



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

일반 디지털카메라를 이용하여
표정점과 기선길이의 변화에 따른 3
차원 수치사진측량의 정확도 연구

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

외후 우르차이흐

2009年 8月

일반 디지털카메라를 이용하여
표정점과 기선길이의 변화에 따른
3 차원 수치사진측량의 정확도 연구

指導教授 李 秉 杰

외후 우르차이흐

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2009年 月

洪宗完의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2009年 8月

The study of digital photogrammetry accuracy based
on the different numbers of control points and
the different distances of base line using
general digital camera

Uurtsairakh Oikhuu

(Supervised by professor Byung-Gul Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Engineering

2009.

This thesis has been examined and approved

Thesis director, Sang-Yeol Park, Prof. of Civil Engineering

Thesis director, Dong Wook Lee, Prof. of Civil Engineering

Thesis director, Byung-Gul Lee, Prof. of Civil Engineering

AUGUST. 2009

Department of Civil & Ocean Engineering

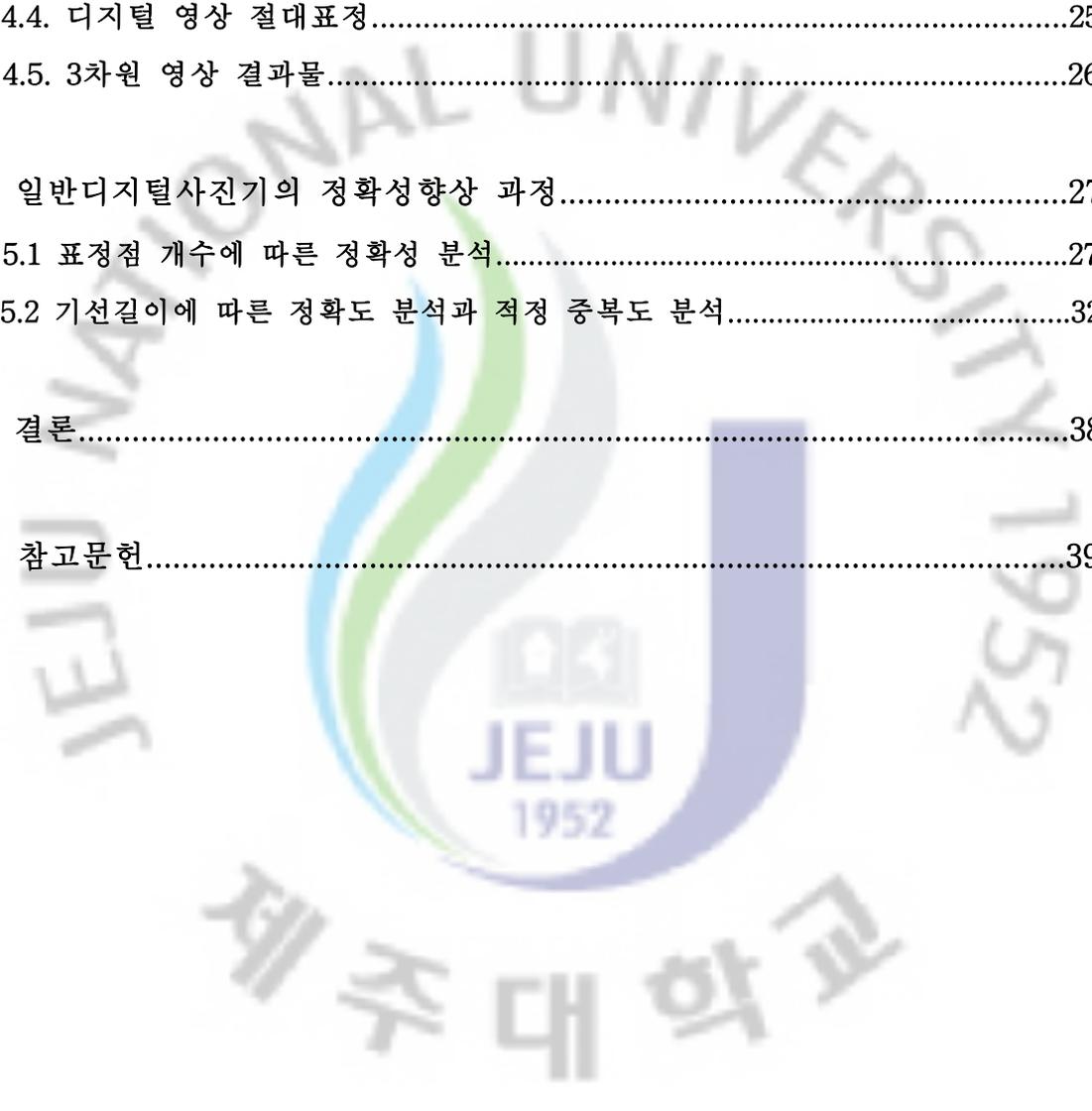
GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Summary	vi
1. 서론.....	1
1.1 연구 연혁 및 목적.....	1
1.2 연구 배경 및 동향.....	2
2. 이론적 배경.....	3
2.1 사진측량의 정의.....	3
2.2 연직사진의 기하(Geometry of Vertical Photos).....	3
2.3 축척(Scale).....	4
2.4 3차원 conformal 좌표 변환.....	5
2.4.1 회전.....	6
2.5 사진 입체시(Viewing Photographs Stereoscopically).....	11
2.6 시 차.....	13
2.7 과고감.....	14
2.8 시차 방정식.....	15
2.9 시차차를 이용한 높이 계산(Elevations by Parallax Difference).....	17
3. 대상물 및 사용장비.....	18
3.1 대상물선정.....	18
3.2 사용장비.....	18
3.2.1 거리측량장비.....	18
3.2.2 일반디지털카메라.....	19
3.2.3 사진측량을 위한 장비 제안.....	19
3.2.4 표정점 측정을 위한 장비 제안.....	20

4. 수치사진을 이용한 DEM추출 과정.....	22
4.1. 영상획득 및 처리절차.....	22
4.2. 디지털 영상 내부표정.....	24
4.3. 디지털 영상 상호표정.....	24
4.4. 디지털 영상 절대표정.....	25
4.5. 3차원 영상 결과물.....	26
5. 일반디지털사진기의 정확성향상 과정.....	27
5.1 표정점 개수에 따른 정확성 분석.....	27
5.2 기선길이에 따른 정확도 분석과 적정 중복도 분석.....	32
6. 결론.....	38
7. 참고문헌.....	39



- List of Tables -

Table 3-1 카메라 제원.....	19
Table 4-1 사진 정보.....	23
Table 5-1 표정점 측정표.....	27
Table 5-2 측정한 표정점과 DEM영상간의 오차.....	31
Table 5-3 기선의 길이에 따른 오차.....	33
Table 5-4 중복도에 따른 오차.....	34



- List of Figures -

Fig 2-1 수직사진으로부터 도출한 지상좌표.....	4
Fig 2-2 수직사진의 지상좌표.....	4
Fig 2-3 XYZ와 xyz의 3차원 좌표체계(오른손 법칙).....	6
Fig 2-4 3개의 연속된 회전.....	7
Fig 2-5 x' 축에 대한 ω 회전.....	7
Fig 2-6 y_1 축에 대한 ϕ 회전.....	8
Fig 2-7 z_2 축에 대한 k 회전.....	9
Fig 2-8 상의 위치변화에 따른 대상물 거리의 변화.....	11
Fig 2-9 두 촬영점에서의 영상.....	12
Fig 2-10 입체시.....	12
Fig 2-11 시차의 원인.....	13
Fig 2-12 과고감.....	14
Fig 2-13 수직사진의 기하학.....	15
Fig 2-14 시차차를 이용한 높이 계산.....	17
Fig 3-1 연구대상물.....	18
Fig 3-2 거리측정 장비 (토탈스테이션).....	18
Fig 3-3 촬영카메라.....	19
Fig 3-4 수직사진촬영을 위한 측량기기.....	20
Fig 3-5 표정점 측량기기.....	21
Fig 4-1 3차원 영상획득 절차.....	22
Fig 4-2 촬영 영상.....	23
Fig 4-3 수치표고모델 생성과정.....	23
Fig 4-4 내부표정 영상.....	24
Fig 4-5 상호표정 영상.....	25
Fig 4-6 절대표정 영상.....	25
Fig 4-7 CAD DEM생성물.....	26
Fig 4-8 3차원 영상.....	26

Fig 5-1 표정점 개수 5개, 9개, 12개.....	28
Fig 5-2 표정점 개수 16개, 20개, 24개.....	28
Fig 5-3 표정점 개수 28개, 30개.....	28
Fig 5-4 표정점 수에 따른 DEM-1.....	29
Fig 5-5 표정점 수에 따른 DEM-2.....	29
Fig 5-6 표정점 수에 따른 DEM-3.....	30
Fig 5-7 표정점 수에 따른 DEM-4.....	30
Fig 5-8 표정점 수에 따른 표준편차 값.....	31
Fig 5-9. 사진의 중복도.....	32
Fig 5-10. 기선길의 변화에 따른 오차.....	33
Fig 5-11. 기선의 길이의 변화에 따른 DEM생성물-1.....	34
Fig 5-12. 기선의 길이의 변화에 따른 DEM생성물-2.....	34
Fig 5-13 중복도에 따른 오차의 표준편차.....	35
Fig 5-14 적정중복도 확인을 위해 생성한 DEM-1.....	36
Fig 5-15 적정중복도 확인을 위해 생성한 DEM-2.....	36
Fig 5-16 적정중복도의 정확성분석.....	37

Summary

Photogrammetry is defined by the American Society of Photogrammetry as the art, science, and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment through processes of recording, measuring, and interpreting photographic images and patterns of recorded radiant electromagnetic energy and other phenomena.

In the photogrammetry, it is very expensive to conserve the film and process images using original surveying camera. Fortunately digital camera can solved such problems and also can increase the quality of the image. So using digital images, we can decrease the cost and it is easy to save images with good quality. It also has a good point that can immediately check the image. According to this, recently many researches have been performed using digital camera to generate 3D model. In the process of generating 3D model, there are many errors need to be rectified.

In this study, to generate more precise digital elevation model, we will use many cases of control point and different overlay area between images. To do this, we first take images from the plaster cast using general digital camera, and then using the image station program perform interior orientation, relative orientation, and exterior orientation. Interior orientation is the reconstruction of a bundle of image rays with respect to the projection center. The geometric influence of the lens system is also calibrated as part of the interior orientation process. Relative orientation is the recovery of the position and orientation of one imaging system relative to another from correspondences between two or more ray pairs. In absolute orientation, the ground coordinates of all control points must be first input to the computer. The operator then places the reference mark stereoscopically on corresponding images of the ground control points. Through the above process we can generate the DEM. To estimate the

accuracy of the DEM, we used three methods. First one is that we compared the precision of the DEM generated in different numbers of control points. After this, we knew that the precision of the DEM is more correct when the number of control points is 24 and we also found that if the control points are more than 24, there is no obvious change in the accuracy. Second one is that we compared the precision of the DEM generated in different overlay areas between images and then we also knew that the precision of the DEM is more correct when the overlay area accounts for 63%. Finally, we compared the accuracy of the DEM generated in different distances between camera and object, and we knew that the proper overlay area is 63% when the distances are 1.22m and 1.5m between the camera and object respectively.

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

전자파 에너지의 발산과 그 밖의 현상을 측정하는 기록하는 과정을 통하여 물리적인 대상물과 환경의 수치정보와 속성정보를 도출하는 공학이자 과학예술이 사진측량이다. 그리스의 철학자 아리스토텔레스(Aristotle: BC 384-322)는 상의 투영을 언급 했고, 레오나르도 다 빈치(Leonardo da Vinci:1452-1519)는 광학과 기하학과의 관계를 탐구한 바 있다. 사진측량학은 1839년 프랑스인 Daguerre가 사진술을 발명한 이후 1840년경 사진측량학의 시조라 불리우는 프랑스인 Laussedat가 지형도제작에 사진을 이용하게 되었다. 제1차 세계대전을 계기로 항공기의 비약적인 발달과 각종 고성능 광학기세의 제작으로 사진측량의 비약적 발전이 있었다. 그 이후 컴퓨터과학의 진보로 복잡하고 시간이 많이 소요되는 수치영상처리기법의 연구가 진행되었다. 기존의 필름영상인 측량사진기에 의한 측량에서 디지털 사진측량학으로 그 연구의 이동이 옮겨간 것이다. 그리고 요즘 디지털 측량용 사진기가 아닌 일반 디지털 사진기를 이용하여 3차원 변위에 대한 연구가 시작되고 있다.

