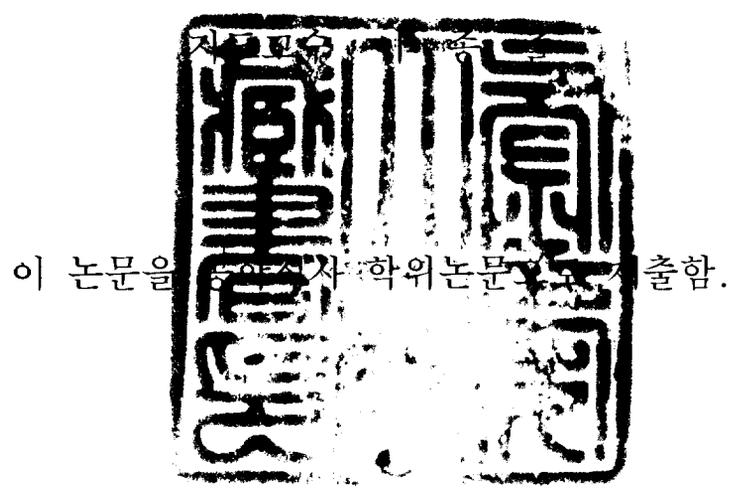


공학석사 학위논문

디지털 영상을 이용한 도로 절취 사면 정보 획득



2005 년 8 월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

김 명 준

이 논문을 김명준의 공학석사
학위논문으로 인준함

2005년 6월 17일

주 심	농공학박사	이 영 대	
위 원	공학박사	이 상 호	
위 원	공학박사	이 중 출	

목 차

List of Tables	i
List of Figures	iii
Notation	iii
Abstract	v
1. 서론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구방법 및 범위	2
1.3 연구동향	3
2. 디지털 영상이론	6
2.1 수치영상의 특성	7
2.2 수치영상의 기하학	7
2.2.1 공선조건식	8
2.2.2 자체검정에 의한 광속조정법	9
2.2.3 에피폴러 기하	11
2.3 다중영상표정	12
2.4 자체검정	15
2.5 디지털사진측량 시스템	17
3. 디지털 영상 획득	19

3.1 대상지역 선정	19
3.2 관측장비	23
3.4 디지털영상 획득	24
4. 결과분석	29
4.1 표정 해석	29
4.2 취득영상의 수치도화	34
4.3 결과분석	37
5. 결 론	40
참고문헌	41

List of Tables

<Table 3.1>	Specifications of DSC-W1	21
<Table 3.2>	Data of CalibrationI	23
<Table 3.3>	Specifications of Total Station	25
<Table 3.4>	Data of Control Points	26
<Table 4.1>	The Exterior Orientation Parameter	31
<Table 4.2>	The Error of control points	38

List of Figures

<Fig. 1.1>	Flow Chart of Research Planning	2
<Fig. 2.1>	Discrete Representation of an Image as a Matrix	6
<Fig. 2.2>	Collinearity Condition	8
<Fig. 2.3>	Epipolar Geometry of a Stereopair	11
<Fig. 2.4>	Multi-Image Orientation	13
<Fig. 2.5>	Sapce Intersection	14
<Fig. 2.6>	Space Resection	14
<Fig. 2.7>	Radial Optical Distortion	15
<Fig. 2.8>	Radial and Decentring Distortion	16
<Fig. 2.9>	The Flow Chart of Data Processing	18
<Fig. 3.1>	Observation of Cutting slope	19
<Fig. 3.2>	DSC-W1 Digital Camera	20
<Fig. 3.3>	Image of Camera Calibration	22
<Fig. 3.4>	RC Helicopter Photographic surveying System	24
<Fig. 3.5>	Total Station	24
<Fig. 4.1>	Relative Orientation	29
<Fig. 4.2>	Absolute Orientation	30
<Fig. 4.3>	Photo Triangulation Results	32
<Fig. 4.4>	Result of Computed Orientation Element	33
<Fig. 4.5>	Image of ISSD	34

<Fig. 4.6> Stereo Image	35
<Fig. 4.7> Image of Digitizing	35
<Fig. 4.8> Plan of Cutting Slope CAD File	36
<Fig. 4.9> Cross Section of Cutting Slope CAD File	36
<Fig. 4.10> RMSE of Control Points	39

Notations

a_{ij}	:	미지값 산출을 위한 편미분 요소
dr	:	방사방향 왜곡수차
f	:	초점거리
R	:	회전행렬
s	:	축척인자
r_{ij}	:	회전행렬인자
x, y	:	영상좌표
x_0, y_0	:	영상 중심 좌표
x_p, y_p	:	영상내 p점의 좌표
X_0, Y_0, Z_0	:	카메라 투영중심의 대상-공간좌표
X_c, Y_c, Z_c	:	촬영점 좌표
X_p, Y_p, Z_p	:	p점의 대상-공간좌표
ω, ϕ, κ	:	회전요소
$\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$:	외부표정요소
v	:	잔차

*Acquisition of Information of Cutting Slope on Road
Using Digital Imagery*

Myung Jun, Kim

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

ABSTRACT

A carrying out of cutting slope is essential in a field of construction such as road, factory site, and leisure facility site etc. due to the condition of our country's mountainous topography. Annually, collapse accident spring from cutting slope site frequently and makes vast damages. The cause of these collapse have its origin in not only slope's broken balance by cutting work but also summertime's localized torrential downpour. To prevent slope's collapse, therefore, cutting slope's construction work must contain precise surveying and analysis concerning with safety slant rate according to slope's level and characteristics of soil or function. In management system, surveying and analysis method still employ the traditional equipment such as Totalstation and Level etc. But these method have time or economical limitation and points of surveyor's approach or safety insurance so that it is hard to obtain slope's systematical informations.

In this study, the method of photogrammetry was employed for the efficient surveying and analysis of cutting slope using Remote Control Helicopter installed with a nonmetric digital camera. At first,

orientation control points were established on the road cutting slope then picture-taking performed. Strip was constituted from the pictures. In conclusion, through the three-dimension imagery, the target area's cutting slope information could be obtained.

1. 서 론

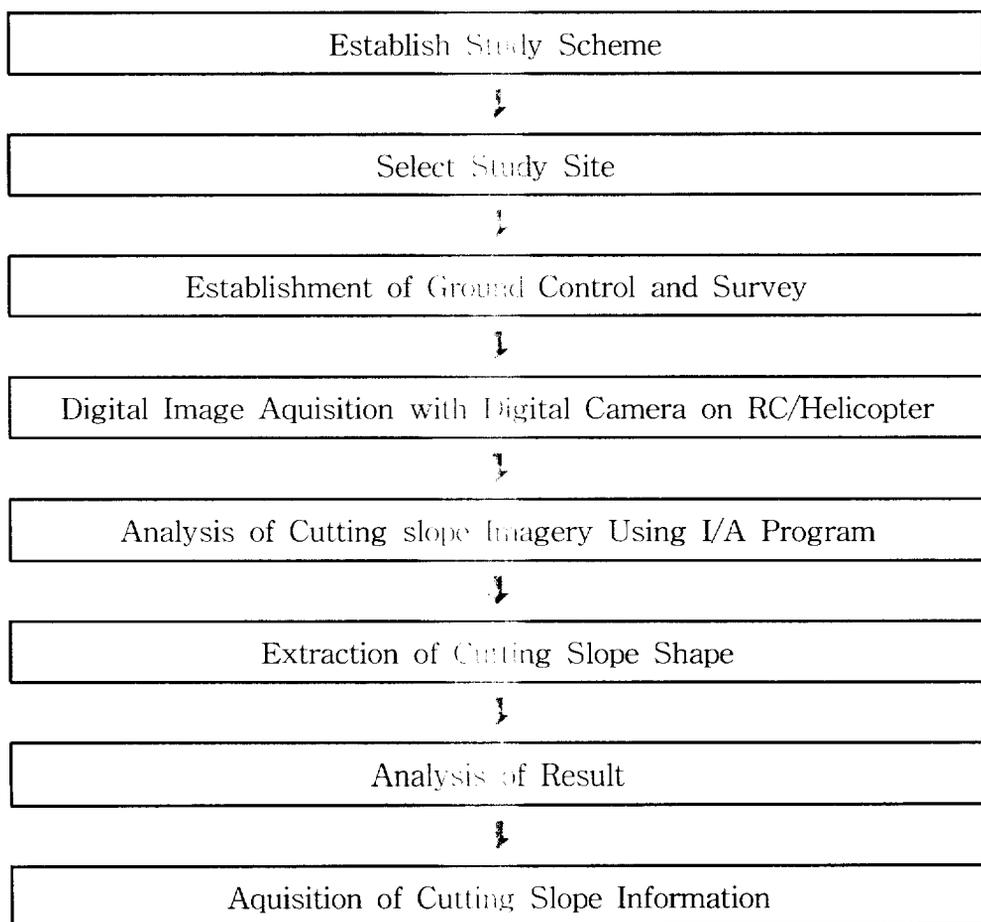
1.1 연구 배경 및 목적

우리나라는 국토의 60% 정도가 산지로 되어 있는 지형적 특성으로 도로, 공장부지, 여가시설부지 등의 건설에 있어 절취사면의 발생은 필수적이다. 그리고 절취사면의 시공시 자연상태에서는 안정되어 있는 지형이 사면의 절취로 인하여 그 균형이 무너진다. 또한 연 평균강우량의 2/3정도가 여름철에 집중되는 우리나라 기후 특성으로 인해 해마다 여러 절취사면에서 붕괴가 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인해 많은 인명·재산 피해가 발생하고 있다. 따라서 사면 붕괴를 방지하기 위해서는 시공시 절취경사에 대하여 지질, 토질 및 함수량의 변화 등을 충분히 고려하여 절취고에 대해 안전한 경사로 건설해야 하며, 안정성확보를 위해서는 절취사면의 형태에 대하여 정밀한 측정, 분석이 필요하다. 이러한 사면의 체계적인 관리를 위하여 한국건설기술연구원에서는 현재 도로절토사면유지관리 시스템을 개발, 활용하고 있지만 관리 시스템에 있어서 중요한 사면 형태의 측정·분석은 아직도 토탈스테이션, 레벨등과 같은 장비를 이용하여 측정·분석이 수행되어 지고 있는 상황이다. 이는 시간적·경제적으로 많은 한계가 있으며, 또한 조사자의 접근성 및 안정성 확보에 많은 문제점이 있어 체계적인 사면 형태의 정보를 얻기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 도로의 절취사면의 측정·분석을 효율적으로 수행하기 위하여 도로 절취 사면에 표정점을 설치하고, RC모형 헬기에 비측량용 디지털 카메라를 장착하여 절취사면을 촬영하였으며, 촬영된 영상으로부터 정지영상을 획득하여, 스트립을 구성하였다. 이로부터 입체영상의 생성을 통해 대상 도로의 절취 사면을 분석하고 정보를 획득 하는 것이 목적이다.

1.2 연구범위 및 방법

본 논문에서는 도로절취사면의 정보를 효율적이고 경제적으로 취득하기 위한 방법을 제시하고자한다. 이를 위하여 절취사면의 지표면 3차원지형 정보를 무선조정 헬리콥터를 이용하여 취득된 디지털 영상정보의 해석을 연구범위로 하며, <Figure 1.1>과 같이 일련의 과정으로 연구를 수행하였다.



