

# Direct Georeferencing에 의한 CCD 영상의 적용기법

## Application of CCD Image by Direct Georeferencing

송연경<sup>1)</sup> · 박운용<sup>2)</sup> · 박홍기<sup>3)</sup>

Song, Youn Kyung · Park, Woon Yong · Park, Hong Gi

### Abstract

Direct Georeferencing (DG) is based on the direct measurement of the projection centers and rotation angle of sensor through loading the GPS and INS in aircraft. The methods can offer us to acquire the exterior orientation parameters with only minimum GCPs, even the ground control process could be completely skipped. In this study, a CCD camera is simultaneously used in GPS/INS, and acquired CCD image through Direct Georeferencing produce digital orthoimage. In this process, methods of combining sensor and digital orthoimage are examined and estimated. For the comparison of the positioning accuracy digital orthoimage through Direct Georeferencing, GCPs determined by GPS surveying are used. Two digital orthoimage are produced; one with a few GCP and the other without them. The produced maps can be used to correct or revised 1:1,000 or 1:5,000 scale maps accordingly.

Keywords : Direct Georeferencing, CCD image, Digital orthoimage, Digital map

### 요 지

Direct Georeferencing을 이용한 항공사진측량 방법에서는 항공기에 탑재한 GPS와 INS로 센서의 위치와 회전 각을 정확히 결정함으로써 외부표정요소 결정을 위한 지상기준점 측량을 생략하거나 또는 최소한의 기준점만을 사용하여 외부표정요소를 결정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 측량 시에 항공기에 GPS와 INS 및 CCD 카메라를 탑재하여 동시에 측량을 하고, Direct Georeferencing에 의한 CCD 영상으로 수치정사영상을 제작하여, 수치정사영상의 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 본 연구에서 제작된 결과물에 대한 정확도 검증을 위하여 GPS로 측량한 지상 검사점을 기본으로 하여 Direct Georeferencing에 의하여 제작된 수치정사영상의 위치 정확도를 평가하였다. 수치정사영상은 소수의 기준점을 사용한 경우와 기준점을 사용하지 않은 경우의 두 가지로 제작하였다. Direct Georeferencing에 의한 수치정사영상의 제작 작업은 소수의 기준점을 사용하는 경우에 1:1,000 수치지도를 수정·갱신할 수 있으며, 기준점 없이 제작된 정사영상의 경우에는 축척 1:5,000 수치지도를 수정·갱신할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 외부표정요소직접결정, CCD 영상, 수치정사영상, 수치지도

## 1. 서 론

현재 지형공간정보의 수집은 급격히 고도화, 다변화, 자동화되어가고 있으며, 이에 따라 우주항공기술, 정보통신 기술 등의 6T(6 Technology) 첨단산업의 중요성과 연구개발이 활성화되고 있다. 그 중 건설분야에서는 21세기의 효

율적인 국토관리 및 행정을 위해 국토공간정보에 대한 정보구축사업을 추진 중에 있다. 현재 우리나라에서는 2004년까지 2단계 “NGIS 구축사업”을 완료하고 2005년부터 3단계 “NGIS 구축사업”을 계획하고 있으며, 이렇게 구축된 국토정보에 대한 자료를 바탕으로 지능형 교통체계, 건설 분야, 대국민행정서비스 등 본격적인 활용단계로 접어

1) 연결저자 · 정회원 · 동아대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:aaong@hanmail.net)

2) 정회원 · 동아대학교 토목공학과 교수(E-mail:uypark@daunet.donga.ac.kr)

3) 정회원 · 경원대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:hgpark@kyungwon.ac.kr)

들고 있다.

GIS의 자료기반이 되는 기존의 수치지도 생성은 전통적인 항공사진측량에 의해 이루어졌으며 이를 위해서는 입체시를 통한 내부 및 외부표정작업이 선행되어야 한다. 이 중 내부표정은 사전에 실험실에서 사진좌표의 관측만으로 쉽게 해결가능하나 촬영 당시 사진의 공간위치와 회전방향을 결정하는 외부표정작업에는 많은 시간과 경비가 소요된다. 1970년대 후반까지는 지상기준점을 이용하여 결정하여 왔기 때문에 수많은 지상기준점을 설치하여야 했다(김용일 등, 1996; 김충평 2000; 박운용 등 1995). 그러나 소수의 기준점만을 사용할지라도 전체지도제작비의 30~40% 정도로 매우 큰 비중을 차지한다. 따라서 촬영시 여러 가지 보조장치를 이용하여 외부표정요소를 결정하였으나 큰 효과를 보지 못하였다(한상득 등, 2004).

Direct Georeferencing 기법은 비행시간 증가에 따른 오차가 누적되지 않는 GPS(Global Positioning System)를 보조센서로 사용하고, 짧은 시간 내에 동적특성을 잘 관측할 수 있는 INS(Inertial Navigation System)를 주센서로 하여 센싱(sensing)과 동시에 외부표정요소를 직접 결정하는 항공 측신기술이다. Direct Georeferencing 기법을 이용하면 최소한의 기준점만으로도 센싱 당시 항공기에 탑재한 수신기로 센서의 위치를 정확히 결정하여 전통적 외업과 대공표지의 설치 및 관리를 생략하고 외부표정요소를 결정할

수 있음으로써 전체 지도제작비의 30~50% 이상을 절감할 수 있다(박운용 등, 2004).

한편, 국토정보의 구축을 위해 자료의 효율적 수집과 처리기법에 대한 연구가 심화되고 있으며, 이와 관련되는 공간정보 관리 분야에서 영상지도가 큰 관심사가 되고 있다. 대표적인 영상지도로서 수치정사영상을 들 수 있다. 수치정사영상은 영상이 지니고 있는 이미지적 특성과 지도가 갖고 있는 기하학적 특성을 결합한 것으로 항공사진을 스캐닝하거나 디지털 카메라로 바로 획득할 수 있다. GPS/INS 디지털 항공측을 이용하면 필름 영상에 비해 영상 취득 경비, 속도 및 자료의 관리 등 다양한 측면에서 많은 장점을 지니고 있어 수치지도의 수정과 갱신에 효율적으로 이용될 수 있다(박운용 등, 2004).

