

### 3차원 가상 치과모형 계측 값의 정확성 유효 검정

이주훈, 장미숙, 백기석, 이승표\*

서울대학교 치과대학 구강해부학교실, 치학연구소

#### 〈 조 록 〉

치과모형에서 치아의 크기와 공간을 정확히 측정하는 것은 교정, 보철 및 일반 치과 치료에서 진단과 치료 계획 수립을 위해 매우 중요한 작업이다. 지금까지 전통적으로 이러한 측정은 분할기(divider)나 밀립자(caliper) 같은 기구를 이용하여 이루어져왔으며 사진 촬영이나 기타 방법 등을 이용하기도 하였다. 그러나 측정값의 정확성에 대한 논란이 끊이지 않았으며 재현성에도 문제가 있었다. 최근 과학 기술의 발전은 매우 급속하게 진행되고 있으며 치과 영역에서도 진보된 기술의 응용이 매우 빨리 진행되고 있다. 그 중의 하나로 3차원(3-dimensional, 3-D) 가상 모형(virtual model)을 들 수 있다. 본 연구에서는 이러한 시스템 중 하나로 비접촉식 삼차원 스캐너를 이용하여 최근 국내에서 새롭게 개발된 Autoscan system for dental application™(ASDA; INUS technology INC, Korea)을 사용하여 정확성을 검정해 보았다.

대상으로는 다섯 쌍의 위, 아래턱 모형을 준비하였다. 이 모형들을 환자의 구강상태로 가정하였을 때 실제로 계측이 시행되는 대상은 인상 채득 후 만들어지는 복사 모형이 되므로 원 모형에서 인상을 채득하고 경석고로 복사 모형을 제작하였다. 실측은 0.02mm의 오차범위를 갖는 디지털 밀립자를 이용하였다. 계측은 원 모형과 복사 모형 모두를 대상으로 치아에서 위, 아래턱의 왼쪽, 오른쪽 안쪽앞니, 송곳니, 첫째큰어금니의 폭을 측정하였고, 모형 전체에서 위, 아래턱의 송곳니간 거리와 첫째큰어금니간 거리를 측정하였다. 측정자는 계측에 경험이 풍부한 2인의 치과 의사가 2주일 간격을 두고 2회에 걸쳐 측정을 시행하였다. 복사 모형 다섯 쌍을 대상으로 ASDA 시스템을 이용하여 가상 모형을 만들었다. 석고 모형을 계측하였던 2인이 동일한 계측점을 대상으로 소프트웨어를 이용하여 측정 후 값을 얻어내었다. 통계 분석은 SPSS ver 11.5를 이용하여 전체 계측치에 대한 검정을 실시하고 다시 내용을 치아크기 계측과 치아간거리 계측으로 나누어 검정해보았다. 이원 배치 분산분석(2-way Analysis of Variance : 2-way ANOVA) 및 사후검정(Post hoc test)을 실시하였으며, 계측자 요인과 측정방법 요인에 대한 개별비교를 위해 Bonferroni의 pairwise comparison method를 사용하였다.

전체 계측치 및 치아크기 계측치와 치아간거리 계측치로 나누어 검정하여 본 결과 모든 방법에서 계측자 요인이나 계측 방법 요인이 측정치의 값에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하였다. 모든 방법에서 유의도는 0.97 이상이었으며 간섭도는 0이었다. 따라서 한 계측자가 2회에 걸친 계측 시행 시 오류가 없었고 계측자간의 오류도 없었고 알지네이트(alginate) 인상법에 의해 만들어진 복사 모형이나 가상 모형 모두 임상적으로 정확한 값을 갖는다고 볼 수 있다.

이러한 결과를 볼 때 비록 숙련된 의사가 자신의 기준으로 디지털 밀립자를 사용하는 것이 가장 정확한 것 일지 모르나 삼차원 재구성 가상 치과모형을 이용하여 측정된 값이 높은 유의수준을 지니 이용에 문제가 없고 사용의 편의성이나 미래의 가능성 등을 고려할 때 앞으로 더욱 일반화 될 것으로 생각된다.

찾아보기 낱말 : 3차원 재구성, 가상 치과모형, 계측값, 정확성

#### 서 론

치과모형에서 치아의 크기와 공간을 정확히 측정하는 것은 교정, 보철 및 일반 치과 치료에서 진단과 치료 계획 수립을 위해 매우 중요한 작업이다(Motohashi & Kuroda, 1999). 지금

까지 전통적으로 이러한 측정은 분할기(divider)나 밀립자(caliper) 같은 기구를 이용하여 이루어져왔으며(Dalidjan *et al.*, 1995; Bishara *et al.*, 1997; Harris, 1997), 사진 촬영이나 기타 방법 등을 이용하기도 하였다(Ades *et al.*, 1990; Mok & Cooke, 1998). 그러나 측정값의 정확성에 대한 논란이 끊이지 않았으며 재현성에도 문제가 있었다. 최근 과학 기술의 발전은 매우 급속하게 진행되고 있으며 치과 영역에서도 진보된 기술의 응용이 매우 빨리 진행되고 있다. 그 중의 하나로 3차원(3-dimensional, 3-D) 가상 모형(virtual model)을 들 수 있

\* 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업(03-PJ1-PG1-CH09-0001)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