<Figure 1.1> Flow Chart of Research Planning

먼저 연구에 이용될 도로절취사면을 선정하고, 선정된 사면에 효율성을 극대화하기 위하여 최소한의 지상기준점을 설치한 후 각각의 기준점에 대하여 Total Station을 이용하여 정확한 좌표를 측정한다. 그리고 RC헬리콥터에 짐벌장치를 설치하여 디지털 카메라(sony DSC-W1)를 장착한 후 고도 200~300m 상공에서 대상 사면을 촬영하였다. 촬영 전 대상 사면에 기준점측량을 실시하였으며, 영성분석 과정에 있어 정확도 향상과 작업 편리성을 위하여 중복도를 높게 하여 촬영을 실시하였으며, 이렇게 디지털 카메라로부터 획득된 영상은 포토샵(Photoshop 7.0)을 이용하여 영상 형태를 변환하여 분석에 필요한 영상을 선별하였다. 이렇게 획득된 디지털영상은 I/A프로그램 중 ISDM(Image Station Digital Measurement)모듈을 이용하여 표정을 실시한 후 대상사면의 정량적인 분석을 하기 위하여 ISSD (Image Station Stereo Display)와 ISFC(Image Station Feature Collection)모듈을 이용하여 수치도화하고 이를 통해 사면의 정확한 정보를 취득하는 순서로 본 연구를 수행하였다.

1.3 연구동향

현재 소규모 특정지역의 정확한 관측을 위하여 저 고도 항공사진측량은 근접 사진측량기법과 연계하여 기존의 항공사진측량으로 측정할 수 없는 지역의 지형형태를 효율적이고 정확하게 획득 분석 할 수 있다. 항공사진 촬영 방법에는 항공기, 무선조종 비행기, 무선조정 헬리콥터, 열기구, 비행선 등이 있다. 이들 중 최근 성능, 조정성, 안전성, 정비성, 휴대성 등 여러 면에서 개발이 향상되고 있는 무선조정 헬리콥터는 크기가 작고, 촬영 대상물까지의 이동성과 접근성이 뛰어나며, 가장 근접해서 사진 촬영을 할 수 있다는 장점을 가지고 있어 현대에 들어서면서 연구에 많이 사용되기 시작하였다.

Smith¹⁾등은 고속도로를 측량하기 위하여 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 예비 조사하는 시스템을 개발하였으며, Eckstein²⁾등은 Ramsberg성을 사진측량하기 위해 헬리콥터를 사용과 동시에, CAD시스템과 해석도화기로 입체영상을 복원하였다. 그리고 4×5" Linhof Mertrika reseau 카메라를 이용하여 X=13mm, Y=15mm, Z=13mm 크기의 정밀도를 얻었다.

Axelsson³⁾은 통합된 센서인 LRF(laser rang finder)시스템을 헬리콥터에 장착하여 고도 50m~500m의 범위에서 지형을 촬영하여 삼차원 영상을 해석하도록 행상시켰으며, Irish³⁵⁾등은 Bell 212 헬리콥터에 Laser 시스템을 장착한 SHOALS(Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Surveying)시스템을 개발하였다.

Zischinsky⁴⁾등은 무선조정 헬리콥터를 이용하여 고도 40m~80m사이에서 건축물의 지붕을 촬영하여 VRML(Virtual Reality Modeling Language)로 삼차원 영상을 가시화 시켰으며, 정확도는 평균 ±2cm로 나타났다. 또한 Skaloud⁵⁾등은 헬리콥터를 이용하여 수평 및 수직의 정확도가 각각 10cm~15cm정확도를 지니는 지형도를 획득하였다.

Miller⁶⁾는 삼차원 칼라 지형 모델링을 할 수 있는 시스템을 무선조정 헬리콥터에 장착하여 사람이 접근하기 어려운 지형이나 위험 곳에서 촬영이 가능한 시스템을 개발하였으며, Georgopoulos⁷⁾등은 CAD 시스템과 영상 프로세싱과 같은 그래픽과 페인팅 소프트웨어가 포함된 저가의 프로그램을 이용하여 수치 해석에 관하여 연구하였고 Bryan⁸⁾등은 수치적으로 수정된 영상 생성을 포함한 기술 기법뿐만 아니라 현대 기술을 고고학과 건축학적인 형상에 대하여 논하였다.

한편, 국내에서는 사진측량의 연구가 1970년대부터 본격적으로 연구되기 시작하여 1972년 유복모¹⁵⁾에 의해 항공사진측량과 지상사진측량에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

1984년 양인태¹⁶⁾는 경사사진에 의한 해석적 위치결정에 대해 연구하였고, 1985년 강준묵¹⁸⁾은 다중 근거리 측량에 의한 피사체의 정밀해석에 대해 연구하였으며, 1986년에는 이재기¹⁹⁾에 의해 비 측량용 사진기에 의한 좌표해석에 관한 연구가 발표되었다.

1989년 이종출²²⁾은 근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치를 항공사진측량보다 간편하고 경제적으로 해석하고, 그 해석의 정확도를 향상시킴과 동시에 효율성을 높이는 연구를 수행하였고, 1990년 손덕재²⁷⁾는 지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석으로 이론적 정확도 예측모델을 개발하고 그 유용함을 입증한 바 있으며, 1992년 이진덕²⁸⁾은 다중 근접사진측량에 의한 구조물 전면의 3차원 해석으로 비지형 대상물에 대하여 외부전면해석과 내부전면해석의 정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다.

그리고, 무인 항공기로 사진측량에 접목시켜 발표한 연구는 1995년에 강준묵³⁶⁾등은 원격조정 비행기에 35mm Nikon F-801 카메라를 탑재한 원격조정 공중사진 촬영시스템을 개발하여 지형도와 종·횡단면도 및 토공량 등을 정확하게 획득할 수가 있었으며, 1995년 조재호³⁰⁾는 CCTV 사진기 HTC80X-A와 초점거리 40mm의 광각렌즈를 사용하는 준측량용 Rolleiflex6006 사진기를 무인기구에 장착한 사진측량체계를 이용하여 정사투영영상 및 정사투영지도를 제작하여 지형공간정보체계의 구축에 기여하였다. 2002년 유환희³⁰⁾등은 무인 비행선에 Sony DSR-PD150 카메라를 장착한 비행선촬영시스템을 개발하여 영상지도를 제작하므로써 수치지도의 검증 및 갱신과 GIS 자료 구축등 많은 분야에 활용시켰으며, 2004년 장호식은 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 문화재 관리 정보시스템을 구축하였다.

그리고 사면 해석에 수치사진측량을 이용한 연구로는 1983년에 박운용³¹⁾에 의해 사진측량에 의한 사면의 경사해석방법이 발표되면서 사면해석의

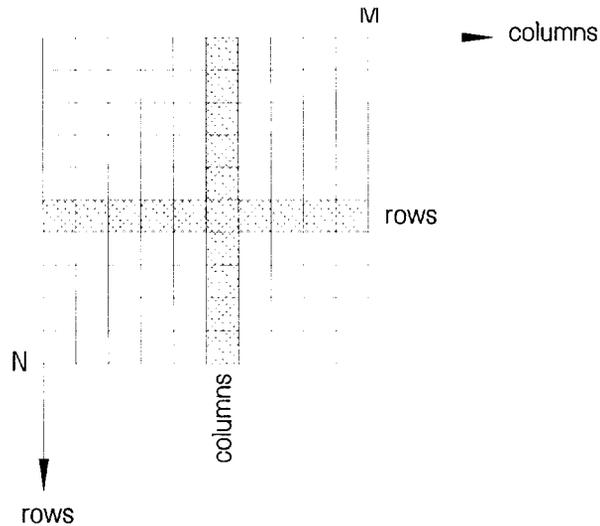
실용화에 기여하였으며, 2003년 한중근³²⁾등은 사진측량장점을 활용한 소프트웨어 사진측량(Softcopy Photogrammetry)의 매카니즘을 사면지반의 변위계측에 적용시켜 사면안정해석을 위한 사진측량을 이용한 사면변위계측 시스템을 구축하였다.

2003년 강준목³³⁾등은 붕괴위험성을 내포하고 있는 암반사면의 모니터링과 안전성 평가를 위해 수치사진측량을 이용하여 3차원 자료의 획득을 통해 절리로 대표되는 암반의 불연속 선구조를 추출하고 이에 대한 측정 정확도를 분석하였으며, 2004년 조삼덕³⁴⁾등은 CCD카메라를 기본 감시장비로 사용하여 도로사면 관리 및 붕괴 예경보를 위한 실시간 무인감시시스템을 개발하였다.

2. 디지털 영상 이론

2.1 디지털 영상의 특성

디지털영상은 대상물에서 반사된 빛이 렌즈의 중심을 통과하여 CCD(Charge Coupled Device) 센서에 감지되어 수치 정보화된다. <Figure 2.1>은 좌표상에 위치한 밝기값을 일정한 범위로 구분하여(0~255) 영상소(pixel) 단위로 나타낸 것으로서 유효 영상폭은 그 크기가 일정하게 규정된 직각 포맷을 이룬다.



<Figure 2.1> Discrete Representation of an Image as a Matrix³⁷⁾³⁸⁾

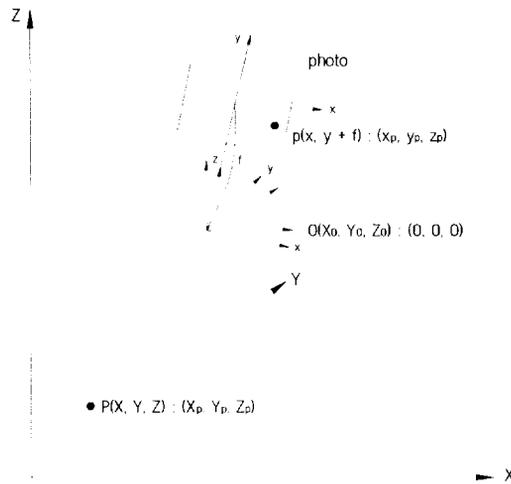
이러한 디지털영상은 스캐너, CCD(Charge Coupled Device) 카메라 및 디지털 카메라 등을 이용하여 취득할 수 있으며, 모든 처리가 컴퓨터에 의해 이루어지므로 신속, 정확할 뿐만 아니라 다양한 처리를 실현할 수도 있다.

2.2 디지털영상의 기하학

디지털사진측량은 사진과 렌즈의 투영중심 그리고 대상물간의 기하학적 관계를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량·정성적으로 해석하는 학문으로써, 사진의 기하학적인 원리는 중심투영이며, 사진과 대상물간의 상관관계는 공선조건식, 광속조정법, 에피폴러 기하학 등의 이론에 의해 해석된다.

2.3.1 공선조건식

대상 공간상의 임의점(X_p, Y_p, Z_p)과 그에 대응하는 사진상의 점 (x_p, y_p, z_p) 및 사진기의 촬영중심 (X_0, Y_0, Z_0)이 동일직선상에 있어야 하는 조건을 공선 조건(Collinearity Condition)이라 하며, <Figure 2.2>에서 나타낸 바와 같다.



