韓國地形空間情報學會論文集 第5卷 第2號 1997年 12月 pp. 111-119

수치영상에 의한 인체형상의 3차원 정확도 분석

The 3 Dimension Accuracy Analysis of Human Body Using the Digital Image

강 준 묵* 배 상 호** 주 영 은***
Kang, Joon-Mook Bae, Sang-Ho Joo, Young-Eun

要 旨

인체에 대한 정밀측정과 분석체계의 구축은 인체공학 연구에 중요한 의미를 지니고 있다. 본 연구는 인체형상 모니터링을 위한 수치영상의 정확도 향상에 관한 연구로서 다양한 기하학적 조건에 따른 수치영상의 정확도를 분석하고 도출한 최적의 촬영조건을 인체형상에 적용하였다. 표준편차 1mm 이내의 3차원 수치자료를 획득하여 다양한 공간분석과 3차원 모니터링을 수행함으로써 인체공학 분야에 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

The precise measurement and the construction of analysis system for human body is very important in human engineering fields. As this study is about to the accuracy improvement of digital image for human body monitoring, we apply the optimum exposure condition which is decided through the accuracy analysis of digital images those are acquired at the various exposure station to the human body model. We acquired digital data in 1mm accuracy and carried out various spatial analyses. We expect the results of this study to offer the fundamental source data for the human engineering fields.

1. 서 론

최근 첨단 기기의 개발과 자료의 수치화 과정은 각종 분야에서 수치정보의 활용을 날로 증대시키고 있으며 인체공학 분야에서도 정밀 수치자료 획득과 그 활용에 관한 연구가 활발히 진행중이다. 인체에 대한 3차원 모니터링을 위해서는 정밀실측 및 분석기법의 개발이 필수적이며 최근 자체저장 능력과 고해상도 CCD(Charge-Coupled Device) 배열(array)을 갖춘 디지털 카메라의 개발은 수치영상을 이용한 사진측량의 활용을 증대시키고 있다. 수치영상은 디스플레이 및 좌표측정이 컴퓨터 상에서 이루어지므로 처리시스템이 안정적이며 측정에 적합하도록 영상을 재구성할 수 있고 매체의 손상 없이 저장이 가능하다.

본 연구에서는 인체형상의 3차원 모니터링을 수행하기 위해 고해상도의 디지털 카메라를 이용하여 다

* 충남대학교 토목공학과 교수
** 충남대학교 토목공학과 박사과정
*** 충남대학교 토목공학과 석사과정

양한 촬영조건별 영상을 획득하고 타겟크기, 중복도, 수렴각, 촬영거리 등에 따른 정확도를 분석하였다. 도출한 최적의 촬영조건을 마네킨 상체에 적용하여 원형 스트립(strip)을 구성하고 도심(centroid) 측정기법을 이용한 동일좌표계 상에서의 3차원 수치자료 획득과 사용기준점에 따른 스트립 정확도 분석을 수행하였다. 구축한 수치자료를 이용하여 단면, 체적, 표면적 계산 등의 다양한 정량적 공간분석(spatial analysis)과 3차원 모니터링을 수행하므로써 수치사진측량의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