\* 교신저자: 이승표

Tel : 02-740-8671, Fax : 02-762-6671, E-mail: spllee@plaza.snu.ac.kr

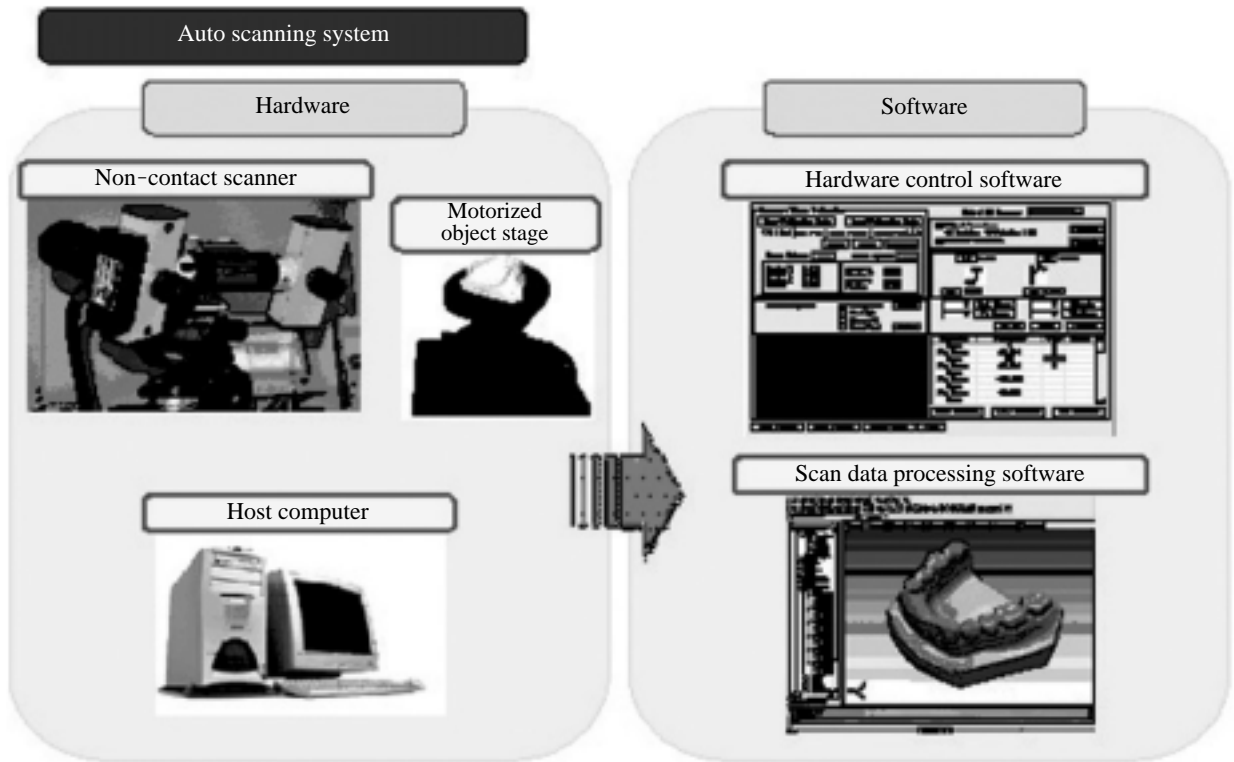


Fig. 1. Auto Scanning System.

는 데 최종 결과물을 얻기 위한 기본적인 시스템을 크게 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분으로 나눌 수 있다. 하드웨어 부분은 삼차원 스캐너와 이를 제어하는 컴퓨터 시스템으로 구성되고 소프트웨어 부분은 삼차원 스캐너를 운용하여 자료를 얻어내는 소프트웨어와 얻어진 자료를 이용하여 실제로 술자가 편리하게 관찰하고 이용할 수 있도록 하는 삼차원 재구성 소프트웨어로 구성된다 (Fig. 1).

이러한 시스템은 정밀 가공 분야에서 먼저 개발되어지기 시작하였으며 이후 치과분야에서도 적극 응용되어지기 시작했다. 대표적인 예로 교정용 모형의 재구성을 들 수 있으며, 미국에서 시작되어 현재 우리나라에서도 상용화된 서비스를 제공하고 있다 (Dalidjan *et al.*, 1995; Motohashi & Kuroda, 1999). 이들 업체에서는 환자의 구강에서 채득된 인상체 또는 모형을 받아 자체 시스템을 이용하여 재구성된 가상 모형을 의사에게 파일로 보내주게 된다. 의사는 이를 자신의 개인 컴퓨터에서 불러들여 환자 상태를 진단하고 치료 계획을 세울 수 있으며, 환자에게 치료에 대한 설명과 치료 후 상태를 시연하는 데도 유용하게 사용할 수 있다. 특히 많은 수의 환자를 다루어야 하는 교정 전문의원에서는 환자의 교정모형 보관 및 정리에 어려움을 겪고 있기 때문에, 이를 간단히 파일로 정리하여 컴퓨터에 보관한다면 공간의 절약뿐만 아니라 필요한 자료를 빠르고 쉽게 찾아낼 수 있다 (Marcel, 2001). 이러한

자료의 디지털화는 현재 급속하게 진행되고 있는 디지털 X-ray 시스템과 연관되어 보다 효율적으로 이용될 것이다. 또한 개인용 컴퓨터 성능의 비약적인 발전으로 과거 work station 급의 고성능 컴퓨터에서나 가능하던 작업들이 PC에서 가능해져 치료실내에서 자유롭게 응용할 수 있게 되었다.