<Figure 2.2> Collinearity Condition⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

사진기 투영중심과 P의 상점 및 대상물 사이의 관계는 투영변환의 기하학적 관계에 의해 식(2.1)과 같이 표현되어지며, 상호간의 기하학적 위치관계를 이용하여 식(2.2)와 같은 공선조건식의 기본식으로 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ -f \end{bmatrix} = s \cdot R \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{식(2.1)}$$

여기에서

$$x - x_p = -f \frac{r_{11}(X_p - X_0) + r_{12}(Y_p - Y_0) + r_{13}(Z_p - Z_0)}{r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0)} \quad \text{식(2.2)}$$

$$y - y_p = -f \frac{r_{21}(X_p - X_0) + r_{22}(Y_p - Y_0) + r_{23}(Z_p - Z_0)}{r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0)}$$

2.2.2 자체검정에 의한 광속조정법

식(2.3)은 최소제곱조정과 Taylor 급수를 사용하여 식(2.2)와 같은 비선형식을 선형화한 것으로, 관측식의 함수(F)와 매개변수값이 0과 같음을 기초로 한다.

$$\begin{aligned} F_1 = 0 &= px + qf \\ F_2 = 0 &= py + rf \end{aligned} \quad \text{식(2.3)}$$

여기에서,

$$\begin{aligned} p &= r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0) \\ q &= r_{11}(X_p - X_0) + r_{12}(Y_p - Y_0) + r_{13}(Z_p - Y_0) \\ r &= r_{21}(X_p - X_0) + r_{22}(Y_p - Y_0) + r_{23}(Z_p - Y_0) \end{aligned}$$

선형화 형태로 다항식을 정리함에 있어, 미지값들의 초기값 계산에 대한 함수와 우연오차에 대한 보정값을 요소로 하여 편미분값을 기호화할 수 있다. 그리고, 기지 대상점이 3점 이상인 경우, 외부표정요소를 도출할

수 있으므로, 이를 간단히 행렬 요소로 표현하면 식(2.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \\ \omega \\ \Delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad \text{식(2.4)}$$

이로부터 획득한 외부표정요소는 기지값으로 이용되어 새로운 대상점의 보정값($\Delta X_p, \Delta Y_p, \Delta Z_p$)을 계산하게 되며, 대상점 p의 대상물 좌표 X_p, Y_p, Z_p 에 대한 기초 근사값으로 사용되어진다. 이로써 식(2.4)를 다음과 같이 수정·정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad \text{식(2.5)}$$

미지점의 3차원 좌표는 공선조건식의 외부표정요소와 최소 3점 이상의 잉여 기준점 좌표로부터 계산되어진다. 이런 비선형화 방정식의 선형화를 통한 자료처리 과정을 공간 후방교회법(Space Resection)이라 하며, 여기서 획득한 수정된 외부표정요소는 공간 전방교회법(Space Intersection)을 통하여 초기값으로 이용되어 미지점의 좌표를 도출하게 된다.

사진측량의 관측값에는 우연오차 뿐만 아니라 정오차도 포함되어 있고 이 정오차는 오차모형에 의해 해결될 수 있으므로 조정계산에서 입체모형의 일부에 이와 같은 오차모형식을 부가하여 정확도를 향상시킬 수 있으며, 이것이 자체검정의 기본목적이다. 초기의 자체검정은 정밀근점사진측

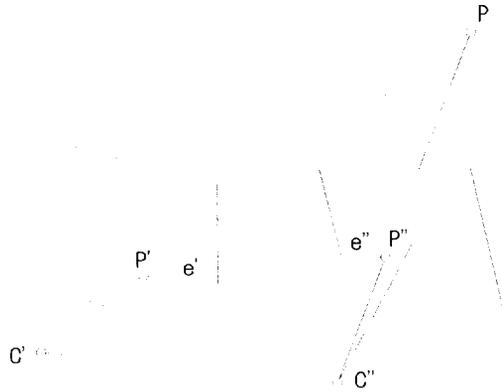
량의 정확도 향상을 목적으로 고안된 사진기의 내부표정요소 및 렌즈왜곡의 검정이 주된 것이었으며, 이 후 발전적으로 항공삼각측량에도 도입되어 광속법에 의한 종횡접합모형(Block Adjustment)에 각종 오차모형이 제안되게 되었다.

이와 같은 방법을 자체검정에 의한 광속조정법(Bundle Adjustment with self calibration), 기내검정 또는 부가매개변수에 의한 조정이라 하며, 이는 광속조정법에서 미지변수로 취급되는 사진의 외부표정요소와 관측점의 지상좌표와 사진좌표에 포함되는 계통적 오차를 나타내는 변수를 미지변량으로 하여 이 미지변수들을 동시에 조정하는 방법이다.

2.2.3 에피폴러 기하학

수치사진측량에서 가장 기본적인 처리과정 중의 하나는 둘 또는 그 이상의 영상에서 공액점(Conjugate Point)을 찾고 관측하는 것이며 영상정합(Image Matching)이라는 처리과정에 의해 자동으로 그 문제를 해결하려고 시도하고 있다. 또한 수치사진측량 기술의 발달과 더불어 입체사진에서 공액점을 찾는 공정은 점차 자동화되어 가고 있으며, 공액요소 결정에 에피폴러 기하를 이용하고 있다.

<Figure 2.3>은 에피폴러 기하(Epipolar Geometry)를 이루고 있는 각각의 투영중심이 C' , C'' 인 입체쌍을 나타내고 있으며, 에피폴러면은 2개의 투영중심과 대상점 P 에 의해 정의된다. 또한, 에피폴러선 e' 와 e'' 는 에피폴러면과 영상면의 교차점으로써, 공액점은 에피폴러선상에 반드시 있어야 하며 이러한 에피폴러선은 탐색공간을 많이 감소시킨다.



<Figure 2.3> Epipolar Geometry of a Stereopair²⁴⁾

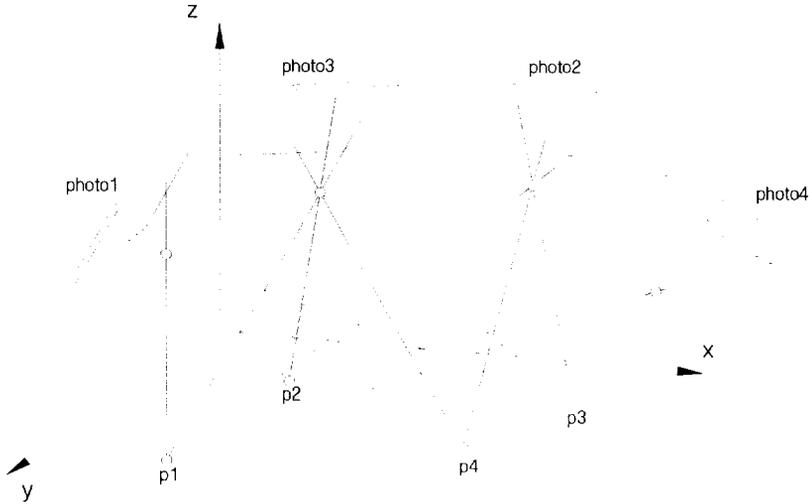
2.3 다중영상표정

다중영상정합의 표정(Orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(ω, ϕ, κ)에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치(X_0, Y_0)와 주점거리(cK)를 결정하는 것이고, 외부표정은 카메라 시스템과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영 중심으로 절대좌표계 X, Y, Z 에 관계되는 촬영점 좌표 X_c, Y_c, Z_c 에 의해 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 ω, ϕ, κ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각 ω, ϕ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.

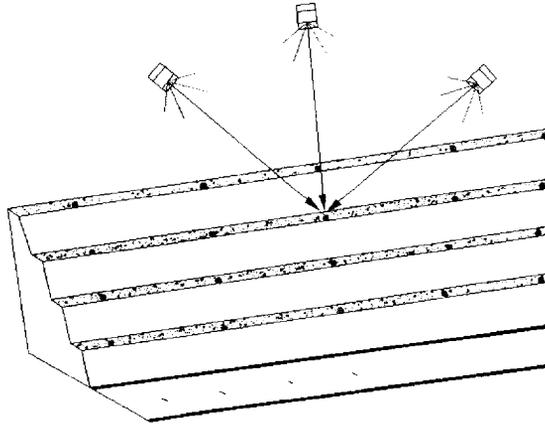
다중영상정합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(Space Intersection)과 공간 후방교회법(Space Resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진

좌표와 스케치에 의해 입력된 대략의 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다.



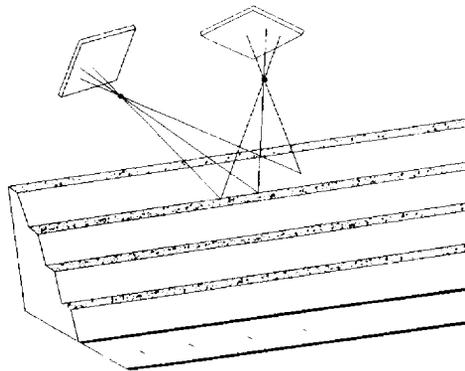
<Figure 2.4> Multi-Image Orientation

공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이며, 이를 도식화하면 <Figure 2.5>과 같다.



<Figure 2.5> Sapce Intersection

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시키므로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부 표정을 결정하는 방법으로써 이를 도식화하면 <Figure 2.6>과 같다.

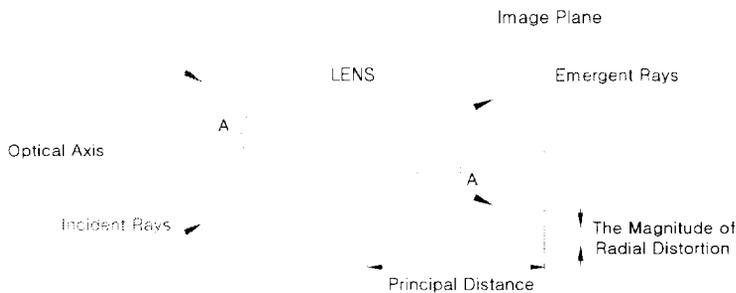


<Figure 2.6> Space Resection

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서 60~90°의 각도가 이루어지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 공간 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다.

2.4 자체검정

자체검정(Self-Calibration)은 카메라의 초점거리와 주점의 결정, 정오차를 보정하기 위한 부가매개변수의 취득에 이용된다.

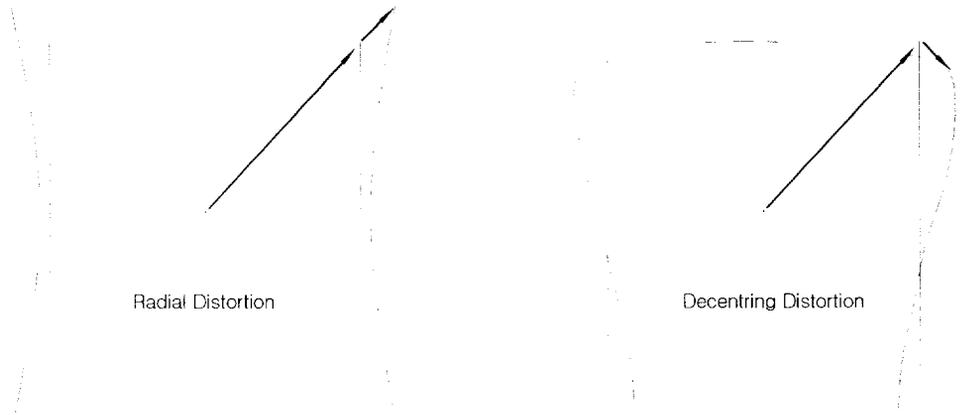


<Figure 2.7> Radial Optical Distortion

이론적으로 이상적인 카메라는 <Figure 2.7>에서 나타난 바와 같이, 대상물 공간 속에서 카메라에 입사하는 빛이 렌즈 중심을 통하여 입사각과

같은 각으로 내부에서 직진하지만, 실제 카메라는 이와 같이 작용하지 않고 두 개의 투영중심이 생기는데 이 점들을 내부 및 외부의 투영중심이라 한다. 그러나 그 차이는 무시할 정도로 매우 미소하므로 기하학적 모델에서는 하나의 투영 중심만을 사용한다.

렌즈의 특성으로 인하여 대상물 공간상에서 카메라에 들어오는 입사각과 카메라 내부에서 렌즈의 중심을 통해 굴절하는 굴절각이 일정하지 않기 때문에 생기는 렌즈 왜곡수차는 방사방향 왜곡수차와 편심방향 왜곡수차가 있으며, <Figure 2.8>에서 나타낸 것과 같다.



