

공 학 석 사 학 위 논 문

수치영상을 이용한 도로 3차원
시각화 기법

지도교수 이 종 출

이 論文을



學位論文을提出함

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

이 영 도

이영도의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 6월 21일

주심 공학박사 김 상 용



위원 공학박사 손 인 식



위원 공학박사 이 종 출



목 차

List of Tables	i
List of Figures	ii
List of Symbols	iv
Abstract	v
1. 서 론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구방법 및 범위	5
2. 수치사진측량 이론	8
2.1 CCD영상의 특성	8
2.1.1 CCD영상의 표현	8
2.1.2 CCD영상의 취득원리	10
2.2 수치영상의 기하학	11
2.2.1 공선조건식	11
2.2.2 자체검정에 의한 광속조정법	12
2.2.3 에피폴러 기하	14
2.3 다중영상표정	15
2.4 자체검정	18
2.5 수치영상처리 시스템	20

3. 수치영상자료 취득	21
3.1 촬영계획	21
3.2 카메라 Calibration	23
3.3 기준점 측량	25
3.4 대상도로 촬영	28
4. 자료처리 및 결과분석	33
4.1 수치영상자료 처리	33
4.2 결과분석	37
4.3 도로 3차원 시각화	38
5. 결 론	41
참고문헌	42

List of Tables

<Table 3.1> Specifications of Rollei d7 metric ⁵ Camera	22
<Table 3.2> Data of Camera Calibration	24
<Table 3.3> Specification of GPS Receiver	26
<Table 3.4> Adjusted coordinates in Korea(Grid, Zone Korea) ...	27
<Table 3.5> Specifications of GTS-701	28
<Table 3.6> The Result of Control Survey [3D Coordinate]	28
<Table 3.7> Analysis Result of Exposure Point	32
<Table 4.1> RMSE of Each Section	34
<Table 4.2> The Residuals of Control Points	37

List of Figures

<Figure 1.1> The Flow Chart of 3D Visualization of Roads	6
<Figure 2.1> Discrete Representation of an Image as a Matrix ...	9
<Figure 2.2> A Principle of CCD Camera Image Acquisition	10
<Figure 2.3> Collinearity Condition	11
<Figure 2.4> Epipolar Geometry of a Stereopair	15
<Figure 2.5> Multi-Image Orientation	16
<Figure 2.6> Sapce Intersection	17
<Figure 2.7> Space Resection	17
<Figure 2.8> Radial Optical Distortion	18
<Figure 2.9> Radial and Decentring Distortion	19
<Figure 2.10> The Flow Chart of Data Processing	20
<Figure 3.1> The Flow Chart of Digital Image Acquisition	21
<Figure 3.2> Rollei d7 metric ⁵ Camera	22
<Figure 3.3> Test Field for Correction of Radial Distortion	23
<Figure 3.4> Profiles for Calibrated Radial Distortion	24
<Figure 3.5> The Shape of Triangulation Points	25
<Figure 3.6> GPS Receiver	26
<Figure 3.7> Sigmas of Adjustment network	27
<Figure 3.8> The Shape of a Observation Area	29
<Figure 3.9> The Shape of a Observation Equipment	29
<Figure 3.10> A Test System for Digital Image Aquisition	30

<Figure 3.11> The Shape of Section	30
<Figure 3.12> Satellite Visibility	31
<Figure 3.13> PDOP of GPS	31
<Figure 4.1> Image Point Measurement	33
<Figure 4.2> RMSE of Section I $[X, Y, Z]$	34
<Figure 4.3> RMSE of Section II $[X, Y, Z]$	35
<Figure 4.4> RMSE of Section III $[X, Y, Z]$	35
<Figure 4.5> RMSE of Section IV $[X, Y, Z]$	36
<Figure 4.6> RMSE of Section V $[X, Y, Z]$	36
<Figure 4.7> RMSE of Control Points $[X, Y, Z]$	38
<Figure 4.8> A 3D Surface Model (Strait Segment)	39
<Figure 4.9> A 3D Surface Model (Curve Segment)	40

List of Symbols

a_{ij}	: 미지값 산출을 위한 편미분 요소
dr	: 방사방향 왜곡수차
f	: 초점거리
R	: 회전형렬
s	: 축척인자
r_{ij}	: 회전형렬인자
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
$\omega, \varphi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$	: 외부표정요소
ν	: 잔차

The 3-D Visualization Method of Roads Using Digital Imagery

Young-Do, Lee

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

ABSTRACT

Technologies in the construction industry are developing rapidly with the progress of the industrial society, but a variety of civil engineering structures have problems such as deformation and breakdown after construction, which bring great anxieties to the society. The quality control of standards to cope with these problems has been improved significantly thanks to the emergence of new advanced measuring machines and the progress of computer application technologies, and digital images are utilized extensively throughout different fields including construction, archaeology and traffic accident analysis.

In addition, the use of digital images is increasing along with the development of online data acquisition and processing and highly accurate real-time digital image processing technologies. Furthermore, the combination of digital photographic survey techniques, global positional system (GPS) and inertial measurement unit (IMU) produces new technologies to acquire 3-dimensional positioning data about geometric shapes and road facilities.

Accordingly, the present study purposed to evaluate the practicability of digital photographic survey systems for gathering road positioning data and propose 3-dimensional visualizing techniques for convenient maintenance and management. The results of this study are considered useful and expected to contribute to the efficiency of economic, time and human resources in using, maintaining and repairing roads.

1. 서 론

오늘날 자료의 취득 및 처리과정의 온라인화와 높은 정확도의 실시간 수치영상 처리기술의 개발로 인해 수치영상의 활용이 증대되고 있는 실정이다. 특히, 주변장치 및 자체에 포함한 위치결정센스와 다양한 영상의 획득을 가능하게 하는 매핑센스에 의해 획득된 다양한 자료의 통합된 처리가 가능하게 되었고, 이는 MMS(Mobile Mapping System)와 같은 통합된 다중 센스 시스템으로 발전되어 나아가고 있다.

이러한 통합된 다중 센스 시스템은 자료의 수집, 저장, 처리의 신속성과 지리정보검색의 정확성에 있어서 좀더 비용면에서 효율적이고 강력한 솔루션을 제공하며, 양질의 최첨단 공간정보를 제공할 수 있는 혁신적인 방법이다.

본 연구에서는 MMS에서 가장 핵심이 되는 내용인 연속된 영상의 처리 기법을 바탕으로 수동형 영상센스의 일종인 측량용 카메라에 의해 획득된 수치영상을 처리하고, 이렇게 처리된 자료를 이용하여 대상도로의 여러 가지 정보를 3차원적으로 시각화하여 표현함으로써 활용도를 높이하고자 한다.

1.1 연구목적

산업사회의 발전과 더불어 건설 분야에서의 기술 발전은 빠른 속도로 진전되고 있으나 각종 토목 구조물의 축조 후의 변형, 파손 등의 문제점으로 인해 사회적으로 큰 불안을 야기 시키고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 품질 관리는 새로운 고성능 측량기계의 등장과 전산응용기술의 발달로 많이 향상되고 있으며, 건설, 고고학, 교통사고분석 등 여러 분야에서 수치영상의 활용이 확대되고 있는 실정이다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

또한, 수치사진측량기법과 위성측위시스템(GPS) 및 관성측정장치(IMU)의 조합에 의한 도로의 기하학적인 형상 및 도로 시설물의 3차원 위치자료 취득을 위한 기술이 발전되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 도로의 위치자료를 취득하기 위한 수치사진측량시스템의 실용성을 평가하고, 유지관리의 편의를 도모하기 위한 3차원 시각화 기법을 제시하고자 한다. 이는 도로의 이용, 유지, 보수 및 연계 개발 등에 있어서 경제적, 시간적, 인적 자원의 효율성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구동향

수치사진측량은 1950년대부터 연구가 시작되어 1959년 Hobrough에 의해 연구의 기틀이 마련되었으며, 1970년대 중반부터 그 효용성과 활용성을 제시하기 시작했다. 또한 전산기술의 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.

1980년대 이후, 스틸 비디오 카메라를 이용한 타겟 포인팅과 이의 알고리즘에 대한 연구가 실시되어 수치영상의 해석 가능성과 문제점이 제시되기 시작하였고, CCD 카메라를 이용한 실시간 영상분석을 위해 영상 분할, 타겟 인식, 모서리 검색, 특성 추출 등의 자동 수행과 수치영상 분석을 통한 사진측량기법의 잠재능력 평가와 이의 실제 적용에 관한 연구가 진행되었다.⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾

1990년대 초, CCD를 이용한 영상분석기법의 효용 가능성이 널리 인지

되면서 다양한 분야에서 비전 측정기법의 활용방안을 제시하기 위한 많은 연구가 수행되었으며, 수치영상을 이용한 높은 정확도의 측정기법 활용연구와 더불어 시스템 오차를 줄이기 위한 많은 노력이 있었다.¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾

또한, Peipe²¹⁾ 등은 DCS200을 수치사진측량 장비인 DPA와 결합시켜 산업분야에서 사용되는 기계생산설비를 초근접으로 촬영하여 Z좌표를 $\pm 0.04\text{mm}$ 정확도로 측정하였고, Henri²²⁾ 등은 수치사진측량의 수치라인을 이용하여 직선과 곡선 파이프를 3차원으로 재현하였으며, Bosemann²³⁾은 산업분야의 자동처리 관리를 위하여 검정자료가 있는 DCS 460 디지털 카메라와 휴대용 컴퓨터를 연계하여 실시간으로 광학 튜브의 3차원 위치를 하는 등 정밀관측을 요하는 여러 산업분야에서도 수치영상의 활용이 증대되었다.

1990년대부터는 자료의 수집, 저장, 처리의 신속성과 지리정보검색의 정확성에 있어서 좀더 비용 효율적이고 강력한 솔루션의 제공을 위해 통합된 다중 센스 시스템의 구축방안에 대한 연구가 이루어지고 있으며, MMS와 같은 분야에서 그 활용이 증대되고 있다.

수치사진측량을 도로에 접목하여 연구한 것을 보면, Tao²⁴⁾ 등은 연속된 수치영상으로부터 도로의 특징점을 추출하여 이를 분석하는 연구를 수행하였고, Tetsuya²⁵⁾와 Veda²⁶⁾ 등은 차량에 CCD 카메라를 장착하여 도로의 상태를 추출하는 연구를 하였다. Trinder²⁷⁾ 와 Wang²⁸⁾ 등은 항공사진으로부터 자동으로 도로를 추출하는 연구를 수행하여 고해상도 영상과 저해상도 영상에 대하여 비교 분석하였다.

그리고 도로의 자료획득과 획득된 자료들의 관리체계를 연구한 Li²⁹⁾와 Graete³⁰⁾, Pierre³¹⁾ 그리고 Joao³²⁾ 등이 있다.