비록 이러한 장점이 있더라도 삼차원 재구성시 영상의 재현능력이나 정밀도가 떨어진다면 사용에 많은 제약이 뒤따른다. 우리나라의 경우 비록 하드웨어의 개발은 비록 외국에 비해 아직 떨어져 있는 수준이지만 삼차원 재구성 소프트웨어는 세계적 수준에 올라있어 치의학계와 산업계가 서로 활발히 교류한다면 더욱 향상된 응용 소프트웨어의 개발이 가능할 것이다. 그러나 이미 개발된 소프트웨어와 시스템에 대해서 외국의 경우 다각적으로 검증이 활발하게 이루어지고 있으나 (Kuroda *et al.*, 1996; Gallo *et al.* 1997; Peters *et al.*, 1999; Sohmlura *et al.*, 2000; Marcel, 2001; Tomassetti *et al.*, 2001; Brosky *et al.*, 2002; Kojima *et al.*, 2003; Zilberman *et al.*, 2003), 우리나라에서는 아직 구체적인 검증이 이루어지지 않고 있다. 더구나 치과에서 사용되는 석고모형의 경우 상대적으로 작은 크기로 상당한 정밀도가 요구되며, 치아의 입체적인 구조와 언더컷(undercut)의 존재 등으로 삼차원 재구성이 다른 대상에 비해 어려운 점이 있다 (Mok & Cooke, 1998). 또한 계측 시행 시 계측점을 선정하는 데 있어 술자마다 약간씩의 차이가

있어 자료를 객관적으로 분석하는 데도 문제가 있을 수 있다.

이번 연구에서는 새롭게 개발된 치과용 삼차원 재구성 시스템인 Autoscan system for dental application™ (ASDA; INUS technology INC, Korea)의 정밀도를 교정용 모형에서 검증해 보고자 교정용 모형의 분석에 필요한 각 요소를 디지털 밀립자로 실측하고 삼차원 스캐너를 통하여 얻은 분석 결과와 비교 검토해보았다.

## 재료 및 방법

### 1. 모형의 준비 및 계측 대상

다섯 쌍의 위, 아래턱 모형을 준비하였다. 한 쌍은 표준적인 치아배열과 크기를 갖는 모형이었고 나머지 네 쌍은 교정치료를 위해 내원한 환자의 치료 전 모형을 사용하였다. 치아의 배열은 일반적으로 불규칙하여 총생(crowding)과 간격(spacing)이 있는 모형을 선택하였으며 한 쌍에서는 임의로 작은 어금니들을 제거하여 빈 공간을 생성하였다. 이 모형들을 환자의 구강상태로 가정하였을 때 실제로 계측이 시행되는 대상은 인상채득 후 만들어지는 연구 모형이 되므로 원 모형에서 일반적으로 널리 쓰이는 알지네이트(alginate)를 이용하여 인상을 채득하고 경석고로 복사 모형을 제작하였다. 결국 총 열 쌍, 이십 개의 모형이 준비되었다.

### 2. 석고 모형 계측

실측은 0.02 mm의 오차범위를 갖는 디지털 밀립자(Mitutoyo corp., Japan)를 이용하였다. 계측은 원 모형과 복사 모형 모두를 대상으로 치아에서 위, 아래턱의 왼쪽, 오른쪽 안쪽앞니, 송곳니, 첫째큰어금니의 폭을 측정하였고, 모형 전체에서 위, 아래턱의 송곳니간 거리와 첫째큰어금니간 거리를 측정하였다. 측정자는 계측에 경험이 풍부한 2인의 치과의사가 2주일 간격을 두고 2회에 걸쳐 계측을 시행하였다. 발생할 수 있

는 계측점의 오류를 최소화하고자 측정 원칙에 대하여 충분한 논의를 시행하였다. 결국 한 모형에서 6개의 치아 폭과 4가지 치아간 거리를 측정하였으며 2인이 2회 계측을 시행한 결과 총 240개의 치아 폭에 대한 값과 160개의 치아간 거리 값을 실측하여 얻어내었다(Fig. 2).

### 3. 가상 모형의 계측

복사 모형 다섯 쌍을 대상으로 ASDA 시스템을 이용하여 만들었다. 먼저 시스템의 삼차원 스캐너(optoTOP-HE, Breukmann, Germany)로 모형이 고정되어있는 스테이지를 움직여가며 10~20회 반복 촬영하여 언더컷 부위를 포함한 전체 외형에 대한 정보를 얻어내었으며, 스캐너의 조절은 연결된 컴퓨터에서 전용 제어 소프트웨어인 optoCAT을 이용하였다. 데이터는 한 모형에 대해 각기 다른 10~20장의 이차원적 영상으로 되어있으며, 동일 컴퓨터의 하드디스크에 저장된 뒤 삼차원 재구성 소프트웨어인 RapidForm 2004 (INUS technology INC, Seoul, Korea)에서 합쳐져 삼차원적으로 재구성 되었다. 석고 모형을 계측하였던 2인이 동일한 계측점을 대상으로 예

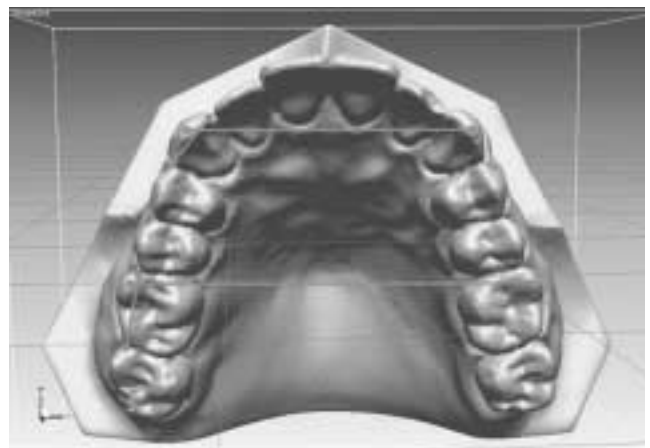


Fig. 2. Measurement items on the dental model.