<Figure 2.8> Radial and Decentering Distortion

일반적으로, 편심방향 왜곡수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 고려하지 않으며, 방사방향 왜곡수차는 식(2.6)으로 보정한다.

$$DR = A_1R(R^2 - R_0^2) + A_2R(R^4 - R_0^4) \quad \text{식(2.6)}$$

여기서,

DR : Radial Distortion

A_1 : 1차 왜곡상수

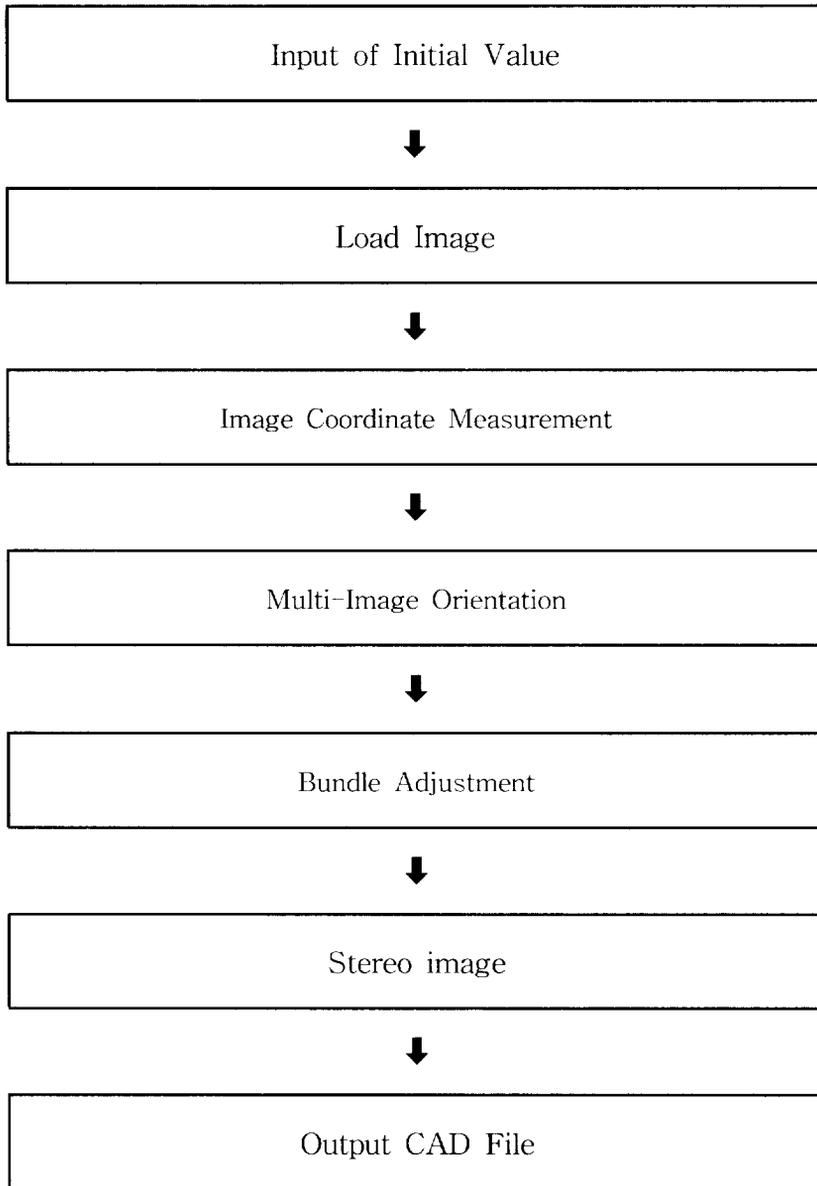
A_2 : 2차 왜곡상수

R : 반지름

R_0 : 왜곡수차가 0이되는 주점으로부터 반경

2.5 디지털사진측량 시스템

본 연구에서는 항공사진, 위성영상을 컴퓨터상에 처리하기 위한 프로그램인 DPW(Digital Photogrammetric Work · Station)의 한 종류인 Image · Station을 이용하였다. 이 프로그램은 모든 표정을 수행 할 수 있는 장점이 있으며, 항공삼각측량과 자동화된 내부표정, 상호표정이 가능하다. 또한 GPS/INS 데이터를 받아들여서 블록단위의 Tie포인트 및 Pass포인트를 자동으로 매칭 시키므로 사용자의 개입이 가장 적은 S/W이다. 수치도화시 편광의 원리에 의한 입체시를 가능하게 해주고, 수치도화에 필요한 피쳐들을 미리 정의해두어 필요시 선택하여 도화를 할 수 있다. 전반적인 수치영상처리 시스템의 흐름도는 <Figure 2.9>와 같다.

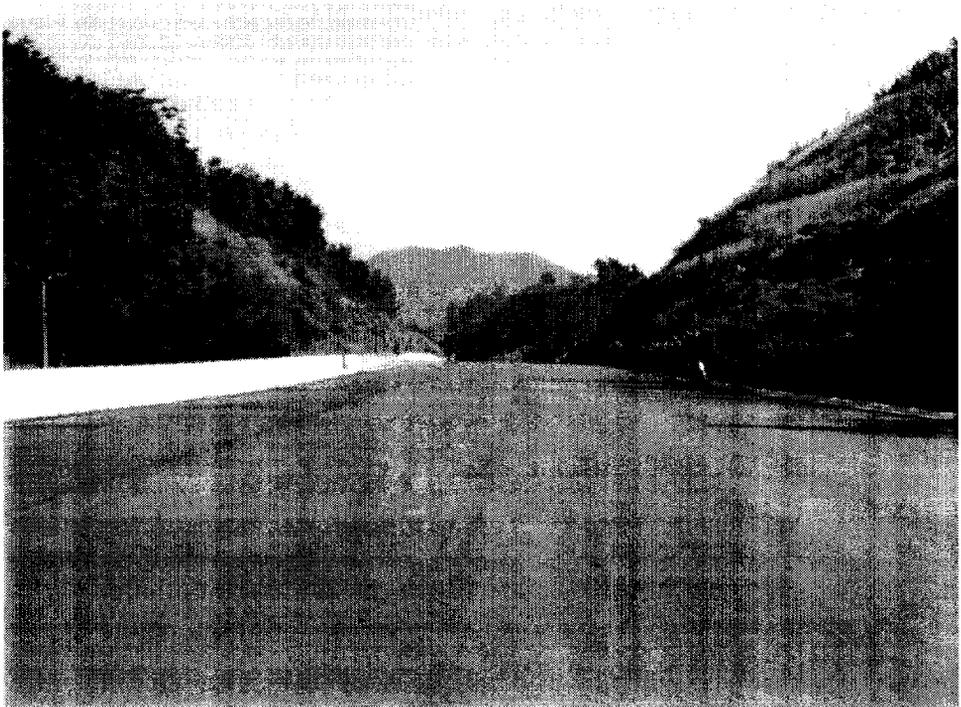


<Figure 2.9> The Flow Chart of Data Processing

3. 디지털영상 획득

3.1 대상도로절취사면 선정

본연구의 대상지역은 경상남도 김해시 일원에 있는 미개통 신설국도를 대상으로 비교적 절취사면의 형태가 명확히 나타나는 곳을 선정하였으며, 대상지역의 전경은 <Figure 3.1>과 같다. 본 연구에서는 350m구간의 도로 절취사면의 정보를 보다 정확히 획득하기 위하여 바람이 불지 않는 날을 선정하여 실험을 실시하였다.



<Figure 3.1> Observation of Cutting slope

3.2 카메라 캘리브레이션

수치사진측량에서 기초적이면서 가장 중요한 부분은 카메라 렌즈의 검증이다. 카메라의 렌즈는 제작 당시의 상황 및 시간의 경과에 따라 제원들이 다소 근소한 차이로 값이 변화하므로 사진촬영하기 전에는 반드시 카메라 검증이 필요하다. 본 연구에서 수치영상의 획득을 위한 장비로는 Sony사에서 제조한 DSC-W1카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 <Figure 3.2> 및 <Table 3.1>과 같다.



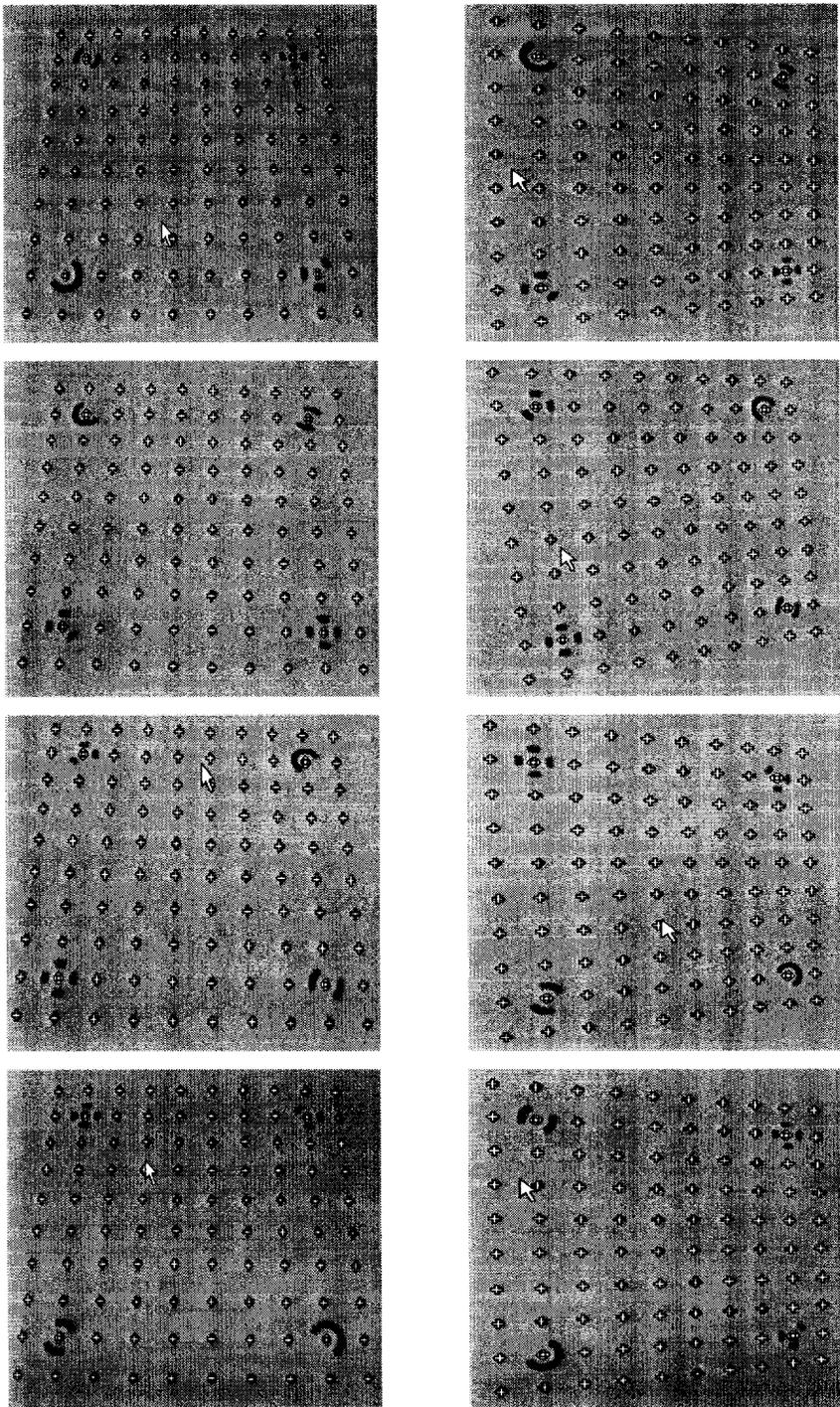
<Figure 3.2> DSC-W1 Digital Camera

본 논문에서 사용된 디지털 카메라는 유효화소수가 500만 픽셀이므로 대상 지역의 형태를 나타내는데 아주 적합한 카메라라고 판단된다. 또한 수동 모드의 기능이 있어 초점의 고정이 가능하여 캘리브레이션이 가능한 기종이다.

