

CCD 사진기와 GPS를 이용한 이동용 위치결정체계 개발

The Development of Mobile Positioning System Using CCD Cameras and GPS

유복모* · 최송욱** · 김기홍**

Yeu, Bock-Mo · Choi, Song-Wook · Kim, Gi-Hong

요 旨

수치화된 영상에 의해서 대상물에 대한 위치정보를 취득하면 자료의 처리 및 저장, 갱신이 매우 용이하다. 위성을 이용한 위치결정체계인 GPS는 전 세계 어디에서나 3차원 좌표를 쉽게 얻을 수 있다는 장점 때문에 여러 분야에서 그 효용성이 증대하고 있다. 공간상에 존재하는 대상물에 대한 위치정보를 효율적으로 취득하기 위해서는 수치사진측량의 자동화가 이루어져야 하며 자료취득과 처리과정이 실시간적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 수치사진측량공정의 자동화를 위한 프로그램을 개발하였으며, CCD 사진기와 GPS 수신기를 장착한 이동차량을 제작함으로써 이동용 위치결정체계를 구축하였다. 또한 CCD 사진기의 좌·우측 정지영상과 GPS를 이용하여 지면에 대해 수직인 20개의 대상물에 대한 3차원 위치결정을 실시하였으며, 실시간 사진측량을 위한 기초 연구로서 동영상과 GPS를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치결정을 수행하고 정확도를 분석하였다.

ABSTRACT

The object positional data in the form of digital imagery is processed and stored and is updated easily. The GPS, positioning system using satellites, is acquired its utilities in many parts because it is very easy to get the three dimensional coordinates using GPS around the world. For the effective acquisition of positional data toward objects in space, the automation of digital photogrammetry must be done and data acquisition and processing should be performed in real-time. In this study, the program is developed for automatic process of digital photogrammetry and the VAN that has CCD cameras and GPS receivers onboard is built for mobile positioning system. Also, the three dimensional positioning toward 20 objects which are vertical to the ground is done using left and right imagery of CCD cameras and GPS. For a base research in real-time photogrammetry, the three dimensional positioning is performed using continuous imagery and GPS and the three dimensional positioning accuracy is analyzed.

1. 서 론

최근 수치화된 영상을 이용하여 대상물에 대한 위치 정보를 취득하는 수치사진측량에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.¹⁾ 또한 위성을 이용한 위치결정체계인 GPS를 다양한 분야에 응용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다.^{2,4)} GPS는 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 수신하여 관측점까지의 소요시간을 관측함으로써 관측점의 위치를 구하는 체계이다.⁵⁾

공간상에 존재하는 지형 및 지물에 대한 위치정보를 효율적으로 취득하기 위해서는 수치사진측량의 자동화가 이루어져야 하며 자료취득과 처리과정이 실시간적으로 수행되어야 한다.^{6,7)} 또한 미국, 캐나다 등 선진 각국에서는 여러 가지의 위치결정 센서들을 하나의 시스템내에 조합하여 실시간 지도제작체계를 구축하기 위한 연구를 진행하고 있다.^{8,9)} 본 연구에서는 실시간 사진측량의 기초연구로서 수치사진측량공정의 자동화를 위한 프로그램을 개발하였으며, CCD 사진기와 GPS를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치결정을 수행하였다. 이를 위하여 CCD 사진기와 GPS 수신기가 탑재된 이동

*연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

**연세대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

차량을 제작하고 대상물에 대한 좌·우측 영상취득과 GPS신호를 수신하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하였다. 또한 동영상을 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하고 정확도를 분석하였다.

2. 수치사진측량기법

2.1 공선조건식에 의한 외부표정요소의 결정

공간후방교선법(resection)은 지상기준점좌표와 사진좌표를 기초로 하여 사진기의 공간상의 위치와 회전요소를 결정하는 과정이다.