Table 1. One example of measurement table

이주훈	A		B		C		D		E	
	오른쪽	왼쪽	오른쪽	왼쪽	오른쪽	왼쪽	오른쪽	왼쪽	오른쪽	왼쪽
위턱안쪽앞니	8.88	8.85	8.08	8.12	9.34	9.30	8.78	8.92	8.88	9.12
아래턱안쪽앞니	5.54	5.64	6.16	6.24	6.10	6.22	5.76	5.82	5.88	5.90
위턱송곳니	8.18	7.98	8.72	8.64	8.64	8.47	8.09	8.15	8.24	8.04
아래턱송곳니	6.68	6.64	7.48	8.14	7.22	7.18	6.80	6.63	7.24	7.30
위턱첫째큰어금니	10.28	10.21	10.24	10.18	10.83	10.64	10.65	10.72	10.52	10.72
아래턱첫째큰어금니	11.48	11.42	10.62	10.64	10.84	10.72	11.75	11.72	10.98	11.32
위턱송곳니간 거리	35.61		37.48		34.50		36.87		35.84	
아래턱송곳니간 거리	26.43		29.14		22.17		27.86		28.61	
위턱첫째큰어금니간 거리	51.42		58.54		51.64		53.86		51.82	
아래턱첫째큰어금니간 거리	43.29		48.58		42.68		47.88		43.84	

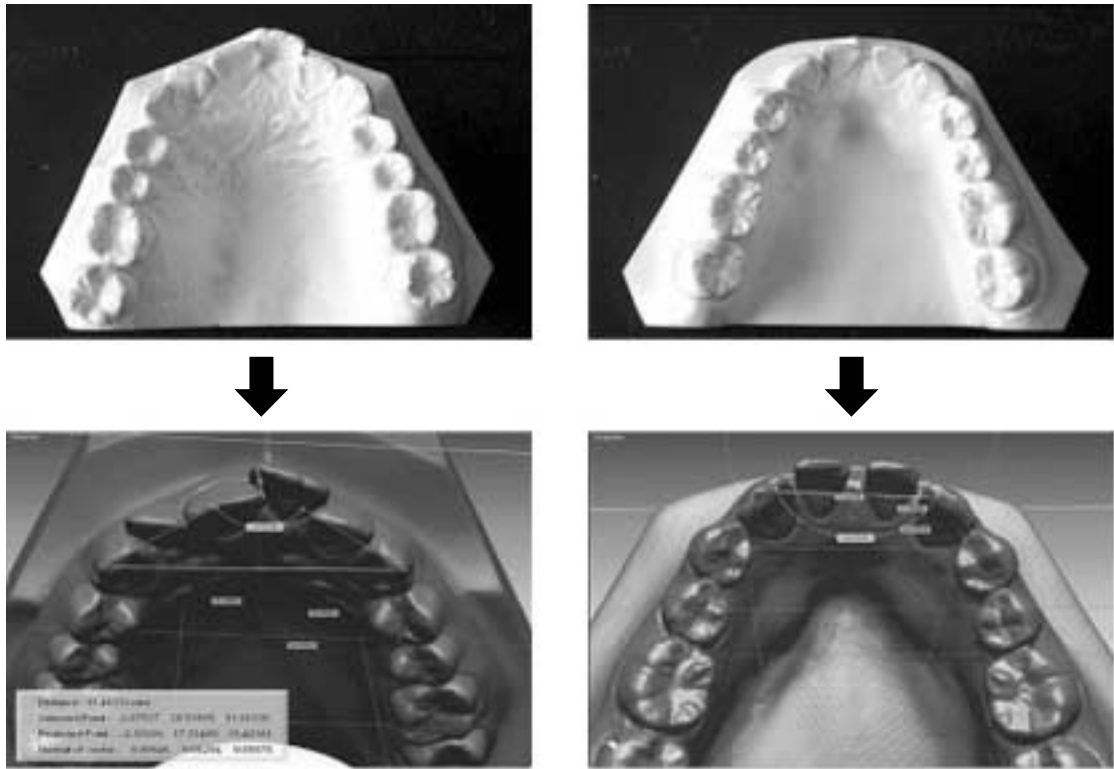


Fig. 3. Virtual dental model production from duplicated model.

준비되어있는 소프트웨어 계측 메뉴를 이용하여 측정한 후 값을 얻어내었다.

4. 통계 분석

가상모형 계측의 정확성 및 재현성을 검정하기 위하여 SPSS Ver. 11.5 프로그램을 이용하여 통계분석을 하였으며 전체 계측치에 대한 검정을 실시하고 다시 내용을 치아크기 계측과 치아간거리 계측으로 나누어 검정해 보았다. 계측자내와 계측자간 차이, 측정방법에 따른 차이 및 두 요인간의 상호효과작용에 대한 검정을 하였으며 이를 위해 이원 배치 분산분석(2-way Analysis of Variance : 2-way ANOVA) 및 사후검정(Post hoc test)을 실시하였다. 또한, 계측자 요인과 측정방법 요인에 대한 개별비교를 위해 Bonferroni의 pairwise comparison method를 사용하였다.

결 과

전체 계측치 및 치아크기 계측치와 치아간거리 계측치로 나누어 검정하여 본 결과 모든 방법에서 계측자 요인이나 계측방법 요인이 측정치의 값에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하였다. 모든 방법에서 유의도는 0.97 이상이었다. 따라서 한 계측자가 2회에 걸친 계측 시행 시 오류가 없었고 계

Table 2. Overall discrepancy test.

Tests of between-subjects effects (Dependent variable: 측정치)					
Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	P
Corrected model	10.747 <sup>a</sup>	9	1.194	.005	1.000
Intercept	202791.924	1	202791.924	922.489	.000
MAN	9.325	3	3.108	.014	.998
IMP	4.181	2	2.090	.010	.991
MAN * IMP	3.797E-02	4	9.491E-03	.000	1.000
Error	173666.694	790	219.831		
Total	393529.904	800			
Corrected total	173677.441	799			

<sup>a</sup> R Squared = .000 (Adjusted R Squared = -.011)

MAN: 계측자 요인, IMP: 계측 방법 요인

측자간의 오류도 없었고 알지네이트 인상법에 의해 만들어진 복사 모형이나 가상 모형 모두 임상적으로 정확한 값을 갖는다고 볼 수 있다.