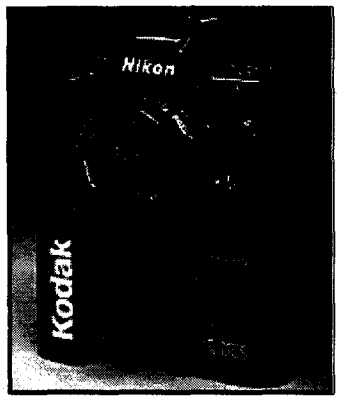


그림 2.1 Kodak DCS200
디지털 카메라

2. 시스템 구축 및 정확도 분석

2.1 수치영상 분석 시스템

초기의 CCD 카메라는 자체저장 능력이 없어 컴퓨터와의 연결을 통해서만 영상획득이 가능하였다. 그러나 최근 자체저장 능력을 가진 고해상도 디지털 카메라의 개발과 대용량 고속컴퓨터의 발전은 영상의 실시간 분석을 가능하게 하고 있다. 본 연구에서는 고해상도의 수치영상 획득과 분석을 위해 1524pixel×1012pixel interline transfer 배열의 CCD 칩을 이용한 Kodak DCS200 디지털 카메라(그림 2.1)와 S-VGA 그래픽 보드를 갖춘 586PC를 이용하여 영상분석을 위한 시스템을 구축하였다. 그리고 부화소(sub-pixel) 좌표를 측정하기 위해 타겟의 밝기값을 정보로 이용한 임계값(threshold) 기법과 도심 측정기법을 프로그램화하였다. 임계값 기법과 도심 측정기법의 알고리즘은 식 (2.1)과 같다.

임계값 = (최소밝기값 + 평균밝기값) / 2

$$x = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} j \cdot g_{ij}$$

$$y = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} i \cdot g_{ij} \qquad (2.1)$$

$$M = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} g_{ij}$$

g_{ij} : grey values
i, j : row and column of pixel
x, y : image coordinate
n, m : search windows area

2.2 수치영상 획득

수치영상의 해석정확도는 부화소 측정기법과 촬영조건에 따라 많은 영향을 받는다. 이에 본 연구에서는 최적의 촬영조건 도출을 위해 도심 측정기법과 연관하여 다양한 촬영조건을 수립하여 .TIFF 파일 포맷의 흑백(256 greylevel) 수치영상을 획득하였다.

타겟이미지의 상측정 정확도를 높이기 위해 강한 밝기강도를 보이는 반사타겟(retro-reflective target)을 사용하였으며 도심 측정기법에 직접적인 영향을 미치는 타겟 크기에 따른 정확도 분석을 위해 5pixel, 7pixel, 9pixel, 11pixel, 13pixel 크기의 원형타겟 20점씩을 제작·배치하였다. 촬영거리 2m, 셔터속도 1/2초, 노출 f/8, 촬영기선 0.352m(중복도 60%), 그리고 타겟이미지의 강한 대조를 유도하기 위해 스트로브(strobe)를 이용한 직각수평촬영을 실시하였다.

그리고 중복도 변화에 따른 정확도 분석을 위해 동대상면에 대해 촬영기선을 0.440m와 0.176m로 변화시켜 직각수평촬영에 의한 중복도 50%와 80%의 입체영상을 획득하였다(그림 2.2 aa_1 ~ aa_3).

수렴각 변화에 따른 정확도 분석을 위해 촬영거리

2m에서 원호상 수렴각을 30° ~ 120° 까지 30° 씩 변화시켜 수렴촬영을 실시하였다(그림 2 $b_1b'_1$~$b_4b'_4$). 그리고 촬영거리의 증가에 따른 정확도 분석을 위해 5m, 7m, 9m의 촬영거리에서 중복도 60%로 직각수평 촬영하였으며(그림 2.2 $c_1c'_1$~$c_3c'_3$) 사용한 원형타겟은 9pixel(촬영거리별 Ø11mm, Ø16mm, Ø21mm)의 타겟이미지로 획득되도록 제작·배치하였다.