해석사진측량 분야에서 대상물의 3차원 좌표를 결정함에 있어 도해적 및 수치적 방법에 의한 수학적 모델을 적용시킬 때 다루어지는 기본적인 문제가 공선조건식에 의한 단사진의 공간후방교선법(SPRO; Single Photo Resection & Orientation)이다.

투영중심(X_0, Y_0, Z_0), 지상점(X, Y, Z) 및 사진상의 점(x, y)이 일직선상에 있다는 공선조건식은 다음과 같다.

$$x = -c \cdot \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$y = -c \cdot \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (2)$$

또는

$$F(x) = x + c \cdot \frac{X'}{Z}, \quad F(y) = y + c \cdot \frac{Y'}{Z} \quad (3)$$

여기서 c 는 초점거리, a_{ij} 는 회전행렬의 요소이다.

이 식은 비선형이므로 외부표정요소 결정을 위해서 3점 이상의 기준점($n \geq 3$)을 대상으로 Taylor 급수전개에 의해 선형화된 관측방정식을 구성해야 한다.

$$V + B_c \Delta_c + E = 0 \quad (4)$$

여기서, V 는 잔차벡터, B_c 는 계수행렬, Δ_c 는 외부표정요소의 보정량 벡터, E 는 교차(discrepancies) 벡터이다.

식 (4)를 최소제곱법에 의해 조정하면 정규방정식은 다음과 같다.

$$(B_c^T W B_c) \Delta_c + (B_c^T W E) = 0 \quad (5)$$

따라서, 보정량 벡터 Δ_c 는

$$\Delta_c = -(B_c^T W B_c)^{-1} (B_c^T W E) \quad (6)$$

이다.

2.2 광속 조정법

공선조건식에 의한 수학적 모델에는 일반적으로 각 사진의 외부표정요소($\chi, \phi, \omega, X_0, Y_0, Z_0$)와 대상물의 공간좌표(X, Y, Z)가 포함되어 있으며, 선형화된 관측방정식은 대상물을 기준점 만으로 고려했을 때 유도된 식이다. 따라서 검사점(check point)까지 고려했을 때의 공선조건식의 함수모델은 다음과 같다.

$$f(L) = F(O, \bar{X}) \quad (7)$$

여기서, L : 사진좌표의 최확값

O : 외부표정요소에 대한 매개변수

\bar{X} : 대상물의 공간좌표

이다.

매개변수에 대한 근사값을 O^0, \bar{X}^0 , 관측된 사진좌표값을 λ 라 하면, 식 (7)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\lambda - V = F\{O^0 + \Delta_c, \bar{X}^0 + \Delta_c\} \quad (8)$$

여기서, V : 관측값 λ 와 최확값 L 사이의 잔차벡터

Δ_c : 외부표정요소(O^0)에 대한 보정량 벡터

Δ_c : 대상물 좌표(X^0)에 대한 보정량 벡터

이다.

식 (8)을 Taylor 급수전개에 의해 선형화 하면

$$V + (\partial F / \partial O) \Delta_c + (\partial F / \partial \bar{X}) \Delta_c = \lambda - F\{O^0, \bar{X}^0\} \quad (9)$$

이 되고, 이 식을 i 번째 노출점에서 표정점 j 에 대한 관측방정식을 행렬형태로 쓰면 다음과 같다.

$$V_{ij} + B_{cij} \Delta_{ci} + B_{sij} \Delta_{sj} = e_{ij} \quad (10)$$

여기서,

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_{ij} : \text{사진좌표의 잔차벡터}$$

$B_{cij} = \frac{\partial F}{\partial X} \Big|_{O_j^0, X_j^0}$: 관측된 사진좌표와 대상물공간좌표와의 함수관계를 나타 내는 (2×3)계수행렬

$B_{sij} = \frac{\partial F}{\partial O} \Big|_{O_j^0, X_j^0}$: 관측된 사진좌표와 표정요소와의 함수관계를 나타내는 (2×6) 계수행렬

$$e_{ij} = \begin{bmatrix} x_{ij} - F_x \{ O^0, \bar{X}^0 \}_{ji} \\ y_{ij} - F_y \{ O^0, \bar{X}^0 \}_{ji} \end{bmatrix} : \text{교차벡터}$$

$$\Delta e_i^T = \{ dX_{0i} \ dY_{0i} \ dZ_{0i} \ d\omega_i \ d\phi_i \ d\kappa_i \}$$

$$\Delta e_j^T = \{ dX_j \ dY_j \ dZ_j \}$$

이다.