표 2는 전체 계측치에 대하여 계측자 요인, 계측방법 요인 또는 두 가지 모두가 작용하였을 때 오차를 검정한 것이고, 표 3은 원 모형과 복사 모형을 실측한 값과 가상 모형을 소프트웨어 상에서 계측한 값들을 각각 비교해 오차를 검정한 것이며, 표 4는 계측자 1, 2가 첫 번째 계측한 값과 두 번째 계측한 값에 대하여 각각 비교해 오차를 검정한 것이다. 표 5

**Table 3.** Overall discrepancy test for different type of models

		Pairwise comparisons			(Dependent variable: 측정치)	
(I) 측정방법	(J) 측정방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
Original model	Alginate model	-1.972E-02	1.172	1.000	-2.832	2.792
	Virtual model	-.111 <sup>b</sup>	1.436	1.000	-3.556	3.333
Alginate model	Original model	1.972E-02	1.172	1.000	-2.792	2.832
	Virtual model	-9.178E-02 <sup>b</sup>	1.436	1.000	-3.536	3.352
Virtual model	Original model	.111 <sup>c</sup>	1.436	1.000	-3.333	3.556
	Alginate model	9.178E-02 <sup>c</sup>	1.436	1.000	-3.352	3.536

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

**Table 4.** Overall discrepancy test for different type of observers

		Pairwise comparisons			(Dependent variable: 측정치)	
(I) 측정방법	(J) 측정방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
1.00	2.00	-.246 <sup>b</sup>	1.513	1.000	-4.248	3.756
	3.00	-3.750E-02 <sup>b</sup>	1.353	1.000	-3.617	3.542
	4.00	-3.994E-02 <sup>b</sup>	1.513	1.000	-4.042	3.962
2.00	1.00	.246 <sup>c</sup>	1.513	1.000	-3.756	4.248
	3.00	.208 <sup>c,b</sup>	1.513	1.000	-3.794	4.211
	4.00	.206 <sup>c,b</sup>	1.658	1.000	-4.178	4.590
3.00	1.00	3.750E-02 <sup>c</sup>	1.353	1.000	-3.542	3.617
	2.00	-.208 <sup>c,b</sup>	1.513	1.000	-4.211	3.794
	4.00	-2.437E-03 <sup>c,b</sup>	1.513	1.000	-4.005	4.000
4.00	1.00	3.994E-02 <sup>c</sup>	1.513	1.000	-3.962	4.042
	2.00	-.206 <sup>c,b</sup>	1.658	1.000	-4.590	4.178
	3.00	2.437E-03 <sup>c,b</sup>	1.513	1.000	-4.000	4.005

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

계측자 1.00: 계측자1의 첫 번째 계측, 계측자 2.00: 계측자2의 두 번째 계측, 계측자 3.00: 계측자2의 첫 번째 계측, 계측자 4.00: 계측자2의 두 번째 계측.

에서 표 7까지는 위, 아래턱 안쪽앞니, 송곳니, 큰어금니에 대하여 앞서 언급한 오차 검정을 실시한 결과이며 표 8에서 표 10까지는 위, 아래턱 송곳니간 거리와 큰어금니간 거리에 대해 오차 검정을 실시한 결과이다.

### 고 찰

이번 연구의 결과를 보면 대부분의 유의도 값 (P value)이 1 이거나 1에 가까웠다. 표 2에서 전체적인 검정 결과를 보면 비록 모형별 측정법에 따른 유의도 값이 다른 항목에 비해

약간 낮았지만 (P = 0.991) 통계학적으로 차이가 없는 수준이었다. 표 3에서는 기준 모형과 가상 모형간의 평균 차이 (mean difference)가 좀 높게 나타났으나 유의도 값이 P = 1.000으로 통계학적 차이는 없었다. 이는 원 모형에서 복사 모형을 만들고 다시 가상 모형을 만드는 과정을 거치며 오차가 약간 증가한 것으로 보인다. 표 4에서 계측자1의 두 번째 계측치와 다른 계측치와의 평균 차이가 다소 크지만, 유의도 값이 P = 1.000이므로 역시 통계학적인 차이가 없었다.

치아크기 계측치만 분리하여 검정한 결과에서는 대부분 오차가 매우 적게 나타났으나 치아간거리 계측치만 분리하여 검정한 결과에서는 비록 통계학적 차이는 없으나 계측자 간에

**Table 5.** Tooth width discrepancy test

Tests of between-subjects effects (Dependent variable: 측정치)					
Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	P
Corrected model	9.098E-02 <sup>a</sup>	9	1.011E-02	.003	1.000
Intercept	41302.327	1	41302.327	11789.474	.000
MAN	4.743E-03	3	1.581E-03	.000	1.000
IMP	6.310E-02	2	3.155E-02	.009	.991
MAN * IMP	1.503E-02	4	3.757E-03	.001	1.000
Error	2066.960	590	3.503		
Total	46992.043	600			
Corrected total	2067.051	599			

<sup>a</sup>R Squared = .000 (Adjusted R Squared = -.015)  
MAN: 계측자 요인, IMP: 계측 방법 요인

약간의 오차가 있고 가상 모형과 원 모형 및 복사 모형, 즉 소프트웨어에서 계측한 값과 실측한 값 간에 적은 양의 오차가 존재하는 것을 알 수 있었다. 이는 측정을 위한 교두정 설정에서 오차 요인이 발생한 것으로 생각된다.

표로는 표시되지 않았으나 검정과정도중 치아계측치에서 위턱오른쪽송곳니의 측정치가 통계학적 차이는 없으나, 다른 치아의 측정치에 비해 현저히 낮은 유의도 값을 보였는데 치아의 형태가 측정하기에 어려웠던 점이 반영된 것으로 보인다.