1.2 연구 연혁 및 동향

사진측량은 1839년 프랑스인 Daguerre가 사진술을 발명한 이후 19C 중엽 프랑스인 Laussedat에 의해 측량에 이용되기 시작하였다. 독일의 건축가 Albrecht Meydenbauer에 의해 “사진측정학”이 소개되었고, 1867년에 처음으로 건축물에 대한 사진측량이 실시되었다. 수치사진측량은 전산기술의 발달과 더불어 구 가능성과 실현성을 넓혀가고 있으며, 특히 사진측량의 일련의 과정에 대한 자동화를 목적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 이에 대한 연구는 1959년에 소련의 Sputnik 위성이 발사된 이래 시작되어, 1959년 Hobrough에 의해 연구가 기틀이 마련되었으며, 1970년대 중반부터 그 유용성과 활용성을 제시하기 시작했다. 또한, 1980년대 말 이후에 이르러 소축척의 항공사진을

이용한 정량적 위치결정을 위한 연구가 수치측량분야에서 진행되었다. 1990년대 들어 입체영상의 동일점을 탐색하기 위한 여양정합 및 수치영상처리기법 등에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며 전파기술의 발달과 더불어 보다 간편하고 경제적인 영상자료의 획득, 처리 및 저장이 가능한 매체로서 CCD의 사용이 거론되면서 그 가능성과 실현성을 넓히고 있으며, 특히 사진측량의 일련의 과정에 대한 자동화를 목적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 1970년대부터 사진측량에 대한 연구가 시작되어 유복모 (1972), 박운용 (1984), 야인태 (1984), 이재기 (1986), 유환희 (1988) 등에 의해 항공사진측량 및 지상사진측량에 대한 연구가 활발히 진행되어 사면해석, 경사사진에 의한 해석적 위치결정, 다중 근거리 측량에 의한 피사체 정밀해석, 비측량용 사진기에 의한 피사체 정밀해석, 과대오차 제거방법 및 3차원변형 측량에 관한 연구 등이 수행되었으며, 1990년대 이르러 조기성(1990), 이현직(1992), 등에 의하여 위성영상으로부터 지형정보를 취득하기 위해 수치사진측량 방법을 적용하여 3차원 위치결정의 향상에 대한 연구가 진행되었다. 또한 수치사진측량에 대한 연구가 활발해지면서 CCD 사진기의 측량용으로서의 활용성에 관한 연구가 진행되어, 안기원 (1994)은 CCD 사진기 스캐너를 이용하여 촬영된 사진이나 필름의 스캐닝에 따르는 기하학적 왜곡을 보정하였으며 유복모 등(1997)은 CCD 사진기를 이용하여 현장에서 신속하게 근거리 수치사진측량과정을 수행할 수 있도록 3 차원 렌즈검정 모형식의 구성하였으며, 문승주 (2007)은 디지털 카메라를 이용한 취득영상의 수치지도 정확도 분석 등에 관한 연구를 진행하였다.

기존 측량용사진기에 의한 필름영상의 보존비용과 영상처리에 의한 비용이 든다. 디지털 영상을 이용하면 이런 비용이 절감되고 영상의 저장과 개선이 보다 용이하며 바로 영상을 확인 할 수 있는 장점이 있다. 그리고 디지털사진기의 기술의 발달로 인하여 고가의 사진측량용 디지털사진기가 아닌 일반 디지털사진영상을 이용한 연구가 진행 되고 있다. 이에 본 연구는 제주도 모형과 석고상을 가지고 일반디지털사진기를 이용한 수치지형 모형의 생성 가능성을 시험해보았다. 그 가능성 경과를 바탕으로 3차원 모형 생성시 적정 표정점 개수에 대한 연구를 진행하였다. 그리고 기선의 변화에 따른 과고감의 효과에 의한 수치사진측량의 정확도를 연구하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 사진측량의 정의

사진측량은 전자파 에너지의 발산과 그 밖의 현상을 측정하고 기록하는 과정을 통하여 물리적인 대상물과 환경의 정확한 수치정보와 속성정보를 도출하는 공학이자 과학예술의 한 분야이다. 최근 전자기기의 발달에 의해 디지털화된 전자파 에너지의 파장 분석 및 영상부식 등에도 많은 발전이 있었으며 그 모태는 사진이라 할 수 있다.

2.2. 연직사진의 기하(Geometry of Vertical Photos)

연직이 의도된, 대체로 경사(ω, Φ) < 3° 이내, 회전(κ) < 5° 이내의 사진을 보통 “연직사진”이라고 한다. 연직사진이란 사진기의 광축이 연직하거나 거의 연직에 가깝게 촬영한 사진이고 수직사진의 경사는 연직 축으로부터 1-3° 이내의 사진을 말한다. 사진 좌표계가 원점을 사진주점으로 가정한다.

2.3. 축척(Scale)

지도축척은 S_{map} , 사진축척은 S_{photo} 로 표시하는데, 지도축척은 지도 전면에 걸쳐서 동일하지만 사진축척은 지형기록에 따라서 개별 위치마다 다르다. 보통 사진축척을 말할 때는 그 사진에 노출된 지역의 평균 축척을 말한다.

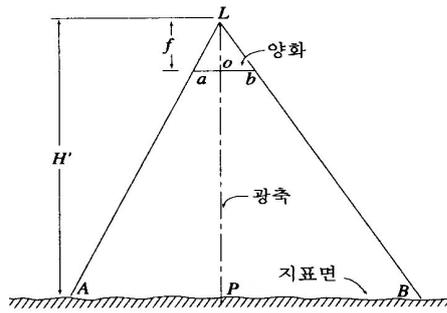


Fig2-1 수직사진으로부터 도출한 지상좌표

상점에 상응하는 지상좌표는 임의의 지상좌표체계에 의해 결정될 수 있다. 임의의 X, Y 지상 좌표축은 사진 상의 x, y축과 같은 수직면상에 존재한다. 이 좌표체계의 원점은 주점이다. Fig 2-1는 기준면으로부터 촬영고도 H'의 위치에서 촬영한 수직사진을 나타낸 것이다. 지상점 A, B에 상응한 상점 a, b의 좌표값은 x_a, y_a, x_b, y_b 로 나타낸다. 임의의 좌표체계 (X와 Y)에서 A과 B 점은 각각 X_A, Y_A, X_B, Y_B 이다. 닮은 삼각형 La'o와 LA'A₀로부터 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

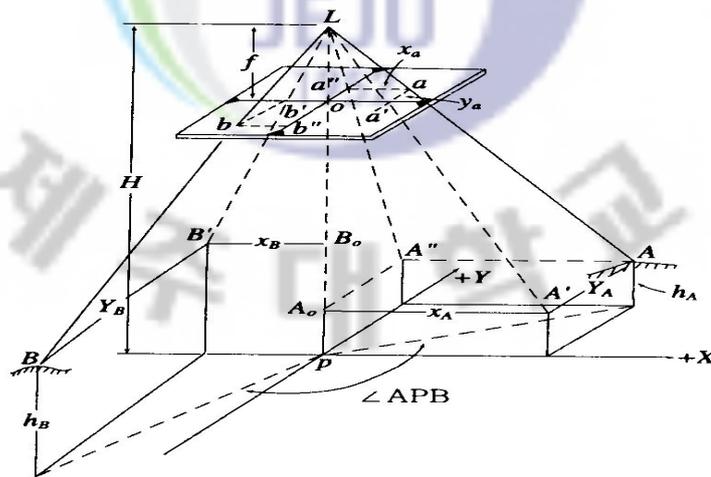


Fig2-2 수직사진의 지상좌표

$$\frac{Oa'}{A_0A'} = \frac{f}{H-h_A} = \frac{x_a}{X_A} \quad \text{로부터} \quad X_A = x_a \frac{H-h_a}{f} \quad (2-1)$$

이고 마찬가지로 닮은 삼각형 $\triangle a'O$ 와 $\triangle A''A_0$ 로부터

$$\frac{a'a}{A'A} = \frac{f}{H-h_A} = \frac{y_a}{Y_A} \quad \text{로부터} \quad Y_a = y_a \frac{H-h_a}{f} \quad (2-2)$$

마찬가지로, B점의 지상좌표는

$$X_B = x_b \frac{H-h_b}{f} \quad (2-3)$$

$$Y_B = y_b \frac{H-h_b}{f} \quad (2-4)$$

식 (2-1) ~ (2-4)로부터 측점의 지상좌표 X 와 Y는 그 측점에 상응하는 상좌표에 사진축척의 역수를 곱하여 간단히 계산될 수 있다. 또한 두 점 A, B의 지상좌표를 이용하여 AB의 수평거리를 계산할 수 있다.

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (2-5)$$

또한 APB의 수평각은 :

$$\angle APB = 90^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{X_B}{Y_B}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{Y_A}{X_A}\right) \quad (2-6)$$

2.4. 3차원 conformal 좌표 변환

3차원 conformal 좌표변환은 하나의 3차원 체계에서 다른 3차원 체계로의 전환이다. 이러한 변환은 사진측량에서 다음의 두 가지에 해당한다. 하나는 기울어진 사진측량 좌표체계에서 지상 또는 대상-공간 좌표체계로의 변환이며 다른 하나는 독립된 입체모델을 하나의 연속된 입체모델로 형성하는 경우에 사용된다. Fig 2-3에서와 같이 xyz체계에서 XYZ체계로의 변환이 요구된다. 이 두 좌표체계는 평행하지 않으므로, 다음과 같은 7개 독립된 변환 매개변수가 필요하다 : 회전각(ω, ϕ, k) 축척계수(s), 이동인자(T_x, T_y, T_z). 좌표

체계는 항상 오른손 법칙을 따른다. 즉, Fig 2-3에서와 같은 보, Z 방향이 +이다. 회전각은 그 좌표체계의 원점에서 보았을 때 시계방향이 +이다. 즉 Fig 8-4의 w 는 +인 것이다. 변환 방정식은 1) 회전, 2) 축척 변환과 이동으로 수행된다.

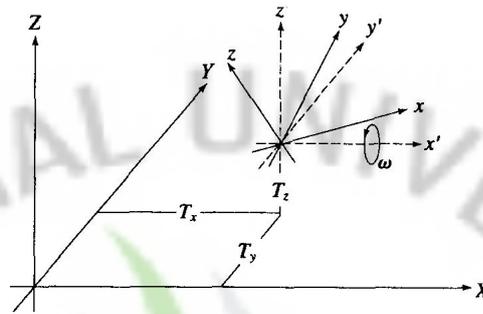


Fig2-3 XYZ와 xyz의 3차원 좌표체계(오른손 법칙)

2.4.1 회전

Fig 2-3에서 XYZ 좌표체계에 평행한 xyz 좌표체계는 x',y',z' 좌표체계로부터 이끌어낸 것이다. 회전식인 하나의 축을 고정으로 하여 나머지 두 축을 회전시켜 움직인다. 즉, xyz는 3개의 독립된 2 차원 회전의 연속으로 이루어진 좌표체계이다. Fig 2-4 는 첫 번째, $x'y'z'$ 를 체계로 변환하기 위한 x' 축에 대한 ω 회전; 두 번째, x_1, y_1, z_1 를 x_2, y_2, z_2 로 변화하기 위한 y_1 축에 대한 ϕ 회전; 세 번째, x_2, y_2, z_2 를 x_3, y_3, z_3 로 변화하기 위한 z_2 축에 대한 k 회전을 나타낸 것이다.

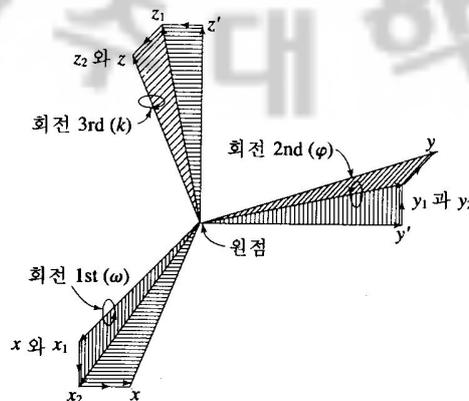


Fig 2-4 3개의 연속된 회전

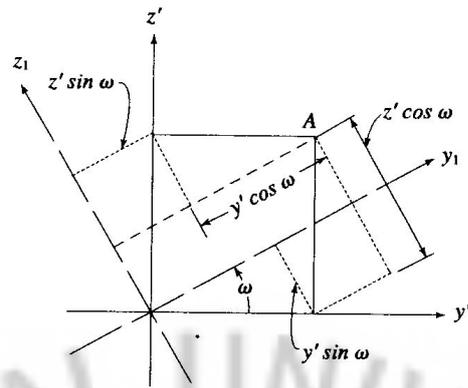


Fig 2-5은 x' 축에 대한 ω 회전

$$x_1 = x' \quad (2-7)$$

$$y_1 = y' \cos \omega + z' \sin \omega$$

$$z_1 = -y' \sin \omega + z' \cos \omega$$

$$z_1 = -z_1 \sin \phi + x_1 \cos \phi \quad (2-8)$$

$$y = y_1$$

$$z_2 = z_1 \cos \phi + x_1 \sin \phi$$

Fig 2-5는 x' 축에 대한 ω 회전을 나타낸 것으로 좌표는 식 (2-7)과 같다.

x_1 과 x' 축은 동일하므로 A점의 x 좌표는 변하지 않는다. Fig 2-6은 y_1 축에 대한 ϕ 회전을 나타낸 것으로 A점 좌표는 다음과 같다.