3. GPS 및 좌표변환

3.1 GPS

GPS는 인공위성을 이용한 위치결정체계로, 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 수신하여 관측점까지의 소요시간을 관측함으로써 관측점의 위치를 구하는 체계이다. GPS는 위성체 연구, 좌표계와 GPS 시간, 위성궤도의 향상 및 수신기술개발 등이 접목되어 이를 이용한 다양한 응용연구로 급진전되고 있다. 인공위성을 이용한 측지측량은 1960년대초에 시작되어 TRANSIT(NNSS)위성에 의한 도플러 위성측위로 발전하였고 현재 운용중인 NAVSTAR(Navigation System with Time and Ranging) GPS는 미공군이 주도가 되어 1984년 8월 1호가 발사된 이래로 Block I(NAVSTAR) 위성(1978년~1985년 사이에 11개 발사) 3대와 Block II(1989. 2.14, 1호 발사:GPS), IIA에 속하는 23개의 위성, 총 26개가 작동중에 있다.

3.2 WGS-84 좌표계 및 국지좌표계

1950년대 말 미국 국방성에서는 전세계에 공통된 좌표체계를 사용하기 위해서 β 위성자료 및 표면중력자료, 천문측량자료 등을 종합하여 WGS-60이라는 중심좌표체계를 발표하였다. 1966년 1월 WGS 개발위원회에서는 WGS-60 이후로 확장된 삼각망, 삼변망, 도플러 및 광학위성자료를 이용하여 WGS-66을 제작하였다.

또한 표면중력측량, 삼각 및 삼변측량, 고정밀 트래버스와 천문측량으로부터 얻은 새로운 좌표 등을 이용한 WGS-72가 만들어졌다. WGS-72의 타원체 계수는 장반경(a)이 6,378,135 m, 편평률(f)이 1/298.26, 각속도는 $7,292,115.147 \times 10^{-11}$ rad/s, 중력상수(GM)는 $3,986,008 \times 10^8$ m³/s²이다. WGS-72의 지구중력모형과 지오이드 모형을 개선하여 WGS-84가 제작되었다.

WGS-84의 타원체 계수는 장반경(a)이 6,378,137 m, 편평률(f)이 1/298.257223563, 각속도는 $7,292,115 \times 10^{-11}$ rad/s, 중력상수(GM)는 $3,986,005 \times 10^8$ m³/s²이다.

GPS를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정할 때, 대상물의 3차원 위치는 WGS-84 좌표계로 나타내게 된다. 본 연구에서는 연세대학교 공과대학 옥상에 1개의 기준점을 설치하고 X는 0m, Y는 0m, Z는 100m인 임의의 기준 좌표계를 설정하였다.

따라서 GPS수신기에 의해서 취득된 대상물의 3차원 좌표는 WGS-84 좌표계이므로 이를 연세대학교 공과대학 옥상에 설치된 기준 좌표계로 변환할 필요가 있다.

3.3 좌표변환

WGS84 좌표계로부터 국지좌표계인 기준 좌표계로 변환하기 위해서 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점을 포함하여 연세대학교 구내에 7개의 기준점들을 설치하였다. 먼저 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점에 Total Station을 고정시키고 나머지 6개의 지점에 대한 관측작업을 수행하였다. 또한 Leica사의 GPS수신기 2대를 이용하여 한 대는 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점에 설치하여 static방식으로 신호를 수신하였으며, 다른 한 대는 연세대학교 구내에 위치한 6개의 지점에 설치하여 각 지점당 10분정도 static방식으로 GPS신호를 수신하였다. 본 연구에서 이용된 GPS는 Leica사의 GPS System 300이며, 기준국과 이동국은 SR 9500 sensor, CR 344 controller, radio modem 등으로 구성되어 있다.