따라서 본 연구에서는 Direct Georeferencing에 의한 CCD 영상으로 수치정사영상을 제작하고, 기존의 수치지도에 누락된 레이어들을 탐지하여 수치지도를 수정·갱신하여 수치정사영상의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. Direct Georeferencing에 의한 CCD 영상 취득

CCD 카메라 촬영에서 Direct Georeferencing 기법이란 촬영용 항공기에 탑재되어 CCD 카메라와 연동하여 작동하는 위치센서인 GPS와 회전각 센서인 INS로부터 구한

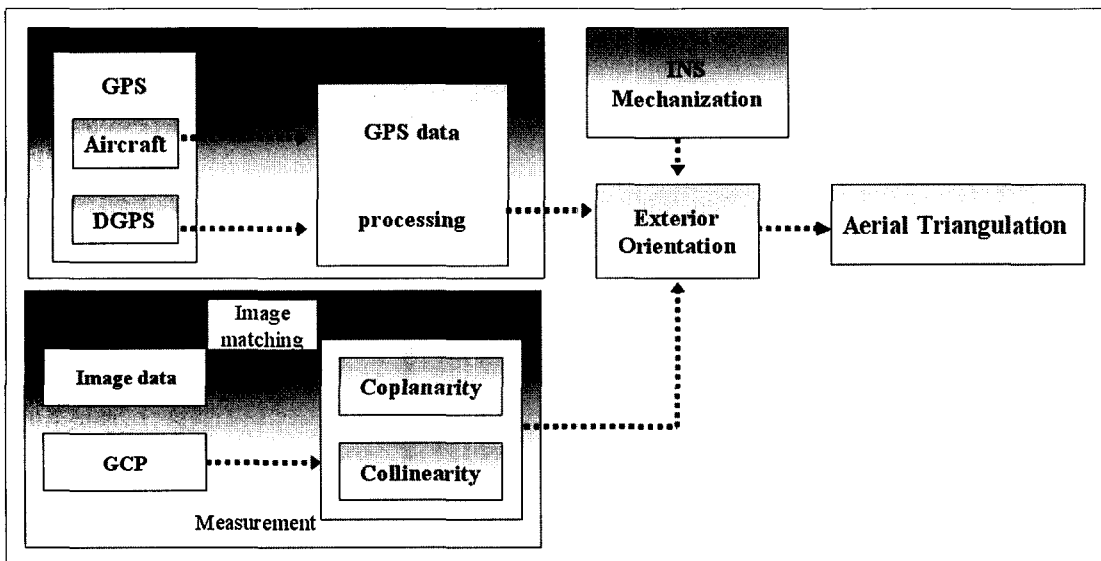


그림 1. Direct Georeferencing의 작업흐름

사진의 외부표정요소를 이용하여 지상기준점측량이나 사진기준점측량 등 별도의 작업과정을 거치지 않고, 바로 지상좌표로의 등록(Georeferencing)하는 방법을 말한다. 이러한 작업이 가능하기 위해서는 우선적으로 위치와 회전센서에 의해서 결정되는 원시 표정자료가 항측 목적을 충족시킬 수 있을 정도로 매우 정확해야 하며, 촬영대상 지역 전체에 대하여 빠짐없이 자료의 취득이 가능해야만 한다. 항측기에 GPS와 INS 장비를 탑재하여 사진의 촬영과 동시에 외부표정요소를 직접 결정할 수 있는 Direct Georeferencing을 이용하게 되면 외부표정요소를 구하기 위한 전처리 과정을 생략할 수 있다. 따라서 지상기준점을 이용한 사진기준점측량을 수행하지 않더라도 DEM만 미리 확보되어 있으면 촬영과 동시에 수치정사영상을 생성할 수 있다. 그림 1에 Direct Georeferencing의 작업흐름을 나타내었다.

### 3. 자료 획득과 처리

#### 3.1 실험에 사용된 장비

측량에 사용된 항공기는 CESSNA 208 기종으로 항공기 내에 DEM 획득을 위한 ALTM 3070 스캐너를 장착한 뒤 운전석 뒤에 항공사진촬영 카메라를 장착하는 자리에 고정판을 만들어 스캐너를 고정하고 컨트롤 컴퓨터와 CCD 카메라를 설치하였다. 본 연구에 사용된 레이저 스캐너 ALTM 3070은 그림 2와 같으며, 장비 사양은 표 1에 수록하였다. 항공기 앞부분에는 구멍을 내어 GPS 안테나를 설치하였다.

GPS 및 INS는 POS/AV 510시스템으로 그 구성은 그림

3과 같이 핵심모듈인 LN 200 INS와 인터페이스 장치 및 비행관리를 위한 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. Applanix의 POS/AV 시스템은 이동하는 항공기나 자동차로 지도 제작과 정확한 위치정보를 얻기 위하여 개발되었으며, 이를 위하여 GPS와 관성항법장치를 함께 사용하고 있다. POS/AV의 정확도는 표 2와 같다.

GPS 수신기와 CCD 카메라는 거의 동시에 작동한다. GPS 수신기가 임의 epoch에서 관측하는 것은 불가능하다. 따라서 카메라 셔터가 수신기의 출력 신호에 의해 작동되어야 한다. 기존의 항공 카메라에서는 카메라 셔터를 수동으로 하거나 GPS 관측 epoch에 가능한 가까이 있는 몇몇 외부장치에 의해 작동되고 셔터의 중간 개방 시간을