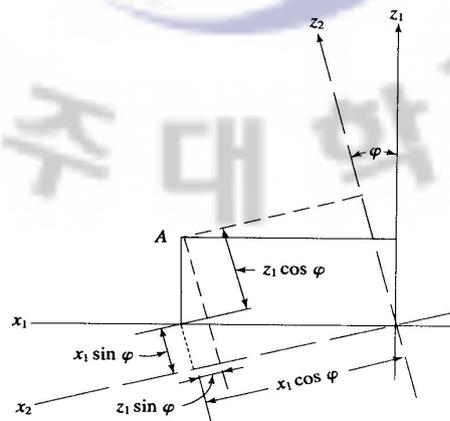


Fig 2-6 y_1 축에 대한 ϕ 회전

y_1 축과 y' 축은 동일하므로 A 점의 y 좌표는 변화지 않으며 식 (2-7)을 (2-8)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}x_2 &= -(y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \phi + x' \cos \phi \\y_2 &= y' \cos \omega + z' \sin \omega \\z_2 &= (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \phi + x' \sin \phi\end{aligned}\quad (2-9)$$

마지막으로 z_2 축에 대해 k 회전하므로써 Fig 2-7과 같은 xyz 좌표체계를 얻을 수 있다. A 점의 좌표는 식 (2-10)과 같으며

$$\begin{aligned}x &= x_2 \cos k + y_2 \sin k \\y &= -x_2 \sin k + y_2 \cos k \\z &= z_2\end{aligned}\quad (2-10)$$

이 식에 식 (2-9)을 대입하면 다음과 같다.

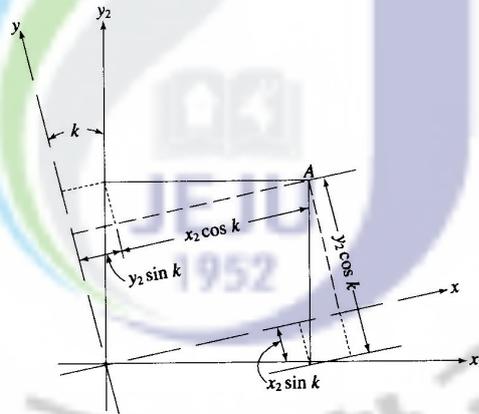


Fig 2-7 z_2 축에 대한 k 회전

$$\begin{aligned}x &= [(y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \phi + x' \cos \phi] \cos k + (y' \cos \omega + z' \sin \omega) \sin k \\y &= [(-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \phi - x' \cos \phi] \sin k \\z &= (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \phi + x' \sin \phi\end{aligned}\quad (2-11)$$

식 (2-11)을 재정리하면,

$$\begin{aligned}x &= x' (\cos \phi \cos k) + y' (\sin \omega \sin \phi \cos k + \cos \omega \sin k) \\&\quad + z' (-\cos \omega \sin \phi \cos k + \sin \omega \sin k)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= x'(-\cos\phi\sin k) + y'(-\sin\omega\sin\phi\cos k + \cos\omega\cos k) \\
 &\quad + z'(\cos\omega\sin\phi\cos k + \sin\omega\sin k) \\
 z &= x'(\sin\phi) + (-y'\sin\omega\cos\omega) + z'(\cos\omega\cos\phi)
 \end{aligned}
 \tag{2-12}$$

식 (2-12)에서 $x'y'z'$ 의 계수를 m_{ij} 로 대치하면,

$$\begin{aligned}
 x &= m_{11}x' + m_{12}y' + m_{13}z' \\
 y &= m_{21}x' + m_{22}y' + m_{23}z' \\
 z &= m_{31}x' + m_{32}y' + m_{33}z'
 \end{aligned}
 \tag{2-13}$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos\phi\cos k \\
 m_{12} &= \sin\omega\sin\phi\cos k + \cos\omega\sin k \\
 m_{13} &= -\cos\omega\sin\phi\cos k + \sin\omega\sin k \\
 m_{21} &= -\cos\phi\sin k \\
 m_{22} &= -\sin\omega\sin\phi\sin k + \cos\omega\cos k \\
 m_{23} &= \cos\omega\sin\phi\sin k + \sin\omega\cos k \\
 m_{31} &= \sin\phi \\
 m_{32} &= -\sin\omega\cos\phi \\
 m_{33} &= \cos\omega\cos\phi
 \end{aligned}
 \tag{2-14}$$

식(2-13)을 다음과 같은 행렬로 간단히 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &M = MX' \\
 X = \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}, \quad M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}, \quad X' = \begin{matrix} x' \\ y' \\ z' \end{matrix}
 \end{aligned}
 \tag{2-15}$$

M 행렬은 일반적으로 회전행렬이라 불린다. 회전 행렬의 요소들은 개개의 축에 대해 변환계를 갖으며, M 행렬은 다음과 같이 표현한다.

$$M = \begin{bmatrix} \cos xx' & \cos xy' & \cos xz' \\ \cos yx' & \cos yy' & \cos yz' \\ \cos zx' & \cos zy' & \cos zz' \end{bmatrix} \quad (2-16)$$

$\cos xx'$ 는 x 축, x' 축, $\cos xy'$ 는 x 축과 y' 축의 \cos 관계를 나타낸다. \cos 은 $0^\circ \sim 180^\circ$ 사이에 취해진 각으로써 개개의 축사이의 \cos 각이다. $\sum \cos^2$ 의 1 이라는 것은 중요한 특성으로서 계산된 요소들을 검증하는데 사용된다. 행렬 M 의 행과 열 제곱의 합이 1인지 아닌지를 검증한다. 회전행렬은 전치행렬과 역행렬이 같은 대각선 행렬 (orthogonal matrix)이다.

$$M^{-1} = M^T \quad (2-17)$$

이러한 특성을 이용하여 식 (2-15)은 다음과 같이 표현될 수 있을 것이다.

$$x' = M^T X \quad (2-18)$$

이를 다시 풀어 정리하면 식 (2-19)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x & m_{12}y & m_{13}z \\ m_{21}x & m_{22}y & m_{23}z \\ m_{31}x & m_{32}y & m_{33}z \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

2.5. 사진 입체시(Viewing Photographs Stereoscopically)

동일 대상지역을 서로 다른 위치에서 촬영한 한 쌍의 입체사진을 “입체쌍 (Stereo pair)”이라고 하고 입체쌍의 영상을 입체시하여 보이는 미니 모델을 “입체모델(Stereo model)”이라고 한다.

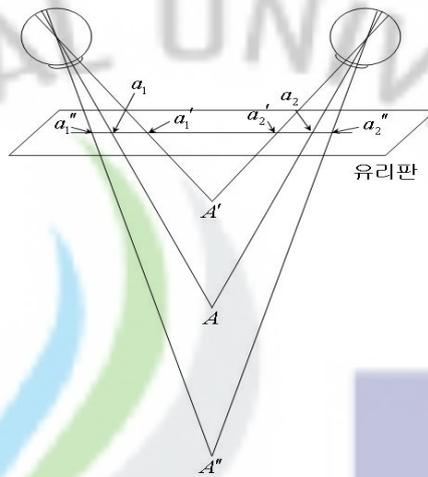


Fig 2-8 상의 위치변화에 따른 대상물 거리의 변화

Fig 2-8에서, 동일 대상물의 좌우 영상간의 간격이 넓으면 낮게(멀리) 보이고, 간격이 좁으면 높게(가깝게) 보인다. Fig 2-8에서, 영상간의 간격이 좁은 ($\overline{a_1 a_2}$) A점은 영상간의 간격이 넓은 ($\overline{b_1 b_2}$) B점에 비하여 높은 점임을 알수있다.

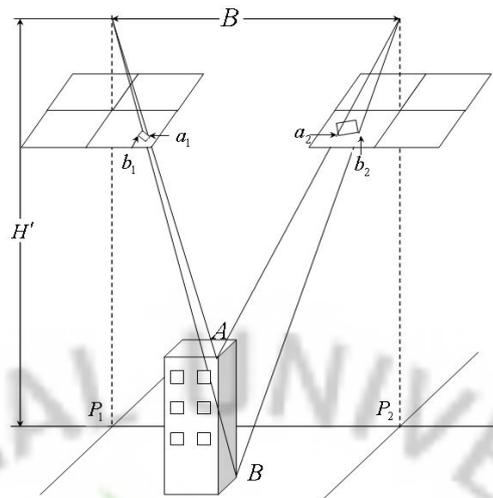


Fig 2-9 두 촬영점에서의 영상

- 촬영당시의 실세계 좌표값으로서 촬영거리에 대한 촬영기선의 비율은 식 (2-20)으로 표현할 수 있다.

$$\text{실물 기선-고도비} = \frac{B}{H'} \quad (2-20)$$

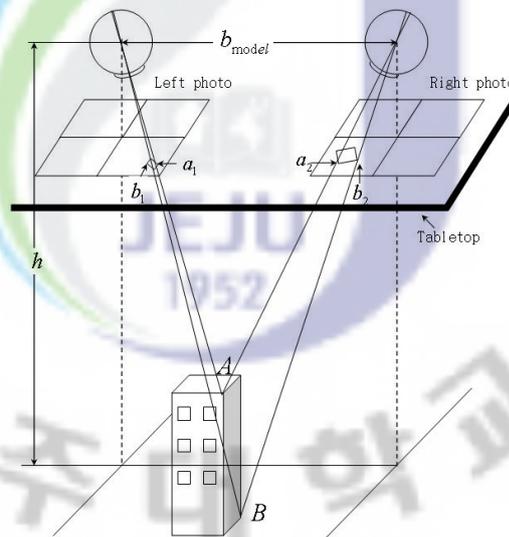


Fig 2-10 입체시

- 사진을 통한 입체시에서의 모델고도에 대한 모델기선의 비율은 식(2-21)으로 표시된다.

$$\text{모델기선-고도비} = \frac{b_{\text{model}}}{h} \quad (2-21)$$

2.6. 시 차

시차(parallax)는 관찰자의 위치 변화에 의해 발생하는 대상물의 위치 변위를 말한다. 대상물이 카메라에 가까울수록 대상물의 움직임은 더욱 크게 나타날 것이다. 비행기의 움직임에 의해 한 사진에서 다른 사진으로 대상물의 위치가 변하는 경우에 이를 입체 시차, x 시차 또는 시차라고 한다. 시차는 일련의 중중복 사진에 나타나는 모든 대상물에 대해 발생한다. 예를 들면, Fig 2-11에서 노출점 L1, L2에서 촬영된 한 쌍의 중중복 수직사진 위에 대상점 A, B가 나타났다고 가정하자. 이 때 점 A, B는 좌 사진에 a, b로 나타나고 우사진에는 a'와 b'로 나타날 것이다. 점 A가 점 B보다 높기 때문에 a의 이동은 b의 이동보다 크게 나타난다. 즉, A점의 시차는 B점의 시차보다 크게 나타나는 것이다. 시차에 관한 두 가지 중요한 사항이 있다; (1) 임의의 점에 대한 시차는 그 지점의 높이에 관계되고 (2) 시차는 표고가 낮은 점보다는 높은 점이 더 크게 나타난다.

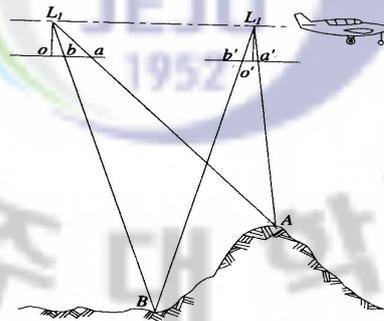


Fig 2-11 시차의 원인

표고에 대한 시차의 변화는 사진 해석시에 대상물의 표고를 결정하기 위한 기초적인 토대를 제공한다. X, Y, Z 지상좌표는 각 점에 대한 시차에 근거를 둔 점들에 대해서 이 두 사진을 중첩하여 계산된다. 대상점 A의 시차는 Pa로 사진을 구성하는 두 장의 사진위에 나타난 대상점 A의 시차는 다음과 같

이 표현할 수 있다.

$$P_a = x_a - x'_a \quad (2-22)$$

2.7. 과고감

일반적으로 수직축척은 수평축척에 비해 다소 크게 나타난다. 즉, 실제 대상물보다 과장되어 나타난다. 이러한 외격적 축척의 불일치를 수직과장 또는 과고감이라 한다.