<Table 3.1> Specifications of DSC-W1

Classification	DSC-W1
Recording mode	CCD recode
Total pixels	5.26 Mega Pixel
Efficient pixels	5.09 Mega Pixel
Shutter	30~1/2000 sec
Focal Length	f = 7.9 ~ 23.7mm
Dimensions	91 × 60 × 36.3 mm
Weight	250g

본 연구에서는 촬영에 사용될 Digital Camera 카메라 렌즈의 정확한 매개변수를 검정하기 위하여 <Figure 3.3>에 나타난 것과 같이 카메라 위치를 왼쪽 및 오른쪽의 상단위치, 중앙위치, 중앙 수직위치(90°회전), 하단 위치에서 8장의 사진을 획득하여 검정을 수행하였으며, 카메라 검정 결과는 <Table 3.2>에 나타난 것과 같다. 그리고, 사진측량용 S/W인 Photomodeler 5.0을 이용하여 자동 포인트 마킹으로 캘리브레이션을 실시하였다.



<Figure 3.3> Image of Camera Calibration

사진측량용 S/W인 Photomodeler 5.0은 다른 수작업이 필요없이 자동으로 프로그램에서 측정들 간의 상호 연관성을 계산하여 정확한 캘리브레이션을 실시한다.

<Table 3.2> Data of Calibration

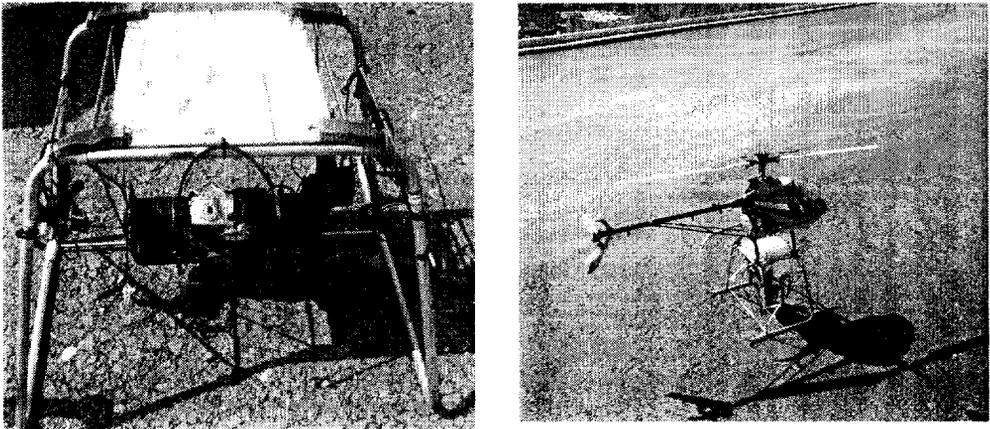
Calibration [SONY DSC-W1 Digital Camera]			
Interior Orientation	Focal Length		7.8898mm
	Format Size		W 7.0391 mm
			H 5.2774 mm
	Principal Point		X 3.4999 mm
			Y 2.6776 mm
	Lens Distortion	Radial	K1 9.033e-004
			K2 5.303e-005
			K3 0.000e+000
		Decentering	P1 5.750e-005
	P2 1.170e-0045		
Image Size		2592×1944	

<Table 3.2>는 카메라 캘리브레이션에 의해 보정된 자료를 나타낸 것으로 검증된 카메라의 초점거리는 7.8898mm이며, 주점의 좌표는 X방향으로 3.4999mm, Y방향으로 2.6776mm이다. 그리고 방사왜곡의 매개변수는 $K1=9.033e-004$, $K2=5.303e-005$ 이며, 편심왜곡의 매개변수는 $P1=0.001146$, $P2=0.001082$ 로 나타났다.

3.3 무인 헬리콥터 촬영 시스템

무인 헬리콥터 수치사진측량 촬영시스템은 무선(radio control)으로 조정되는 소형 헬리콥터의 기체와 헬리콥터의 진동이나 롤링(rolling)에 관계없이 연직 상태를 유지할 수 있는 짐벌(gimbal mount)장치에 카메라를

장착하고 헬리콥터가 이동하면서 포착하는 장면을 지상의 모니터를 통해 촬영되는 영상을 제어하면서 촬영하는 시스템이다. 무선조정 헬리콥터의 안전한 비행과 원하는 위치에 촬영하기 위해서는 조종자의 많은 노력이 필요로 한다. 이런 무인 헬리콥터의 촬영 시스템 장비의 모습은 <Figure 3.4>와 같다.



<Figure 3.4> RC Helicopter Photographic surveying System

3.4 기준점 측량

지상 측량은 지상기준점 측량, 검사점 측량으로 나누어진다. 지상 측량을 하기 전에는 충분한 계획과 답사를 거친 후 작업인원과 측량 장비 및 일정을 계획하였다. 기준점 측량은 Total station을 이용하여 측정을 하였으며 사용한 장비와 장비의 재원은 <Figure. 3.5>와 <Table. 3.3>에 나타난 것과 같다.

대상 절취사면 300m 구간에 대하여 영상표정작업의 효율성을 극대화 하기 위하여 표정점의 위치를 일정한 간격으로 분포시켰으며, 총 120개의 기준점을 측정 하였다. 측정된 기준점은 Control Point와 Check Point로 사용 하였으며, 각각의 기준점 좌표는, <Table 3.4>와 같다.



<Figure 3.5> Total Station

<Table 3.3> Specifications of Total Station

Model		GTS-701	
Telescope	Objective Lens	45mm (EDM :50mm)	
	Magnification	30X	
	Resolving Power	2.5"	
	Minimum Focus	1.3m	
Distance Measurement	Objective Lens	1 Prism	2,400m
		2 Prism	3,100m
		9 Prism	3,700m
	Precision	$\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm})$ m.s.e	
Angle Measurement	Angle Display	0.5" / 1"	
	Accuracy	1"	

<Table 3.4> Data of Control Points

측점	X	Y	Z
101	184917.84	191792.54	29.79
102	184916.28	191809.55	29.99
103	184914.47	191826.62	30.12
104	184912.54	191845.89	30.15
105	184910.80	191866.67	30.16
106	184909.05	191885.62	30.22
107	184907.19	191903.14	30.21
108	184905.62	191920.93	30.18
109	184904.10	191938.52	30.20
110	184901.96	191958.68	30.15
111	184900.58	191977.61	30.04
112	184898.86	191994.03	29.84
113	184896.82	192013.38	29.57
114	184895.14	192039.62	29.25
115	184890.08	192065.73	28.74
116	184887.14	192087.74	27.82
117	184883.99	192107.12	26.56
118	184879.99	192135.19	25.49
119	184922.24	191962.02	40.24
120	184928.99	191942.64	44.60
121	184930.97	191923.39	44.86
122	184932.79	191906.49	44.94
123	184934.15	191889.38	44.78
124	184936.30	191869.63	44.87
125	184952.11	191884.47	52.11
126	184943.95	191878.71	49.29
127	184942.82	191892.82	49.75
128	184941.34	191907.89	49.98
129	184939.66	191929.88	49.74
130	184942.03	191932.66	49.26
131	184947.57	191917.98	53.04
132	184935.38	191863.29	43.41
133	184907.78	191790.98	24.72
134	184906.07	191807.95	24.75
135	184904.25	191825.68	24.77
136	184902.43	191845.68	24.98
137	184900.18	191866.47	24.93
138	184898.51	191885.31	24.95
139	184896.55	191904.31	25.00
140	184895.17	191921.53	25.03
141	184893.63	191937.56	24.96

<Table. 3.4> Data of Control Points(Continued)

측 점	X	Y	Z
145	184886.18	192013.21	24.27
146	184883.53	192040.45	24.05
147	184881.34	192064.18	23.83
148	184879.04	192088.13	23.51
149	184877.25	192106.83	23.30
150	184902.61	192014.98	33.07
151	184905.58	192001.93	34.41
152	184908.97	191963.71	34.65
153	184911.26	191938.91	34.82
154	184913.50	191919.19	34.81
155	184914.65	191905.78	34.84
156	184916.91	191883.36	34.97
157	184918.26	191866.39	34.98
158	184920.20	191846.95	34.81
159	184921.76	191830.92	34.92
160	184950.17	191899.82	52.97
161	184949.13	191889.00	51.93
162	184954.40	191901.68	54.63
163	184952.38	191916.37	54.52
164	184954.05	191907.29	54.67
165	184943.79	191867.54	46.64
166	184923.93	191813.10	34.44
167	184899.87	191790.75	20.62
168	184898.28	191807.46	20.70
169	184896.65	191824.50	20.77
170	184894.78	191844.18	20.81
171	184892.76	191865.47	20.86
172	184891.03	191883.37	20.87
173	184889.18	191901.80	20.85
174	184887.57	191919.17	20.80
175	184885.87	191937.21	20.78
176	184883.87	191958.20	20.70
177	184882.21	191975.47	20.60
178	184880.34	191995.01	20.48
179	184878.71	192012.13	20.33
180	184876.13	192039.09	20.10
181	184873.75	192064.28	19.85
182	184871.52	192087.54	19.56

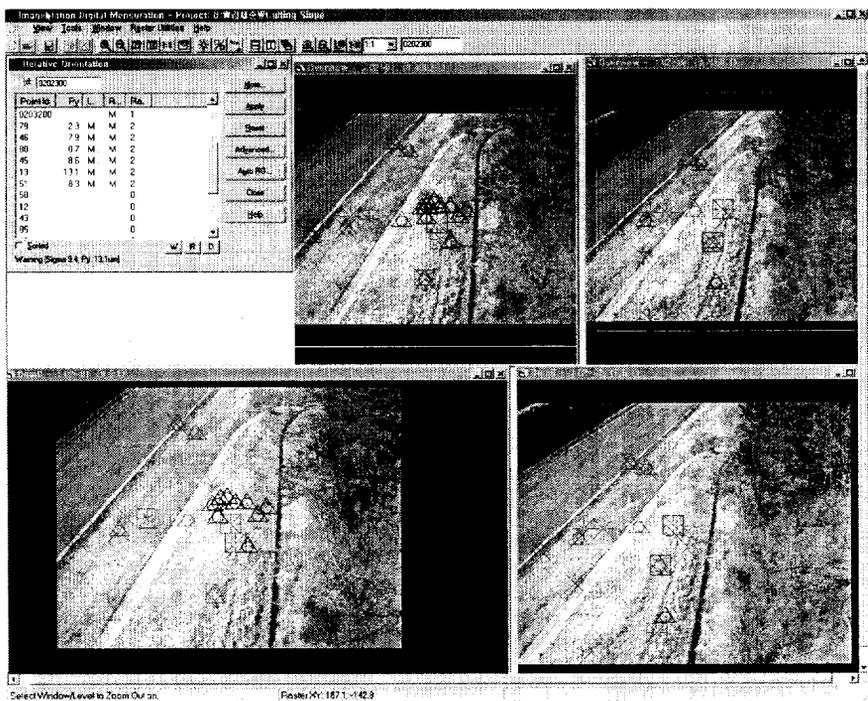
<Table. 3.4> Data of Control Points(Continued)

측점	X	Y	Z
191	184927.06	191866.72	39.86
192	184930.06	191848.09	39.30
193	184926.18	191830.92	36.54
195	184902.06	191767.81	20.46
196	184905.58	191730.84	20.13
197	184908.83	191751.61	21.51
198	184909.29	191768.95	23.05
199	184908.26	191777.54	23.83
115	184856.19	192039.32	19.98
201	184903.02	191741.02	19.27
202	184898.97	191782.75	19.58
203	184895.73	191817.41	19.76
204	184891.57	191859.77	19.88
205	184888.72	191891.52	19.87
206	184885.04	191929.22	19.81
207	184881.28	191968.77	19.67
208	184877.95	192003.84	19.44
209	184873.43	192051.04	19.01
210	184870.39	192082.32	18.65
142	184891.62	191958.86	24.87
143	184889.65	191977.20	24.66
144	184887.88	191994.35	24.45
185	184913.81	191978.20	37.33
186	184918.29	191957.14	39.67
187	184919.52	191941.00	39.82
188	184921.87	191920.99	40.07
183	184869.66	192106.92	19.33