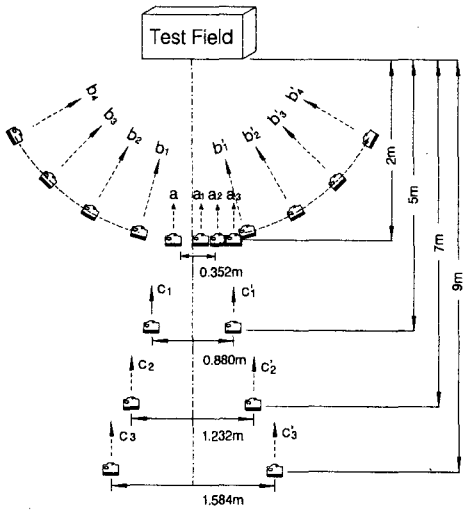


그림 2.2 촬영계획도

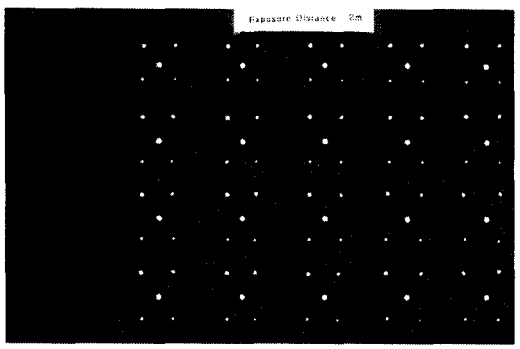


그림 2.3 타겟크기별 분석을 위한 수치영상

2.3 정확도 분석

인체형상 모니터링을 위한 최적의 촬영조건 도출을 위해 타겟크기, 중복도, 수렴각, 그리고 촬영거리별 정확도를 분석하였다.

2.3.1 타겟크기

도심 측정기법을 이용한 부화소 측정기법은 타겟이미지의 밝기값을 정보로 사용하기 때문에 타겟의 크기는 상좌표 측정정확도에 많은 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 도심 측정기법에 적합한 원형타겟의 크기를 결정하고자 5pixel~13pixel의 타겟 크기별 정확도를 분석하였다.

표 2.1은 타겟의 크기별 X축, Y축, Z축의 평균표준오차와 3차원 위치오차를 나타낸 결과이며 그림 2.4는 3차원 위치오차를 도시한 것이다. 타겟크기가 9pixel에서 5pixel로 감소하거나 13pixel로 증가함에 따라 X축, Y축, Z축에 대한 표준오차는 각각 20%, 10%, 40% 정도 증가하는 양상을 보였다. 이는 타겟의 크기가 9pixel 이하로 적어질 경우 타겟의 밝기정보가 부족해지고 그 이상의 경우는 원형타겟에 형상왜곡이

표 2.1 타겟크기별 해석정확도

Target Size	Average Standard Error(mm)			
	X	Y	Z	P^T
5pixel	0.0247	0.0220	0.2035	0.2062
7pixel	0.0229	0.0202	0.1866	0.1891
9pixel	0.0200	0.0203	0.1494	0.1522
11pixel	0.0241	0.0238	0.2157	0.2183
13pixel	0.0233	0.0222	0.2066	0.2091

$$P^T = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

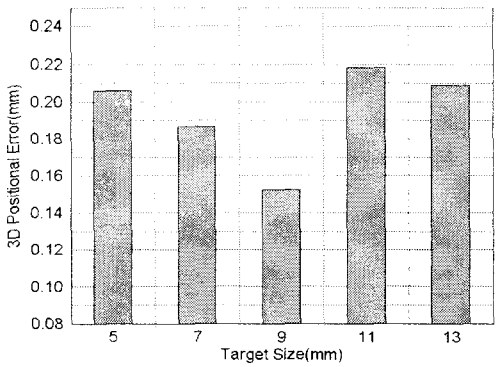


그림 2.4 타겟크기별 3D 위치오차

발생되어 상좌표의 측정정확도를 저하시키는 것으로 사료된다. 그러므로, 도심 측정기법을 이용한 부화소 좌표측정은 9pixel 크기의 원형타겟을 사용하는 것이 적합할 것이다.

2.3.2 중복도

수치영상을 이용하여 중복도 변화에 따른 정확도를 분석한 결과, 촬영거리 2m에서 50%, 60%, 80%의 중복도 변화에 따른 X축, Y축, Z축에 대한 평균표준오차와 3차원 위치오차는 표 2.2와 같다.

중복도의 변화에 따른 해석정확도는 기선거리비(B/H)의 영향을 받으며 3차원 위치오차는 중복도가 80%에서 60%, 50%로 각각 감소함에 따라 40%, 50% 정도의 감소 양상을 보였다(그림 2.5)

표 2.2 중복도별 해석정확도

Overlap	Average Standard Error(mm)			
	X	Y	Z	P
50%	0.0185	0.0192	0.1430	0.1455
60%	0.0200	0.0203	0.1494	0.1521
80%	0.0164	0.0400	0.2676	0.2711