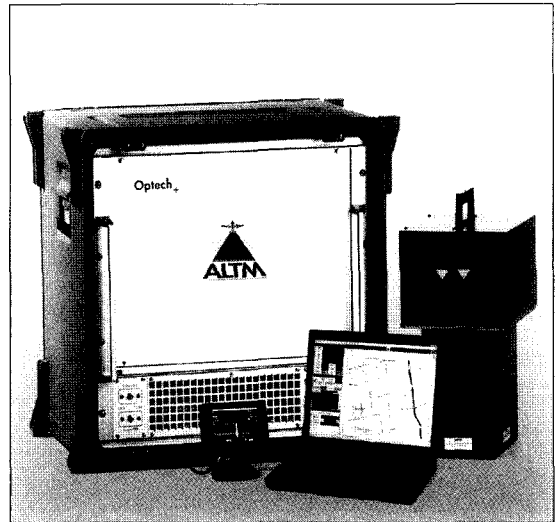


그림 2. ALTM 3070

표 1. ALTM 3070의 제원

ALTM 3070		
System	Operating altitude:	200 m to 3,000 m
	Measurement rate:	5,000 to 70,000 elevations per second
	Scan angle:	0 to 20° (40° field of view)
	Swath width:	Variable from 0 to 0.72 x altitude
	Data storage:	Variable up to 12 hours (hard drive or 8-mm digital data tape)
Accuracy and Resolution	Elevation accuracy:	< 15 cm at 1200 m; 1σ
		< 25 cm at 2000 m; 1σ
		< 35 cm at 3000 m; 1σ
	Horizontal accuracy:	Better than 1/2,000 x altitude
Range resolution:	1 cm	

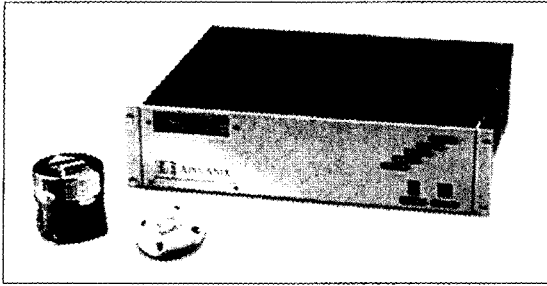


그림 3. POS/AV 510

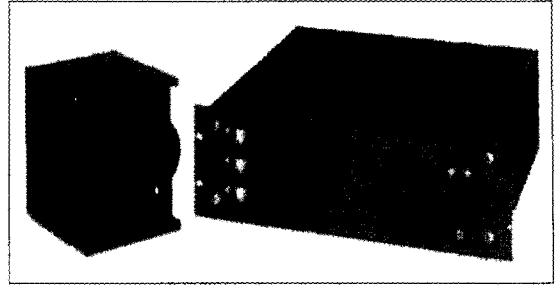


그림 4. CCD 카메라와 비행자료 기록기

표 2. Accuracy of POS/AV 510

Absolute Accuracy Specifications			
	C/A GPS	DGPS	Post-Processed
Position (m)	4.0~6.0	0.50~2.0	0.05~0.3
Velocity (m/s)	0.05	0.05	0.005
Roll & pitch (deg)	0.008	0.008	0.008
True heading (deg)	0.070	0.050	0.008
Relative Accuracy Specifications			
Noise [deg/sqrt (hr)]	< 0.01		
Drift [deg/hr]	0.1		

등록한다. 사진측정 항공기의 평균속도를 고려할 때 시간적인 동기화가 이루어지지 않으면 몇 m의 오차를 야기할 수 있다.

### 3.2 CCD 영상취득

Direct Georeferencing을 이용한 측량대상지역은 마산지역으로, 실험대상 지역 선정 시에 산악지, 도심지, 항구 등

이 모두 포함되도록 계획하였다. 촬영대상면적은 마산지역의 약 20km<sup>2</sup>으로 그림 5에 연구 대상 지역에서의 비행 궤적을 나타내었으며, 표 3에 CCD 카메라 측량의 상세내용을 수록하였다. 기타 LiDAR 측량 상세내용은 표 4에

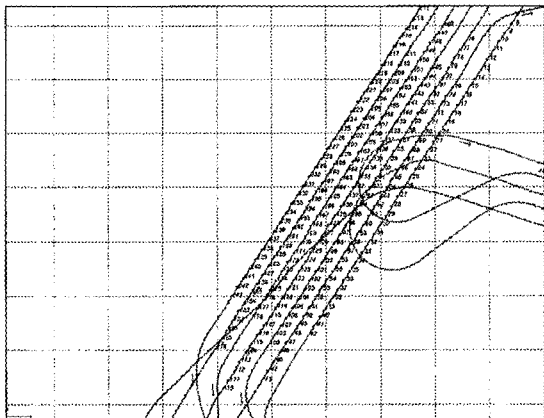


그림 5. 비행궤적

표 3. CCD 카메라 측량 상세

DC 4K 02	
Flight Date	2004/04/24, 1267
Strip number	12 strips (using 3 strips)
Altitude	1400 m
Focal Length	55.156 mm
Photo Scale	1:25,000

표 4. ALTM 3070의 측량 상세

ALTM-3070	Laser Header Data
Flight Date	2004/04/24, 1267
Strip number	12 strips (using 7 strips)
Altitude	1400 m
Point Density	0.5 point/m <sup>2</sup>
Laser Frequency	70 kHz
Users Max Scanner Range	20°
Scanner Counts	65535

수록하였다.

### 3.3 LiDAR를 이용한 DEM 생성

비행을 통해 얻어진 자료들은 두 가지 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. INS 자료와 GPS 자료는 REALM 모듈인 POSProc로 처리한 후 REALM ASCII 처리모듈을 이용하여 ALTM 레이저 자료와 통합한 후 3차원 위치 좌표값들을 계산하여 ASCII 파일을 생성하였다. 생성된 원시 자료는 오차점을 소거하고 건물영역과 지형영역으로 분류한 후, 좌표변환 하였다. 자료가 공백지역 없이 생성되었는지 확인하고 노이즈에 의한 오차점을 제거한다. 그리고 좌표변환의 과정을 거치고 보간에 의해 자료를 생성되게 하였다.

LiDAR로 얻어진 ASCII 자료는 측량 경로별로 분리되어 있으므로 이를 영역(sector)별로 분리하였다. 인접부분에서 문제가 발생하지 않도록 버퍼링(buffering)을 수행하였다. 획득된 자료는 간격이 불규칙한 점자료이기 때문에 실제 지형의 고도값이 잘 반영될 수 있는 DEM을 생성하기 위해서는 자료를 분류하여 보정하고, 건물 등 인공구조물들이 제거된 부분에 대한 지형을 처리하는 보간이 이루어져야 한다.