한편, 국내에서는 1970년대부터 사진측량이 본격적으로 연구되기 시작하여 1972년 유복모에 의해 항공사진측량과 지상사진측량에 관한 연구가 활

발히 진행되어 왔으며, 1983년 박운용에 의해 사진측량에 의한 사면의 경사해석방법이 발표되면서 사면해석의 실용화에 기여하였다.³³⁾³⁴⁾

1984년 양인태는 경사사진에 의한 해석적 위치결정에 대해 연구하였고, 1985년 강준묵은 다중 근거리 측량에 의한 피사체의 정밀해석에 대해 연구하였으며, 1986년에는 이재기에 의해 비 측량용 사진기에 의한 좌표해석에 관한 연구가 발표되었다.³⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾ 1986년 강인준은 블록조정기법을 이용한 기준점 설정에 관한 연구를 하였고, 1987년 박흥기는 과대오차제거를 위한 관측값의 조정기법으로서 robust 추정법에 의한 과대오차 제거방법을 제시하여, 과대오차조정을 위한 관측값 조정기법을 확립하였으며, 1988년 유환희는 근거리 사진측량에 의한 3차원 변형해석에 관한 연구를 수행하였다.³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾

1989년 이종출은 근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치를 항공사진측량보다 간편하고 경제적으로 해석하고, 그 해석의 정확도를 향상시키고 동시에 효용성을 높이는 연구를 수행하였고, 1990년 손덕재는 지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석으로 이론적 정확도 예측모형을 개발하고 그 유용함을 입증한 바 있으며, 1992년 이진덕은 다중 근접사진측량에 의한 구조물 전면의 3차원 해석으로 비지형 대상물에 대하여 외부전면해석과 내부전면해석의 정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다.⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾

1990년대에는 기존의 연구를 근간으로 하여 여러 응용분야에서 공간상에 위치한 대상물의 위치를 결정하기 위해 수치영상이나 수치자료를 이용한 연구가 확대되었다.⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾ 1994년과 2000년 배상호는 근접사진측량에 의한 구조물의 변형 및 변위해석을 통해 구조물 모니터링의 해석 가능성을 제시하고 소프트웨어적 처리 방법에 따른 신뢰도를 분석하였고, 1996년 김성민은 수치화상을 이용한 근접사진측량 시스템의 수행성을 평가하였으

며, 1997년 박경식은 CCD 카메라를 이용하여 사진측량의 전 과정을 온라인으로 처리하는데 가장 기본이 되는 동적 대상물의 상좌표를 직접 실시간으로 취득할 수 있는 기법을 소개하였다.⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾

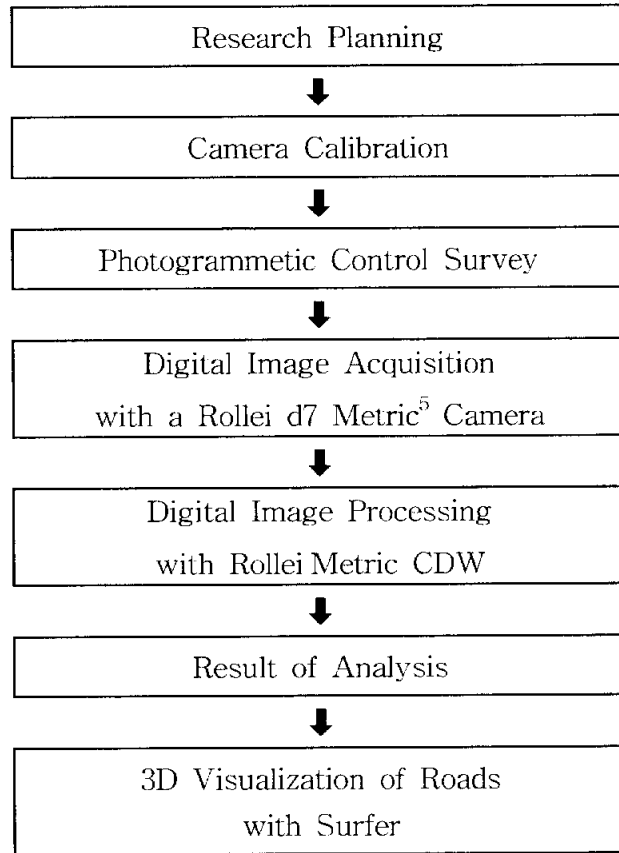
1998년 이석균은 객체지향기법을 이용하여 대상물의 거리에 따라 초점 거리가 변하는 CCD 사진기를 신속하게 검정할 수 있는 3차원 렌즈 검정 모형식을 개발하였고, 2000년 이효성은 고해상력의 디지털 카메라로 취득한 좌·우 중복된 수치화상데이터를 이용하여 3차원 좌표를 획득하고 획득된 좌표를 토대로 대상면의 거칠기를 정밀측정하는 연구를 수행하였으며, 2000년 이철우는 수치사진측량을 이용하여 자동차 Fender를 대상으로 3차원 모형을 생성함으로써 수치영상을 이용한 산업정밀측량 기법을 제시하였다.⁵¹⁾⁵²⁾⁵³⁾

최근에는 자료의 취득 및 처리과정의 온라인화와 높은 정확도의 실시간 수치영상 처리기술의 개발, 운영 프로그램의 연계 분석이 가능한 통합된 처리체계로의 환경구축에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.⁵⁾⁸⁾⁹⁾

이상과 같이 국내외 연구동향을 보면, 수치사진측량을 이용한 대상물의 3차원 위치결정은 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스, 영상처리 등 다양한 학문과 연계되어 있으며, 앞으로 그 활용분야가 더욱 확대될 것으로 기대된다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 도로 시설물을 포함하는 직선과 원곡선으로 구성된 도로를 대상으로 수치영상을 획득·처리함으로써 대상도로의 3차원 좌표를 추출하고, 이러한 자료를 이용하여 대상도로를 3차원적으로 시각화하기 위하여 <Figure 1.1>과 같은 일련의 과정으로 연구를 수행하였다.



<Figure 1.1> The Flow Chart of 3D Visualization of Roads

먼저, 계획단계에서는 영상의 획득을 위한 카메라의 선정 및 촬영방식을 결정하였으며, 표정작업시 연속된 영상에서의 특징점 추출은 도로의 Lane Marking, 측구의 신축이음부, 도로 표지판과 같은 부대시설 등을 특징점으로 이용하기로 결정하였다. 또한, 실제 촬영에 앞서 렌즈의 왜곡 보정을 위한 카메라 검정 및 기준점 측량을 선행하였다. 기준점 측량은 위성측량 방식 중 정지관측법을 이용하여 인근의 삼각점으로부터 대상구간에 두 개의 기준점을 설치하였으며, 영상처리에 의해 결정된 대상점의 정확도를 분석하기 위해 두 기준점으로부터 200개의 Check Point의 3차원 좌표를 Total Station에 의한 측량방식으로 획득하였다.

끝으로, 영상획득 및 처리단계를 거쳐 조정된 대상물 좌표는 기준점 측량에 의한 Check Point와 비교·분석함으로써 도로를 대상으로 한 수치사진측량시스템의 정확도를 분석하였으며, 분석된 3차원 자료를 이용하여 도로를 시각적으로 모델링하였다.

2. 수치사진측량 이론

2.1 CCD영상의 특성

CCD(Charge Coupled Device)는 1960년대 후반에 벨 연구소의 과학자에 의해서 발명되었다. 원래 CCD는 컴퓨터 기억회로의 새로운 형태로 생각되었지만, 곧 빛에 대한 실리콘의 민감도 때문에 영상자료수집을 포함한 다른 여러 분야에 적용성이 있는 것으로 나타났다. CCD 매트릭스는 현재 자료수집하는데 사용되는 디지털카메라의 가장 중요한 부분이다.

2.1.1 CCD영상의 표현

영상은 수평 및 수직으로 설정된 2개의 좌표축 x 와 y 에 의해 표현되는 2차원 정보를 가리킨다. 2개의 변수로 나타내는 위치에서의 밝기를 농도값을 식으로 나타내면 다음 식(2-1)과 같다.

$$f(x, y) = g \quad \text{식(2.1)}$$

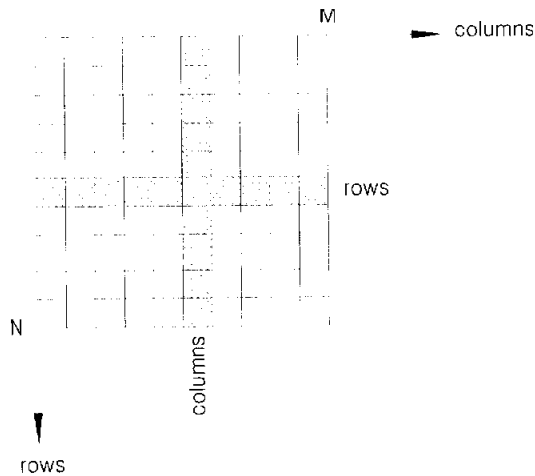
영상정보를 입력할 경우 그 관측계 및 주위 환경의 영향을 받으므로 입력 검출기의 수광 소자가 받는 빛의 양으로서 농도값 g 의 연속치로 주어지는 영상을 아날로그 영상이라 한다. 아날로그 영상의 대표적인 것을 렌즈계에 의해 광학적으로 영상을 취급하는 분야이다. 수치영상은 어떤 주기에서 격자로 구획을 나누고, 각 교점에서 이산적 위치를 이산적 농도값으로 표현하는 영상이다.

즉, 영상의 각 지점(x, y)의 광강도를 전류로 바꾸어 화상을 표본화하고, 그것을 디지털 숫자로 바꾸는 정량화 과정을 통하여 수치영상을 얻는다.

연속영상 $f(x,y)$ 을 등간격으로 샘플링하여 $N \times N$ 배열의 형태로 정량화시킨다면 식(2-2)과 같은 행렬이 된다.

$$f(x,y) \simeq \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \quad \text{식(2.2)}$$

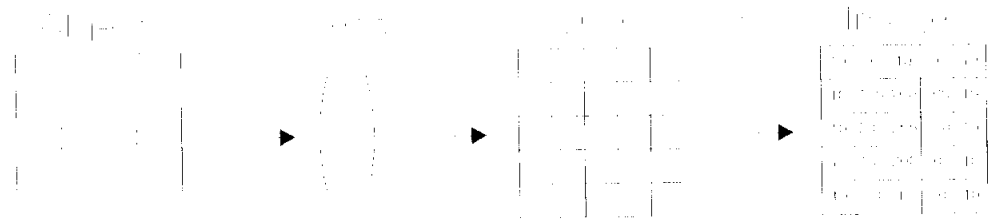
프레임 한 개의 화상은 $N \times N$ 개의 화소로 구성되고, N 은 대체로 $N=2^n$ (n 은 정수)이 되도록 정한다. g 를 농담값으로 하면 $N=2^m$ 가 되는 자연수를 농담값의 최대값이 되도록 한다. 여기서 m 은 농담값을 나타내는 비트의 수가 되며 보통 8비트이다. 따라서 농담값은 $(0 \sim 2^m)-1$ 범위의 자연수로서 나타낸다. 8비트 수치로 나타내면 $0 \sim 255$ 가 농담값을 나타내는 범위가 된다. 이러한 수치영상의 화소들의 이산적인 표현을 행렬로 나타내면 <Figure 2.1>과 같다.



<Figure 2.1> Discrete Representation of an Image as a Matrix

2.1.2 CCD영상의 취득원리

대상물에서 반사된 빛은 CCD 사진기의 렌즈에 의해 연속신호로 수집되고 CCD 센서가 강도를 감지함으로써 수집된 빛은 아날로그 전압신호로 전달된다. 이 신호가 A/D변환자에 의해 수치정보로 변환이 이루어지는데, 관측목적에 위하여 이 강도는 전형적으로 0~255범위의 밝기값으로 변환된다. 일반적으로 CCD사진기를 이용하여 수치영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 영상보드의 프레임포착기가 <Figure 2.2>와 같이 A/D변환을 수행하며 모니터에 영상을 출력한다.