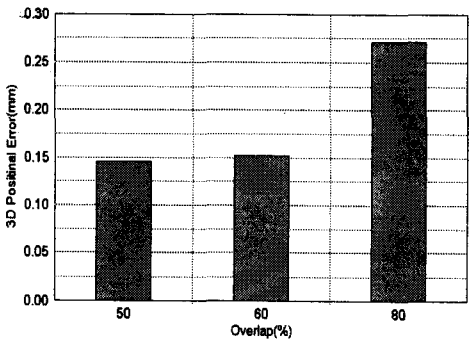


그림 2.5 중복도별 3D 위치오차

2.3.3 수렴각

30° ~120° 범위내의 수렴각 변화에 따른 해석정확도를 비교하기 위해 수렴각을 30° 씩 증가시켜 이에 대한 오차분석을 실시하였다.

표 2.3은 촬영거리 2m에서 30° ,60° ,90° ,120° 의 수렴각 변화에 따른 X축, Y축, Z축에 대한 평균 표준오차와 3차원 위치오차를 분석한 결과이며 그림 2.6은 각 축에 대한 평균표준오차를 도시한 결과이다.

표 2.3 수렴각의 변화에 따른 해석정확도

convergence angle	Average Standard Error(mm)			
	X	Y	Z	P
30°	0.0176	0.0163	0.0590	0.0637
60°	0.0188	0.0175	0.0368	0.0449
90°	0.0227	0.0165	0.0239	0.0369
120°	0.0339	0.0177	0.0221	0.0442

수렴각이 30° 에서 90° 로 증가하면서 X축과 Y축에 대한 표준오차는 거의 유사한 양상을 보이나 Z축에 대한 표준오차는 60%정도의 오차 감소 양상을 보였다. 또한 수렴각이 90° 보다 커짐에 따라 90° 를 경계로 표준오차가 증가하는 양상을 보였다.(그림 2.6) 표 2.3에서의 3차원 위치오차 분석결과도 수렴각 90° 에서 보다 나은 정확도를 보였으므로 원호상의 최적 수렴각은 90° 내외가 타당하리라 사료된다.

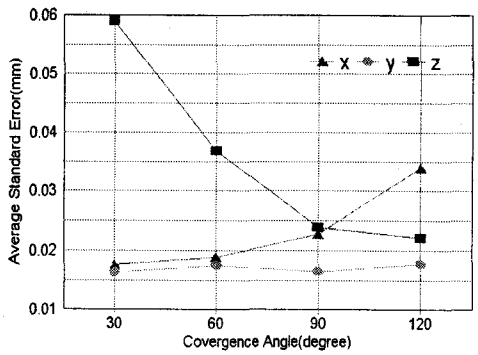


그림 2.6 수렴각 변화에 따른 표준오차

2.3.4 촬영거리

촬영거리의 변화에 따른 해석정확도를 비교하기 위해 2m, 5m, 7m, 9m에서 획득한 수치영상에 대해 정확도 분석을 실시하였다. 촬영거리가 2m에서 9m로 증가함에 따라 X, Y, Z축에 대한 표준편차가 증가하는 양상을 나타내었다(표 2.4) 따라서 촬영거리는 수치영상의 해석정확도에 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

표 2.4 촬영거리별 해석정확도

Exposure Distance	Average Standard Error(mm)			
	X	Y	Z	P
2m	0.0200	0.0203	0.1494	0.1521
5m	0.0497	0.0716	0.5603	0.5670
7m	0.0989	0.1164	0.7332	0.8698
9m	0.1025	0.1151	0.8949	0.9081