식생과 건물이 제거된 지형의 반영을 위해서는 일반적으로 TIN 보간을 주로 사용하게 된다. TIN 보간은 점간의 라인을 형성하여 완만한 지형을 이루게 되는 최적의 보간법이라 할 수 있으며, 여기에 제방 및 도심의 도로를 잘 반영할 수 있도록 추출한 불연속선을 삽입하였다. 그림 6은 LiDAR의 개별 결과들을 통합하여 DEM을 생성한 모습이다.

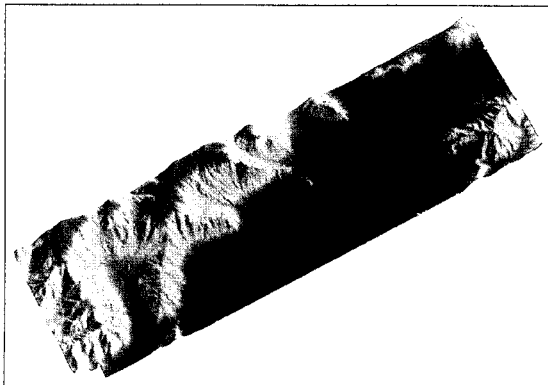


그림 6. DEM 생성

### 3.4 DEM 정확도 평가

오차분석은 LiDAR에 의해서 제작된 DEM과 실제 대상 지역에서 측량 결과 얻어진 표고값을 비교하는 방법으로 실시하였다. 이 때, 동일한 지점의 값들을 비교하였으며, 표준편차를 계산함으로써 정확도를 평가하였다. 수직위치 정확도를 검증하기 위한 검사점은 대상지역 내에서 비교적 편평한 지형을 가지고 있는 일정 크기 이상의 지점, 즉 운동장이나 도로, 주차장과 같은 곳을 대상으로 하였으며, 주변에 고층건물 등 GPS 수신을 방해하는 요인이 없는 곳으로 선정하였다. 검사점의 분포는 그림 7과 같다. 지상 검사점의 측량은 CCD 영상을 기준으로 19점 측량하였으며, 실험지역을 벗어난 검사점이 3점, DEM을 생성하는 과정에서 제거된 4점을 제외한 12점에 대하여 평가하였다.

연구대상지역의 수직 정확도 검증 결과를 표 5에 나타냈으며, 이를 그림 8에 도시하였다. 검사점 측량 결과와 DEM의 동일한 지점에 대한 표고를 비교한 결과, 표준 편차는 0.324m로 나타났다. 비행고도 1400m, 0.5 point/m<sup>2</sup>로 LiDAR 측량했을 경우 제작된 DEM 수직위치 정확도가  $\pm 0.324$ m로서, 이는 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시키는 것을 알 수 있었다.

### 3.5 정사영상 생성

외부표정요소 직접결정 기법에 의해 정사영상을 자동으로 생성하기 위해서는 카메라의 외부표정요소를 직접 입력(key-in)한 후, 레이저시스템으로 획득한 DEM를 이용하여 영상정합 기법으로 두 장의 사진에서 공역점을 추출하여 3차원 좌표를 생성하는 공정으로 수행하였다. 향후 다중센서 결합을 통한 수치정사영상생성이 실무에 보편적으로 활용될 경우에 기존의 재래식 방법에 비해 절대적으로 소수의 기준점만이 필요할 것으로 예상되므로, 이러한 경

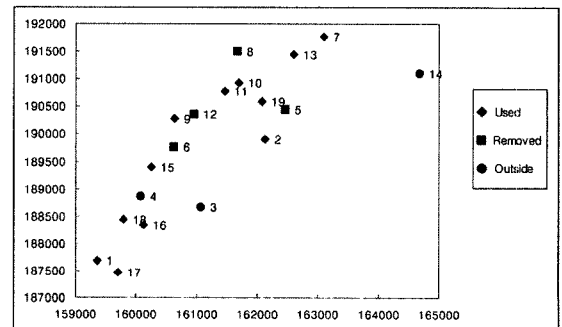


그림 7. 검사점의 분포

표 5. DEM의 정확도

Number	GRS 80 TM				
	Ground surveying			Laser Z (m)	Dz (m)
	X (m)	Y (m)	Z (m)		
1	159356.365	187678.513	65.623	65.520	-0.103
2	162133.210	189911.081	2.092	2.220	0.128
3	161064.117	188660.388	1.946	outside	*
4	160074.249	188865.922	45.689	outside	*
5	162454.509	190441.797	4.444	removed	*
6	160616.569	189757.970	8.730	removed	*
7	163096.575	191775.963	2.194	2.450	0.256
8	161663.207	191501.542	15.440	removed	*
9	160639.013	190280.155	143.780	143.350	-0.430
10	161689.316	190937.784	83.421	82.810	-0.511
11	161465.433	190772.629	15.050	15.330	0.280
12	160952.067	190365.438	31.084	removed	*
13	162606.332	191443.050	3.476	4.020	0.544
14	164675.484	191099.943	3.837	outside	*
15	160256.700	189396.966	32.514	32.630	0.116
16	160119.736	188337.579	10.616	10.900	0.284
17	159703.877	187470.016	12.112	12.450	0.338
18	159786.669	188433.547	67.676	67.970	0.294
19	162072.849	190595.496	4.530	5.130	0.400
Stdev	0.324 m				
Standard of public surveying	0.333 m ( $\Delta h/3=1 \text{ m}/3$ )				