<Figure 2.2> A Principle of CCD Camera Image Acquisition

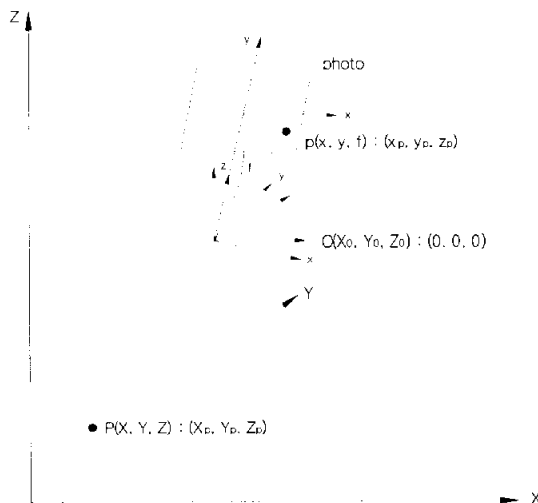
이러한 수치영상은 스캐너, CCD(Charge-Coupled Device) 카메라 및 디지털 카메라 등을 이용하여 취득할 수 있으며, 모든 처리가 컴퓨터에 의해 이루어지므로 신속, 정확할 뿐만 아니라 다양한 처리를 실현할 수도 있다.

2.2 수치영상의 기하학

수치사진측량은 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 공선조건(Collinearity Condition)이라 하며, <Figure 2.3>에서 나타낸 바와 같다.



<Figure 2.3> Collinearity Condition

사진기 투영중심과 P의 상점 및 대상물 사이의 관계는 투영변환의 기하학적 관계에 의해 식(2.3)과 같이 표현되어지며, 상호간의 기하학적 위치관계를 이용하여 식(2.4)와 같은 공선조건의 기본식으로 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ -f \end{bmatrix} = s \cdot R \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{식(2.3)}$$

여기에서

$$x - x_p = -f \frac{r_{11}(X_p - X_0) + r_{12}(Y_p - Y_0) + r_{13}(Z_p - Z_0)}{r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0)} \quad \text{식(2.4)}$$

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

2.2.2 자체검정에 의한 광속조정법

식(2.5)은 최소제곱조정과 Taylor 급수를 사용하여 식(2.4)와 같은 비선형식을 선형화한 것으로, 관측식의 함수(F)와 매개변수값이 0과 같음을 기초로 한다.

$$\begin{aligned} F_1 &= 0 = px + qf \\ F_2 &= 0 = py + rf \end{aligned} \quad \text{식(2.5)}$$

여기에서,

$$p = r_{31}(X_p - X_0) + r_{32}(Y_p - Y_0) + r_{33}(Z_p - Z_0)$$

$$q = r_{11}(X_p - X_0) + r_{12}(Y_p - Y_0) + r_{13}(Z_p - Z_0)$$

$$r = r_{21}(X_p - X_0) + r_{22}(Y_p - Y_0) + r_{23}(Z_p - Z_0)$$

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(2.6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \omega \\ \Delta \phi \\ \Delta x \\ \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad \text{식(2.6)}$$

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(2.6)를 다음과 같이 수정·정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = 0 \quad \text{식(2.7)}$$

미지점의 3차원 좌표는 공선조건식의 외부표정요소와 최소 3점 이상의 잉여 기준점 좌표로부터 계산되어 진다. 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.

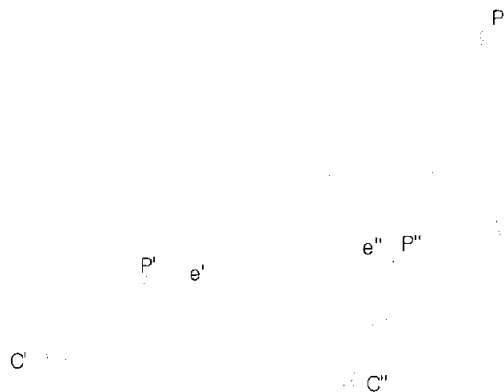
사진측량의 관측값에는 우연오차 뿐만 아니라 정오차도 포함되어 있고 이 정오차는 오차모형에 의해 해결될 수 있으므로 조정계산에서 입체모형의 일부에 이와 같은 오차모형식을 부가하여 정확도를 향상시킬 수 있으며, 이것이 자체검정의 기본목적이다. 초기의 자체검정은 정밀근접사진측량의 정확도 향상을 목적으로 고안된 사진기의 내부표정요소 및 렌즈왜곡의 검정이 주된 것이었으며, 이 후 발전적으로 항공삼각측량에도 도입되어 광속법에 의한 종횡접합모형(Block Adjustment)에 각종 오차모형이 제안되게 되었다.

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 2.4>은 에피폴라 기하(Epipolar Geometry)를 이루고 있는 각각의 투영중심이 C' , C'' 인 입체쌍을 나타내고 있으며, 에피폴라면은 2개의 투영중심과 대상점 P 에 의해 정의된다. 또한, 에피폴라선 e' 와 e'' 는 에피폴라면과 영상면의 교차점으로써, 공액점은 에피폴라선상에 반드시 있어야 하며 이러한 에피폴라선은 탐색공간을 많이 감소시킨다.



<Figure 2.4> Epipolar Geometry of a Stereopair

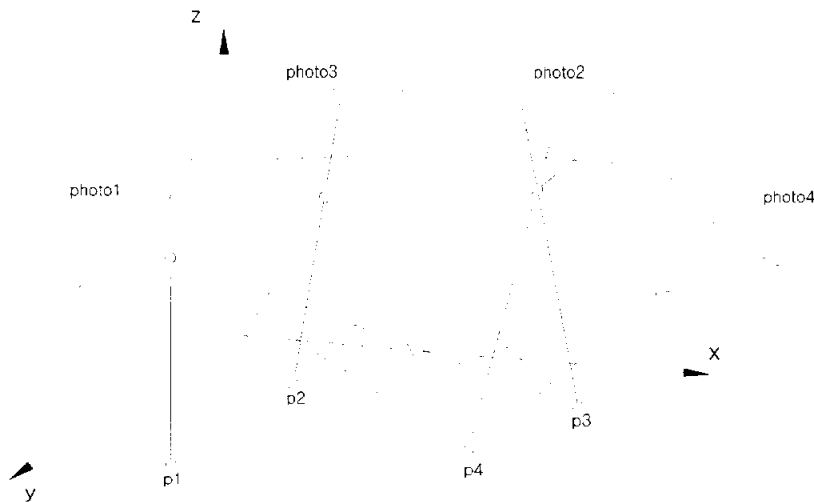
2.3 다중영상표정

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, 절대

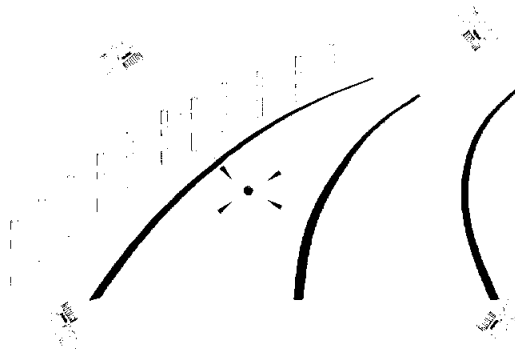
좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 ω , φ , κ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각 ω , φ , κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.

다중영상접합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(Space Intersection)과 공간 후방교회법(Space Resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진자표와 스케치에 의해 입력된 대략의 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다.



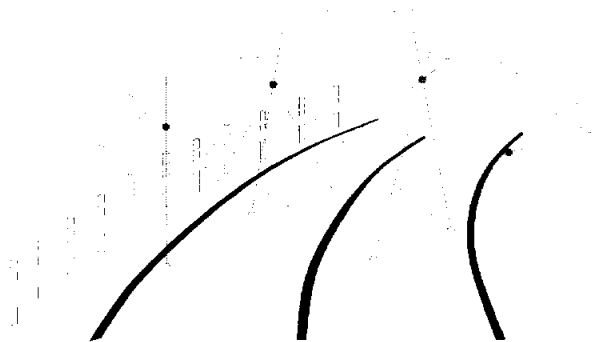
<Figure 2.5> Multi-Image Orientation

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 2.6>과 같다.



<Figure 2.6> Space 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 2.7>과 같다.



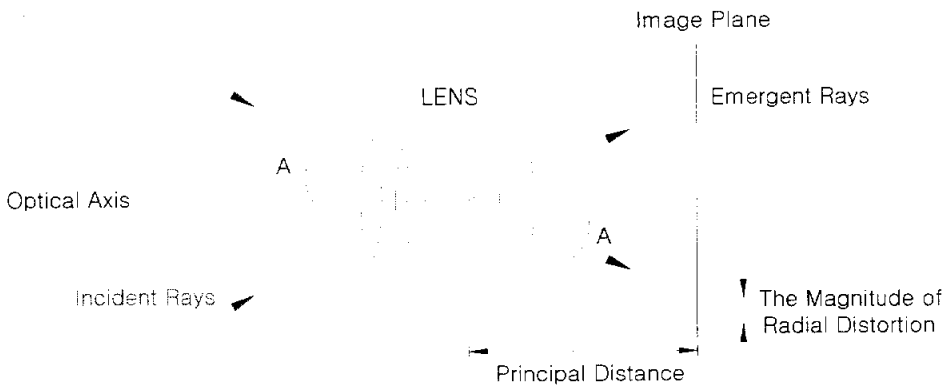
<Figure 2.7> Space Resection

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 $60 \sim 90^\circ$ 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

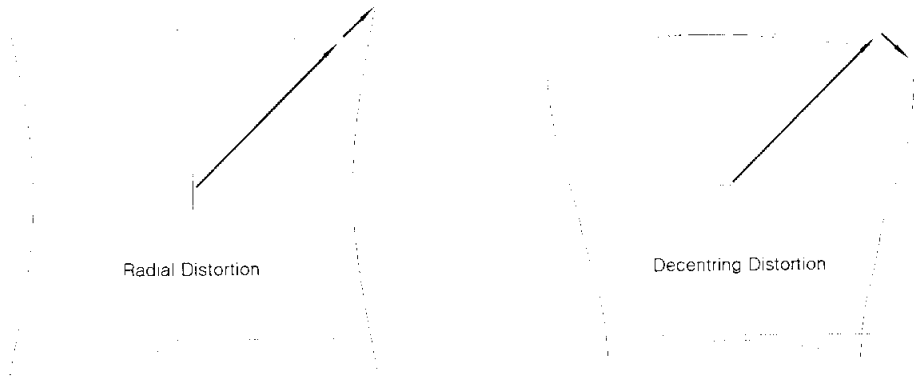
자체검정(Self-Calibration)은 카메라의 초점거리와 주점의 결정, 정오차를 보정하기 위한 부가매개변수의 취득에 이용된다.



<Figure 2.8> Radial Optical Distortion

이론적으로 이상적인 카메라는 <Figure 2.8>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 2.9>에서 나타낸 것과 같다.