WGS84 좌표계로부터 기준좌표계로 변환하기 위해서 다음과 같은 7-매개변수법을 이용하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{\text{기준좌표계}} \\ Y_{\text{기준좌표계}} \\ Z_{\text{기준좌표계}} \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \Gamma_{23} \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\text{WGS84}} \\ Y_{\text{WGS84}} \\ Z_{\text{WGS84}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서, $X_{\text{기준좌표계}}$, $Y_{\text{기준좌표계}}$, $Z_{\text{기준좌표계}}$: 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점의 기준좌표계

X_{WGS84} , Y_{WGS84} , Z_{WGS84} : GPS에 의해서 얻어진 WGS-84 좌표계

S : 축척계수

$\Gamma_{11}, \Gamma_{12}, \dots, \Gamma_{33}$: 회전행렬계수

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 평행이동량

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \chi + \sin \omega \sin \phi \cos \chi & \sin \omega \sin \chi - \cos \omega \sin \phi \cos \chi \\ -\cos \phi \sin \chi & \cos \omega \cos \chi - \sin \omega \sin \phi & \sin \omega \cos \chi - \sin \omega \sin \phi \sin \chi \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix} \quad (12)$$

이다. 여기서 ω, ϕ, χ 는 x, y, z 축에서의 회전각을 의미한다.

$X_{기준좌표계}$, $Y_{기준좌표계}$, $Z_{기준좌표계}$ 에 Total Station에 의한 3차원 좌표와 X_{WGS84} , Y_{WGS84} , Z_{WGS84} 에 GPS에 의한 WGS84 좌표를 대입하여 7개의 변환매개변수를 구할 수 있었다.

4. 영상처리 및 좌표변환용 프로그램 개발

4.1 영상처리용 프로그램 개발

본 연구에서는 마이크로소프트사의 비주얼 C++ 언어를 이용하여 CCD 사진기, 영상보드, windows 95 환경의 개인용 PC상에서 보다 신속한 영상처리를 위한 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 20개의 클래스(class)로 구성되어 있으며 각각의 클래스는 cpp파일과 헤더파일로 구성되어 있다.

4.2 수치사진측량공정의 자동화

본 연구에서 개발된 영상처리용 S/W를 이용하여 수치사진측량공정을 자동화 할 수 있었으며, 대상물에 대한 3차원 위치결정과정은 그림 1과 같다.

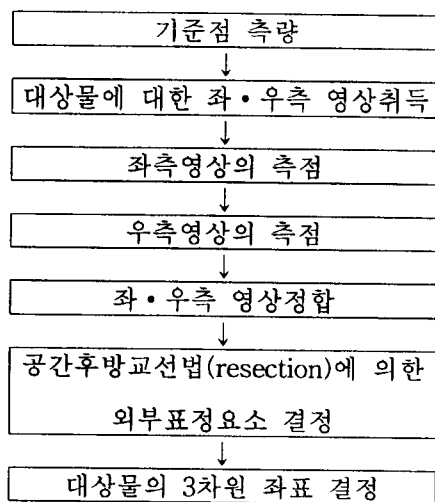


그림 1. 수치사진측량

그림 2는 좌측영상의 측점 선택과정을 나타내며, 그림 3은 대상물에 대한 3차원 좌표결정과정을 나타낸다. 또한 그림 4는 대상물에 대한 3차원 위치결정오차를 계산하는 과정을 나타낸다.