사진해석자들에게 과고감은 많은 관심이며 대상물의 고도, 경사율 등에 따라 고려하여야 할 사항이다. 과고감은 사진의 기선고도비 B/H' 와 이에 상응하는 입체시의 기선고도비 b_e/h 의 불일치에 의해 발생된다. B/H' 는 비행고도에 대한 촬영점간의 거리의 비이며 b_e/h 는 눈으로부터 입체모델까지의 거리에 대한 안기선의 비이다.

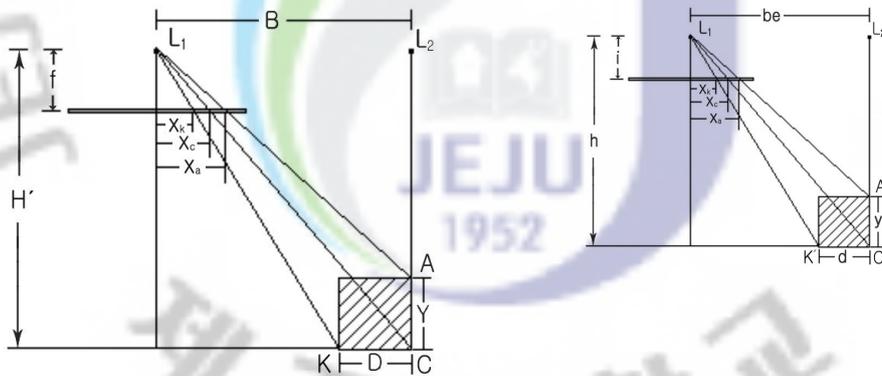


Fig 2-12 과고감

사진해석자들에게 과고감은 많은 관심이며 대상물의 고도, 경사율 등에 따라 고려하여야 할 사항이다. 과고감은 사진의 기선고도비 B/H' 와 이에 상응하는 입체시의 기선고도비 b_e/h 의 불일치에 의해 발생된다. B/H' 는 비행고도에 대한 촬영점간의 거리의 비이며 b_e/h 는 눈으로부터 입체모델까지의 거리에 대한 안기선의 비이다.

2.8. 시차 방정식

시차를 계산하여 지상좌표 X, Y, Z 을 구할 수 있다. Fig 2-13은 동일한 비행고도에서 촬영한 중복사진을 나타낸 것이다. 대상점 A 는 좌,우사진에서 각각 a 와 a' 로 나타난다. 지상점 A 는 상좌표 X_A 와 Y_A 의 향으로 이루어진다. XY 지상좌표체계는 좌사진의 주점 P 를 원점으로 한다; X 축은 사진 상의 x, x' 와 동일 수직면에 존재한다. 그리고 Y 축은 좌사진의 지상 주점을 지나고 X 축에 직각이다. 이러한 설정에 의해 두 장의 입체사진은 하나의 지상좌표체계를 갖게 된다.

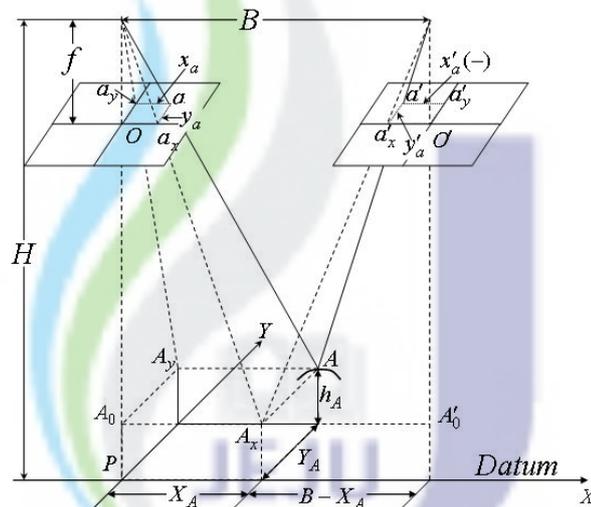


Fig 2-13 수직사진의 기하학

Fig 2-13의 닦음삼각형으로부터 h_A, X_A, Y_A 가 유도되어진다. 먼저 닦음삼각형 L_1Oa_y 와 L_1A_0A 로부터,

$$\frac{Y_A}{H-h_A} = \frac{y_a}{f} \text{로부터, } Y_A = \frac{y_a}{f}(H-h_A) \quad (2-23)$$

또한 닦음삼각형 $L_1O'a'_x$ 와 $L_2A_0'A_x$ 로부터,

$$\frac{B - X_A}{H - h_A} = \frac{-x'_a}{f} \text{ 로부터, } X_A = B + \frac{x'_a}{f}(H - h_A) \quad (2-24)$$

그리고 닦음삼각형 $L_2O'_a x$ 와 $L_2A'_o A_x$ 로부터,

$$\frac{B - x_A}{H - h_A} = \frac{-x'_a}{f} \text{ 로부터, } X_A = B + \frac{x'_a}{f}(H - h_A) \quad (2-25)$$

식(2-24)와 (2-25)를 변환하면

$$h_A = H - \frac{Bf}{x_a - x'_a} \quad (2-26)$$

위의 $x_a - x'_a$ 를 P_a 로 대치시키면

$$h_A = H - \frac{Bf}{P_a} \quad (2-27)$$

이를 (a)와 (b)에 각각 대입하면,

$$X_A = B \frac{x_a}{P_a} \quad (2-28)$$

$$Y_A = B \frac{y_a}{P_a} \quad (2-29)$$

식 (2-27), (2-28), (2-29)에서 h_A 는 A점의 표고이고, H는 촬영고도, B는 촬영기 선길이, f 는 카메라의 초점거리, P_a 는 A점의 시차이고 X_A, Y_A 는 A점의 지상좌표, x_a, y_a 는 사진상의 좌표이다.

2.9 시차차를 이용한 높이 계산(Elevations by Parallax Difference)

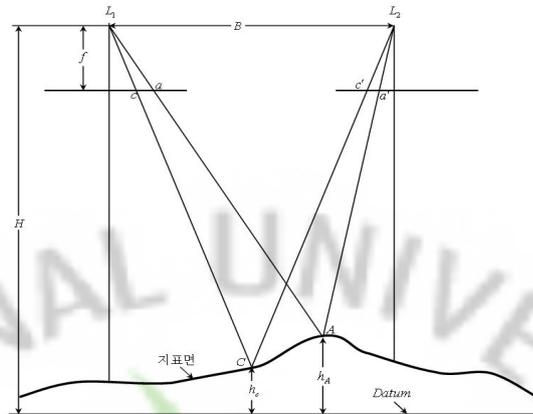


Fig 2-14 시차차를 이용한 높이 계산

$$P_a = \frac{fB}{H - h_A} \quad (2-30)$$

$$P_c = \frac{fB}{H - h_c} \quad (2-31)$$

A점과 C점의 시차의 차, 즉, “시차차”는 (2-30)-(2-31)를 하면

$$\begin{aligned} P_a - P_c &= \Delta P = f \cdot B \left(\frac{1}{H - h_A} - \frac{1}{H - h_c} \right) \quad \text{여기서,} \\ &= f \cdot B \left(\frac{h_A - h_c}{(H - h_A)(H - h_c)} \right) \end{aligned}$$

이 식에 (2-30)을 대입하면, 두 점의 시차와 한 점의 표고, 촬영고도를 알면 나머지 한 점의 표고를 구할 수 있다.

$$\Delta P = \frac{P_a}{H - h_c} (h_A - h_c) \quad (2-32)$$

$$\therefore h_A = h_c + \frac{\Delta P}{P_a} (H - h_c) \quad (2-33)$$

3. 대상물 및 사용장비

3.1 대상물 선정

오른쪽 사진과 같이 크기가 $550 \times 340mm^2$ 이고 최대높이가 $166mm$ 인 석고상을 연구대상물로 선정하였고 수치영상생성을 위해 40개의 표정점을 부착하였다.

다수의 선행 연구의 결과 변위가 급변하며 중복 촬영시 그 점의 위치가 영상에 잘 보이는 곳으로 표정점을 부착하였다.

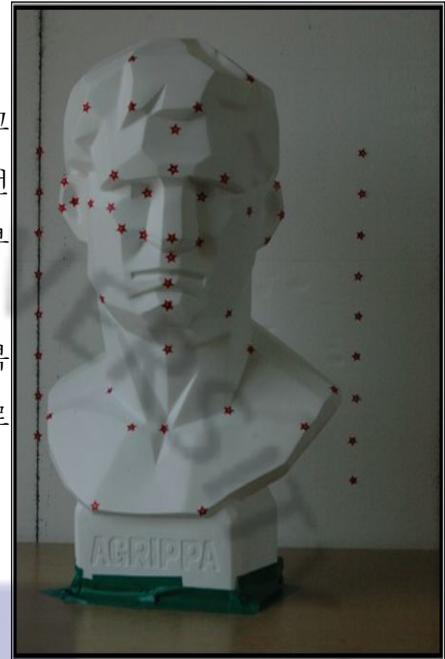


Fig 3-1 연구대상물

3.2 사용장비의 소개

3.2.1 거리측정장비

모형으로부터 디지털사진기까지의 촬영거리를 측정하기 위하여 오른쪽 그림과 같이 sokkia serial 130R 토탈스테이션을 사용하였고 거리에 대한 정확도는 $500m$ 당 $\pm 1.3mm$ 이고 이 장비를 가지고 사진기부터 대상물까지 거리를 측정하였다.



Fig 3-2 거리측정장비(토탈스테이션)

3.2.2 일반디지털 사진기

측량용 카메라가 아닌 일반 디지털인 Nikon사의 D70을 선정하였다. 이 카메라의 제원은 아래와 같다.



Fig 3-3 촬영카메라

<촬영카메라 제원>

구 분	내 용
CCD 화소수	631만 화소대
이미지 사이즈	3008*2000 (pixel)
초점 거리	(18~55)mm
사이즈, 무게	140*111*78 mm, 720g
이미지 크기	23.7 x 15.5mm
기록방식	JPEG, RAW (EXIF 2.2)

table 3-1 카메라 제원

3.2.3 사진측량을 위한 장비 제안

사진측량은 전자파 에너지의 발산과 그 밖의 현상을 측정하고 기록하는 고정으로 카메라가 촬영 방향이 대상면에 완전히 수직일 경우로 가정하여 수치 사진해석을 해야 정확성이 높으나 비행기의 움직임에 기인한 경사는 불가항력적으로 발생하게 된다. 연직축을 기준으로 약간의 경사(1°~3°)만을 인정하

고 있다. 그 이상이 되면 수치영상은 경사로 인한 오차를 많이 가지고 있게 된다. 이에 이 연구에서는 촬영시 사진의 연직이 아니어서 발생하는 오차를 줄이기 위해 아래 그림과 같이 기선길이를 측정할 수 있고 거의 수직촬영을 위한 수평지지대를 제작하여 연구하였다.



Fig 3-4 수직사진촬영을 위한 수평지지대

3.2.2 표정점 측정을 위한 장비 제안

상호표정의 결과 생성된 입체의 상대좌표를 현실의 절대 좌표로 변화해주며 2차원인 영상을 이용하여 3차원 영상을 생성을 위해 상대적인 높이의 기준이 되는 지상의 기준점들이 필요하다. 이를 표정점이라 하고 그 좌표를 측정하기 위해 아래와 같은 장비를 제작 하였다.





Fig 3-5 표정점 측량기기



4. 수치사진을 이용한 DEM생성 과정

4.1. 영상획득 및 처리절차

2차원인 사진영상을 가지고 3차원의 DEM을 생성하기 위해서는 다음 그림과 같은 절차를 따른다.



Fig 4-1 수치표고모델 생성과정

DEM 추출을 위해 대상물인 석고상에 표정점을 부착하고 앞에서 제안한 기기로 3차원 자료를 측정한 영상은 다음과 같다.



우 사진

좌 사진

Fig 4-2 촬영 영상

본 연구에 사용한 사진에 대한 자료는 Table 4-1과 같으며 사용된 영상의 크기는 23.7mm×15.6mm 이다.

<Information of photograph>

사진축적	초점거리	촬영거리	촬영카메라	촬영년도
1:20,000	45mm	1.229m	Nikon D70	2009년

Table 4-1 사진 정보

Intergraph사의 수치사진측량시스템인 Image-StationZ를 사용하여 Fig 4-3와 같은 모듈을 통하여 석고상에 대한 3차원 정보를 점 형식으로 추출하고 수치표고 모델을 자동 생성하였다.



Fig 4-3 DEM 영상획득 절차

4.2. 디지털 영상 내부표정

내부표정은 촬영 당시의 기하학적 관계를 투영기상에 재현하는 과정이다. 그러기 위하여 사진의 각 모서리의 지표의 위치를 입력하고 영상의 크기를 지정하여 주점을 원점으로 하는 xy좌표체계를 부여한다.