<Figure 2.9> Radial and Decentering Distortion

일반적으로, 편심방향 왜곡수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 고려하지 않으며, 방사방향 왜곡수차는 식(2.8)으로 보정한다.

$$DR = A_1 R(R^2 - R_0^2) + A_2 R(R^4 - R_0^4) \quad \text{식(2.8)}$$

여기서,

DR : Radial Distortion

A_1 : 1차 왜곡상수

A_2 : 2차 왜곡상수

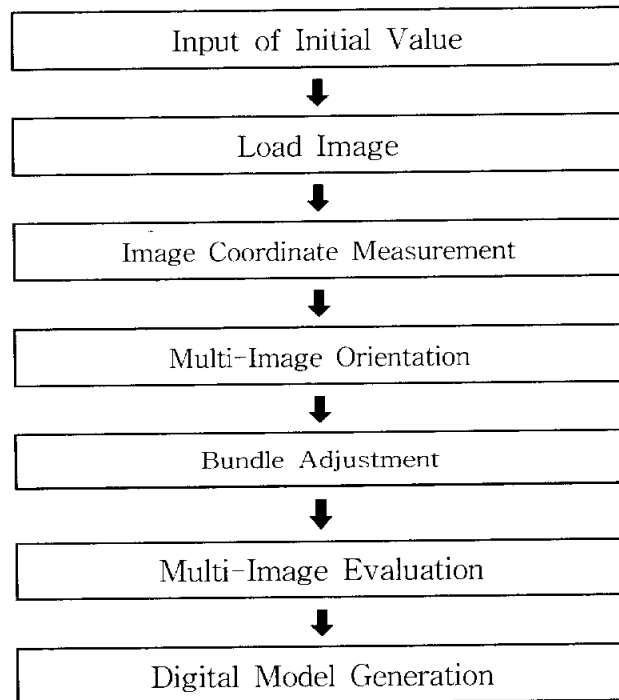
R : 반지름

R_0 : 왜곡수차가 0이되는 주점으로부터 반경

2.5 수치영상처리 시스템

본 연구에서는 근접사진측량 S/W 중 근래에 많이 활용되고 있는 Rollei Metric CDW(Close-Range Digital Workstation)를 이용하여 획득된 대상도로의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 결정하였다.

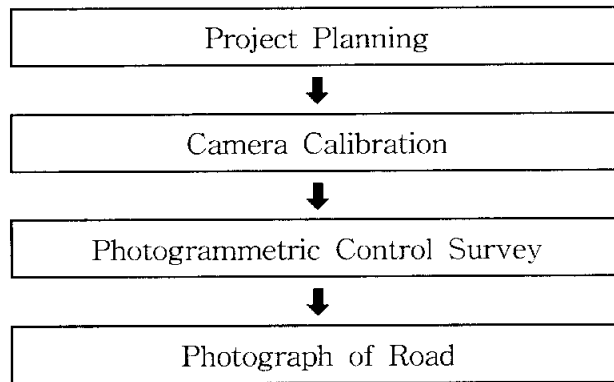
이러한 RolleiMetric CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 높은 정확도의 해석이 가능하다. 전반적인 수치영상처리 시스템의 흐름도는 <Figure 2.10>와 같다.



<Figure 2.10> The Flow Chart of Data Processing

3. 수치영상자료 취득

본 연구에서는 대상도로에 대한 수치영상을 획득하기 위해 <Figure 3.1>과 같은 흐름도로 연구를 수행하였다.



<Figure 3.1> The Flow Chart of Digital Image Acquisition

3.1 촬영계획

본 연구에서는 도로 3차원 좌표의 결정을 위해, 먼저 부산광역시 남구 ○○동에 소재한 도로를 촬영 대상지로 선정하였으며, 촬영을 위한 카메라 결정과 도로상에 존재하며 표정점으로 이용될 수 있는 부대시설에 대한 사전계획을 수립하였다.

일반적으로 식별하기 용이한 타겟을 부착한 후 촬영하는 것이 표정작업을 원활히 할 수 있으나, 공용화된 도로상에 타겟을 부착하기란 많은 어려움이 따르고 촬영 때마다 타겟을 부착하는 작업도 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 실제 도로에 존재하는 Lane Marking, 가드레일, 측구의 신축이음부, 도로 표지판과 같은 부대시설 등을 Natural 타겟으로 선정하고

이를 표정작업시 연속된 영상에서의 특징점으로 이용하기로 계획하였다.

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric⁵ 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 <Figure 3.2>와 <Table 3.1>과 같다.



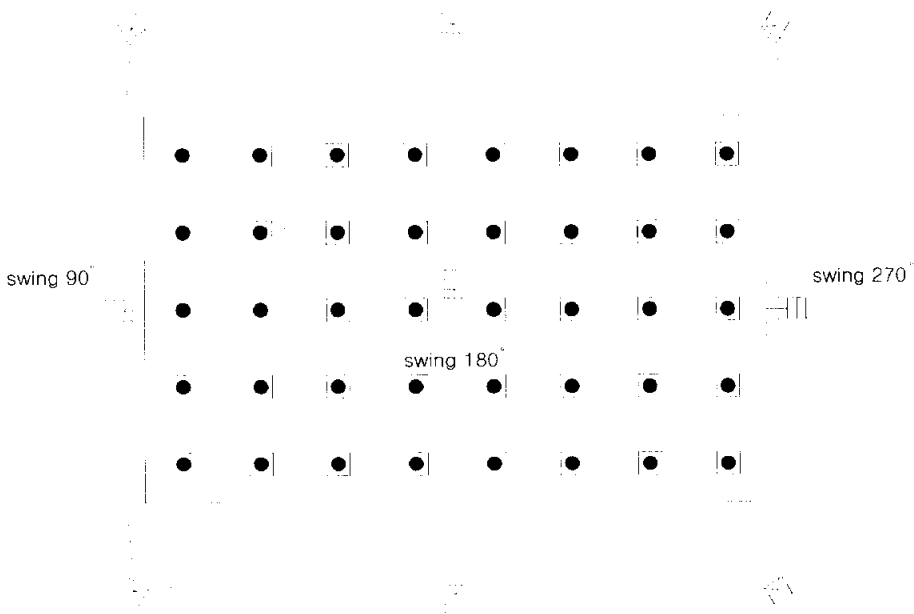
<Figure 3.2> Rollei d7 metric⁵ Camera

<Table 3.1> Specifications of Rollei d7 metric⁵ Camera

Classification	Rollei d7 metric ³
Recording mode	CCD recode
Shutter	1/8,000 sec
Focal Length	7mm
Dimensions	151×102×106 mm
Weight	650g (without batteries)
Pixel in X	2,552
Pixel in Y	1,920
Sensor in X	8.932
Sensor in Y	6.720

3.2 카메라 Calibration

본 연구에서는 촬영에 사용될 Rollei d7 metric⁵ 카메라의 렌즈를 검정하기 위한 작업을 선행하였다. <Figure 3.3>와 같이 약 8m×5m 되는 벽면에 40개의 원형타겟을 부착하고, 중복촬영 및 swing값을 변화시키면서 12장의 사진을 획득하였다.



<Figure 3.3> Test Field for Correction of Radial Distortion

방사방향 왜곡 수차와 편심방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 편심방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하므로, 본 연구에서는 실험을 되풀이하여 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

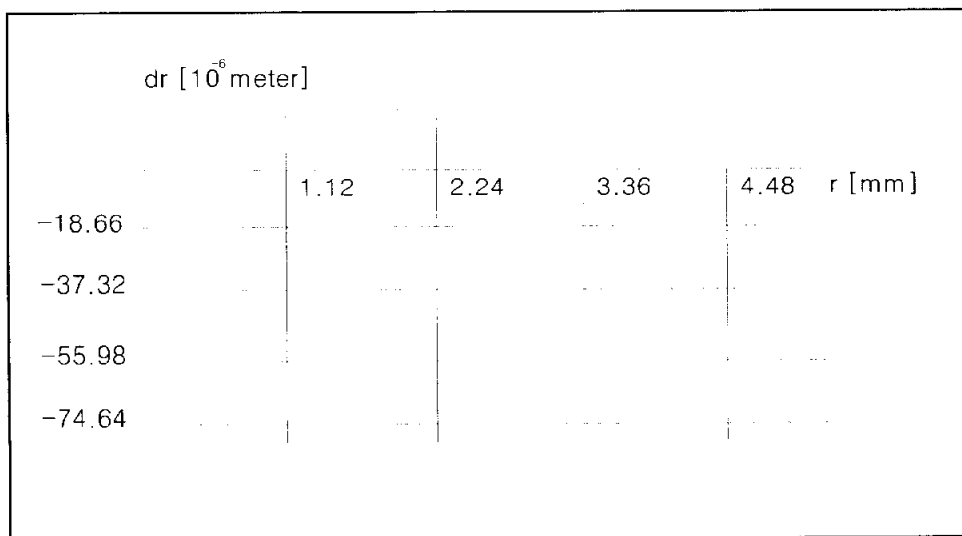
<Table 3.2>는 카메라 Calibration에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이

며, 카메라 검정결과 시스템의 왜곡 매개변수들을 도식적으로 나타내면 <Figure 3.4>과 같다.

<Table 3.2> Data of Camera Calibration

Calibration [Rollei d7 metric ^b Camera]		
Interior Orientation	cK^1	-7.422 mm
	xH^2	0.6875 mm
	yH^2	0.0998 mm
	$A1^3$	-2.1884e-003
	$A2^3$	3.5727e-005
	$R0^4$	3.00 mm

1. Calibrated Focal Length
2. Coordinates of Principal Image Point
3. Parameters of Radial-Symmetric Distortion
4. Radius from Principal Point when Radial Distortion is zero



<Figure 3.4> Profiles for Calibrated Radial Distortion

3.3 기준점 측량

본 연구에서는 촬영당시의 카메라 노출위치와 수치영상처리 시스템의 광속조정법에서 얻어진 지상좌표값의 정확도를 분석하기 위해 GPS 측량을 이용하여 대상도로 주변의 보점을 결정하기 위한 측량을 선행하였으며, 이렇게 결정된 보점으로부터 지상기준점 및 검사점의 결정을 위한 Total Station 측량을 실시하였다.

먼저, 대상지역의 지상기준점의 정밀한 측량을 위하여 대상지역 근교의 두 개의 삼각점 $\triangle 309$ 와 $\triangle 422$ 를 이용하여 GPS 정적측위방법으로 10초씩 1시간 관측을 실시하였으며, 두 삼각점에 설치된 GPS 수신기의 모습은 <Figure 3.5>와 같다.



(a) $\triangle 309$



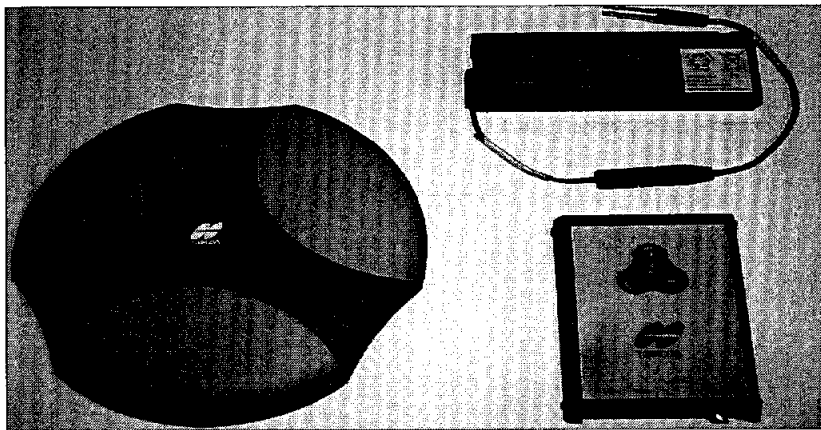
(b) $\triangle 422$

<Figure 3.5> The Shape of Triangulation Points

관측에 사용된 장비로는 TOPCON사에서 제조한 GPS 수신기를 사용하였으며, 이 수신기는 L1/L2 C/A 코드와 P코드 및 반송파 위상을 수신할 수 있는 장비이다. 장비의 제원은 <Table 3.3>에 나타내었고, 모습은 <Figure 3.6>에 나타내었다.

