'$  부위에 부착된 마커들에서 그 값이 크게 나타나는 경향을 보였다. 이는 레이저 스캔 시 상안면에서 하안면으로 향하는 스캔 진행 방향과 스캔하는 동안 표정이나 하악골 움직임에 의해 나타난 안면 연조직의 변화가 복합적으로 하안면 영역에서의 마커간 거리 증가에 기인<sup>35)</sup>한 것으로 생각된다. 백 등<sup>7)</sup>은 촬영대상자의 호흡이나 작은 표정 변화와 같은 안면의 움직임에 인해, 그리고 연조직의 긴장도와 피로도와 같은 연조직의 특성으로 인해 레이저 스캐닝 시 약간의 변화가 생길 수 있다고 하였다.

또한 각각의 중첩 후 중첩 기준범위에 따라 whole registration과의 차이를 절대값으로 비교한 결과 하안면 영역으로 갈수록 그 차이가 크게 나타났는데 이는 얼굴의 상방부분을 중첩 시 기준범위로 정하여 중첩하였기 때문이라고 생각할 수 있다.

본 연구는 30분 간격으로 레이저 스캔하여 치료에 영향을 받지 않을 것으로 예상되는 상안면 부위를 중심으로 중첩 기준범위를 증가시키면서 partial registration으로 중첩하고 스캔된 안면전체를 중첩하는 whole registration 방법과의 차이를 비교분석하여 중첩방법에 따른 중첩적합도를 평가하고자 시행되었으며 안면 3차원 레이저 스캔으로 얻은 입체영상 중첩 시 중첩 기준범위가 작아질수록 중첩적합도는 감소함을 보여주었다. 그러나 본 연구는 시간 간격을 두고 얻은 두 개의 입체영상에 대한 연구이므로 임상적 적용을 위해서는 치료 전후 입체영상을 이용한 중첩 기준범위 설정에 관한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

## V. 결 론

안면부 기형이 없는 성인 30명에서 비접촉식 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 시간차를 두고 2회 스캔하여 3차원 역설계 소프트웨어 프로그램(RapidForm™2006, Inus, Seoul, Korea)를 이용하여 두개의 안면 입체영상을 제작한

다음 중첩면적을 달리하는 중첩방법에 따른 정확도를 알아본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 안면상방 2/3를 기준으로 중첩한 경우 전체 마커간 거리의 평균은  $0.92 \pm 0.23$  mm, 안면상방 1/2의 경우  $0.98 \pm 0.26$  mm, 이마와 코부위의 경우  $0.99 \pm 0.24$  mm, 안면상방 1/3의 경우  $1.41 \pm 0.48$  mm로 나타났으며 전체안면으로 중첩한 경우  $0.83 \pm 0.13$ mm로 나타났다.

2. 스캔된 영역전체로 전체중첩하는 경우와 부분중첩에서 중첩 기준범위로 안면 상방 2/3 부분을 지정하여 중첩한 경우를 비교한 결과 중첩 기준범위에 포함된 안면 상방 2/3 부분은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 반면 중첩 기준범위에 포함되지 않은 상순과 좌우측 하악 우각부, 턱끝 부위에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

3. 스캔된 영역전체로 전체중첩하는 경우와 부분중첩에서 중첩 기준범위로 안면 상방 1/2 또는 코와 안면 상방 1/3 부분을 지정하여 중첩한 경우를 비교한 결과 중첩 기준범위에 포함된 부분은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 반면 중첩 기준범위에 포함되지 않은 비침부와 상순, 좌우측 하악 우각부, 턱끝 부위에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

4. 스캔된 영역전체로 전체중첩하는 경우와 부분중첩에서 중첩 기준범위로 안면 상방 1/3 부분을 지정하여 중첩한 경우를 비교한 결과 중첩 기준범위에 포함된 이마 부분은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 반면 중첩 기준범위에 포함되지 않은 나머지 안면부분에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

이상의 연구결과는 안면 3차원 레이저 스캔으로 얻은 입체영상 중첩 시 중첩 기준범위가 좁을수록 적합도는 감소함을 시사하였다.

## References

1. Quintero JC, Trosien A, Hatcher D *et al* : Cranofacial imaging in orthodontics: Historical perspective, current status, and future development. *Angle Orthod* 69 : 491, 1999.
2. Mah J, Hatcher D : Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 6 : 10, 2003.
3. Moss JP, Linney AD, Grindrod SR *et al* : Three-dimensional visualization of the face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques. *Eur J Orthod* 9 : 247, 1987.
4. Kusnoto B, Evans CA : Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 122 : 342, 2002.
5. Kau CH, Richmond S, Zhurov AI *et al* : Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 128 : 424, 2005.
6. Kau CH, Richmond S, Savio C *et al* : Measuring adult facial morphology in three dimensions. *Angle Orthod* 76 :