비슷한 외국의 연구 사례를 보면 교정용으로 삼차원 재구성을 하는 3 가지 소프트웨어들 (Quick ceps, HATS, Ortho CAD) 을 대상으로 Bolton tooth-size 분석을 한 예가 있다 (Mok & Cooke, 1998). 비교하기 위한 기준 값은 이 실험에서와 마찬가지로

**Table 6.** Tooth width discrepancy test for different type of models

Pairwise comparisons (Dependent variable: 측정치)						
(I) 계측방법	(J) 계측방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
Original model	Alginate model	-2.138E-02	.171	1.000	-.432	.389
	Virtual model	2.375E-03 <sup>b</sup>	.209	1.000	-.500	.505
Alginate model	Original model	2.138E-02	.171	1.000	-.389	.432
	Virtual model	2.375E-02 <sup>b</sup>	.209	1.000	-.479	.526
Virtual model	Original model	-2.375E-03 <sup>c</sup>	.209	1.000	-.505	.500
	Alginate model	-2.375E-02 <sup>c</sup>	.209	1.000	-.526	.479

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

**Table 7.** Tooth width discrepancy test for different type of observers

Pairwise comparisons (Dependent variable: 측정치)						
(I) 계측방법	(J) 계측방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
1.00	2.00	-1.008E-02 <sup>b</sup>	.221	1.000	-.594	.574
	3.00	-2.722E-03 <sup>b</sup>	.197	1.000	-.525	.52
	4.00	-1.100E-02 <sup>b</sup>	.221	.000	-.595	.573
2.00	1.00	1.008E-02 <sup>c</sup>	.221	1.000	-.574	.594
	3.00	7.361E-03 <sup>c,b</sup>	.221	1.000	-.577	.591
	4.00	-9.167E-04 <sup>c,b</sup>	.242	1.000	-.641	.639
3.00	1.00	2.722E-03 <sup>c</sup>	.197	1.000	-.520	.525
	2.00	-7.361E-03 <sup>c,b</sup>	.221	1.000	-.591	.77
	4.00	-8.278E-03 <sup>c,b</sup>	.221	1.000	-.592	.576
4.00	1.00	1.100E-02 <sup>c</sup>	.221	1.000	-.573	.595
	2.00	9.167E-04 <sup>c,b</sup>	.242	1.000	-.639	.641
	3.00	8.278E-03 <sup>c,b</sup>	.221	1.000	-.576	.592

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

계측자 1.00: 계측자1의 첫 번째 계측, 계측자 2.00: 계측자2의 두 번째 계측, 계측자 3.00: 계측자2의 첫 번째 계측, 계측자 4.00: 계측자2의 두 번째 계측.

지로 버니어 밀립자 (Vernier caliper)로 실측한 값을 사용하였다. 방법에 따른 차이는 있었으나 모든 소프트웨어의 측정값이 1.5 mm 이상의 오차를 보여 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다. 이러한 결과에 대해서는 계측자들이 소프트웨어를 사용하는 데 익숙하지 않아 서로 간에 차이가 있었고 치아의 근심점과 원심점을 정확히 설정하는 데 어려움이 있었다고 하였다. 이번 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 계측자들이 미리 소프트웨어 사용법을 충분히 숙지하였으며, 계측점 설정에 충분한 토의를 거쳐 잘못된 결과값이 나오지 않도록 주의하였다. 반면 Ortho CAD 소프트웨어만을 이용하여 정확성을 검증한 연구에서는 이 소프트웨어가 높은 정확성을 가져 임상적으로 이용하는 데 문제가 없다고 보고하였다 (Zilberman *et al.*,

**Table 8.** Intercanine and intermolar width discrepancy test for different type of observers

Tests between-subjects effects (Dependent variable: 측정치)					
Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	P
Corrected model	34.544 <sup>a</sup>	9	3.838	.017	1.000
Intercept	275190.052	1	275190.052	1202.278	.000
MAN	29.415	3	9.805	.043	.988
IMP	14.109	2	7.055	.031	.970
MAN * IMP	.141	4	.035	.000	1.000
Error	54933.730	240	228.891		
Total	352781.987	250			
Corrected total	54968.274	249			

<sup>a</sup>R Squared = .001 (Adjusted R Squared = -.037)

**Table 9.** Intercanine and intermolar width discrepancy test for different type of models

Pairwise comparisons					(Dependent variable: 측정치)	
(I) 계측방법	(J) 계측방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
Original model	Alginate model	-.013	2.140	1.000	-5.171	5.145
	Virtual model	-.359 <sup>b</sup>	2.620	1.000	-6.677	5.958
Alginate model	Original model	.013	2.140	1.000	-5.145	5.171
	Virtual model	-.346 <sup>b</sup>	2.620	1.000	-6.664	5.971
Virtual model	Original model	.359 <sup>c</sup>	2.620	1.000	-5.958	6.677
	Alginate model	.346 <sup>c</sup>	2.620	1.000	-5.971	6.664

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

**Table 10.** Intercanine and intermolar width discrepancy test for different type of observers.

Pairwise comparisons					(Dependent variable: 측정치)	
(I) 계측방법	(J) 계측방법	Mean difference (I-J)	SE	P <sup>a</sup>	95% confidence interval for difference <sup>a</sup>	
					Lower bound	Upper bound
1.00	2.00	-.774 <sup>b</sup>	2.762	1.000	-8.123	6.574
	3.00	-.125	2.471	1.000	-6.698	6.447
	4.00	-.108 <sup>b</sup>	2.762	1.000	-7.456	7.241
2.00	1.00	.774 <sup>c</sup>	2.762	1.000	-6.574	8.123
	3.00	.649 <sup>c</sup>	2.762	1.000	-6.699	7.998
	4.00	.667 <sup>c,b</sup>	3.026	1.000	-7.383	8.716
3.00	1.00	.125	2.471	1.000	-6.447	6.698
	2.00	-.649 <sup>b</sup>	2.762	1.000	-7.998	6.699
	4.00	.018 <sup>b</sup>	2.762	1.000	-7.331	7.366
4.00	1.00	.108 <sup>c</sup>	2.762	1.000	-7.241	7.456
	2.00	-.667 <sup>c,b</sup>	3.026	1.000	-8.716	7.383
	3.00	-.018 <sup>c</sup>	2.762	1.000	-7.366	7.331

Based on estimated marginal means

<sup>a</sup>Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

<sup>b</sup>An estimate of the modified population marginal mean (J).