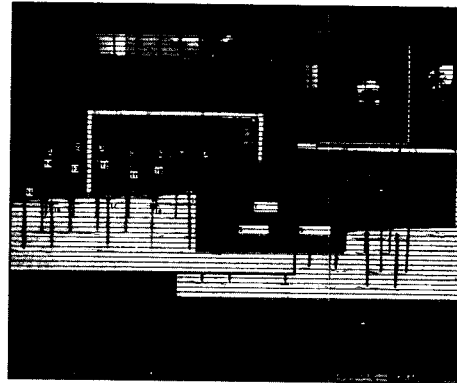


그림 2. 좌측영상 측점 선택과정

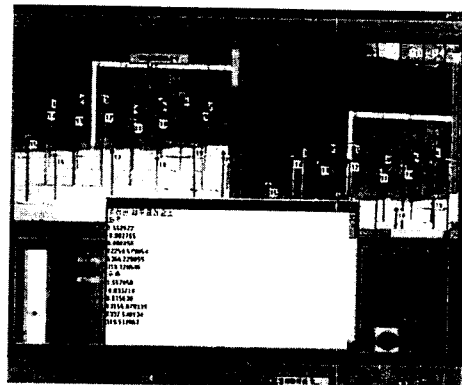


그림 3. 대상물에 대한 3차원 좌표결정 과정

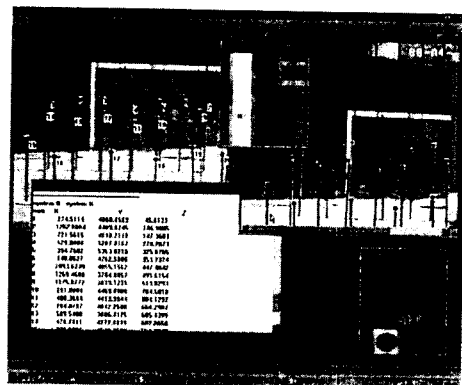


그림 4. 대상물에 대한 3차원 위치결정오차 계산과정

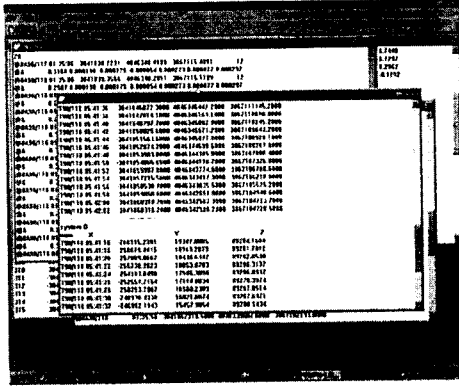


그림 5. 변환매개변수 결정과정

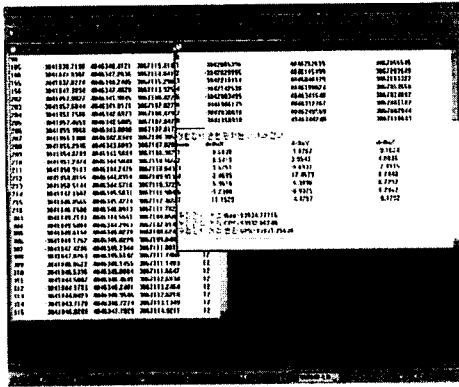


그림 6. 좌표변환 및 결과값 출력과정

4.3 좌표변환용 프로그램 개발

GPS수신기를 통해서 얻을 수 있는 좌표는 ASC 파일 형태이며, 이때의 좌표계는 WGS-84 좌표계이다. 본 연구를 수행하기 위해서 GPS수신기에 의한 ASC 파일을 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점을 기준으로 하는 좌표계로 변환하는 것은 매우 필수적이며 이를 위하여 마이크로소프트사의 C++언어를 이용하여 PC 상에서 WGS-84 좌표계와 국지좌표계를 신속하게 변환할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 8개의 클래스로 구성되었다.

그림 5는 좌표변환 매개변수를 결정하는 과정이며, 그림 6은 좌표변환 및 결과값 출력과정을 나타낸다.