- 773, 2006.
7. Baik HS, Lee HJ, Jeon JM. A study of facial soft tissue of Korean adults with normal occlusion using a three-dimensional laser scanner. *Korean J Orthod* 36 : 1, 2006.
  8. Moss JP, Linney AD, Lowey MN : The use of three-dimensional techniques in facial esthetics. *Semin Orthod* 1 : 94, 1995.
  9. Stewart A, McCance AM, James DR *et al* : Three-dimensional nasal changes following maxillary advancement in cleft patients. *Int J Oral Maxillofac Surg* 25 : 171, 1996.
  10. McCance AM, Moss JP, Fright WR *et al* : Three-dimensional analysis techniques-Part 1: Three-dimensional soft-tissue analysis of 24 adult cleft palate patients following Le Fort I maxillary advancement: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 34 : 36, 1997.
  11. Moss JP : The use of three-dimensional imaging in orthodontics. *Eur J Orthod* 28 : 416, 2006.
  12. Kau CH, Zhurov A, Richmond S *et al* : Facial templates: a new perspective in three dimensions. *Orthod Craniofac Res* 9 : 10, 2006.
  13. Kau CH, Zhurov A, Richmond S *et al* : The 3-dimensional construction of the average 11-year-old child face: a clinical evaluation and application. *J Oral Maxillofac Surg* 64 : 1086, 2006.
  14. Hennessy RJ, Moss JP : Facial growth: separating shape from size. *Eur J Orthod* 23 : 275, 2001.
  15. Kau CH, Zhurov A, Bibb R *et al* : The investigation of the changing facial appearance of identical twins employing a three-dimensional laser imaging system. *Orthod Craniofac Res* 8 : 85, 2005.
  16. McDonagh S, Moss JP, Goodwin P *et al* : A prospective optical surface scanning and cephalometric assessment of the effect of functional appliances on the soft tissues. *Eur J Orthod* 23 : 115, 2001.
  17. Ismail SF, Moss JP, Hennessy RJ : Three-dimensional assessment of the effects of extraction and non-extraction orthodontic treatment on the face. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 121 : 244, 2002.
  18. Moss JP, Ismail SF, Hennessy RJ : Three-dimensional assessment of treatment outcomes on the face. *Orthod Craniofac Res* 6 : 126, 2003.
  19. Coombes AM, Moss JP, Linney AD *et al* : A mathematical method for the comparison of three-dimensional changes in the facial surface. *Eur J Orthod* 13 : 95, 1991.
  20. McCance AM, Moss JP, Fright WR *et al* : A three dimensional analysis of soft and hard tissue changes following bimaxillary orthognathic surgery in skeletal III patients. *Br J Oral Maxillofac Surg* 30 : 305, 1992.
  21. McCance AM, Moss JP, Wright WR *et al* : A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 30 : 221, 1992.
  22. Moss JP, McCance AM, Fright WR *et al* : A three-dimensional soft tissue analysis of fifteen patients with Class II, Division 1 malocclusions after bimaxillary surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 105 : 430, 1994.
  23. McCance AM, Moss JP, Fright WR *et al* : Three-dimensional analysis techniques-Part 2: Laser scanning: a quantitative three-dimensional soft-tissue analysis using a color-coding system. *Cleft Palate Craniofac J* 34 : 46, 1997.
  24. Kau CH, Cronin A, Durning P *et al* : A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery. *Orthod Craniofac Res* 9 : 31, 2006.
  25. McCance AM, Moss JP, Fright WR *et al* : Three-dimensional analysis techniques-Part 3: Color-coded system for three-dimensional measurement of bone and ratio of soft tissue to bone: the analysis. *Cleft Palate Craniofac J* 34 : 52, 1997.
  26. McCance AM, Moss JP, Fright WR *et al* : Three-dimensional analysis techniques-Part 4: Three-dimensional analysis of bone and soft tissue to bone ratio of movements in 24 cleft palate patients following Le Fort I osteotomy: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 34 : 58, 1997.
  27. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH *et al* : A three-dimensional computerized mesh diagram analysis and its application in soft tissue facial morphometry. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 114 : 404, 1998.
  28. Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE *et al* : Facial three-dimensional morphometry. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 109 : 86, 1996.
  29. Kim EH, Hwang HS. The validity of head posture aligner in posteroanterior cephalometry. *Korean J Orthod* 30 : 543, 2000.
  30. Hwang HS, Lee KH, Park JY *et al*. Development of posteroanterior cephalometric analysis for the diagnosis of facial asymmetry. *J Kor Dent Assoc* 42 : 219, 2004.
  31. Soncul M, Bamber MA : The reproducibility of the head position for a laser scan using a novel morphometric analysis for orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 29 : 86, 2000.
  32. Ter Haar FB, Cignoni P, Min P : A comparison of systems and tools for 3D scanning. In: 3D digital imaging and modeling: applications of heritage, industry, medicine and land. Padua: Italy; 2005.
  33. Besel PJ, McKay ND : A method for registration for 3-D shapes. *IEEE Trans Patt Anal Machine Intell* 14 : 239, 1992.
  34. INUS Technology. Rapidform™ 2006 tutorial. Seoul: Korea; 20.
  35. Okada E : Three-dimensional facial simulation and measurement: Changes of facial contour and units associated with facial expression. *J Craniofac Surg* 12 : 167, 2001.

#### 저자 연락처

우편번호 550-757  
 광주광역시 북구 용봉로 77  
 전남대학교 치의학전문대학원 교정학교실  
**이기현**

원고접수일 2008년 12월 31일  
 게재확정일 2009년 03년 27일

#### Reprint Requests

**Ki-Heon Lee**  
 Dept. of Orthodontics, School of Dentistry,  
 Chonnam National University  
 #77 Yongbongro, Buk-gu, Gwangju, 500-757, Korea  
 Tel : 82-62-530-5656  
 E-mail : ortho@chonnam.ac.kr

Paper received 31 December 2008

Paper accepted 27 March 2009