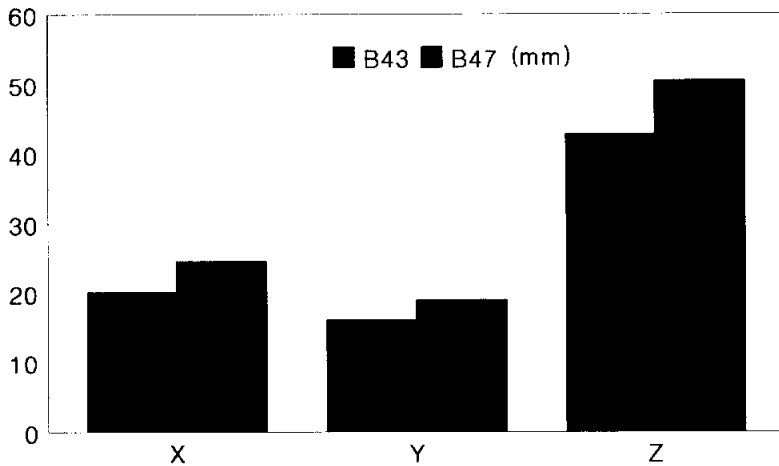
<Table 3.3> Specification of GPS Receiver

Receiver Type	Legacy-H	
Channel	20 Channel · GPS L1, GPS L1/L2	
Signal	GPS L1/L2 (L1-C/A & L1/L2-Full Cycle Carrier Phase, P1/P2)	
Accuracy	Vertical	5mm + 1ppm
	Horizontal	3mm + 1ppm



<Figure 3.6> GPS Receiver

두 개의 삼각점을 기준으로 하여 대상지역의 두 점 B43, B47를 관측한 결과 위성수는 평균 5개 이상이 관측되었고, PDOP는 2~4 사이로 비교적 안정된 상태를 나타내었다. 그리고, B43의 기준점인 경우 $\sigma_x=20.1\text{mm}$, $\sigma_y=16.1\text{mm}$, $\sigma_z=42.8\text{mm}$, B47의 기준점의 경우 $\sigma_x=24.6\text{mm}$, $\sigma_y=19.0\text{mm}$, $\sigma_z=50.5\text{mm}$ 의 관측오차를 나타내었으며, 이를 도식화하면 <Figure 3.7>과 같다. 또한, 기준으로 이용된 삼각점과 측정된 지상기준점의 좌표는 <Table 3.4>에 나타난 바와 같다.



<Figure 3.7> Sigmas of Adjustment network

<Table 3.4> Adjusted coordinates in Korea(Grid, Zone Korea)

Point Name	Coordinates			Sigmas (mm)		
	Northing(m)	East(m)	Ortho(m)	s(x)	s(y)	s(z)
B43	179364.4965	209349.7402	69.9206	20.1	16.1	42.8
B47	179302.7072	209400.5448	70.9263	24.6	19.0	50.5
△422	184236.8118	207407.7793	427.6300	0.0	0.0	0.0
△309	179821.0928	211051.9423	224.6000	0.0	0.0	0.0

이렇게 GPS측량에 의해 결정된 B43과 B47은 실제 촬영에서 이용될 지상기준점 결정 및 수치사진측량 시스템에 의해 결정된 좌표와 비교하기 위한 검사점을 측정하기 위한 TS 측량의 기준점으로 이용되었으며, 본 연구에서는 도로상의 Lane Marking을 검사점으로 사용하였다. 검사점의 취득을 위해 사용된 Total Station은 TOPCON사에서 제조한 장비를 사용하였으며, 모델명은 GTS-701이고 장비의 제원은 <Table 3.5>와 같다. 또한, 최종적으로 결정된 검사점의 3차원 좌표는 <Table 3.6>에 나타낸 바와 같다.

<Table 3.5> Specifications of GTS-701

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

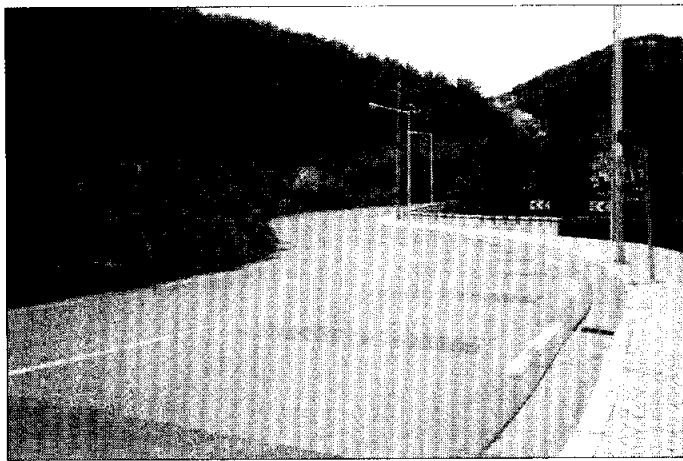
<Table 3.6> The Result of Control Survey [3D Coordinate]

No.	X	Y	Z	No.	X	Y	Z
1	178943.403	209463.129	75.366	11	178930.302	209452.675	75.655
2	178940.523	209462.546	75.448	12	178924.314	209451.578	75.815
3	178937.515	209461.947	75.522	13	178912.461	209449.251	75.816
4	178896.318	209454.182	75.604	14	178897.470	209446.318	75.624
5	178893.487	209453.612	75.554	15	178894.628	209445.757	75.557
6	178881.827	209451.349	75.274	16	178782.780	209439.946	70.400
7	178822.556	209440.311	72.435	17	178766.098	209448.535	69.726
8	178947.988	209456.084	75.322	18	178763.163	209449.223	69.617
9	178944.815	209455.412	75.416	19	178695.049	209431.026	70.831
10	178938.915	209454.383	75.563	20	178676.992	209430.263	71.795

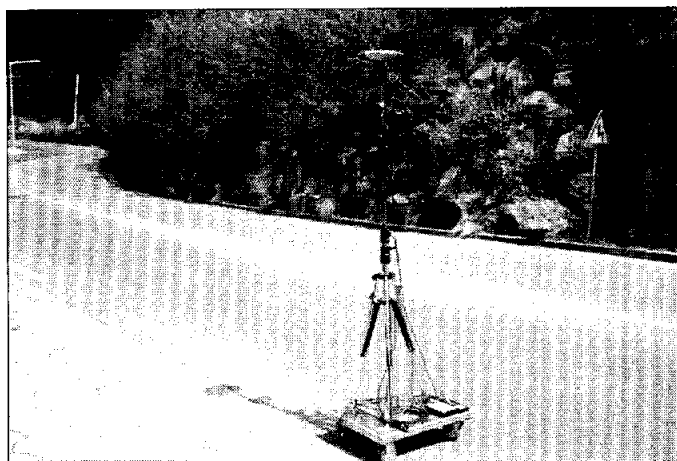
3.4 대상도로 촬영

본 연구에서는 부산광역시 남구 ○○동에 소재한 직선과 원곡선으로 구

성된 약 100m구간의 도로를 대상으로 카메라와 GPS 수신기를 일체형으로 장착시킨 차대를 이용하여 촬영을 실시하였다. DGPS(Differential GPS)기법에 의해 추출된 좌표는 촬영당시의 카메라의 노출위치를 결정하기 위한 중요한 자료로 이용되었으며, 촬영대상도로의 전경 및 일체식으로 제작된 차대 모습은 <Figure 3.8>와 <Figure 3.9>에 나타낸 것과 같다.

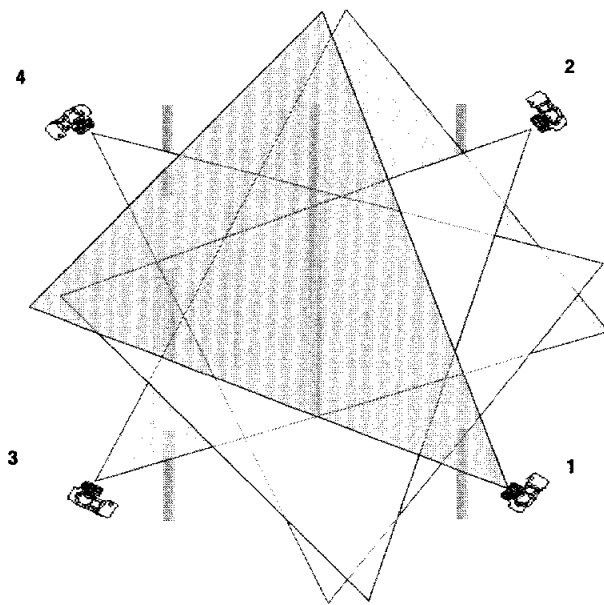


<Figure 3.8> The Shape of a Observation Area

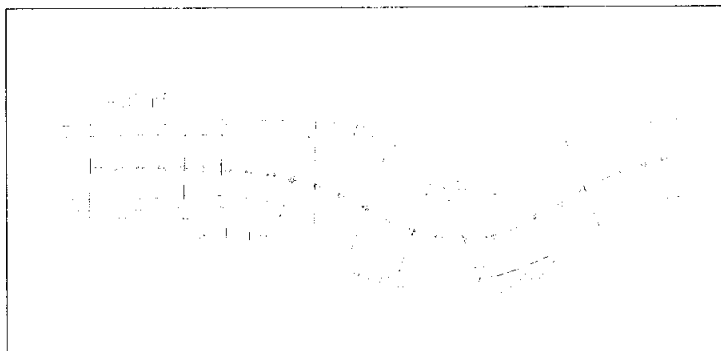


<Figure 3.9> The Shape of a Observation Equipment

연속된 수치영상의 촬영방향이 3차원 공간에서 대략 $60\sim 90^\circ$ 의 각도가 이루어지고, 각 수치영상에 대상점이 최소 7개 이상 골고루 분포할 수 있도록 촬영하여 총 20장의 수치영상을 획득하였으며, 촬영 당시의 시스템은 <Figure 3.10>에서 나타낸 것과 같고, <Figure 3.11>은 카메라 노출위치를 평면도로 나타낸 것이다.