5. 실험 및 자료처리

5.1 이동차량의 구성

CCD 사진기에 의해서 영상을 취득하고, GPS 수신기

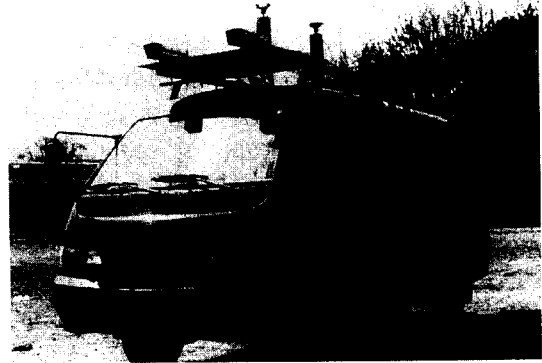


그림 7. CCD 사진기와 GPS 수신기를 장착한 이동차량

에 의해서 3차원 위치정보를 얻기 위해서 이동차량 위에 CCD 사진기 2대와 GPS 수신기가 장착된 프레임을 탑재시켰다. 또한 CCD 사진기와 문자기록기(time-tag), PC를 작동시키기 위해서 이동용 발전기를 이동차량내에 설치하였다. 그림 7은 본 연구를 위해 제작된 CCD 사진기와 GPS 수신기를 장착한 이동차량이다.

표 1. 기준점 측량에 의해서 얻어진 대상물의 3차원 좌표 (단위 : mm)

대상물 No.	X	Y	Z
1	12766.877812	45148.100066	-72.334636
2	13457.306581	45100.105265	51.340022
3	14060.872424	45125.770053	44.226044
4	14823.040863	45074.960081	-165.171300
5	15569.341412	45235.172934	-96.948052
6	16116.022792	45205.641735	43.510052
7	16745.453447	45279.636922	-68.577531
8	16625.490505	40803.971189	-187.126741
9	16003.274029	40776.175470	-199.627664
10	15081.594267	40930.552444	-356.773152
11	14557.204792	40964.317526	-442.206169
12	13927.451344	40949.359819	-257.091024
13	13303.833928	41032.290504	-349.664812
14	12717.999057	41238.041167	-244.161915
15	12454.960938	37835.606735	-636.369059
16	12944.675443	37704.483765	-918.772192
17	13976.727403	37809.915867	-841.452439
18	14772.137040	37639.787832	-939.756466
19	15435.369488	37637.398625	-736.499718
20	15959.584444	37496.790367	-823.982508

5.2 기준점측량

지면에 대해서 수직방향인 20개의 대상물을 임의로 고정된 후 SOKKIA사의 1" 독 데오돌라이트로 대상점의 좌표를 관측하였다. 실험모형으로부터 약 40m 정도 떨어진 지점의 좌측과 우측에 데오돌라이트를 고정시키고 기준점 측량을 실시하였다. 기선길이는 26.00m, 좌측에 위치한 데오돌라이트의 기계고는 1.671m이었다. 표 1은 기준점 측량에 의해서 얻어진 대상물의 3차원 좌표이다.

5.3 영상취득

본 연구에서 사용된 CCD 사진기는 Hitachi사의 VK-C370으로 1/3" CCD 영상 감지기를 가지고 있으며, 최대 811×508 영상소를 취득할 수 있다. 유효 영상의 크기는 768×494이며, 본 연구에서 사용된 영상보드와의 호환성에서는 640×480 영상소 크기의 영상이 취득되었다. 사용된 영상 보드는 두인전자의 미디어캠프7으

로 mpeg 계열의 동영상을 처리할 수 있는 하드웨어 및 소프트웨어 조작능력을 가지고 있다. 영상보드가 지원하는 최대 해상도는 640×480으로 CCD영상을 재배열한다. 실험모형으로부터 이동차량의 위치를 3회에 걸쳐 변경시킨 후 이동차량의 상단부에 장착된 좌측과 우