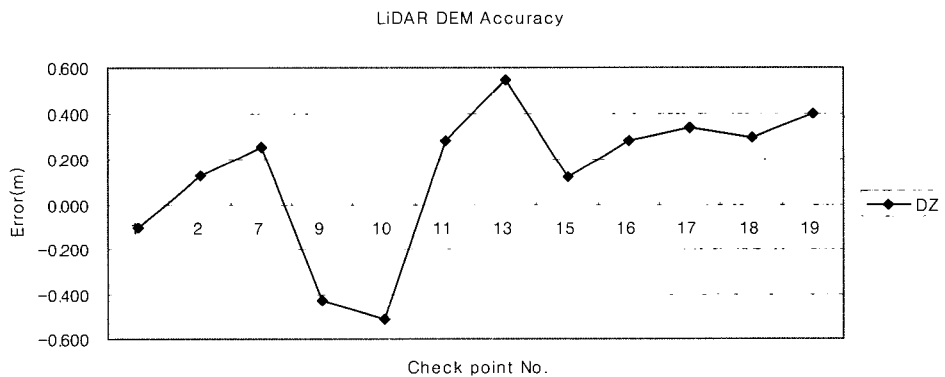


그림 8. LiDAR DEM 정확도

우에 대비하여 소수의 기준점인 8개 기준점을 사용한 경우와 기준점을 사용하지 않은 경우의 수치정사영상을 생성하였다. 그림 9에는 사용된 8개의 기준점의 배치를 나타내

었다.

최종적으로 정사영상 제작지역 전체의 사진에 대하여 모자이크 작업을 계속 수행하게 되면 완전한 정사영상이

생성된다. 그림 10~11에는 상기의 과정을 통하여 생성된 연구대상 지역에 해당하는 정사영상을 보여주었고 있다. 그림 10은 8개의 기준점을 사용하여 생성한 정사영상이며, 그림 11은 기준점 없이 외부표정요소만으로 생성한 정사

영상이다. 생성된 최종 정사영상은 그림에서 보는 바와 같이 축척이 균일하고 대상지역내의 모든 지형·지물에 대한 편위가 수정된 지도와 동일한 기하학적 상관성을 가지고 있음을 알 수 있다.

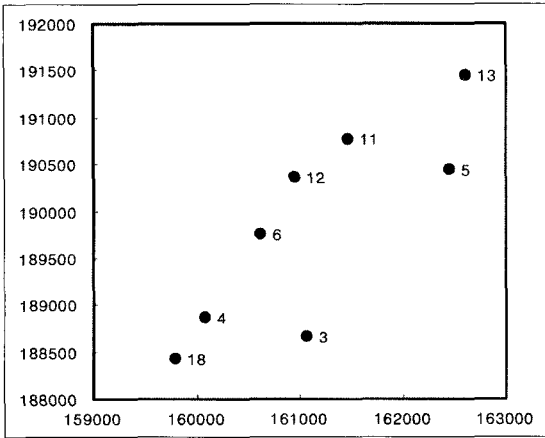


그림 9. 지상기준점의 분포



그림 10. 8개 기준점을 사용한 경우의 정사영상

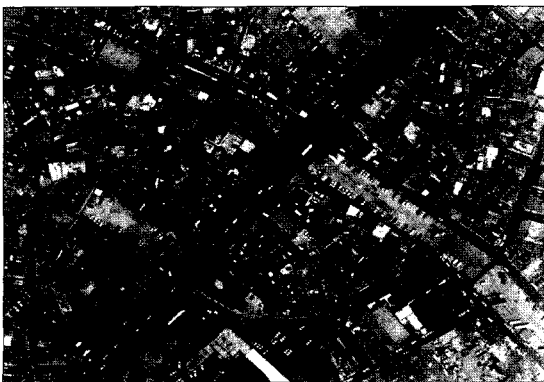


그림 11. 무기준점을 사용한 경우의 정사영상

#### 4. DEM과 CCD 정사영상의 정확도 평가

정사영상의 정확도는 일반적으로 다음의 두 가지 방법으로 검증한다. 첫째는 생성된 정사영상이나 지도에 포함된 정보의 양, 즉 지형·지물을 구분할 수 있는 상세도에 의해서 그 질을 평가한다. 이는 정성적인 평가방법으로 주로 시각적인 검수에 의해서 판별하는 방법이다. 둘째는 정량적인 평가방법으로 제작된 정사영상내의 일정한 지형·지물의 위치를 관측하여 실제의 위치와 비교하여 그 오차를 분석하는 방법이다. 위치오차의 분석 시에는 평면오차와 표고오차로 분리하여 그 정확도를 분석하는 방법이 보편적이다. 본 연구에서도 Direct Georeferencing에 의한 방법으로 제작된 정사영상의 정확도를 검증하기 위하여 위에서 언급한 내용을 바탕으로 하여 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 구분하여 평가를 수행하였다. 먼저, 정성적인 평가를 위해서는 제작된 정사영상에 수치지도를 중첩시켜 수치지도에 묘사되어 있는 지형·지물과 정사영상에 나타나 있는 동일한 지형·지물간의 상세도, 묘사내용 등에 대하여 얼마만큼의 차이가 존재하는지를 시각적인 방법으로 검수하였다. 또한 제작된 정사영상의 정량적인 평가를 위해서는 지형·지물의 위치정확도를 상호 비교하여 오차의 크기를 계산하였다. 이 때 위치오차의 크기를 비교하기 위하여 두 가지 방법을 기준으로 수행하였다.

##### 4.1 시각화 검수

제작된 정사영상의 평가 시 중요한 작업 중의 하나인 시각적인 검수는 기존의 수치지도와 자동 생성된 정사영상에 묘사된 지형·지물의 내용이 어느 정도 일치하는지를 검증하는 일이다. 따라서 시각적인 평가기준은 기존의 방법으로 제작한 수치지도가 되며, 수치지도에 묘사되어 있는 지형·지물의 경계선(vector)과 제작된 정사영상상에서 지형·지물이 얼마나 동일한지를 평가하는 것이다. 그림 12는 시각적인 검수를 위하여 기준점 8점을 이용한 CCD 영상으로 제작된 정사영상을 수치지도상에 중첩한 것이다. 다음으로 그림 13은 기준점을 사용하지 않고 제작한 정사영상과 수치지도를 중첩한 것이다.