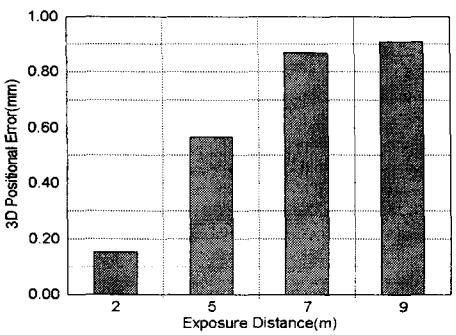


그림 2.7 촬영거리별 3D 위치오차

3. 인체형상 모니터링

3.1 촬영망 구축 및 기준점 측량

수치영상 분석을 통한 인체형상의 모니터링을 수행하기 위해 마네킨 상체를 대상물로 선정하였다. 인체형상의 정면 4m 앞에 원점 A(0,0,0)를 설정하고 기선방향을 X축, 높이방향을 Y축, 촬영방향을 Z축으로 하는 3차원 좌표계를 설정하였다(그림 3.1) 타겟은 9pixel의 크기로 제작하여 대상물의 全面에 16점의 기준점과 300여 점의 미지점을 고른 분포로 배치하였고 기준점들에 대해 3차원 측정시스템(Mono Mobile 3D Station)을 이용하여 기준점 측량망 구성과 동시에 원점으로부터 동일좌표계의 상대적 좌표성과를 획득하였다.

기복이 있는 대상물의 全面해석을 위한 원형 스트립의 구성을 위해 12점의 촬영점을 선정하였다(그림 3.1) Kodak DCS200 디지털 카메라의 영상포맷은 일반 필름포맷에 비해 화각이 1/2정도 작으므로 적정 노출의 영상을 획득하기 위해 촬영거리 2.7m, 셔터속도 1/2초, 노출 f/8의 촬영조건으로 야간에 스트로브를 이용하여 촬영하였다.

이로서, 카메라 자체의 하드디스크에 저장된 .KC2 파일 포맷의 원시영상(1.56Mb) 12매를 Future Domain Controller에 의해 작동되는 SCSI(Small Computer System Interface) 포트와 Aldus Photostyler 프로그램을 이용해 .TIFF파일 포맷으로 PC에 변환·저장하였다.

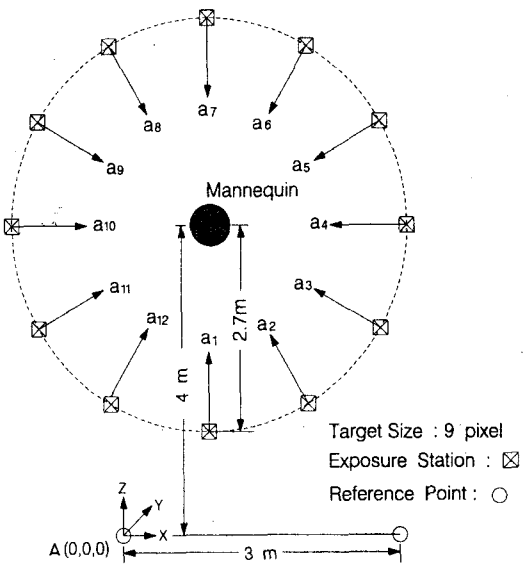


그림 3.1 인체형상 촬영계획도

3.2 원형 strip 해석정확도

대상물의 全面해석을 위해 인체형상 정면(그림 3.1 a_1)을 기준으로 기준점 사용에 따른 오차전파 양상을 분석하였다. 정면방향 4점의 기준점과 측면(그림 3.1 a_4, a_{10}), 배면(그림 3.1 a_7)방향 각 4점씩의 기준점을 사용한 경우(case 1), 정면방향의 4점 기준점과 측면, 배면방향 각 1점씩의 연결점을 사용한 경우(case 2), 정면방향 4점의 기준점과 배면방향 1점의 연결점을 사용한 경우(case 3)로 구분하여 각 축에 대한 평균표준편차와 3차원 위치오차를 산출하였다(표 3.1) 그림 3.2는 마네킨 전면에 배치한 기준점의 사용에 따른 3차원 위치오차를 도시한 결과이다.

표 3.1 기준점 사용에 따른 원형strip 해석정확도

	Average Standard Error(mm)			
	X	Y	Z	P
case 1	0.1702	0.0738	0.1865	0.2631
case 2	0.1845	0.0826	0.2075	0.2897
case 3	0.2242	0.0931	0.2233	0.3298