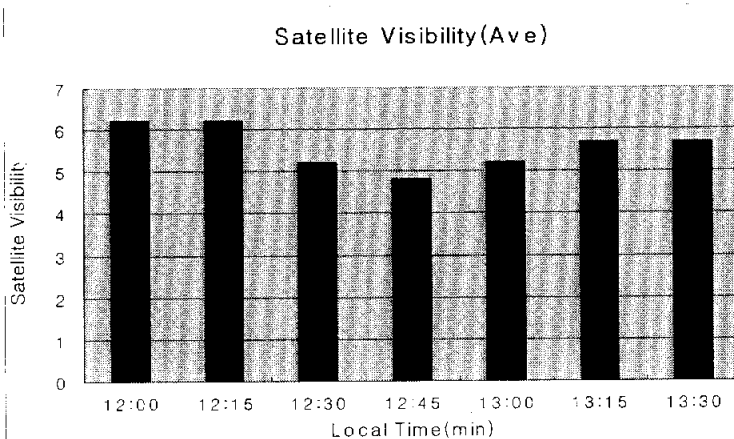


<Figure 3.10> A Test System for Digital Image Acquisition

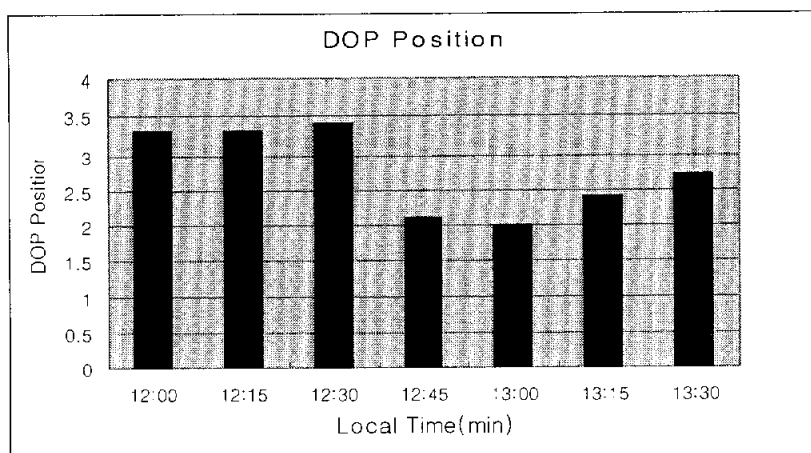


<Figure 3.11> The Shape of Section

또한, 촬영시 카메라의 노출위치를 위한 DGPS 관측으로 총 5233개의 Data를 수신하였고, 고정국에서의 위성수는 평균 5.88개가 나타났고, 이동국에서의 위성수는 평균 5.72개로 관측되어 만족할 수 있는 가시위성수라고 판단된다. 그리고 PDOP는 고정국에서 평균 3.08, 이동국에서 평균 2.82를 나타내었으며, 이를 나타낸 것은 <Figure 3.12>, <Figure 3.13>과 같고, DGPS에 의해 결정된 카메라 노출위치는 <Table 3.7>와 같다.



<Figure 3.12> Satellite Visibility



<Figure 3.13> PDOP of GPS

<Table 3.7> Analysis Result of Exposure Point

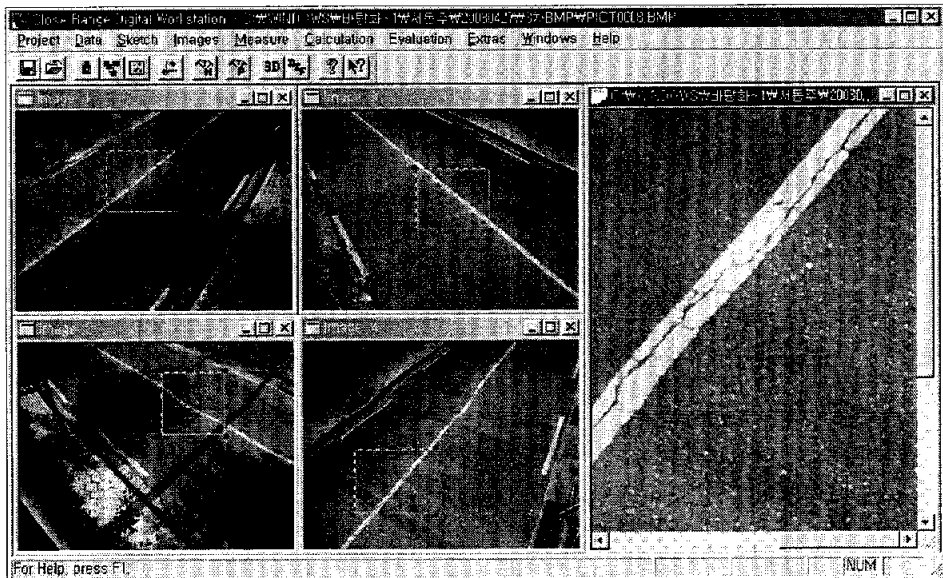
Section	No.	X	Y	Z	Deviation X (m)	Deviation Y (m)	Deviation Z (m)
I	1	178861.797	209434.072	76.562	0.025	0.024	0.025
	2	178849.804	209430.817	78.189	0.059	0.181	0.286
	3	178859.455	209445.377	76.557	0.026	0.026	0.041
	4	178849.876	209443.437	78.590	0.020	0.018	0.025
II	1	178846.339	209429.992	78.193	0.018	0.015	0.039
	2	178834.903	209427.510	77.572	0.017	0.020	0.026
	3	178848.331	209443.019	76.821	0.224	0.093	0.451
	4	178835.333	209439.944	77.755	0.063	0.106	0.018
III	1	178832.133	209426.718	77.355	0.019	0.022	0.226
	2	178820.403	209424.737	76.733	0.010	0.007	0.277
	3	178830.293	209438.604	77.430	0.014	0.018	0.016
	4	178821.446	209436.559	77.002	0.057	0.069	0.026
IV	1	178817.133	209423.954	76.742	0.008	0.005	0.012
	2	178805.177	209424.536	76.230	0.009	0.009	0.109
	3	178817.401	209436.677	76.713	0.031	0.081	0.027
	4	178808.661	209436.756	76.185	0.021	0.021	0.019
V	1	178801.238	209425.004	76.050	0.013	0.008	0.015
	2	178789.553	209429.404	75.324	0.008	0.010	0.014
	3	178804.689	209437.384	75.973	0.016	0.024	0.011
	4	178796.418	209439.939	75.475	0.039	0.055	0.020

4. 자료처리 및 결과분석

4.1 수치영상자료 처리

본 연구에서는 획득된 대상도로의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 결정하기 위해 RolleiMetric CDW(Close-Range Digital Workstation)를 이용하였다.

먼저, 카메라 Calibration에 의해 결정된 내부표정요소와 DGPS 기법에 의해 결정된 촬영 당시의 카메라 노출위치를 입력하고 획득된 20장의 영상에 있어서 표정점 139개의 상좌표를 측정하였으며, <Figure 4.1>은 한 구역에 대한 상좌표 측정모습을 나타낸 것이다.



<Figure 4.1> Image Point Measurement

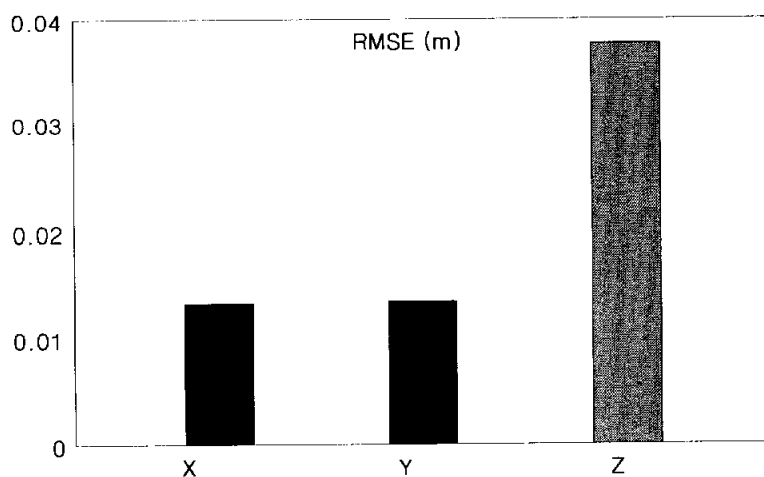
이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한

다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다.

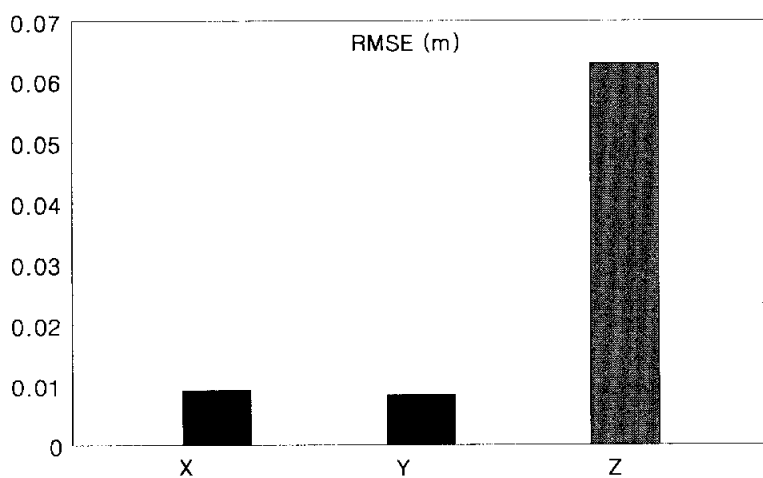
결정된 대상물 3차원 좌표의 RMSE를 구역별로 구분하여 나타내면 <Table 4.1>과 같으며, 이를 도식화하면 <Figure 4.2>~<Figure 4.6>에 나타난 것과 같다.

<Table 4.1> RMSE of Each Section

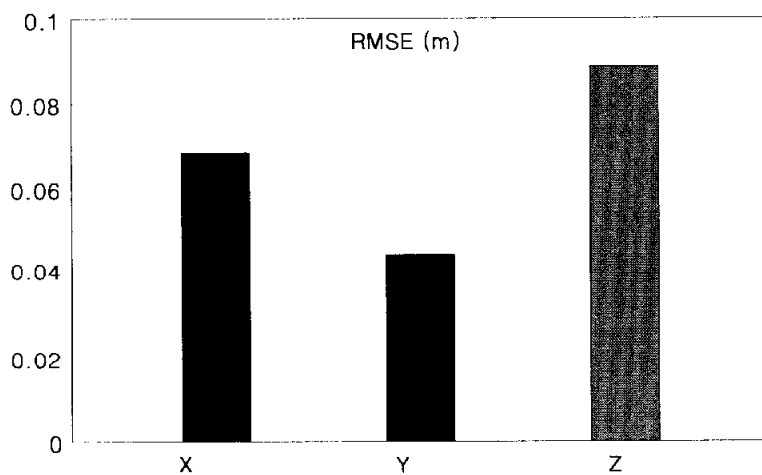
Section	RMSE		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
I	0.01321	0.01343	0.03770
II	0.00910	0.00831	0.06287
III	0.06850	0.04395	0.08877
IV	0.00719	0.00647	0.01723
V	0.03035	0.16130	0.03567



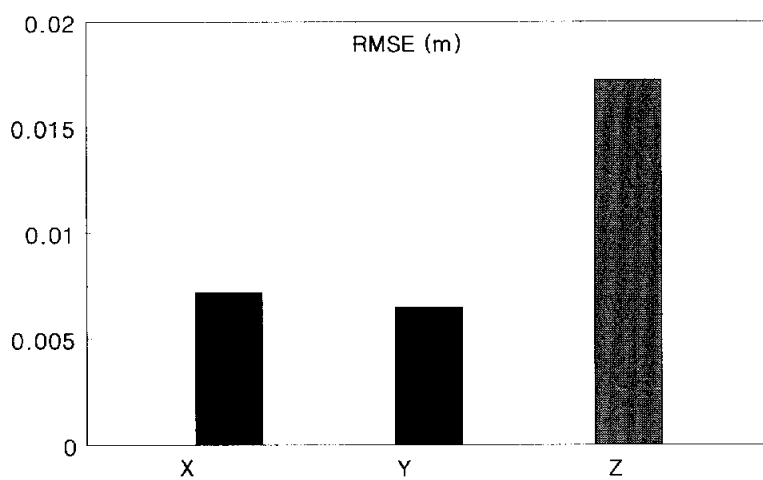
<Figure 4.2> RMSE of Section I [X, Y, Z]