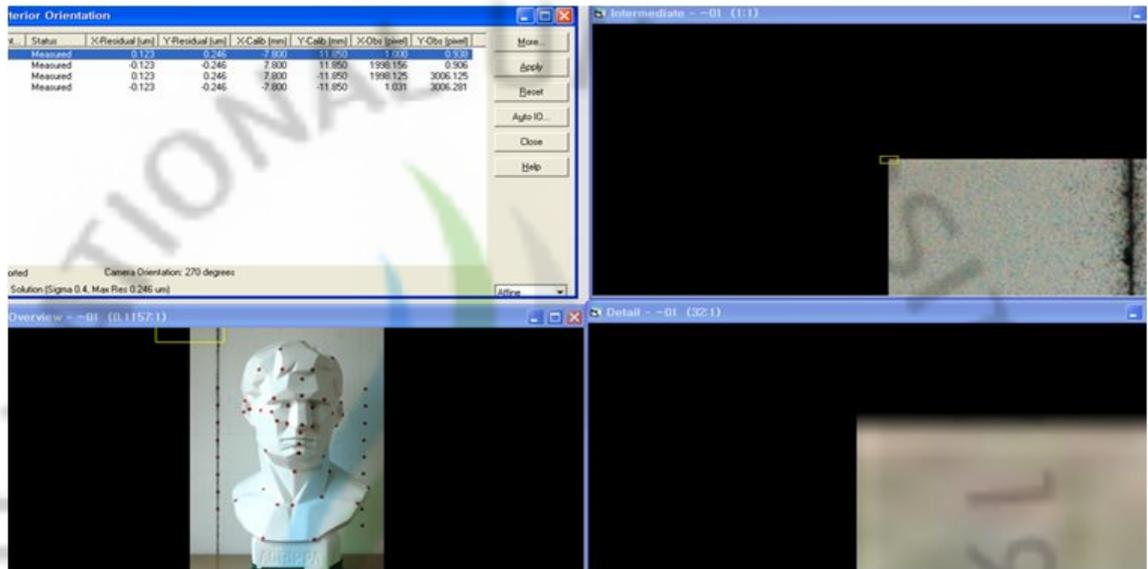


Fig 4-4 내부표정 영상

4.3. 디지털 영상 상호표정

상호표정은 두 영상의 촬영 당시와 동일한 상태로 존재하도록 종시차를 제거하고 축척과 고도가 같도록 변화하여 주며 3차원 입체 생성의 원인이 되는 원리인 시차의 계산 가능한 중복지역의 범위를 지정하여 준다.

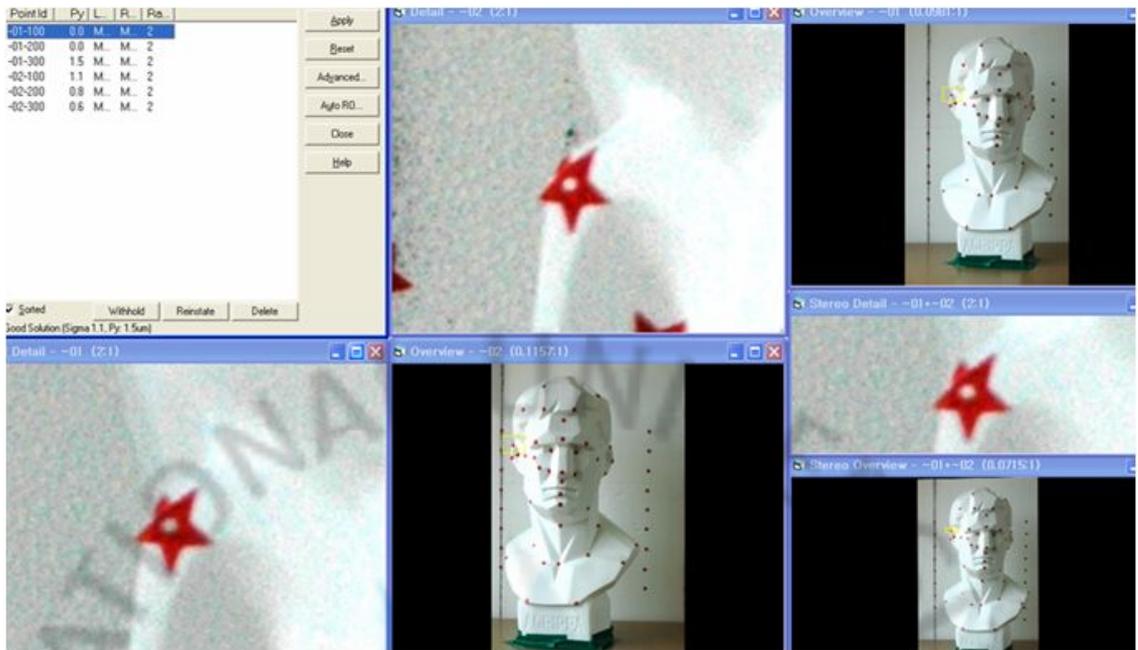


Fig 4-5 상호표정 영상

4.4. 디지털 영상 절대표정

상호표정이 완성되면 중복지역에 대한 3차원 입체모델이 형성되어진다. 상호표정이 완성된 수평, 수직의 비가 실제와 동일할지라도 절대좌표계의 축척과는 다른 사진좌표계이다. 따라서 절대 표정은 표정점일 입력하여 사진좌표계를 절대좌표계로 변환하는 과정이다.

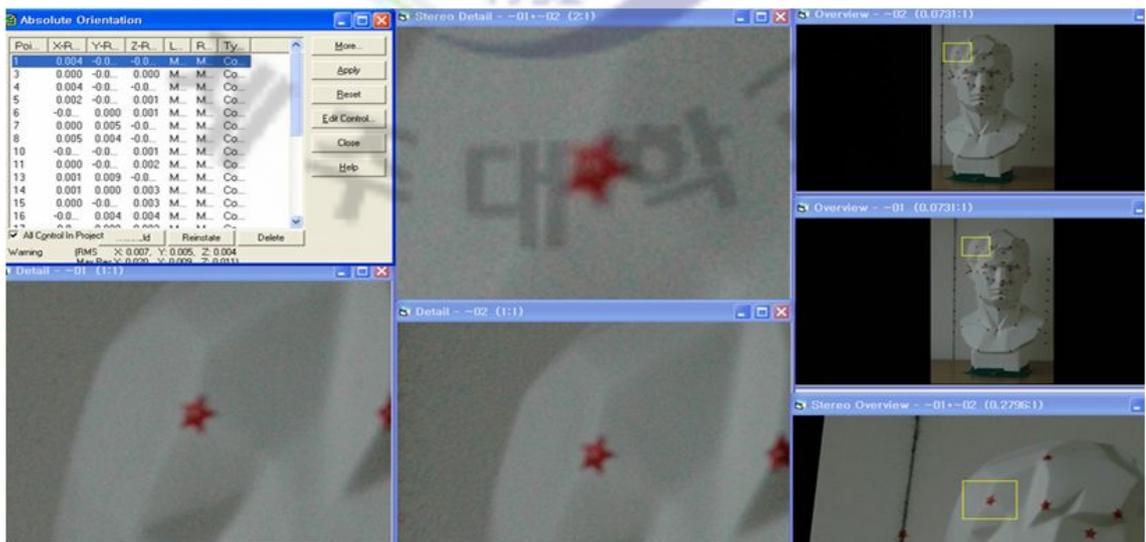


Fig 4-6 절대표정 영상

4.5. 3차원 영상 결과물

사진의 중심투영의 원리와 시차차를 이용하여 두 중복 영상을 표정 작업을 거쳐 촬영 당시의 기하학적 입체를 생성한 후 표점점의 좌표들로부터 모든 지역의 좌표를 부여하였다. 격자모양의 3차원 DEM 점 모형을 CAD 파일로 얻었다. 그 영상은 아래 그림과 같다.

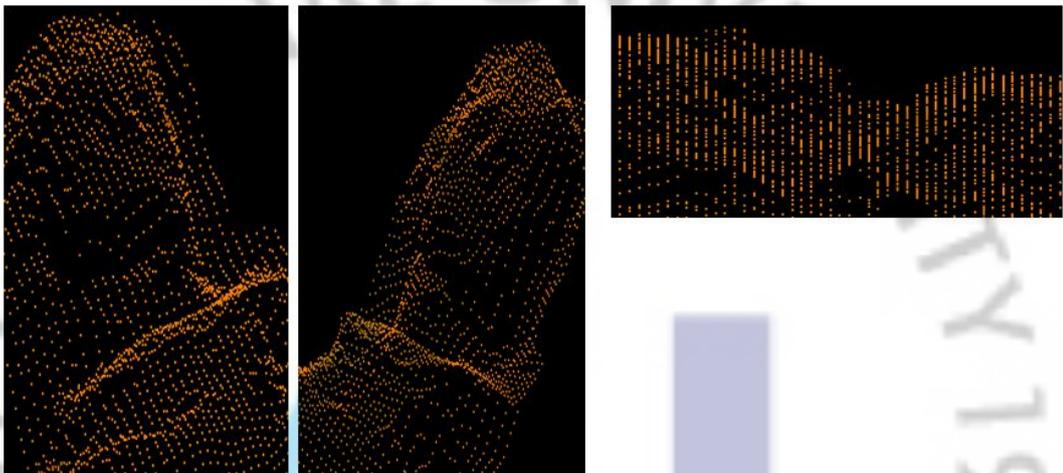


Fig 4-7 CAD DEM생성물

CAD파일을 Arc View 프로그램을 이용하여 불규칙 TIN모델로 변화하여 입체모형을 생성하였다.

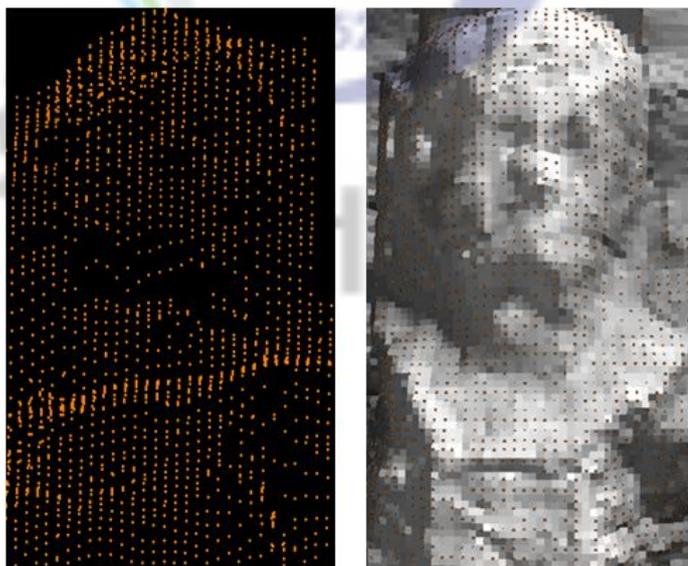


Fig 4-8 3차원 영상

5. 일반디지털사진기의 정확성향상 과정

5.1 표정점 개수에 따른 정확성 분석

상호표정을 마친 3차원 입체모델의 상대 좌표를 절대좌표로 변환하기 위해 최소 3개 이상의 표점점 좌표를 알고 있어야 한다. 그러나 이 표정점 좌표 중 어떤 한 좌표에 오차가 크다면 생성된 DEM의 정확도도 떨어지게 된다. . 그래서 3개보다 많은 표정점을 입력하게 되는데 표정점이 많으면 표정점 측량과 입체모델 계산 과정에 많은 시간이 소요된다. 표정점 개수를 각각 5개, 9개, 12개, 16개, 20개, 24개, 26개, 30개로 변화 시켜 보면서 이에 적정 표정점 개수는 몇 개인지에 대하여 연구해 보았다.

table 5-1. 표정점 측정표

표정점번호	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.191	0.489	0.1220
2	0.286	0.465	0.1520
3	0.156	0.290	0.1540
4	0.159	0.420	0.0720
5	0.225	0.419	0.1490
6	0.337	0.424	0.1410
7	0.386	0.428	0.0410
8	0.160	0.388	0.0695
9	0.196	0.393	0.1160
10	0.259	0.402	0.1330
11	0.309	0.398	0.1240
12	0.358	0.386	0.0990
13	0.386	0.400	0.0330
14	0.262	0.358	0.1390
15	0.290	0.353	0.1660
16	0.284	0.336	0.1435
17	0.206	0.295	0.1010
18	0.370	0.297	0.1410
19	0.346	0.273	0.0960
20	0.284	0.250	0.0795
21	0.206	0.198	0.0000
22	0.284	0.161	0.0680
23	0.365	0.255	0.0450
24	0.456	0.217	0.0600
25	0.402	0.170	0.0850
26	0.148	0.171	0.0222
27	0.221	0.083	0.0950
28	0.333	0.091	0.1220
29	0.283	0.314	0.1440
30	0.284	0.427	0.1570

위의 표는 본 연구에서 제안한 표정점측정 장비를 가지고 측정한 값들이다.