<sup>c</sup>An estimate of the modified population marginal mean (I).

계측자 1.00: 계측자 1의 첫 번째 계측, 계측자 2.00: 계측자2의 두 번째 계측, 계측자 3.00: 계측자2의 첫 번째 계측, 계측자 4.00: 계측자2의 두 번째 계측

2003). 이번 연구 결과와 이들 연구의 결과를 종합하여보면 정확성에 있어서 하드웨어나 소프트웨어 보다는 이를 운용하는 사용자의 숙련도와 지식이 정확성을 결정하는 데 더욱 크게 기여하는 것으로 나타났다.

한편 치과 영역에서 삼차원 재구성법을 이용하여 연구하는 최근 동향을 살펴보면 치과 모형의 계측과 분석 수준에서 더욱 발전하여 다양한 응용을 시도하고 있다. 최근 Kojima 등(2003)은 부정 교합 상태 환자의 치과보철 치료에 삼차원 가상 모형을 이용한 분석을 이용하기 위해 물렁조직(soft tissue)에서 기준점을 잡아 새로운 교합평면의 기준점으로 만들었다. 기존의 교합평면과 비교하였을 때 이 기준점들은 임상적으로 사용가능하고 재현성도 충분하였으며, 연구 방법으로는 위턱에서 필요한 계측값들을 측정 후 교합상태가 표시된 bite block을 위턱에 부착하여 나타나는 아래턱 교두의 음영상(negative image)를 삼차원 재구성 후 측정하는 방법을 이용하였다. 이 역시 삼차원 재구성 시스템의 장점을 활용한 한 예라 할 수 있으며 이전에 이용했던 기준점(reference point)을 이용한 교합 형성의 부정확성을 개선한 것이다. 그러나 실제 환자의 구강 구조는 치과 모형과 같이 정적인 상태로 고정되어 있는 것이 아니라 턱관절을 중심으로 입을 열고 닫는 운동을 하며 위, 아래 치아는 요철 형태의 삼차원적 위치관계로 서로 만나게 된다(Gallo *et al.*, 1997, 2000). 만일 환자의 구강 상태를 완벽히 재현하고자 한다면 단순히 치과모형만을 만들어 내는 데서 그치는 것이 아니라 턱관절과 교합 관계 등도 소프트웨어를 통해 재형성 해주어 실제 환자의 구강상태를 가지고 있는 가상 환자를 만들어 내야 할 것이다.

DeLong 등은 최근 이러한 목적아래 일련의 연구들을 진행하여 왔다. 가상 모형 상에서 교합을 분석하기 위하여 필요한 소프트웨어를 만들고 실제로 정확성을 다양한 조건 하에서 비교하여 만족할 만한 결과를 얻어내어 교합기(articulator)의 기능을 소프트웨어 상에서 재현할 수 있음을 보여주었다(Delong *et al.*, 2002a). 또한 가상 턱관절 축을 형성하고 여기에서 발생하는 오류가 교합 접촉에 미치는 영향에 관한 연구도 시행하여 턱관절 축의 오류가 분명히 교합 접촉에 영향을 미치는 것은 하였으나 턱이 아주 적은 각도의 이동하는 경우에만 큰 영향을 미치고 일상적 턱의 운동 범위에서는 별 영향이 없다고 보고하였다(Delong *et al.*, 2002b). 여기서 삼차원적으로 재형성된 아래턱의 치아는 가상 턱관절의 유도(guide)에 의해 위턱의 치아와 만나게 되며 치아 간 접촉, 즉 교합을 재생한다.

지금까지 여러 검증을 통해 삼차원 재구성법을 이용하여 만들어진 가상 모형은 정확성이나 재현성에서 임상적으로 충분히 쓰일 수 있는 것으로 판명되었으며, 실제 환자나 모형에서 측정하기 어려운 값들을 가상 모형을 통해 쉽게 얻을 수 있어 임상적 유용성이 뛰어나다. 따라서 임상적 측정, 비파괴적 진단, 치료 계획 및 결과물 평가 등의 패러다임의 변화를 유도할 것이며 임상만이 아니라 교육 및 연구법에도 응용될 것이다.

비록 이 분야의 국내 연구 상황은 아직 활성화 되어 있지 않으나 점차 관심이 높아져 가고 있다. 비록 아직 고가이기는 하지만 충분한 성능을 가지는 삼차원 스캐너가 지속적으로 개발되고 뒷받침해주는 소프트웨어들이 나오에 따라 국내에서도 여건이 개선되어지고 있다. 국내에서 고성능 삼차원 스캐너의 개발은 아직 외국에 비해 다소 낮은 수준이지만 정밀기계분야에 대한 삼차원 재구성 소프트웨어는 세계적으로 우수한 수준에 있고 충분한 인적 자원이 형성되어 있다. 그리고 세계 최고의 수준에 이른 국내 네트워크 시스템을 적극적으로 활용하면 이러한 시스템은 치의학 분야의 정보전달체계를 확립하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 보인다.

## 결 론

본 연구에서는 이러한 시스템 중 하나로 비접촉식 삼차원 스캐너를 이용하여 최근 국내에서 새롭게 개발된 Autoscan system for dental application™(ASDA; INUS technology INC, Korea)을 사용하여 정확성을 검정해 보았다.