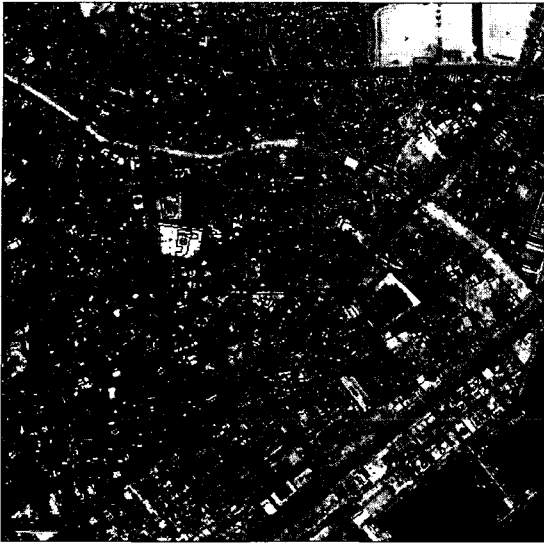


그림 12. 수치지도와 중첩(8개 기준점 사용)

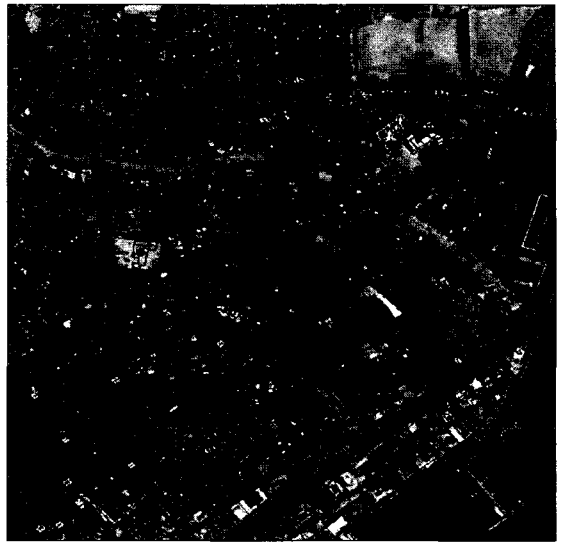


그림 13. 수치지도와 중첩(무기준점의 경우)

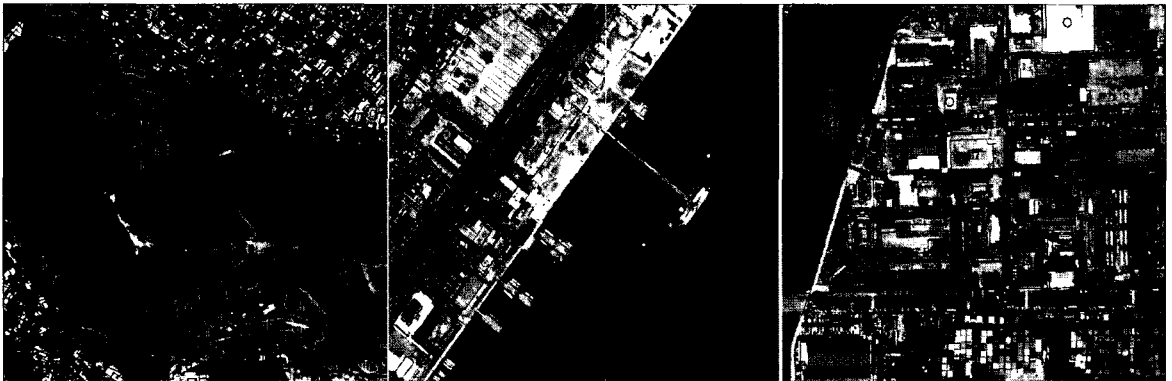


그림 14. 시각적 검증(8개 기준점 사용)

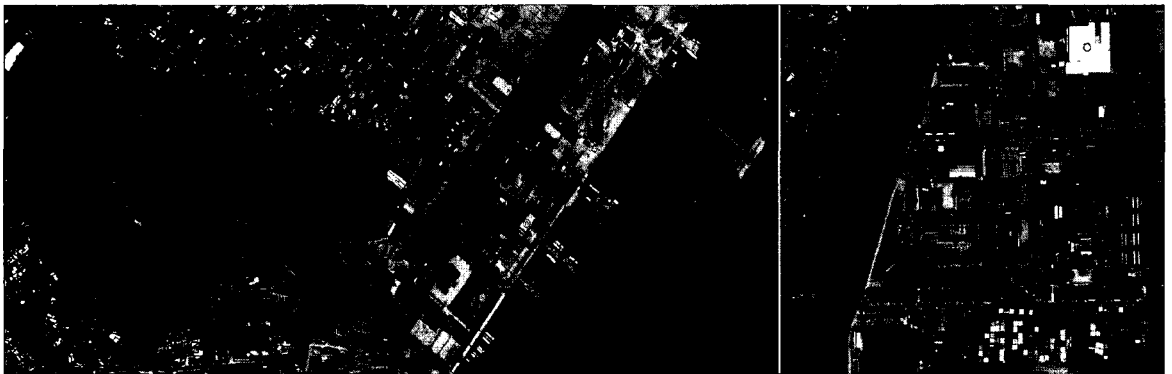


그림 15. 시각적 검증(무기준점의 경우)



그림 14는 제작된 정사영상과 수치지도간의 개략적인 상세도를 상호 비교하기 위하여 중첩된 영상 중 건물, 도로, 산지 등 몇 가지 레이어만 추출하여 확대 도시한 것이다. 이를 통하여 벡터 형식으로 제작된 수치지도를 기준으로 정사영상에서 표현하고 있는 지형 레이어와의 일치도를 판단하기 위해서이다. 그림에서 알 수 있듯이 도로, 건물, 산지, 향만 등에서 수치지도와 정사영상이 일치함을 알 수 있다.