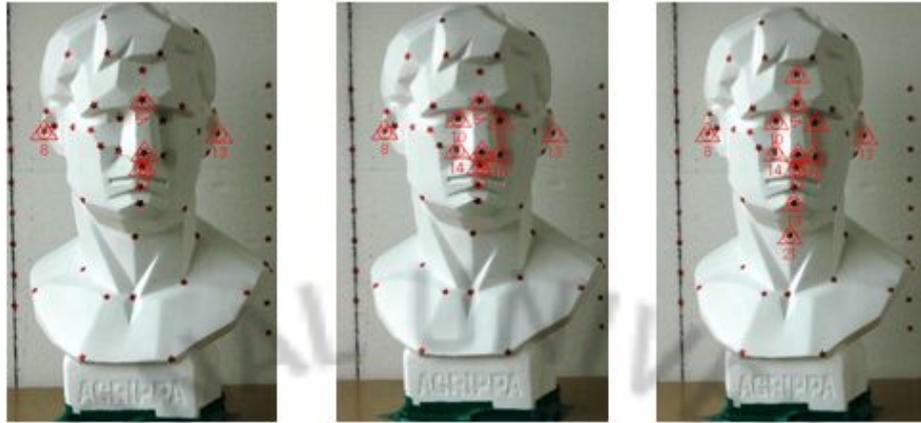


Fig 5-1. 표정점 개수 5개, 9개, 12개

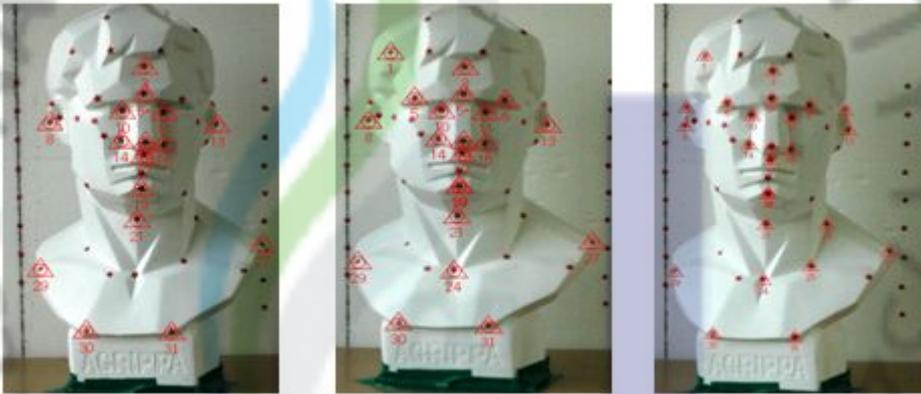


Fig 5-2. 표정점 개수 16개, 20개, 24개

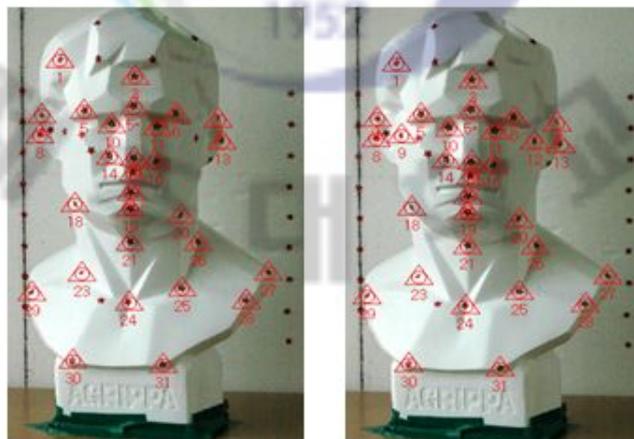


Fig 5-3. 표정점 개수 26개, 30개

Fig 5.1~5.3에서처럼 표정점의 개수를 변화 시키면서 생성된 DEM생성물은 아래의 Fig 5.4~5.7과 같다.

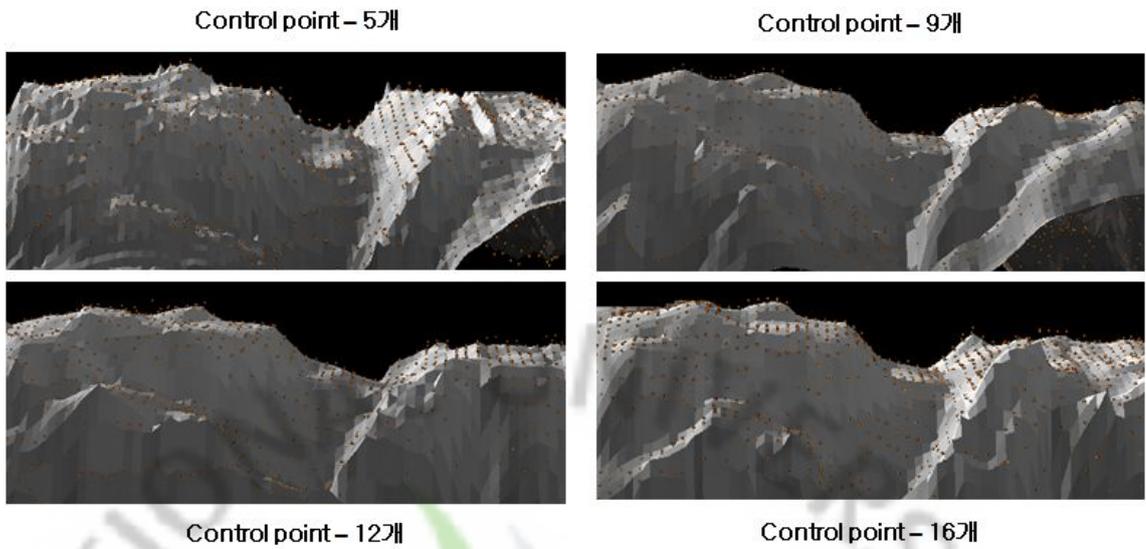


Fig 5-4 표정점의 수에 따른 DEM-1

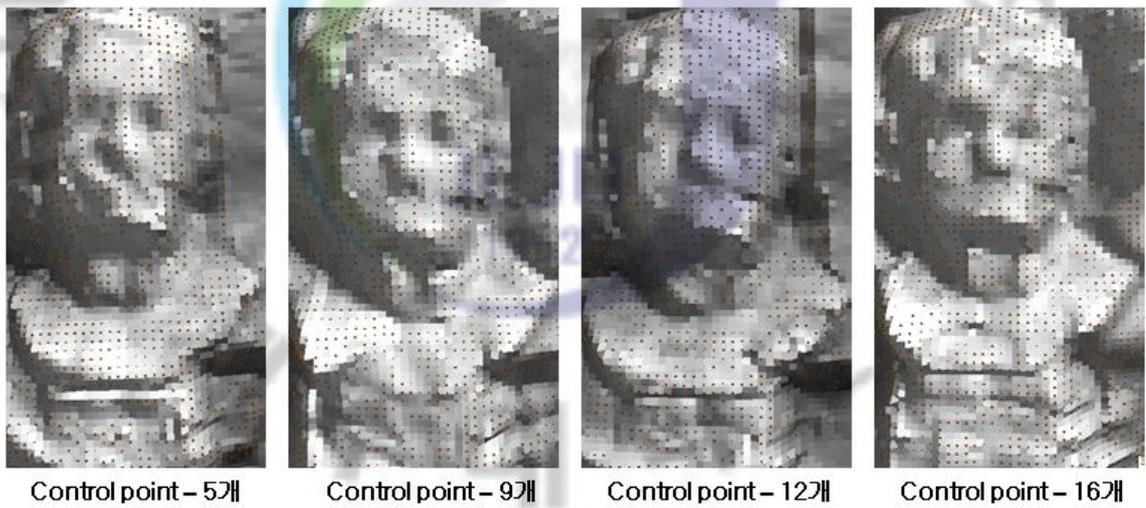


Fig 5-5 표정점의 수에 따른 DEM-2

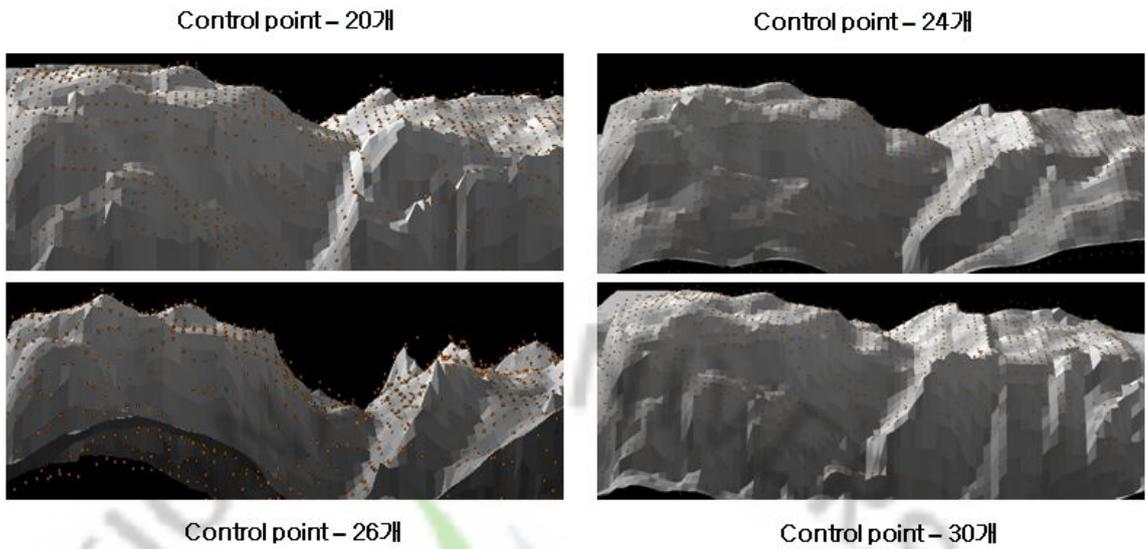


Fig 5-6 표정점의 수에 따른 DEM-3

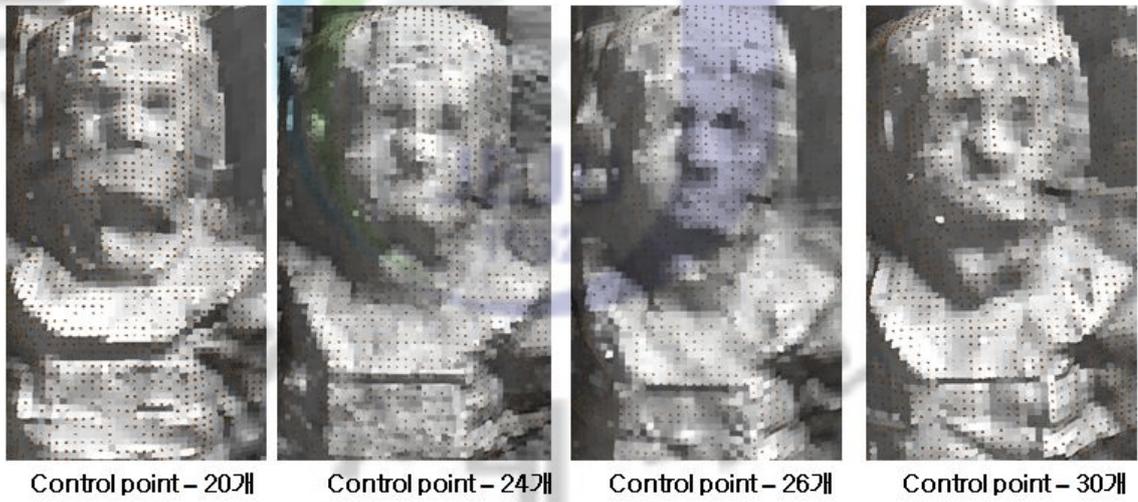


Fig 5-7 표정점의 수에 따른 DEM-4

위의 생성된 DEM영상과 표정점을 측정한 좌표를 비교하여 그 오차를 표준편차를 아래와 같이 표준편차로 나타내었다.

Table 5-2 측정한 표정점과 DEM영상간의 오차

표정점개수 표정점번호	5개	9개	12개	16개	20개	24개	26개	30개
1	0.004	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
8	0.0025	0.0025	0.0005	0.0005	0.0005	0	0.0015	0.002
11	0.003	0.002	0	0.002	0	0.001	0.001	0.003
13	0.004	0.002	0.005	0.005	0.002	0.001	0.001	0.001
15	0.003	0.003	0.006	0.005	0.006	0.001	0.001	0.002
16	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003
21	0.0015	0.0035	0.0015	0.0015	0.0015	0.0013	0.001	0.001
26	0.007	0.006	0.006	0.004	0.003	0.001	0.001	0.001
29	0.002	0.004	0.004	0.004	0.002	0.002	0	0.002
31	0.003	0.004	0.003	0.004	0.001	0.002	0.001	0.003
평균	0.0004	0.0001	0.0002	0.0009	0.0007	0.00103	0.00045	0.0018
표준편차	0.00367	0.00351	0.00357	0.003184	0.002379	0.00094	0.00117	0.00116

표정점 개수에 따른 오차의 표준편차의 경향을 아래의 그래프로 나타내었다.