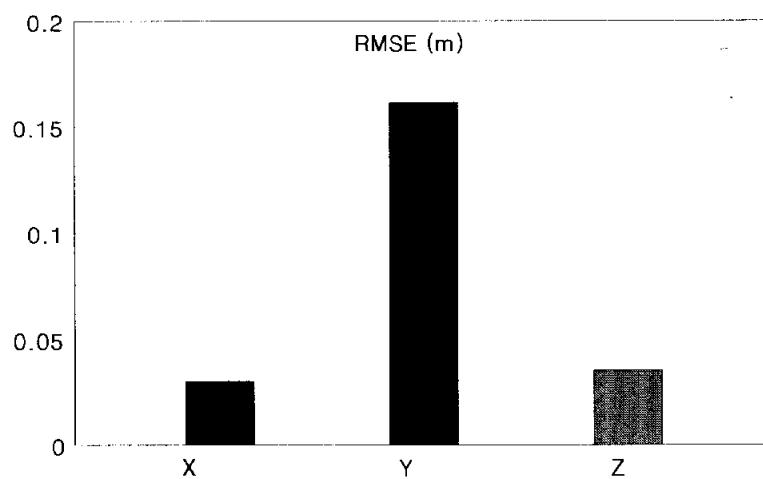
<Figure 4.3> RMSE of Section II [X, Y, Z]



<Figure 4.4> RMSE of Section III [X, Y, Z]



<Figure 4.5> RMSE of Section IV [X, Y, Z]



<Figure 4.6> RMSE of Section V [X, Y, Z]

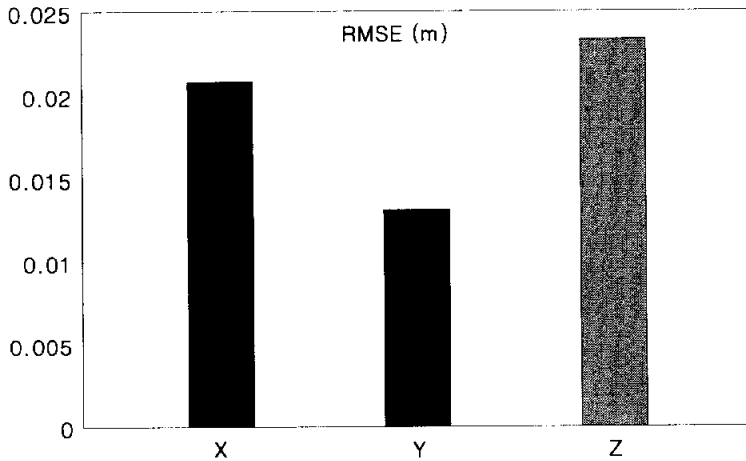
4.2 결과분석

본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 GPS 측량과 Total Station 측량에 의한 기준점 좌표성과와의 차이로 비교하였으며, 그 결과는 <Table 4.2>와 같다.

<Table 4.2> The Residuals of Control Points

No.	Total Station			Rollei d7metric ^b			ν_x	ν_y	ν_z
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	(m)	(m)	(m)
1	178943.403	209463.129	75.366	178943.403	209463.130	75.487	0.0000	0.0010	0.1210
2	178940.523	209462.546	75.448	178940.548	209462.642	75.556	0.0250	0.0960	0.1080
3	178937.515	209461.947	75.522	178937.545	209462.014	75.582	0.0300	0.0670	0.0600
4	178896.318	209454.182	75.604	178896.473	209454.204	75.682	0.1550	0.0220	0.0780
5	178893.487	209453.612	75.554	178893.641	209453.642	75.693	0.1540	0.0300	0.1390
6	178881.827	209451.349	75.274	178881.743	209451.333	75.352	-0.0840	-0.010	0.0780
7	178822.556	209440.311	72.435	178822.630	209440.267	72.625	0.0740	-0.040	0.1900
8	178947.988	209456.084	75.322	178947.8504	209456.1929	75.317	-0.1380	0.1090	-0.000
9	178944.815	209455.412	75.416	178944.8207	209455.5418	75.487	0.0060	0.1300	0.0710
10	178938.915	209454.383	75.563	178938.8207	209454.4087	75.488	-0.0940	0.0260	-0.070
11	178930.302	209452.675	75.655	178930.3075	209452.676	75.735	0.0050	0.0010	0.0800
12	178924.314	209451.578	75.815	178924.3347	209451.561	75.721	0.0210	-0.010	-0.090
13	178912.461	209449.251	75.816	178912.6045	209449.2794	75.824	0.1430	0.0280	0.0080
14	178897.470	209446.318	75.624	178897.4698	209446.318	75.682	0.0000	0.0000	0.0580
15	178894.628	209445.757	75.557	178894.7396	209445.6318	75.707	0.11200	-0.120	0.1500
16	178782.780	209439.946	70.400	178782.6096	209440.0484	70.551	-0.1700	0.1020	0.1510
17	178766.098	209448.535	69.726	178766.0932	209448.5366	69.788	-0.0050	0.0020	0.0620
18	178763.163	209449.223	69.617	178763.1594	209449.2177	69.788	-0.0040	-0.000	0.1710
19	178695.049	209431.026	70.831	178695.0859	209431.0279	70.695	0.0370	0.0020	-0.130
20	178676.992	209430.263	71.795	178677.1307	209430.2688	71.606	0.1390	0.0060	-0.180
평균							0.0203	0.0200	0.0513

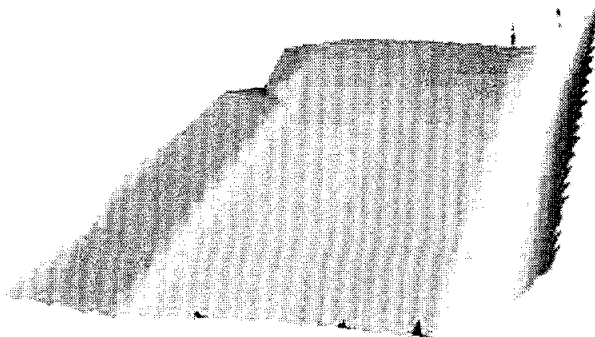
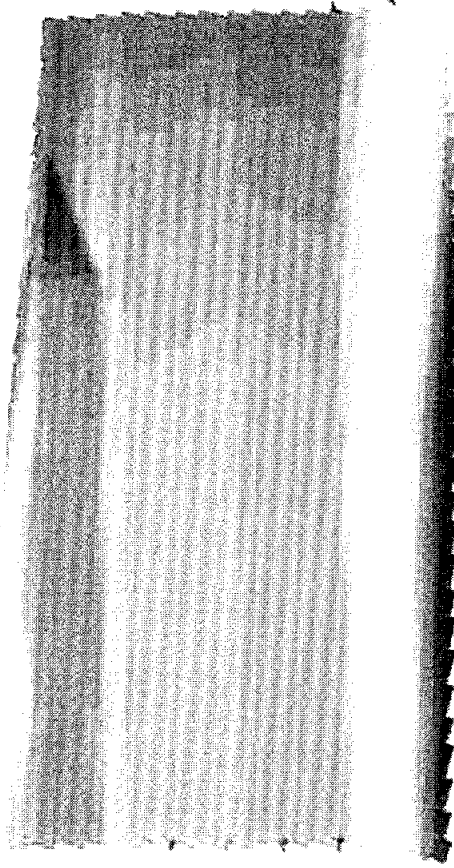
또한, 기준점의 잔차에 대한 RMSE는 X 방향으로 0.02081m, Y 방향으로 0.01312m, Z 방향으로 0.02333m로 나타났으며, 이를 도식적으로 나타내면 <Figure 4.7>과 같다.



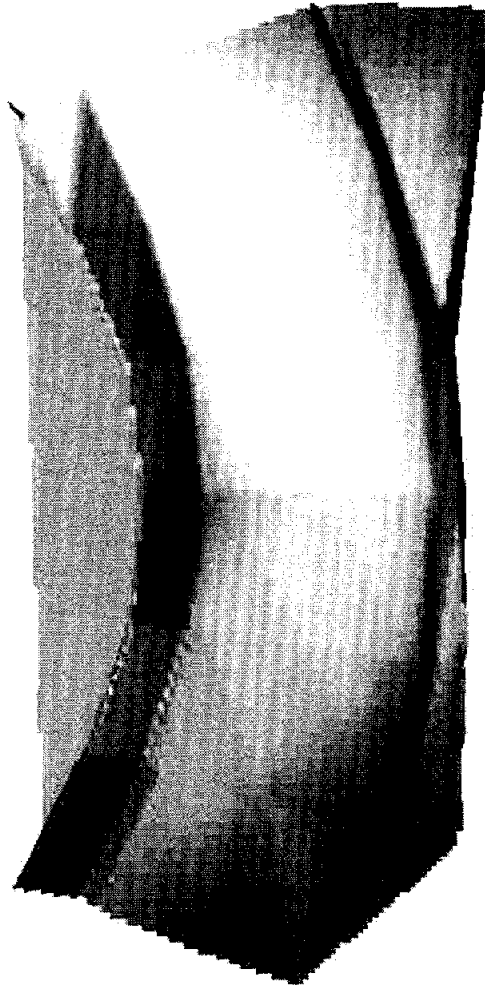
<Figure 4.7> RMSE of Control Points [X, Y, Z]

4.3 도로 3차원 시각화

본 연구에서는 대상도로의 시각화를 위해 수치영상의 획득 및 처리, 표정작업, 도화작업에 의해 결정된 3차원 좌표를 이용하여 3D Surface Model로 나타내었다. 약 30m의 직선구간과 원곡선구간을 3D Surface Model로 나타내면 <Figure 4.8>과 <Figure 4.9>와 같다.