전체 계측치 및 치아크기 계측치와 치아간거리 계측치로 나누어 검정하여 본 결과 모든 방법에서 계측자 요인이나 계측 방법 요인이 측정치의 값에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하였다. 모든 방법에서 유의도는 0.97 이상이었으며 간섭도는 0이었다. 따라서 한 계측자가 2회에 걸친 계측 시행 시 오류가 없었고 계측자간의 오류도 없었고 알지네이트 인상법에 의해 만들어진 복사 모형이나 가상 모형 모두 임상적으로 정확한 값을 갖는다고 볼 수 있다.

이러한 결과를 볼 때 비록 숙련된 의사가 자신의 기준으로 디지털 밀립자를 사용하는 것이 가장 정확한 것 일지 모르나 삼차원 재구성 가상 치과모형을 이용하여 측정할 값이 높은 유의수준을 지니 이용에 문제가 없고 사용의 편의성이나 미래의 가능성 등을 고려할 때 앞으로 더욱 일반화 될 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- Ades AG, Joondeph DR, Little RM, Chapko MK : A long-term study of the relationship of third molars to changes in the mandibular dental arch, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97: 323-335, 1990.
- Bishara SE, Jakobsen JR, Treder J, Nowak A : Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111: 401-409, 1997.
- Brosky ME, Pesun IJ, Lowder PD, DeLong R, Hodges JS : Laser digitization of casts to determine the effect of tray selection and cast formation technique on accuracy, *J Prosthet Dent* 87: 204-209, 2002.



- Dalidjan M, Sampson W, Townsend G : Prediction of dental arch development : an assessment of Pont's Index in three human populations, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107: 465-475, 1995.
- DeLong R, Ko CC, Anderson GC, Hodges JS, Douglas WH : Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts, *J Prosthet Dent* 88: 622-630, 2002a.
- DeLong R, Ko CC, Olson I, Hodges JS, Douglas WH : Helical axis errors affect computer-generated occlusal contacts, *J Dent Res* 81: 338-343, 2002b.
- Gallo LM, Airoidi GB, Airoidi RL, Palla S : Description of mandibular finite helical axis pathways in asymptomatic subjects, *J Dent Res* 76: 704-713, 1997.
- Gallo LM, Fushima K, Palla S : Mandibular helical axis pathways during mastication, *J Dent Res* 79: 1566-1572, 2000.
- Harris EF : A longitudinal study of arch size and form in untreated adults, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111: 419-427, 1997.
- Kojima T, Sohmura T, Nagao M, Wakabayashi K, Nakamura T, Takahashi J : A preliminary report on a computer-assisted dental cast analysis system used for the prosthodontic treatment, *J Oral Rehabil* 30: 526-531, 2003.
- Kuroda T, Motohashi N, Tominaga R, Iwata K : Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110: 365-369, 1996.
- Marcel TJ : Three-dimensional on-screen virtual models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119: 666-668, 2001.
- Mok KH, Cooke MS : Space analysis : a comparison between sonic digitization (DigiGraph Workstation) and the digital caliper, *Eur J Orthod* 20: 653-661, 1998.
- Motohashi N, Kuroda T : A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery, *Eur J Orthod* 21: 263-274, 1999.
- Peters MC, DeLong R, Pintado MR, Pallesen U, Qvist V, Douglas WH : Comparison of two measurement techniques for clinical wear, *J Dent* 27: 479-485, 1999.
- Sohmura T, Kojima T, Wakabayashi K, Takahashi J : Use of an ultrahigh-speed laser scanner for constructing three-dimensional shapes of dentition and occlusion, *J Prosthet Dent* 84: 345-352, 2000.
- Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Denny JM, Fischer JR Jr : A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method, *Angle Orthod* 21: 351-357, 2001.
- Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA : Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models, *Angle Orthod* 73: 301-306, 2003.

## — Abstract —

## An Evaluation of Validity of Measurements using Digital Caliper and Three-dimensional Virtual Dental Models

Joo-Hoon Lee, Ki-Suk Paik, Mi-Sook Chang and Seung-Pyo Lee\*

Department of Oral Anatomy, College of Dentistry, Seoul National University

The measurement of tooth and the space analysis of dental study models are essential for precise diagnosis and treatment plan for orthodontic or prosthodontic cases. Traditionally, these have been done on study models with instruments, such as a divider or a caliper. At present, three-dimensional (3-D) virtual dental models are available for clinicians, supplemented by dedicated software for performing needed measurements on them. For example, Autoscan system for dental application™ (ASDA; INUS technology INC, Korea) is one of these systems using a non-contact 3-D scanner. The accuracy of this system has been tested and validated by the Korea Testing Laboratory. However, the outline of dental models is not simple and has many undercuts. Therefore, we sought to evaluate the accuracy of measuring models using digital calipers or ASDA to compare these two techniques.

From each ten study models, 10 duplicated stone and 10 virtual models were generated. Virtual models were scanned from duplicated model because of revival of clinical situation. Then, central incisors, canines, first molars, arch (intercane and intermolar) width of original model were measured by a digital caliper, and the same items of virtual models were measured by software. All measurements were performed twice by two experienced observers. Data were statistically analyzed by 2-way Analysis of Variance (2-way ANOVA, SPSS Ver. 11.5).

The results from this study have demonstrated that virtual model is highly valid and reliable for measuring both tooth size and arch width. Although some values of virtual model are higher or lower than original dental model, the significance value is still higher than 0.97.

A digital caliper seems to be a more precise instrument to perform a scientific work, ASDA's accuracy is clinically acceptable. Furthermore, considering its present advantages and future possible applications, the examined or equivalent 3-D virtual models may become the standard for clinical use.

**Key words:** 3 dimensional reconstruction, Virtual dental model, Measurement, Accuracy