그림 15는 기준점을 사용하지 않고 제작된 정사영상과 수치지도간의 개략적인 상세도를 비교하기 위하여 중첩된 영상 중 중요한 레이어만을 추출하여 상호비교를 위하여 확대 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 도로 경계, 건물, 향만 등의 레이어들이 수치지도와 정사영상에서 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

8개 기준점을 사용하여 제작된 정사영상과 기준점을 사용하지 않고 제작된 정사영상과 수치지도 중첩의 시각적 평가는 두 가지 방법 다 높은 건물과 빌딩 등에서 그림자 효과의 영향으로 인하여 수치지도에서 추출된 레이어와 약간 차이가 나고 있을 뿐 기타 도로경계와 향만 등에서 거의 일치하고 있다. 이는 개략적인 정확도 판단의 기준이 될 수는 있으나, 엄밀한 의미에서 측량의 목적을 위해서는 부적합하다. 또한 레이어의 구분 시 작업자의 주관과 지형·지물의 특징에 따라 그 결과가 달라져 객관적인 판단이 모호한 경우가 있으므로 위치의 정확도를 기준으로 하는 정량적인 평가가 필수적이다.

#### 4.2 검사점에 의한 위치정확도 검증

제작된 정사영상에 대한 정확도의 가장 객관적이고 정량적인 검증을 위하여 총 19점의 지상기준점 중에서 영상에서 확인이 힘든 삼각점 2점과 수준점 1점을 제외한 16점의 검사점을 선정하여, 정사영상 상에서 이 검사점에 대응하는 점을 추출하여 그 좌표를 관측하고 두 좌표값의 편차를 계산하였다. 정확도는 공공측량작업규정의 세부 기준에 제시된 지도의 정확도를 사용하였으며(대한측량협회, 2002, 국토지리정보원, 2002) 그 기준은 표 6과 같다.

표 7에는 8개 기준점을 사용한 경우와 기준점을 사용하지 않은 정사영상 결과에 대한 편차의 크기를 수치적으로 수록한 것이다. 그림 16에는 8개 기준점을 사용하여 제작한 정사영상의 정확도의 결과를 도시한 것이다. 표 7과 그림 16에서 보는 바와 같이 정사영상의 평면 정확도는 표준편차가 약 0.36m 이다. 그리고 X축의 표준편차는 0.23m, Y축의 표준편차는 0.28m 정도이다. 각 검사점에서의 편차의 크기는 검사점 17번의 Y축에 대한 오차가 -0.52m 정도로 가장 큰 경우를 제외하면, 대부분 0.10~0.30m 범위 내에 존재하여 오차의 크기는 매우 균질하며 결과의 정확도는 우수함을 알 수 있다. 8개의 기준점을 사용하는 경우, 수평위치 정확도가  $\pm 0.36m$  로서, 이는 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시키는 것을 알 수 있다.

표 7과 그림 17에서 알 수 있는 바와 같이 기준점을 사용하지 않은 정사영상에 대한 평면오차는 표준편차가

표 6. 지도의 정확도

Item		Scale		Remark	
		1/500	1/1000		
STDEV	horizontal	within 0.5 mm	within 0.7 mm	distance of map	
	vertical	vertical point	within $\Delta h/4$	within $\Delta h/3$	$\Delta h$ : interval of intermediate contour line
		contour line	within $\Delta h/2$		

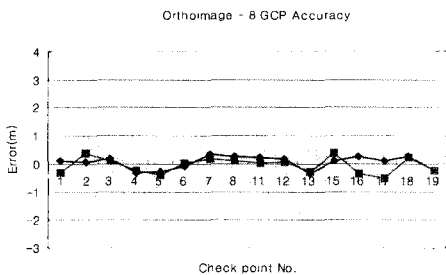


그림 16. 8개 기준점을 사용한 경우의 정확도

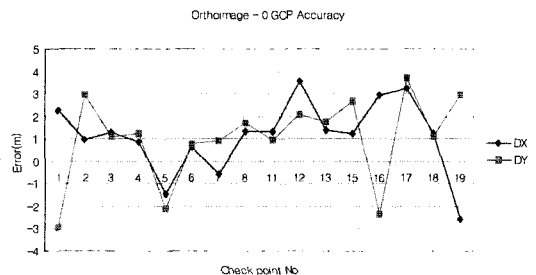


그림 17. 무기준점일 경우의 정확도

약 2.51m 이다. 그리고 X방향으로는 1.61m, Y방향으로 1.93m의 표준편차 값을 갖는다. 또한 비교적 큰 크기의 오차가 검사점 12와 17번에서 발생하고 있으며 기타 검사점에 대하여는 표준편차 범위 내에서 균질한 크기를 보이고 있으며, 최대오차는 검사점 17에서 약 3.69m 정도이다. 기준점을 사용하지 않고 제작된 정사영상의 경우에는 수

평위치 정확도가  $\pm 2.51m$  로서, 이는 축척 1:5,000 지도의 정확도 기준을 만족함을 알 수 있었다.

### 5. 수치지도 레이어의 수정

생성된 정사영상은 최근의 지표면 자료가 반영되어 있

표 7. 기준점의 수에 따른 정확도

No.	8 GCP		No GCP	
	DX	DY	DX	DY
1	0.13	-0.33	2.27	-2.92
2	0.08	0.37	0.96	2.97
3	0.20	0.12	1.28	1.09
4	-0.32	-0.22	0.87	1.22
5	-0.29	-0.39	-1.45	-2.10
6	-0.09	0.04	0.66	0.79
7	0.33	0.20	-0.58	0.93
8	0.27	0.12	1.35	1.69
11	0.22	0.04	1.32	0.98
12	0.19	0.09	3.54	2.10
13	-0.35	-0.29	1.36	1.75
15	0.12	0.38	1.24	2.68
16	0.28	-0.34	2.98	-2.31
17	0.11	-0.52	3.24	3.69
18	0.26	0.23	1.22	1.12
19	-0.23	-0.22	-2.58	2.98
Stdev	0.23	0.28	1.61	1.93
Standard of public surveying	0.70 m (0.7 mm×1000)	0.36 m	3.50 m (0.7 mm×5000)	2.51 m