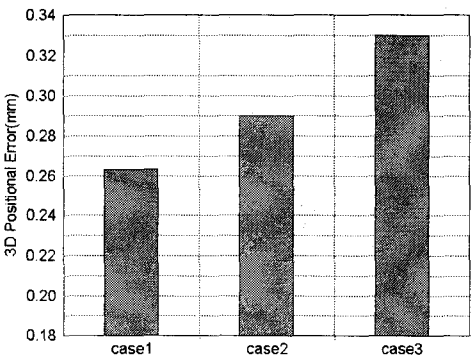


그림 3.2 기준점 사용에 따른 3D 위치오차

원형 strip해석시 전면의 기준점을 모두 사용하여 해석한 경우가 기준면에 배치한 기준점과 타면의 연결점을 사용하여 해석한 경우 보다 나은 정확도를 나타내었지만 case1, case2, case3 모두 1mm 이내의 유사한 3차원 위치오차를 나타내었다. 따라서 대상물 전면의 기준점 배치가 어려울 경우 일면의 기준점과 타면의 연결점을 사용하여 해석한 case2 또는 case3의 해석방법이 유용할 것으로 사료된다.

3.3. 공간분석

3.3.1 TIN 구축

불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network,TIN)은 표본측점에서 정점으로 삼각형 요소를 만들어 공간분석(spatial analysis)을 위한 기본도(basemap)로 활용된다. 그림 3.3은 마네킨 상체에 배치한 영상해석점들(300여점)의 동일좌표계상에서의 3차원 좌표를 토대로 TIN을 형성한 결과이다. 그림 3.4는 TIN을 기본도로 하여 인체형상에 대한 5mm 등고선도를 작성한 것으로서 MTA(Modeler Terrain Analyst) 프로그램을 이용하였다. 이러한 결과는 의학 또는 의류학 분야에서 인골의 변화와 체형분석 등에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

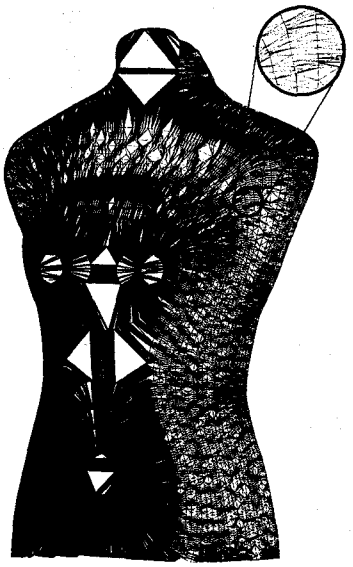


그림 3.3 TIN 모델

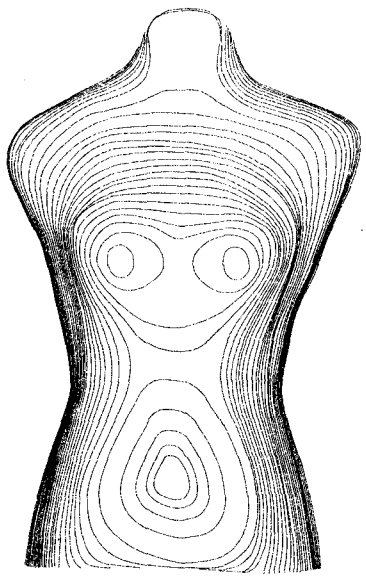


그림 3.4 등고선도(정면)

3.3.2 단면분석

인체형상 중요 부위의 단면분석 결과는 인체의 균형감과 비례감, 그리고 두께, 너비 등의 정량적 분석에 이용될 수 있다. 본 연구에서는 목, 어깨, 가슴, 허리, 엉덩이 부위의 5개 횡단면과 척추, 양쪽 가슴을 지나는 3개의 종단면(그림 3.5)에 대해 단면분석을 실시하여 그림 3.6, 그림 3.7와 같은 인체형상에 대한 종·횡단면도를 완성할 수 있었다.