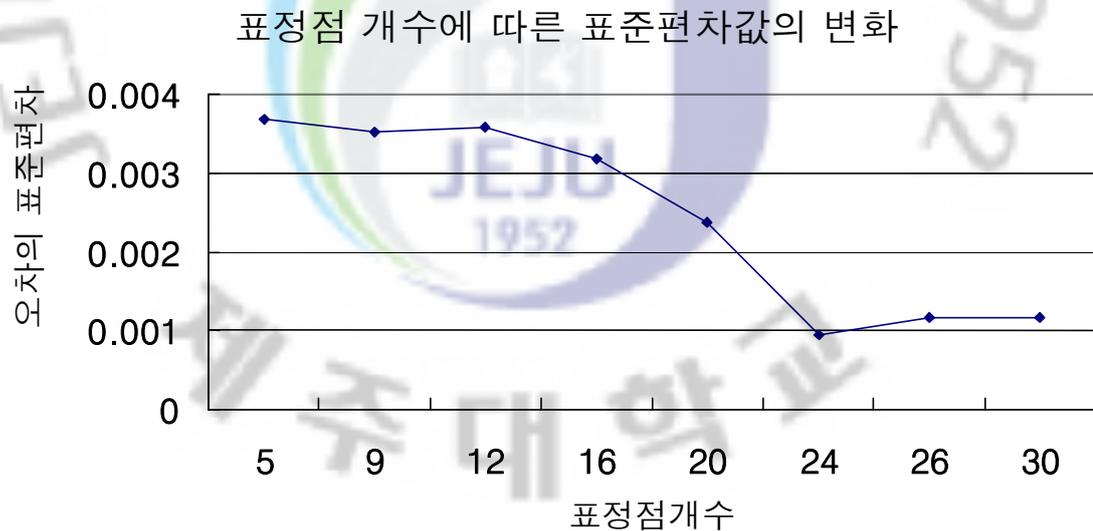


Fig 5-8. 표정점 개수에 따른 표준편차 값

위의 결과 표정점 변화에 따른 정확도 분석에서 표정점 개수가 12개 이하에서는 개수가 증가함에 따라 정확도가 큰 변화가 없었으나 12개를 초과하면서

정확도가 현저히 향상되었으며 그 중에서도 개수가 24개 일 때 가장 정확한 것을 알 수 있었고 24개 이상에서는 정확도에 큰 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

5.2 기선길이에 따른 정확도 분석과 적정 중복도 분석

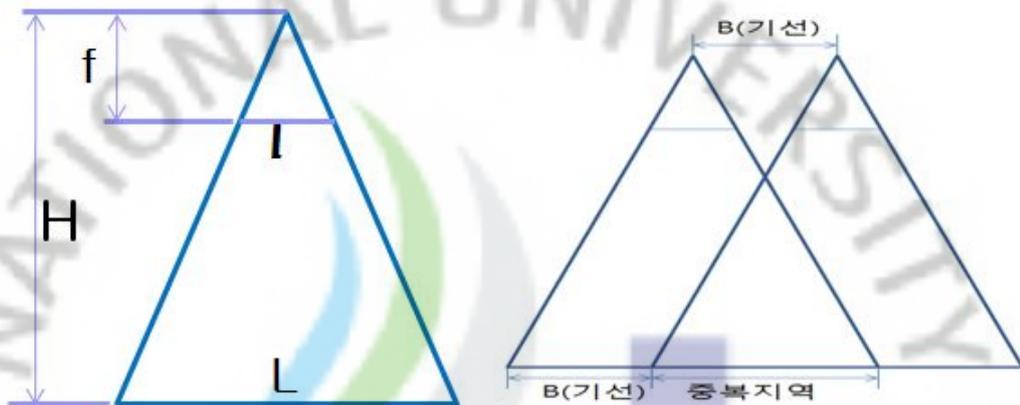


Fig 5-9. 사진의 중복도

$$\frac{f}{H} = \frac{l}{L}$$

$$\text{중복도} = \frac{L-B}{L} \times 100$$

$$\text{중복도} = \frac{Hl - Bf}{Hl} \times 100$$

입체 영상은 두 인접한 영상의 시차차에 의하여 2차원 영상이 3차원 영상으로 변환된다. 이런 시차는 영상이 겹치는 지역, 즉 중복으로 인하여 나타난다. 보통 종중복(end lap)은 보통 55~65%이다. 또한 산악지역이나 고층빌딩이 밀집된 지역(한지역이나 한 모형(model)상에서 비고가 촬영고도의 10%이상인 지역)은 사각부(dead area)를 없애기 위하여 종중복도를 10~20%이상 증가시킨다. 본 연구에서는 촬영대상물과 디지털사진기 사이의 거리가 상대적으로 짧아 비고가 높게 나타나므로 적정중복도의 계산이 필요하다고 생각하였다.

기선길이가 5cm, 10cm, 15cm, 20cm로 변함에 따라 생성된 DEM좌표의 값과 관측값의 차이를 표준편차로 계산해 보았다.

Table 5-3 기선의 길이에 따른 오차

ID	관측값	기선의변화 단위 (cm)			
		5cm	10cm	15cm	20cm
5	0.14900	0.00300	0.00400	0.00200	0.00300
8	0.16600	0.00400	0.00200	0.00300	0.00200
10	0.05650	0.00750	0.00150	0.00050	0.00350
15	0.13300	0.00300	0.00100	0.00000	0.00300
28	0.08500	0.00500	0.00200	0.00500	0.00500
30	0.09500	0.00500	0.00500	0.00200	0.00250
평균		0.00042	0.00042	0.00142	0.00200
표준편차		0.00373	0.00226	0.00174	0.00203

기선의 변화에 따른 오차의 표준편차는 아래의 그래프와 같다.

기선길이에 따른 표준편차값의 변화

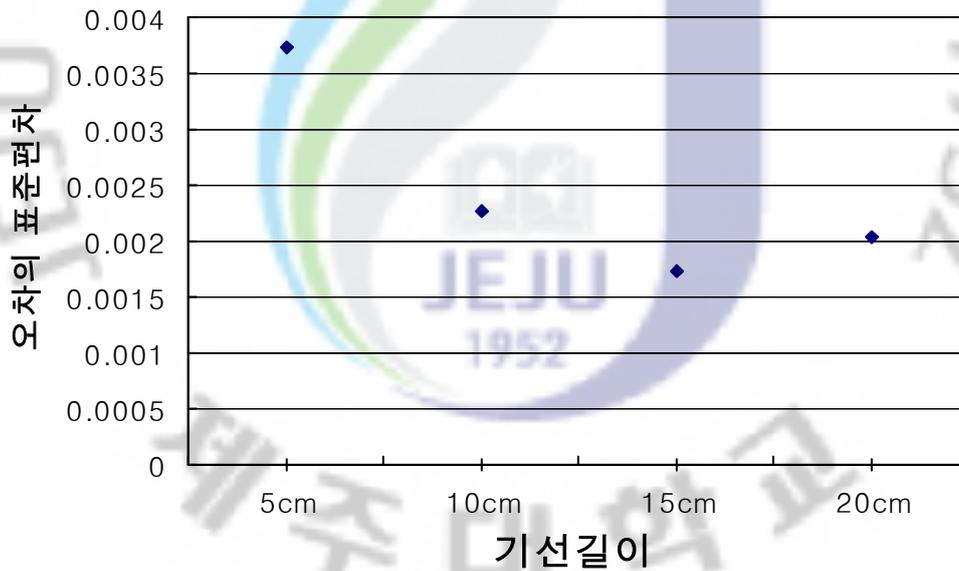


Fig 5-10. 기선길이의 변화에 따른 오차

각각의 길이에 따른 DEM생성물은 아래의 그림과 같이 생성이 되었다.

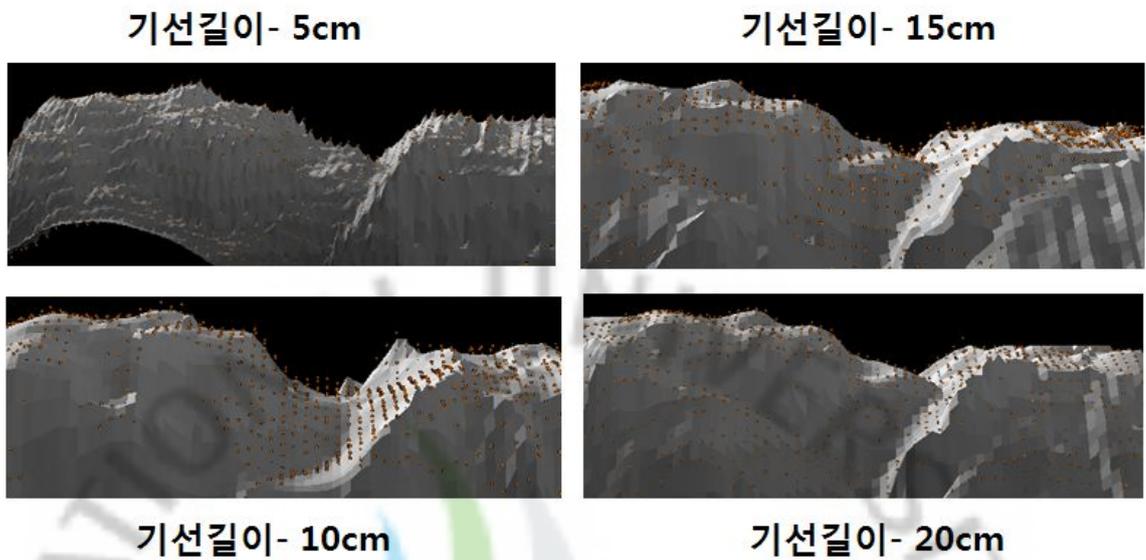


Fig 5-11. 기선의 길이의 변화에 따른 DEM생성물-1

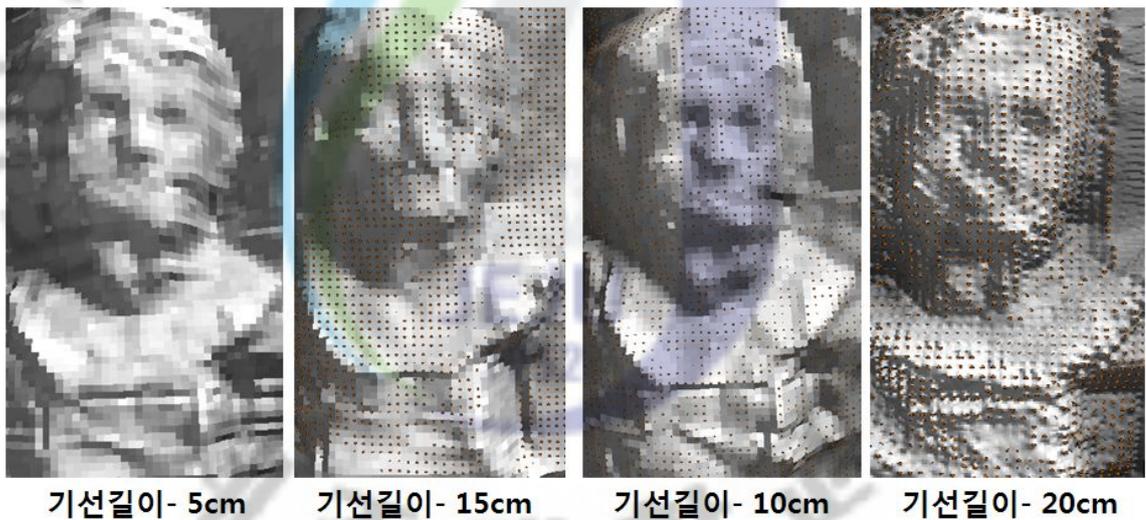


Fig 5-12. 기선의 길이의 변화에 따른 DEM생성물-2

기선에 따른 중복도의 계산은 아래 표와 같다.

Table 5-4 중복도에 따른 오차

촬영길이	기선	중복지역	중복도	표준편차
43.35	5 Cm	38.35	88.47%	0.0037
43.35	10 Cm	33.35	76.93%	0.0023
43.35	15 Cm	28.35	65.40%	0.0017
43.35	20 Cm	23.35	53.86%	0.002

위의 표를 바탕으로 최소자승법을 이용하여 중복도의 오차의 관계를 다음 이차다항식으로 나타내었다.

$$y = 0.0319x^2 - 0.0404x + 0.0145$$

이 다항식을 이용하여 계산한 최적의 중복도는 63.32%이었다.