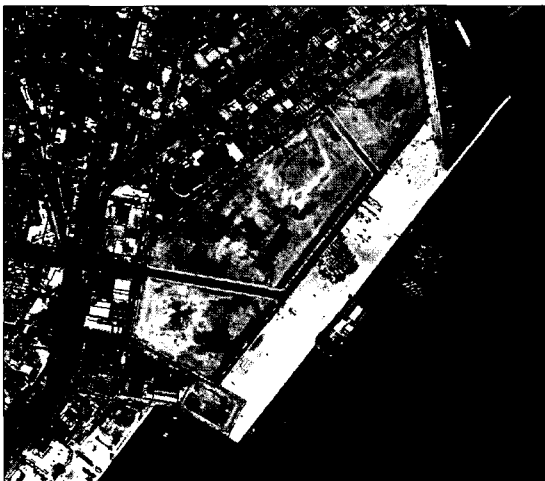


그림 18. 수치지도 중첩(8개 기준점 사용)

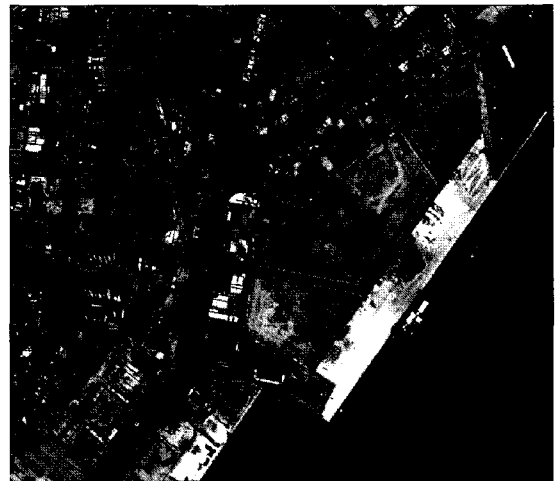


그림 19. 수치지도 중첩(무기준점의 경우)



그림 20. 수정·갱신된 수치지도(8개 기준점 사용)



그림 21. 수정·갱신된 수치지도(무기준점의 경우)

기 때문에 이들 자료를 이용하여 연구대상 지역에 대한 수치지도를 갱신하였다. 수정된 레이어는 건물, 도로 등이며, 갱신된 레이어는 마산항 지역에 새로이 매립된 지역이다. Fig. 18~19는 새로 매립된 지역을 8개 기준점을 사용하여 생성한 정사영상과 기준점을 사용하지 않고 생성된 정사영상을 기존의 수치지도와 중첩하여 나타내었으며, Fig. 20~21은 각각의 정사영상에서 벡터라이징을 통해 수치지도를 수정 및 갱신한 모습을 나타내었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 측량 시에 항공기에 GPS와 INS 및 CCD 카메라를 탑재하여 동시에 측량을 하여, Direct Georeferencing에 의해 수치정사영상을 제작하여 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험의 LiDAR DEM의 수직 위치정확도는 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시키는 것으로 수 m의 오차가 나는 기존의 DEM 제작 방법보다 우수함을 입증하였다.
2. 소수의 기준점을 사용하여 제작된 정사영상과 기준점을 사용하지 않고 제작된 정사영상에 대한 수치지도 중첩의 시각적 평가는 두 가지 방법 모두 수치지도와 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.
3. Direct Georeferencing을 이용하여 제작된 정사영상의 정확도는 소수의 기준점을 사용한 경우, 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시켰으며, 1:1,000 수치지도를 수

정·갱신할 수 있고, 기준점이 없이 제작된 정사영상의 정확도는 축척 1:5,000 지도의 정확도 기준을 만족시키며, 1:5,000 수치지도를 수정·갱신할 수 있을 것으로 판단되었다.

본 연구 결과에서 알 수 있듯이 GPS/INS 자료를 이용하여 CCD 카메라 측량을 수행할 때 지상 기준점의 수를 기존의 방법보다 상당히 감소시키면서도 공공측량작업 기준에 부합하는 성과를 얻을 수 있으므로 지상 측량에 따른 비용을 절감할 수 있을 것이다. 그러나 본연구의 실험은 장비와 측량조건이 최고의 상태일 때임을 감안하면 앞으로 실무에 적용하기 위해서는 지속적인 연구와 검증이 필요하다.

## 참고문헌

국토지리정보원 (2002), 항공사진측량 작업내규.  
 국토지리정보원 (2002), 수치표고모델 시범 연구사업, pp. 147-149.  
 김용일, 배태석 (1996), GPS 데이터 적용을 위한 항공사진측량 최소 기준점 수 결정에 관한 연구, 한국측량학회지, 제14권, 제1호, pp. 89-96.  
 김충평 (2000), GPS를 이용한 투영중심 위치결정 및 사진기준점 측량에 관한 연구, 명지대학교 대학원 박사학위논문.  
 대한측량협회 (2002), 공공측량작업규정.  
 박운용, 박홍기, 위광재, 송연경 (2004), 외부표정요소 직접결정에 의한 수치정사영상 생성, 한국측량학회 추계학술발표회 논문집, pp. 245-251.  
 최윤수, 한상득, 위광재 (2002), 도화원도를 이용한 LiDAR DEM

의 정확도 평가, 한국측량학회지, 제20권, 제2호, pp. 127-136.  
한상득, 조규전, 이재원 (2004), GPS/INS에 의한 외부표정요소결정에 관한 경험적 연구, 한국측량학회지, 제22권, 제1호, pp. 45-52.

Alan G. Evans and Bruce R. Hermann, A Comparison of Several Techniques to Reduce Signal Multipath from the GPS, *IAG Symposium*, 1990, pp. 74-81.

Cramer, M., Stallmann, D., and Haala, N., Sensor Integration and

Calibration of Digital Airborne Three-line Camera System, Institute for photogrammetry, Commission II, Working Group 1.  
Haala, N., Stallmann, D., and Cramer, M., Calibration of Directly Measured Position and Attitude by Aerotriangulation of Three-line Airborne Imagery, Institute for photogrammetry, Commission III, Working Group 1.

[www.aplanix.com](http://www.aplanix.com)

[www.opteck.on.ca](http://www.opteck.on.ca)

---

(접수일 2005. 3. 9, 심사일 2005. 3. 18, 심사완료일 2005. 3. 26)