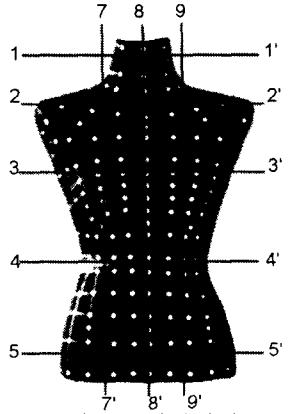


그림 3.5 단면위치도

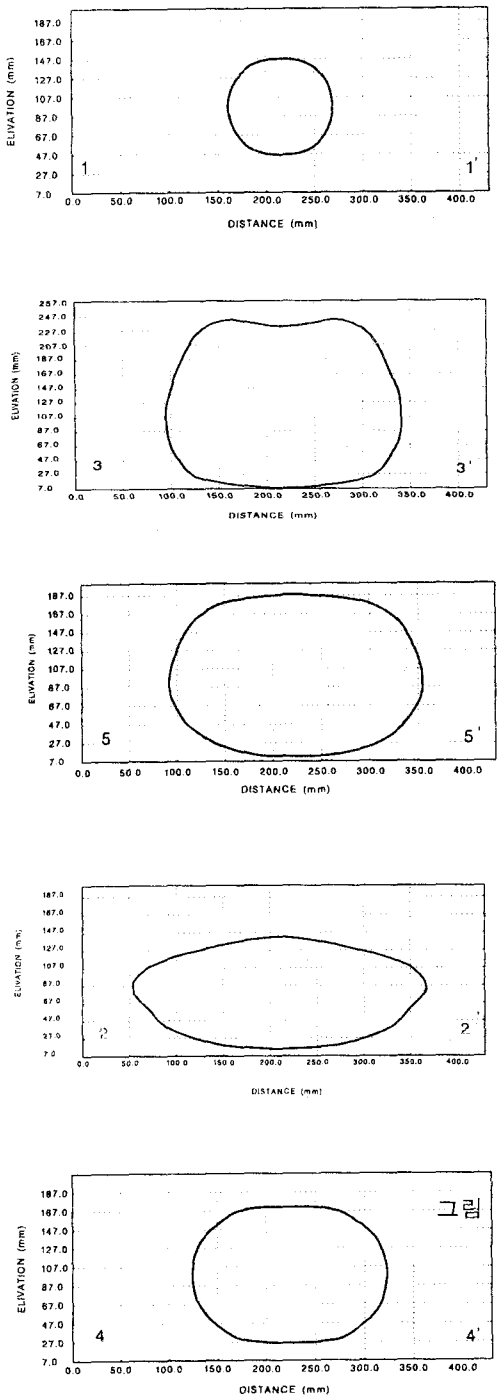
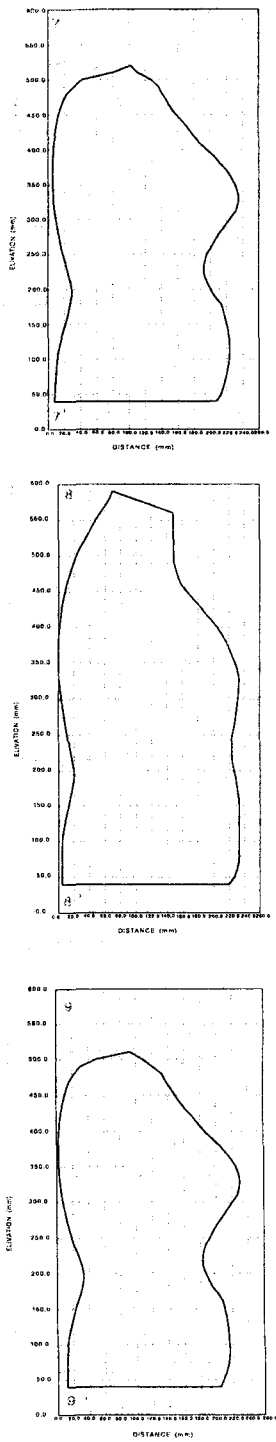


그림 3.6 횡단면도



3.7 종단면도

3.3.3 체적 및 단면적 산정

불규칙 삼각망 표면사이 공간크기를 계산하여 1.92 $\times 10^4$ cm^3정도의 체적을 계산할 수 있었으며 불규칙 삼각망들을 구성하고 있는 삼각형들의 면적을 계산하여 1.68×10^3 cm^2정도의 표면적을 산출하였다.

3.3.4 모델링

컴퓨터 그래픽 기술의 발달로 렌더링 기법을 이용한 3차원 모델링이 수행되면서 대상물의 형상재현뿐 아니라 조형미 분석이 가능하게 되었다. 그림 3.8와 그림 3.9는 이러한 렌더링을 기법을 이용하여 대상물의 정면과 경사방향에서의 모델링 결과를 나타낸 것이다.