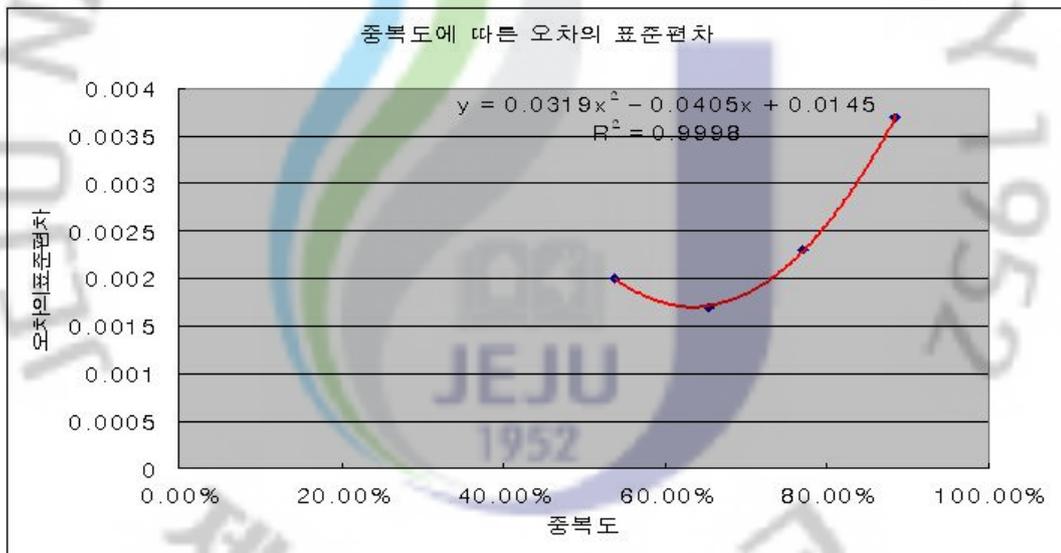


Fig 5-13. 중복도에 따른 오차의 표준편차

통계에선 R제곱을 결정계수라고 한다. 최적함수와 측정 값 사이의 상관관계를 나타내면 그 범위는 1-0사이이며 1에 가까울수록 그 데이터들이 그 최적함수에 근접한다. 위의 최적함수의 결정계수는 0.9998로 함수는 적정하다고 할 수 있다.

5.3 중복도와 오차와의 이차다항식의 적정 중복도 정확성 분석

위의 최적 적정 중복도 분석에 그 적정 중복도는 63.32%을 얻었고 그 중복도가 다른 촬영길이에도 적용되는지를 알아보았다. 우선 기준에 한 영상 안에 관찰대상물인 석고상을 최대화 할 수 있는 거리는 1.22m이었다. 이에 정확도는 다소 떨어지지만 거리1.5m에서의 중복도를 적용하여 적정 기선길이는 약 19cm인 것을 알았고 기선길이 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm로 변화시키면서 영상을 촬영하여 정확도를 분석하여 보았다. 생성된 3차원 결과물은 다음의 그림과 같다

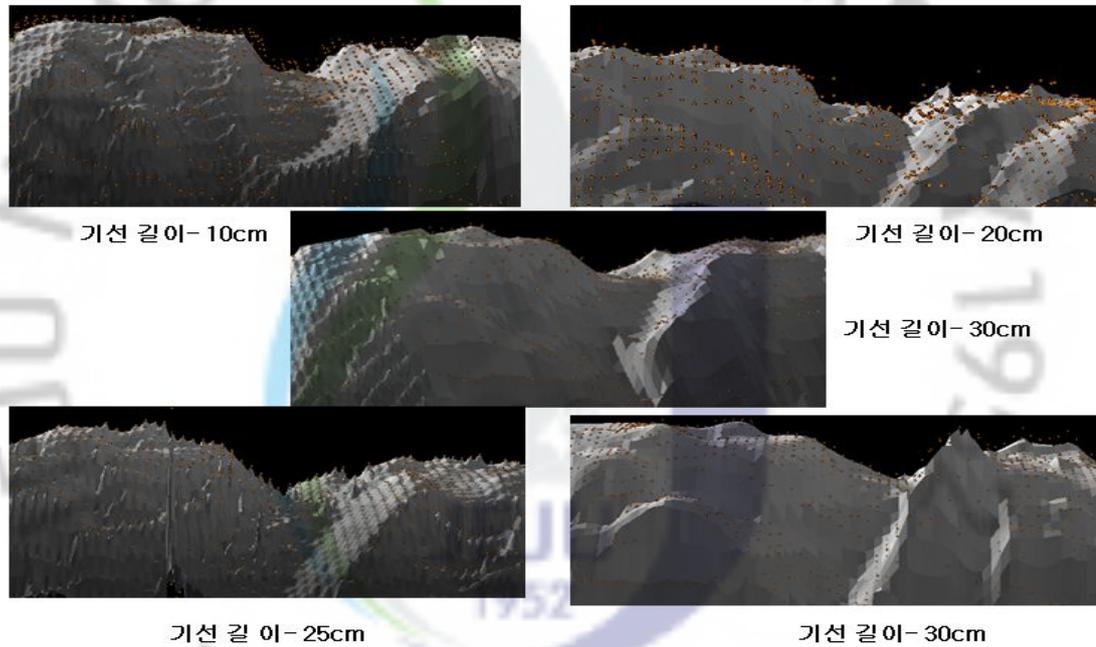


Fig 5-14 적정중복도 확인을 위해 생성한 DEM-1

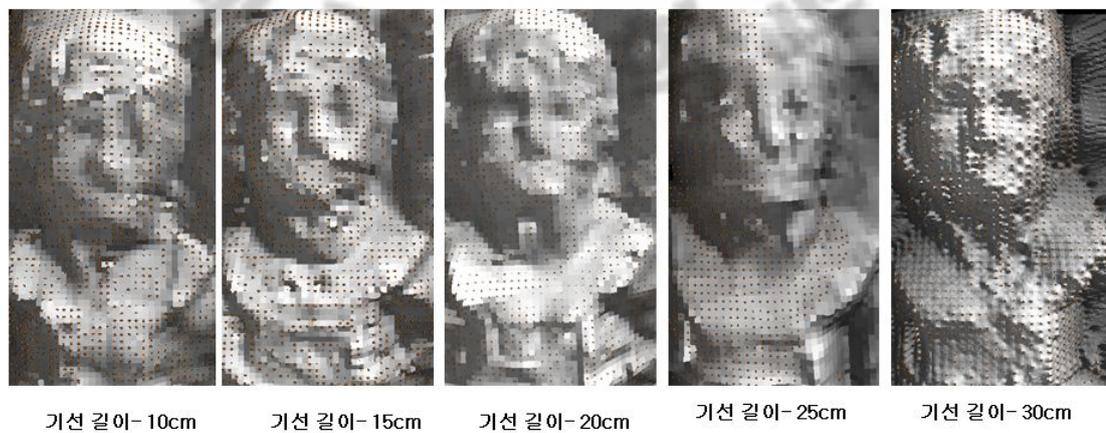


Fig 5-15 적정중복도 확인을 위해 생성한 DEM-2

이 결과로부터 6개의 지점에 대한 3차원 모델 생성물의 표고와 표정점의 표고차이를 표준편차를 이용하여 정확도 분석을 실시하였다.

Table 5-5 기선길이 변화에 따른 오차의 표준편차

기선길이(Cm)	10	12.5	15	20	25	30
오차의 표준편차	0.003834	0.003746	0.002809	0.002445	0.002794	0.003061

적정중복도의 정확성 분석

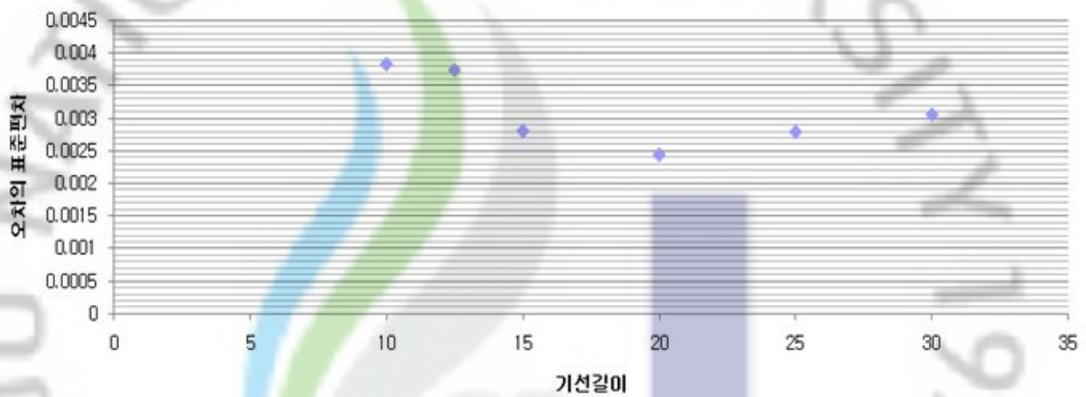


Fig 5-16 적정중복도의 정확성분석

이 결과로부터 적정중복도 63.32%를 이용하여 촬영거리 1.5m일 때의 기선의 길이는 약19cm이었고 19cm에 근접한 20cm를 중심으로 기선길이 10cm, 15cm, 25cm, 30cm 일 때의 DEM을 생성하여 그 정확도를 확인한 결과 예상한 결과와 같은 결론을 도출하여 일반디지털사진기의 적정중복도는 약63%정도로 생각된다.

6. 결 론

측량용사진기가 아닌 일반 디지털 사진기를 이용하여 DEM 생성시 정확도에 영향을 주는 요소들인 표정점 개수, 그리고 기선의 변화에 따른 중복도를 각각 변화시키면서 그에 따른 정확도 변화를 분석하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 표정점 변화에 따른 정확도 분석에서 표정점 개수가 12개 이하에서는 개수가 증가함에 따라 정확도가 큰 변화가 없었으나 12개를 초과하면서 정확도가 현저히 향상되었으며 그 중에서도 개수가 24개 일 때 가장 정확한 것을 알 수 있었고 24개 이상에서는 정확도에 큰 영향이 없는 것을 알 수 있었다.
2. 기선길이 변화에 따른 정확도 분석에서 촬영거리가 1.22m일 때 기선길이가 5cm에서부터 증가함에 따라 정확도는 향상되는 것을 알 수 있었고 15cm일 때 가장 정확하였으며 이때 적정 중복도는 63%라는 것을 알 수 있었고 기선길이가 15cm이상에서는 정확도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.
3. 촬영거리 변화에 따른 적정 중복도 분석에 있어서 촬영거리가 1.22m와 1.5m 일 때 크기가 54cm*35cm*16.6cm인 대상물에 대하여 적정중복도가 모두 63%인 것을 알 수 있었고 이는 기존 사진측량연구에서 제안된 적정 중복도 55%~65%를 만족하는 것을 알 수 있었다.

7. 참고문헌

1. 김진수, 박운용, 홍순헌, “수치사진측량기법을 이용한 문화재의 3차원 모델링에 관한 연구”, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, 2003
2. 임건혁, “디지털 영상을 이용한 수리모형의 변화추출 자동화”, 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 2004
3. 김주용, “비측정용 카메라에 의한 수치표고모형 정확도 평가”, 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 2004
4. 정명훈, 윤홍식, 위광재, “수치사진측량에 있어서 정합 강도 측정에 의한 불량 정합점 제거에 관한 연구”, 한국측량학회지, 제18권, 제2호, 2000
5. 강준목(1985), 다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀해석에 관한 연구, 연세대학교, 학위논문
6. 강준목, 주영은, 엄대용, 김위현(2001), 교량의 안전진단을 위한 3차원 변위해석, 한국측량학회지 제19권
7. 이철우(2000), 수치사진측량을 이용한 Fender의 3차원 수치모형생성, 충북대학교, 석사학위논문
8. 이정주(2008), 수치사진측량에 의한 교량구조물 변위 측정에 관한 연구, 충북대학교, 석사학위논문
9. 문승주(2007), 디지털 카메라를 이용한 취득영상의 수치지도 정확도 분석, 명지대학교, 석사학위논문
10. 유복모, 이석균(1998), CCD 사진기를 이용한 근거리사진측량의 실시간 처리에 관한 연구, 대한토목학회논문집 제18권,
11. 유환희(1988), 근거리 사진측량에 의한 변형해석의 연구, 연세대학교, 석사학위논문

12. 배상호(1995), 근접사진측량에 의한 교량의 변형해석에 관한 연구, 충남대학교, 석사학위논문
13. 강인준(1986), 지상사진에 있어서 블록조정법을 이용한 기준점 결정에 관한 연구, 연세대학교, 박사학위논문
14. 한승희, 배연성, 배상호, 공편저, “사진측량학 개론” 2003
15. 유복모, “측량공학” 제5판, 박영사, 2005
16. Paul R. Wolf, Elements of photogrammetry, McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, 1983
17. 토니싱크, 유복모, “현대 디지털 사진 측량학”, 피어슨 에듀케이션코리아, 2003
18. INTERGRAPH, MGE Terrain Analyst, 1996
19. INTERGRAPH, MGE Grid Analyst, 1996