<Figure 4.8> A 3D Surface Model (Strait Segment)



<Figure 4.9> A 3D Surface Model (Curve Segment)

5. 결 론

수치사진측량을 이용하여 대상구간의 도로에 대한 수치영상을 획득·처리하여 촬영된 도로의 위치자료를 정량적으로 분석하고 3차원 수치모형으로 나타낸 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GPS 수신기를 카메라와 일체형으로 장착하고 DGPS 측량과 촬영을 동시에 수행함으로써, 촬영 당시의 카메라 노출위치를 결정하기 위한 중요한 기초자료를 제공할 수 있었다.
2. 수치사진측량기법을 이용하여 도로의 Lane Marking, 측구, 신축이음부 등의 표정점으로부터 도로 중선선 및 부대시설의 3차원 좌표를 취득할 수 있었으며, Total Station에 의한 검사점 성과와 비교해 본 결과 오차의 평균은 X방향 0.0203m, Y방향 0.0208m, Z방향 0.0513m로 나타났고, 기준점의 잔차에 대한 RMSE는 X방향 0.02081m, Y방향 0.01312m, Z방향 0.02333m로 나타났다.
3. 표정작업과 도화작업에 의해 취득된 도로 3차원 좌표를 이용하여 대상 도로를 3D Surface Model로 시각화할 수 있었으며, 이러한 자료는 도로의 효율적인 유지관리에 적용 가능할 것으로 기대된다.
4. 도로를 대상으로 취득된 양질의 영상자료를 GPS 및 IMU 등에 의한 자료와 결합시키는 연구가 연계될 경우 MMS 분야에서 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Clive S. Fraser, "Digital camera self-calibration", ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 52, pp.149-159, 1997.
2. Clive S. Fraser, "Automated Processes in Digital Photogrammetric Calibration, Orientation , and Triangulation", DIGITAL SIGNAL PROCESSING 8, pp.277-283, 1998.
3. Clive S. Fraser, "Full Automation of Sensor Calibration, Exterior Orientation and Triangulation in Industrial Vision Metrology", International Workshop on Image analysis and Information Fusion, 1995.
4. Clive S. Fraser, K.L.Edmundson, "The Metric Impact of Reduction Optics in Digital Camera", Photogrammetric Record, 1996.
5. Hans-Gerd Mass, "Concepts of real-time photogrammetry", Human Movement Science, Volume 16, Issues 2-3, pp.189-199, 1997.
6. Steven A. Sader and J. Chris Winne, "Digital Image Analysis Hardware/Software Use at U.S Forestry Schools", PE&RS, Vol. 57, No.2. pp.209-211, 1991.
7. A Stefanidis, P.Agouris, A.F.Schenk, "Evaluation of the Performance of a Digital Camera", Technical papers of 1990 ACSM/ASPRS annual Convention, Vol.5, pp.109-118, 1990.
8. Bahadır Ergün, S tk K l r, "3D Modelling of car surface by means of digital photogrammetric methods", Third-Turkish German Joint Geodetic Days, pp.455-460, Istanbul, 1999.
9. Christian Heipke, "Automation of Interior, Relative, and Absolute Orientation", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,

Volume 52, pp.1-19, 1997.

10. J.C.Trinder, "Precision of Digital Target Location", PE&RS, Vol.55, No.6, pp.883-886, 1989.
11. S.F.EL-Hakim, "Real-Time Image Metrology with CCD Cameras", PE &RS, Vol.52, pp.1757-1766, 1986.
12. S.F.EL-Hakim, Nicolino J. Pizzi, "Multicamera Vision-Based Approach to Flexible Feature Measurement for Inspection and Reverse Engineering", Optical Engineering, Vol.32, No.9, pp.2201-2215, 1993.
13. Horst A. Beyer, "Automated dimensional inspection with real-time photogrammetry", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 50, pp.20-26, 1995.
14. Horst A. Beyer, "Geometric and radiometric Analysis of a CCD Camera Based Photogrammetric Close-Range System", Zurich, 1992.
15. Klaus Hanke, Mostafa A. Ebrahim, "The Digital Projector Ray-tracing as a tool for close-range photogrammetry", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 54, pp.35-40, 1999.
16. M. Pollefeys, R. Koch, M.Vergauwen, L. Van Gool, "Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 55 pp.251-267, 2000.
17. T.A. Clarke, "An analysis of the prospects for digital close-range photogrammetry", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 50, pp.4-7, 1995
18. X.Wang, T.A. Clarke, "Separate adjustment in close-range photogrammetry", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , Volume 55, pp.289-298, 2001.

19. Shortis, M.R., Clarke, T.A. and Robson, S, "Practical testing of the Precision and Accuracy of Target Image Centering Algorithms", Videometrics IV, SPIE, Vol.2598, pp.65-76, 1995.
20. S. Robson, T.A. Clarke, and J. chen, "The Suitability of the Pulnix CCD Camera for Photogrammetric Measurement", SPIE Videometrics II, Vol.2067, pp.66-77, 1993.
21. Peipe, J. and Schneider, C. Tog "High resolution still video camera for industrial photogrammetry", Record, 15(85) pp. 135~139. 1995.
22. Henri v. George V, "The 3D reconstruction of straight and curved pipes using digital line photogrammetry" ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 53, pp.6~16, 1998.
23. Bosemann, w, "The Optical Tube Measurement. System OLM", IAPRS, 31(5), pp. 55~58, 1996.
24. C. Vincent Tao, Michael A. Chapman and Bruce A. Chaplin, "Automated processing of mobile mapping image sequences", ISPRS 55, pp. 330~346, 2001.
25. Tetsuya kuno and Hiroaki Sugiura, "Detection of Road conditions with CCD Cameras Mounted on a vehicle", systems and computers in Japan, Vol 30, No 14, pp. 88~98, 1999.
26. Veda K. Horiba, "Detection of wet road surfaces by image processing", Gazou Labo, pp. 40~45, 1995.
27. John C. Trinder, Yandong Wang, "Automatic Road Extration from Aerial Images", Digital Signal processing 8, pp. 215~224, 1998.
28. Wang, Y, Trinder, J. C. "Use of topology in automatic road extraction", Int Archives Photogrammetry Remote Sensing, 32, pp. 394~399, 1998.

29. Li, R. "Mobile Mapping : An Emerging Technology for spatial Data Acquisition", photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 63, No. 9, pp. 1085~1092, 1997.
30. Graete, G. "The road data acquisition system MOSES - determination and accuracy of trajectory data gained with the Applanix POS/LV", CM. Ellum, N. El-sheimy, The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 4, 2001.
31. Pierre-Yves, Gillieron, "Development of a Low Cost Mobile Mapping System for road Data base Management" The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 6, 2001.
32. Joao Fernando C, "Georeferenced road Image Database" The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 11, 2001.
33. 유복모, "항공삼각측량에 있어서 독립모델의 연구", 대한토목학회 창립 20주년 기념논문집, pp.222-229, 1972.
34. 박운용, "사진측량에 의한 사면해석에 관한 연구", 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1982.
35. 양인태, "경사사진에 의한 해석적 위치결정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1984.
36. 강준문, "다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀해석에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1985.
37. 이재기, "비측정용사진에 의한 좌표해석", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
38. 강인준, "지상사진측량에 있어서 블록조정법을 이용한 기준점 결정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
39. 박흥기, "사진측량관측값의 과대오차조정에 관한 연구", 박사학위논문,

- 연세대학교 대학원, 1987.
40. 유환희, “근거리 사진측량에 의한 변형해석의 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1988.
 41. 이종출, “근거리 사진측량에 의한 지형의 3차원 위치해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1989.
 42. 손덕재, “지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1989.
 43. 이진덕, “다중근접사진측량에 의한 구조물 전면의 3차원 해석”, 박사학위논문, 충남대학교 대학원, 1992.
 44. 한승희, 강준묵, “3차원 측량을 위한 Digital Image의 영상좌표 획득에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제15권 제6호, pp.1721-1730, 1995.
 45. 유환희, 김의명, “수치사진측량기법을 이용한 실시간 매핑 S/W 개발”, 대한토목학회 논문집, 제16권 제Ⅲ-1호, pp.37-45, 1996.
 46. 신봉호, 엄재구, 양승용, 송왕재, “구조물의 변형측정을 위한 수치영상의 정확도 향상”, 대한토목학회 논문집, 제19권 제Ⅲ-4호, pp.677-685, 1999.
 47. 한승희, “구조물 변형측정을 위한 지상사진측량의 기법개발”, 박사학위논문, 충남대학교 대학원, 1993.
 48. 배상호, “구조물 변위해석을 위한 사진측량의 컴포넌트 개발”, 박사학위논문, 충남대학교 대학원, 2000.
 49. 배상호, “근접사진측량에 의한 교량의 변형해석에 관한 연구”, 석사학위논문, 충남대학교 대학원, 1994.
 50. 김성민, “수치화상을 이용한 근접사진측량 시스템의 수행성 평가”, 석사학위논문, 금오공과대학교 대학원, 1996.
 51. 박경식, “CCD 카메라에 의한 동적 대상물의 상좌표 실시간 취득”, 석사학위논문, 충북대학교 대학원, 1997.

52. 이석균, “CCD 사진기와 객체지향기법을 이용한 근거리 수치사진측량에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1998.
53. 이효성, “수치근접사진측량에 의한 조경석의 표면거칠기 정밀측정”, 박사학위논문, 경상대학교 대학원, 2000.
54. 이철우, “수치사진측량을 이용한 Fender의 3차원 수치모형생성”, 석사학위논문, 충북대학교 대학원, 2000.
55. 이광진, “렌즈 왜곡영상을 위한 자동 보정 방법”, 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 1999.
56. Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, "Elements of Photogrammetry with application in GIS", 3rd edition, 1999.
57. T. Schenk, "Concept in Digital Photogrammetry", 1996.
58. Prof. Dr. Karl KRAUS, "PHOTOGRAMMETRY I,II", 4th edition, 1997.

감사의 글

만학의 부족한 저에게 학문의 더 큰 안목과 학자로의 바른 길을 가르쳐 주시기 위해 석사과정의 시작부터 끝까지 항상 편안하고 자상하게 지도해 주신 이종출 지도교수님께 한량없는 고마움과 존경심을 느끼며 앞으로 학문 증진과 현장 교육 실무를 통해 보답코자 합니다.

지난 시간 주위 여러분들의 도움으로 학문 연구에 증진 할 수 있는 것에 감사하게 생각하며 저에게 용기와 자신감을 심어 주셨으며 늦게나마 조금 더 깊은 학문을 접하면서 많은 것을 깨달았습니다. 좀더 열심히 하지 못한 아쉬움은 있지만 지난 과정은 앞으로 소중하고 보람된 추억이 될 것입니다.

그리고 바쁘신 중에도 본 논문의 심사를 맡아 세심한 검토와 자상한 지도를 해주신 주심 김상용 교수님, 손인식 교수님의 배려에 깊은 감사를 드립니다. 또한 저의 학문 연구에 여러 가지로 관심과 지도를 아끼지 않으셨던 김종수 교수님, 김명식 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님께도 감사드립니다.

동의공업고등학교 이수근 교장선생님, 손한섭 교감선생님을 비롯한 토목과 여러 선생님, 동의공업대학 김대현 교수님에게도 그간의 따뜻한 배려와 격려에 감사드리며, 특히 연구실에서 각자 본인의 연구에 전념하느라 바쁘고 피곤함에도 불구하고 항상 밝고 겸손한 마음으로 저의 논문을 헌신적으로 도와주고 언제나 의논할 수 있도록 친절히 대해준 서동주 박사님을 비롯한 노태호, 장호식, 김진수, 남 신, 강상민, 박규열 학우님들에게 감사드리며, 언제나 학문 연구의 반려자로서 친절히 대해 준 이원수 부장님과 함께 학업을 함께한 조영복씨, 이기찬씨에게도 감사의 뜻을 전합니다.

공부 핑계로 자주 찾아 뵈지도 못하고 아들 걱정애 노심초사하시는 홀로 계신 팔순의 어머니께 그간의 불효를 이 한편의 논문으로 변명을 대신합니다. 그리고 어려운 여건에서도 나의 뜻과 의지를 흔쾌히 받아 들여 과정을 마칠 수 있도록 헌신적으로 도와준 사랑하는 아내에게 진심으로 고마움을 전합니다.

2003년 7월 10일 새벽에 이 영 도