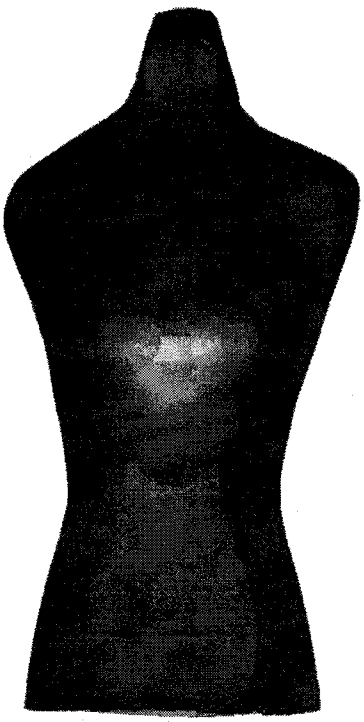


그림 3.8 front view의 모델링

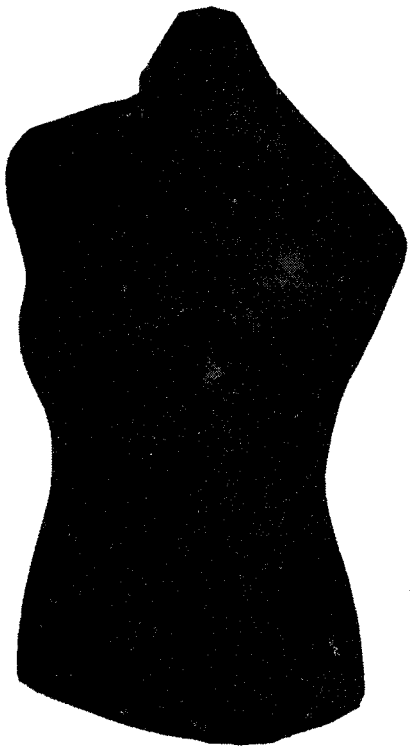


그림 3.9 iso view의 모델링

4. 결 론

1. 도심 측정기법을 이용한 부화소 좌표측정을 위해서는 9pixel 정도 크기의 원형타겟 사용이 적절함을 알 수 있었다.

2. 중복도와 촬영거리의 변화에 따른 정확도 분석결과, 기선거리비가 증가함에 따라 해석정확도가 향상되고 촬영거리가 증가함에 따라 표준오차가 증가함을 알 수 있었다. 또한 수렴각을 변화시켜 해석한 결과 90° 에서 가장 향상된 정확도를 나타내었다.

3. 全周해석을 요하는 대상물의 원형 스트립 해석시, 한면의 최소 기준점과 다른 면의 연결점을 사용하여 全周에 기준점을 배치하여 해석한 경우에 근접한 정확도를 획득할 수 있었다.

4. 수치사진측량에 의해 인체형상에 대한 수치자료를 구축하여 단면분석, 면·체적 계산 등의 정량적 분석과 3차원 모니터링을 수행할 수 있었으므로, 인체공학분야의 기초자료로서 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. J.C.Trinder, "Precision of Digital Target Location", Photogrammetric Engineering & Remote Sening, Vol.55, No.6, 1989, pp.883-886
2. 이진덕, "산업정밀측량을 위한 수치영상을 이용한 근접사진측량의 효율적 응용", 한국측지학회, 제14권, 제1호, 1996, pp.17-25
3. 강준묵, 윤희천, 배상호, "수치정보에 의한 문화재의 공간분석", 한국측지학회, 제14권, 제2호, 1996, pp.159-166
4. 윤희천, "GIS에 의한 토지의 효율적 개발에 관한 연구", 충남대학교 박사학위논문집, 1996
5. Jürgen Dold, "Influence of Large Targets on the Results of Photogrammetric Bundle Adjustment", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXI, Part B5, Vienna 1996, pp.119-123
6. K.B.Atkinson, "Close Range Photogrammetry and Machine Vision", Whittles, 1996. pp.52-54 pp.129-138