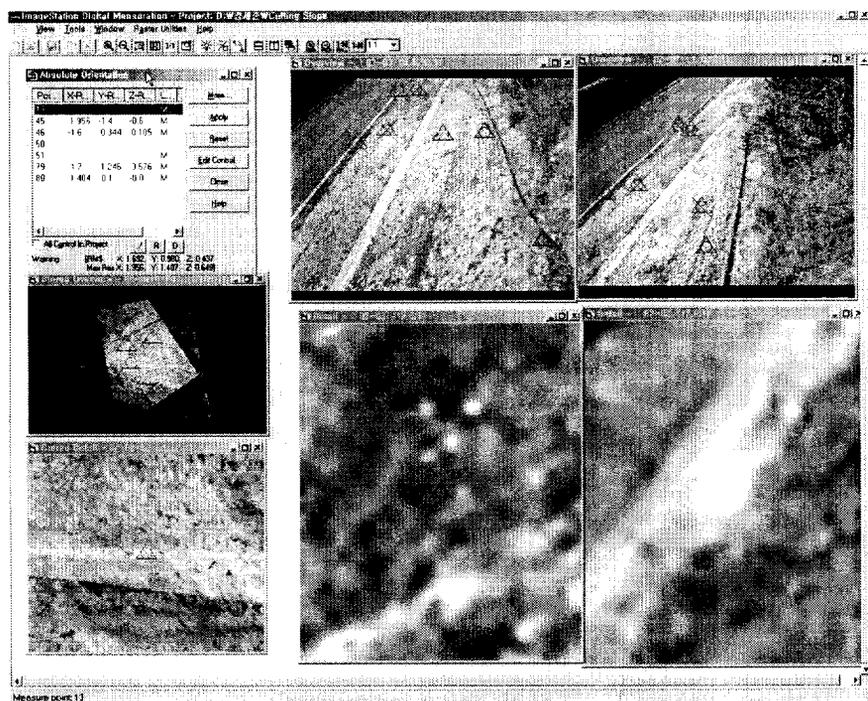
4. 결과분석

4.1 표정해석

표정 작업은 카메라 검정과일에서 취득한 자료를 이용하여 내부표정을 수행하고 지상기준점을 이용하여 각 사진에 대한 외부표정요소를 구하였다. 내부표정에서는 무인헬기의 수치화 과정에서 좌표계의 변환관계를 설정하여, 도화기로 취득된 기계좌표계와 영상의 사진좌표계를 연결시킬 수 있는 좌표변환을 수행해야 한다. 본 연구에서는 부등각사상변환을 이용하여 두 좌표계를 연결 시켰다. 무인헬기 사진 촬영 시스템을 통하여 획득된 영상은 Z/I Imaging회사의 Image Analysis 프로그램을 이용하여 전 처리를 실시하였다. 먼저 표정 작업은 Image · Station Digital Mensuration를 사용하여 처리 하였다. 표정작업은 카메라 검정과일에서 취득한 자료를 이용하여 각 사진에 대한 외부표정요소를 구하였다. 본 논문에서 사용된 영상은 디지털 영상이므로 내부표정의 단계는 생략하였으며, 상호 표정과정과 외부표정과정은 <Figure 4.1>, <Figure 4.2>에 나타내었다. <Figure 4.1>, <Figure 4.2>보는 봐와 같이 각각의 표정점을 우측영상과 좌측영상에서 정확히 일치 시키는 작업을 나타내고 있으며, 표정 시 실시간으로 표정의 정확도를 나타내고 있다. 이를 통하여 정확도가 낮게 나타난 표정은 삭제 시키고 재측정을 실시한다.



<Figure 4.1> Relative Orientation



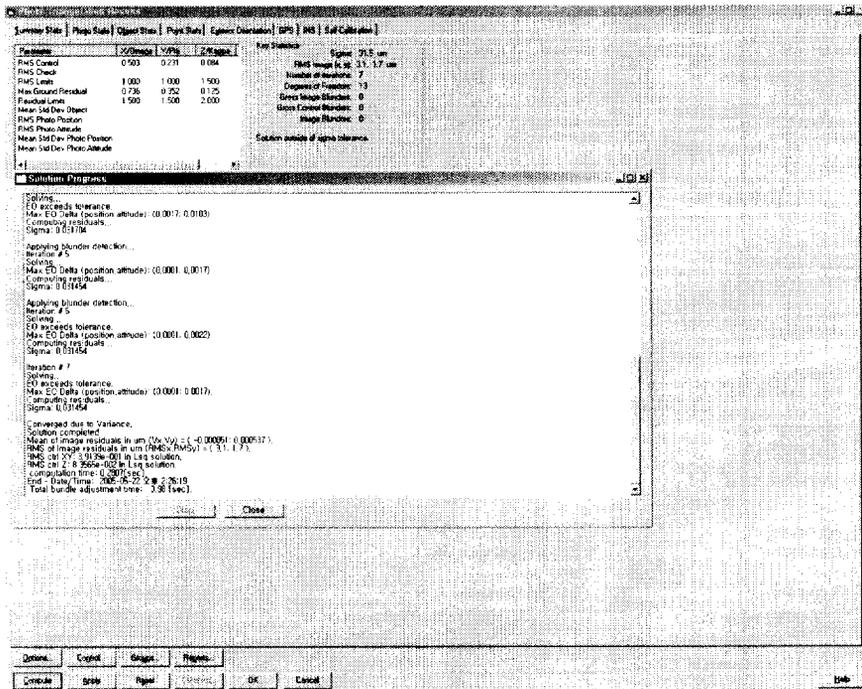
<Figure 4.2> Absolute Orientation

촬영된 사진의 투영중심위치 (X_0, Y_0, Z_0)와 회전요소(ω, ϕ, κ)를 결정하기 위하여 공선조건식을 선형화하여 초기 근사값으로 외부표정요소의 초기값과 지상기준점 및 이에 대응하는 사진좌표를 입력하고 최소제곱법으로 반복 수행하여 계산하였다. <Table 4.1>은 외부표정매개 변수를 나타내고 있다. 계산된 외부표정요소를 이용하여 공간전방교회법(spatial intersection)으로 지상기준점의 좌표와 표준편차를 구하였다.

<Table 4.1> The exterior orientation parameter

Image ID	X_0	Y_0	Z_0	ω	ϕ	κ
2010	2.68222	9.12985	2.05332	38.0483	-83.8966	-49.7439
2020	9.88349	2.24380	3.22126	84.7251	5.310823	4.237937
2030	-6.37185	28.65759	3.12833	-94.596	-73.1741	11.37374
2040	-4.21927	-2.4748	-1.41124	103.771	57.63044	-179.68222
2050	4.02701	16.35736	12.0800	59.5196	8.12882	-2.75581
2060	9.63566	16.44392	0.10573	-85.374	-1.67988	81.10117
2070	5.14539	13.84677	2.90229	-84.103	56.07301	178.20615
2080	9.94812	4.93479	2.12150	31.2885	35.63472	7.072391
2090	14.21874	10.8461	-1.34354	6.64454	-2.64714	51.7386
2010	7.43477	5.45565	11.78945	-8.33445	5.87647	-19.7846
2011	3.13865	-9.45776	1.46738	-13.78576	4.37867	10.95879

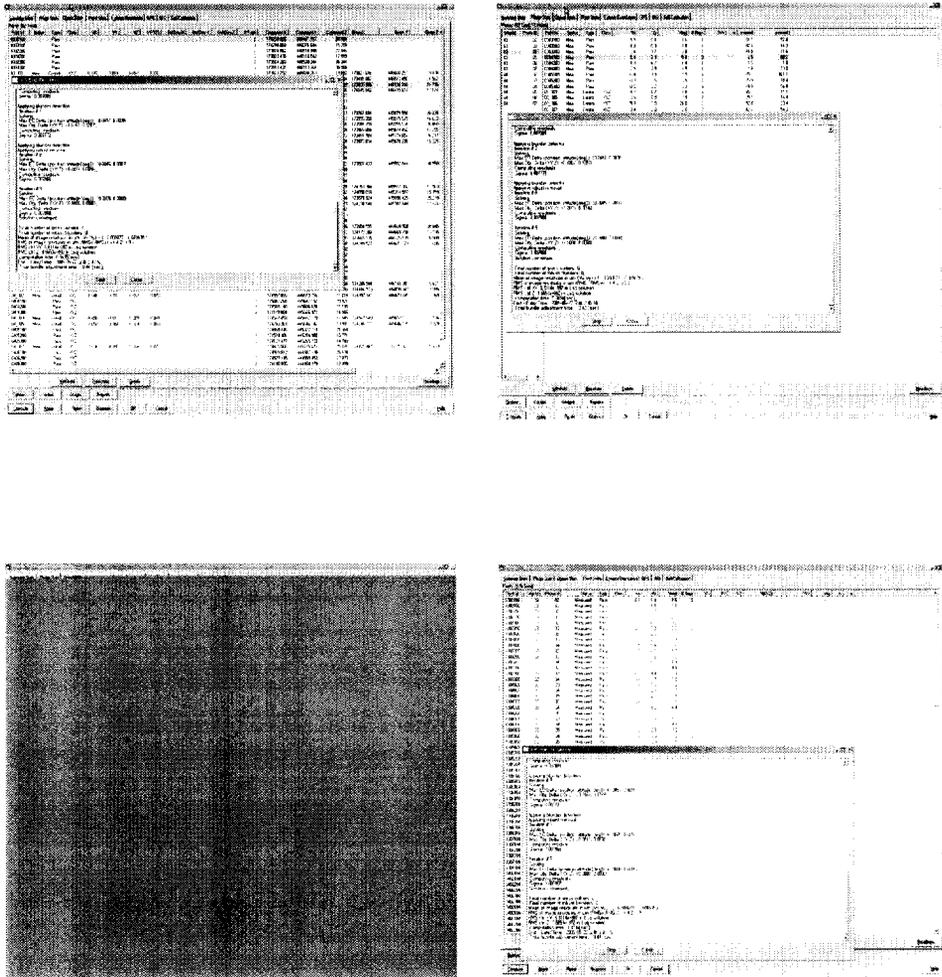
자동 매칭 기법을 이용하여 <Figure 4.2>, <Figure 4.3>과 같이 좌·우측 영상에 대응하는 점을 측정하여 상호표정을 실시하였으며, 절대표정은 미리 부착한 기준점을 영상에서 찾아 좌·우 영상에서 측정하는 방법으로 표정작업을 수행하였다. 표정작업이 완료된 후 각각의 영상에 대한 Triangulation compute를 실시하여 <Figure 4.3>과 같이 출력 되었다.



<Figure.4. 3> Photo Triangulation Results

<Figure. 4. 3>에서 나타난 것과 같이 표정작업 후 영상에서의 지상 기준점과 실제 지상 기준점과 검사점의 잔차를 나타내고 있는 것을 볼 수 있으며, <Figure 4. 4>에서는 Control Point와 Check Point의 잔차 통계를 알 수 있으며, 동시에 Pass Point들의 3차원 좌표의 계산 값들과 각각의 영상에 대한 외부표정요소들을 출력한다. 계산 과정 중 지나치게 큰 값들은 withhold 시키고 다시 측정을 실시하였다. 이런 과정을 여러번 반복하여 정확도가 가장 높을 때 수치도화를 실시하였다. 이는 운영자의 경험과

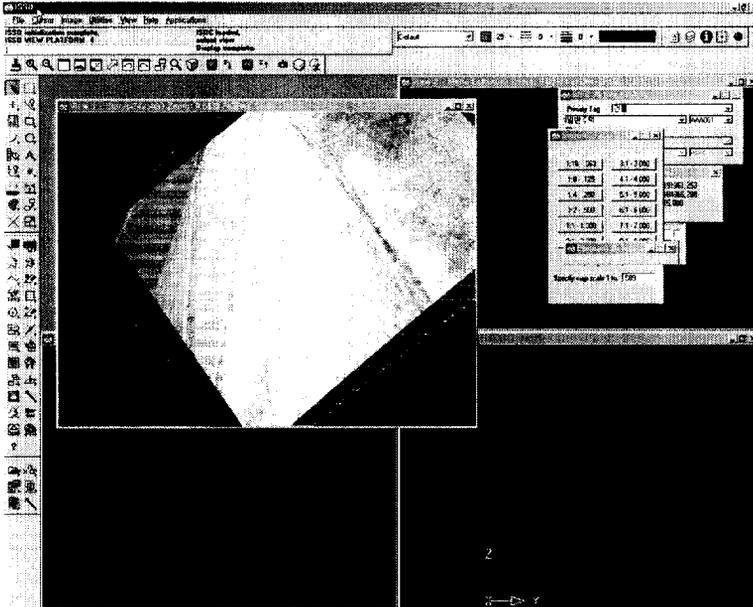
속련도에 따라 정확도의 차이가 발생하는 프로그램적 특징 때문이다.



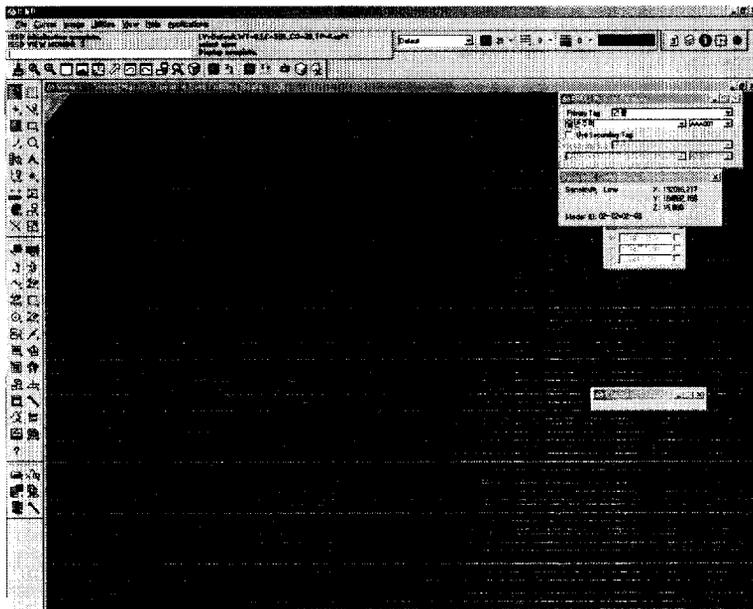
<Figure 4. 4> Result of Computed Orientation Element

4. 2 취득영상의 수치도화

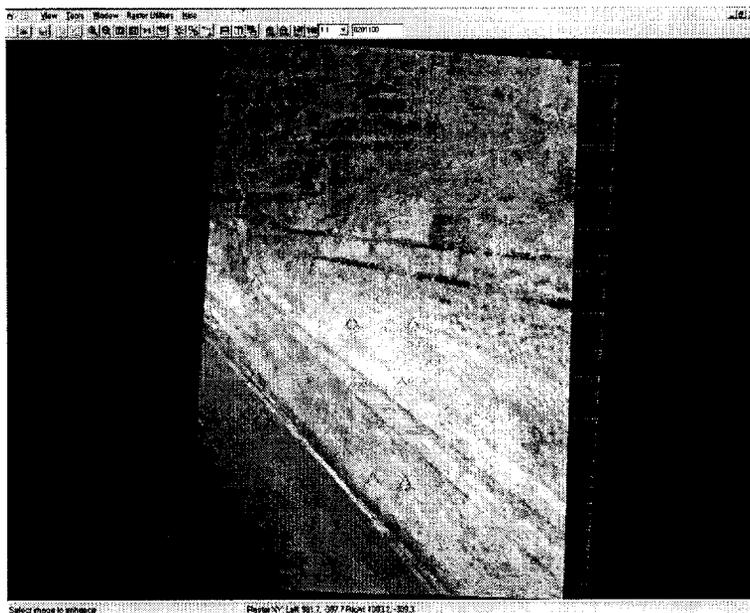
본 논문에서는 입체영상을 Image Station Stereo Display를 사용하여 입체 영상을 생성 하였으며, 이렇게 생성된 입체영상을 통하여 수치 도화 작업을 실시하였다. 먼저 ISSD를 이용하여 3차원 stereo영상을 생성하였으며, 생성된 영상으로부터 ISFC프로그램을 이용하여 수치도화를 실시하였다. 수치도화 작업은 유저의 능력에 따라 정확도가 결정되므로 반복 실시를 통하여 최고의 정확도를 나타낸 작업을 통하여 수치도화 작업을 실시하였다. <Figure 4.5>은 ISSD를 이용하여 stereo 이미지를 생성하는 것을 나타낸것이며, 이렇게 생성된 입체영상은 <Figure 4.6>에 나타내었다. <Figure 4.7>은 Microstation을 이용하여 수치도화 작업을 보여 주고 있으며, <Figure 4.8>, <Figure 4.9>는 최종적인 사면의 형상을 CAD 파일로 출력된 그림을 보여주고 있다.



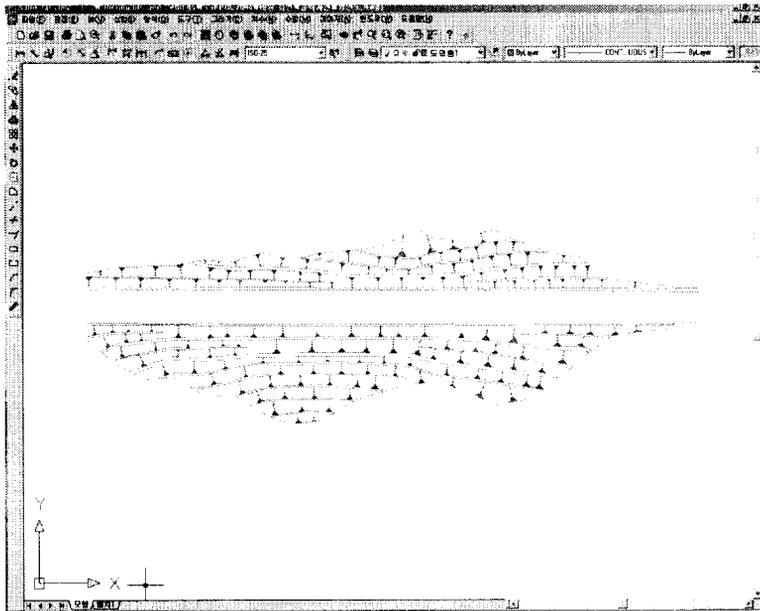
<Figure 4. 5> Image of ISSD



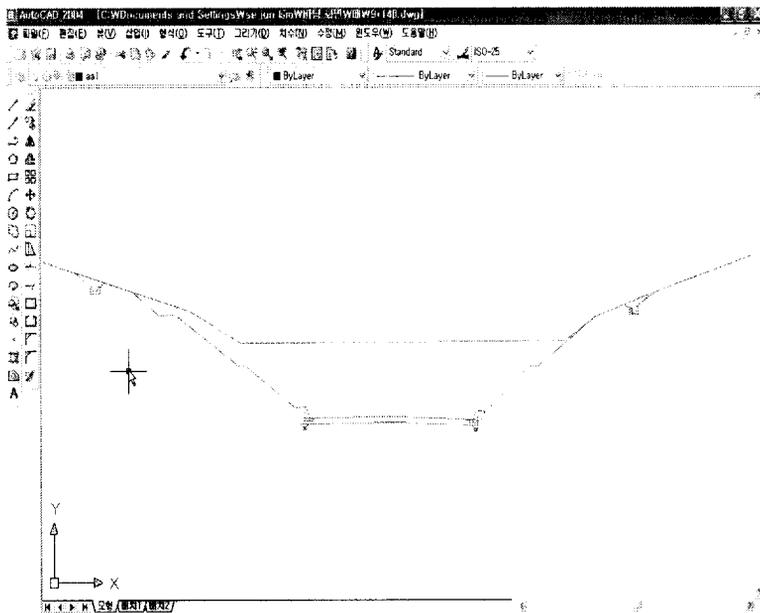
<Figure 4. 6> Stereo Image



<Figure 4. 7> Image of Digitizing



<Figure 4. 8> Plan of Cutting Slope CAD File



<Figure 4. 9> Cross Section of Cutting Slope CAD File

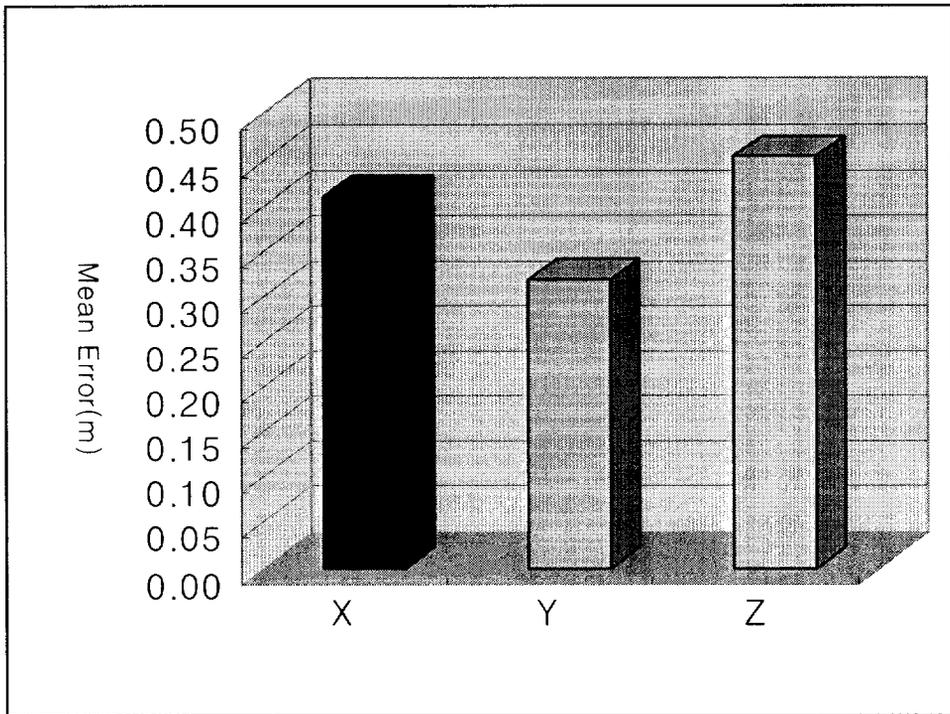
4. 3 결과분석

대상 절취사면의 형상을 추출하기 위하여 디지털 카메라를 이용하여 획득된 영상으로부터 결정된 3차원 좌표 자료를 이용하여 DXF(3D)파일로 출력하여 사면에 대한 정보를 구하였다. 도로절취사면에서 획득된 정지영상은 무인 헬기 사진측량방법으로 12장의 영상을 취득하였으며, 이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건식을 기초로 한 다중영상 표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하였고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하였으며, 최종적으로 수치도화로 출력된 사면의 정보와 Total Station으로 측정한 기준점과의 비교를 통하여 정확도를 분석한 결과 <Table. 4.2>와 같이 나타났다..

각각의 기준점에 대한 정확도 평균오차는 X방향으로 0.410m, Y방향으로 .0319m, Z방향으로 0.454m으로 나타났으며, <그림 4.10>과 같이 그래프로 나타내었으며, 이는 수치지도작성작업내규의 1:5,000에서의 허용오차범위 내에 있는 정확도를 만족하였다. 따라서 무선 헬기 촬영시스템을 이용하여 도로절취사면의 정확한 정보를 획득 할 수 있으며, 이는 시공 중이거나, 시공된 상태의 사면에 있어 안정성 분석과 붕괴시 정확한 원인을 규명하는데 유용하다고 판단되었다. 또한 조사자가 직접적으로 사면에 접근하지 않고서도 절취사면의 구체적인 형태 및 경사를 추출할 수 있었다.

<Table 4.2> The Error of Control Points

No.	Total Station			Image Station			v _x (m)	v _y (m)	v _z (m)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)			
110	184901.96	191958.68	30.15	184901.63	191958.69	30.28	-0.33	0.01	0.13
110	184900.58	191977.61	30.04	184900.37	191977.41	29.57	-0.21	-0.19	-0.47
120	184928.99	191942.64	44.60	184928.69	191942.24	44.73	-0.30	-0.40	0.13
113	184896.82	192013.38	29.57	184896.58	192013.09	30.00	-0.24	-0.29	0.43
119	184922.24	191962.02	40.24	184922.12	191961.68	39.18	-0.12	-0.34	-1.06
122	184932.79	191906.49	44.94	184933.53	191906.60	44.68	0.74	0.11	-0.27
129	184939.66	191929.88	49.74	184939.11	191930.06	50.22	-0.55	0.18	0.48
142	184891.62	191958.86	24.87	184890.98	191959.26	24.10	-0.64	0.40	-0.77
143	184889.65	191977.20	24.66	184889.00	191977.54	24.38	-0.65	0.34	-0.28
145	184886.18	192013.21	24.27	184885.75	192013.87	23.64	-0.43	0.66	-0.63
146	184883.53	192040.45	24.05	184883.20	192041.14	23.49	-0.33	0.69	-0.56
150	184902.61	192014.98	33.07	184901.83	192014.44	32.51	-0.78	-0.54	-0.56
151	184905.58	192001.93	34.41	184905.99	192002.07	34.50	0.41	0.14	0.09
179	184878.71	192012.13	20.33	184878.40	192011.96	20.24	-0.31	-0.17	-0.09
180	184876.13	192039.09	20.10	184876.31	192038.75	19.47	0.18	-0.34	-0.64
185	184913.81	191978.20	37.33	184913.92	191978.06	36.95	0.11	-0.14	-0.38
186	184918.29	191957.14	39.67	184918.40	191956.46	40.13	0.11	-0.68	0.46
208	184877.95	192003.84	19.44	184877.52	192003.95	19.68	-0.43	0.11	0.24
207	184881.28	191968.77	19.67	184880.75	191968.65	19.05	-0.53	-0.12	-0.62
206	184885.04	191929.22	19.81	184884.47	191928.74	20.18	-0.57	-0.49	1.37
205	184888.72	191891.52	19.87	184888.50	191891.20	20.00	-0.22	-0.32	0.13
209	184873.43	192051.04	19.01	184872.59	192051.40	18.80	-0.84	0.36	-0.21
Mean Error							0.410	0.319	0.454



<Fig 4. 10> Mean Error of Control Points

5. 결 론

본 연구에서는 무인헬기에 디지털 비디오를 장착하여 대상 사면의 디지털 영상을 획득하였으며, 이를 Image·Station 프로그램을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 무선 헬기 촬영시스템에 의해 취득된 디지털 영상으로부터 도로 절취 사면의 구체적인 형태 및 경사를 추출할 수 있었으며, 이러한 자료를 시공 자료와 비교함으로써 시공정확도를 분석할 수 있었다.
2. 이러한 시스템을 이용하여 절취 사면과 같이 접근하기 어려운 지역에서의 자료 취득이 가능하였으며, 측량이 어려운 지역을 정밀하게 관측할 수 있었다.
3. 평균오차는 X방향으로 : 0.410m, Y방향 : 0.319m, Z방향 : 0.454m으로 나타났다. 이는 수치지도작성작업내규의 1:1,000에서의 허용오차범위(평면위치오차: 0.4m, 수직위치오차: 0.3m) 내에 근접하는 정확도를 나타내었다.
4. 향후 사면안정평가 및 도로시설물에 관련한 3차원 GIS 구축에 있어서 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. M. J. Smith, C. I. H. Joy, "Preliminary Investigations into Developments in Using Helicopter Photography for Highway Surveying", *Photogrammetric Record*, 15(85), pp. 77-84, 1995.
2. G. Eckstein, J. Peipe, "Helicopter Supported Photogrammetric Survey of RAMSBERG Castle", *Photogrammetric Record*, 15(87), pp. 447-453, 1996
3. Peter Axelsson, "Integrated Sensors for Improved 3D Interpretation", *IAPARS*, vol. 32, Part 4 GIS-Between Vision and Applications, pp. 27-34, 1998.
4. Thomas Zischinsky, Lionel Dorffner and Franz Rottensteiner, "Application of a New Model Helicopter System in Architectural Photogrammetry", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam, pp. 117-183, 2000.
5. J. Skaloud, J. Vallet, "High Accuracy Handheld Mapping System for Fast Helicopter Deployment", *International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application*, Ottawa, Canada, Commission VI, WG VI/4, 2002.
6. R. Miller, "A 3D Color Terrain Modeling System for Small Autonomous Helicopters", *The Robotics Institute Carnegie Mellon University*, Ph. D. Dissertation in Robotics, 2002.
7. A. Georgopoulos and G. N. Makris, "Low Cost Digital Rectification on A PC", *Photogrammetry & Remote Sensing* 53, pp. 379-391, 1998.

8. P. G. Bryan, I. Corner and D. Stevens, "Digital Rectification Techniques for Architectural and Archaeological Presentation", *Photogrammetric Record*, 16(93), pp. 339-415, 1999.
9. H. M. karara, "Hand Book of Non-Topographic Photogrammetry", A.S.P, pp. 29~38, pp. 75~96, 1979.
10. Pratt, W. K., "Digital Image Processing", 2nd ed, Wiley Interscience, pp. 447~662, 1991.
11. K. B. Atkinson, "Development in Close-Range Photogrammetry-1", Applied Science Publishers LTD, pp. 1-13, pp. 25-31, pp. 63-81, 1980.
12. L. Dorffner and G. Forkert "Generation and Visualization of 3D Photo-Models using Hybrid Block Adjustment with Assumption on the Object Shape", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 53. pp. 369-378, 1998.
13. Richard S. Pappa, Louis R. Giersch and Jessica M. Quagliaroli, "Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna with Consumer Digital Cameras", *International Journal of Society for Experimental Mechanics*, Vol. 25, No. 4, 2001.
14. Zaide Duran and Gonul Toz "Documentation and analysis of Cultural Heritage by means of Photogrammetric Methods and GIS", *International Symposium on GIS, Istanbul-Turkey, September 23-26, 2002*
15. 유복모, "항공삼각측량에 있어서 독립모델의 연구", *대한토목학회 창립 20주년 기념논문집* pp, 222-229, 1972.

16. 박운용, “사진측량에 의한 사면해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1982.
17. 양인태, “경사사진에 의한 해석적 위치결정에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1984.
18. 강준목, “다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1985.
19. 이재기, “비측정용사진에 의한 좌표해석”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
20. 강인준, “지상사진측량에 있어서 블록조정법을 이용한 기준점 결정에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
21. 유환희, “근거리 사진측량에 의한 변형 해석의 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1988.
22. 이종출, “근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1989.
23. 서동주, “수치사진측량에 의한 도로정보체계 개발”, 박사학위논문, 부경대학교 대학원, 2003.
24. 장호식, “무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 문화재 관리 정보시스템 구축”, 부경대학교 대학원, 2004.
25. 유환희, 제정형, 김성삼, “비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작”, 한국측량학회지, 제 20권, 제1호, pp. 59-67, 2002
26. 강준목, 배연성, “원격조정 공중사진측량에 의한 대축척 지형정보 획득”, 한국측지학회지, 제13권, 제2호, pp. 41-47, 1995.

27. 손덕재, “지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1989.
28. 이진덕, 강준목, “다중근접사진측량에 의한 구조물 내부전면의 3차원 해석”, 한국측지학회지, 제11권, 제1호, pp. 7-8, 1993.
29. 조재호, “기구 사진측량체계를 이용한 소규모 지역의 지형자료기반 구축”, 박사학위논문, 충북대학교 대학원, 1995
30. 유환희, 제정형, 김성삼, “비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작”, 한국측량학회지, 20권, 제 1호, pp. 59-67, 2002.
31. 유복모, 박운용, 양인태, “사진측정기법을 이용한 사면의 경사와 주향 결정에 관한 이론적 고찰”, 대한토목학회 논문집, 1983.
32. 함중근, 송영석, “사면안정해석을 위한 사진측량을 이용한 사면변위계 측시스템”, 한국지반공학회논문집, Vol.9, No.4, 2003
33. 강준목, 엄대용, 최준석, “수치사진측량에 의한 암반사면의 불연속 선 구조 분석”, 대한토목학회 논문집D, Vol.23, No.1, 2003
34. 조삼덕, 이광우, 윤수호, 김춘식, “도로사면 관리 및 붕괴 예경보를 위한 실시간 무인감시시스템 개발” 대한토목학회 논문집D, Vol.24, No.1, 2004
36. 강준목, 오원진, 배연성, “원격조종 공중사진측량에 의한 도로 설계자료 추출” 학술발표회 논문집, Vol.1995, No.3, 1995
37. 고지훈, 서영찬, “이미지프로세싱을 이용한 도로포장의 균열폭 측정에 관한 연구”, 한국도로포장공학회논문집, 제4권 제2호, pp.33-42, 2002.
38. 김정용, 조운호, “이미지프로세싱기법을 이용한 균열인식 알고리즘 및

프로그램 개발”, 대한토목학회논문집, 제22권 제4-D호, pp.639-647,
2002.

35. Jennifer L. Irish, W. Jeff Lillycrop, "Scanning Laser Mapping of the Coastal Zone : the SHOALS system", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, pp. 123-129, 1999.

감사의 글

대학을 졸업한지 십년만에 다시 공부를 시작한다고 했을 때 잘해낼 수 있을까하는 생각으로 많은 고민을 했지만 대학원 입학에서부터 졸업까지 할 수 있도록 용기와 격려를 아낌없이 주시고 부족한 저를 끝까지 지도해주신 이종출 교수님에게 감사드립니다.

바쁘신 와중에도 저의 논문 심사를 해주신 이영대 교수님, 이상호 교수님에게 감사드립니다.

또한 논문을 위하여 많은 도움을 준 측량연구실의 서동주 박사님과 진수, 세준, 성호, 윤성, 영화, 재수에게도 감사의 마음을 전하며, 같이 입학하여 서로 힘이 되어준 이상기 사장님, 배재열 님 에게도 감사의 마음을 전합니다
입학과 동시에 移職하게되어 낯선 환경에 쉽게 적응할 수 있고, 학업을 할 수 있도록 배려해주신 한진개발공사의 박 경 상무님, 정문기 부장, 윤호준 차장, 이상진 과장에게 감사한 마음전합니다.

힘든 직장 생활을 하면서도 사랑과 정성으로 규형이와 규리를 바르고 예쁘게 길러주고 부족한 남편을 끝까지 믿고 따라준 사랑하는 아내 한옥상에게 고마움과 감사의 마음을 전하고, 직장 생활하는 부모대신 우리 아이들을 정성으로 돌봐준 처형내외분께 감사의 마음 전합니다.

가까운 곳에 있으면서도 자주 찾아뵙지 못하는 자식이지만 항상 걱정해주시고 아낌없는 사랑을 주시는 어머님과 큰형님을 대신해서 형님의 빈자리를 채워주시는 큰형수님, 어머니를 모시며 고생하시는 작은형님 내외분, 그리고 막내 동생을 항상 곁에서 믿음으로 지켜봐주시는 명자, 명순, 은순, 성순누나와 매형들에게 고마운 마음 전하고, 투병 중에 있는 막내누나에게 항상 미안한 마음 전하며 빠른 쾌유를 빕니다.

다시한번 부족한 저에게 도움을 주신 모든 분들에게 감사드리며 모든 분들에게 보답하기위해 더욱 더 열심히하는 한가정의 가장으로 그리고 이사회 의 구성원으로 발전하는 모습만을 보여 드릴 것을 약속드리며 감사의 글을 대신코져 합니다.

2005. 7

金 明 俊