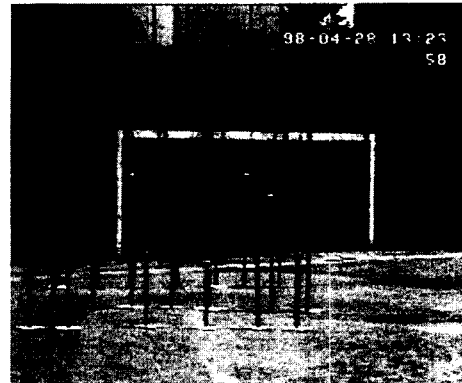


그림 10. 지점 20에서의 좌측영상

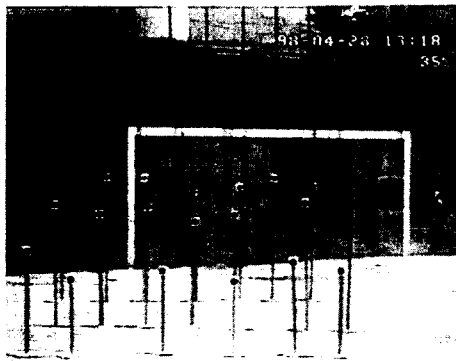


그림 8. 지점 10에서의 좌측영상

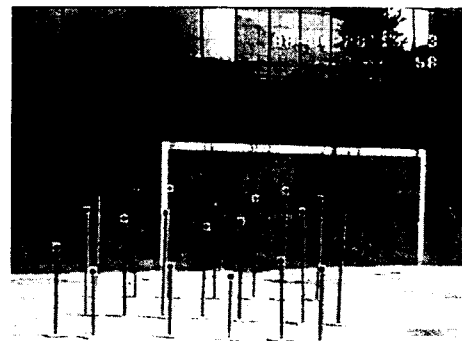


그림 11. 지점 20에서의 우측영상



그림 9. 지점 10에서의 우측영상



그림 12. 지점 30에서의 좌측영상

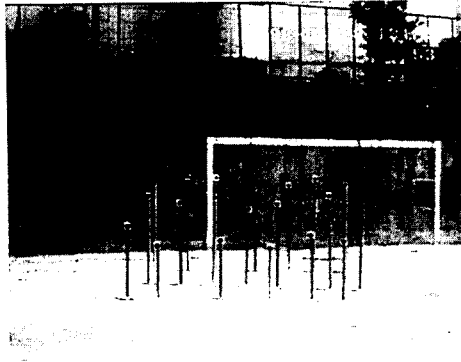


그림 13. 지점 3에서의 우측영상

측의 CCD 사진기를 이용하여 좌·우측 영상을 취득하였다. 지점 1은 실험모형으로부터 18.40 m, 지점 2는 21.10 m, 지점 3은 26.05 m 떨어진 지점이다. 여기에서의 거리는 맨 앞줄에 위치한 실험모형에서 이동차량의 번호판까지의 거리이다. 그림 8부터 13까지는 각각 지점 1, 2, 3에서의 좌측과 우측영상을 나타낸다.

5.4 외부표정요소 및 대상물의 3차원 위치결정

본 연구에서 제작된 영상처리용 S/W를 이용하여 대상물에 대한 영상정합을 실시하였다. 또한 영상소 좌표와 기준점측량에 의한 대상물의 3차원 좌표를 이용하여 외부표정요소를 결정하였다.

5.5 정지영상과 GPS를 이용한 3차원 위치결정

5.5.1 실험방법

지면에 대해 수직인 대상물을 이용하여 3개의 지점에서 각각의 외부표정요소를 결정하고, 총 9가지의 case를 설정하여 각 case별로 7-매개변수법과 4-매개변수법을 이용하여 대상물들의 3차원 위치를 결정하였다. 7-매개변수법은 평행이동량 ΔX , ΔY , ΔZ , 각 회전량 ω , ρ , χ , 축척계수 S 를 미지수로 한다. 본 연구에서는 GPS 수신기의 위치를 4회 변경시켜서 7개의 매개변수를 구하였다. 또한 4-매개변수법은 이동차량이 평지에서 진행하여 나갈 때 X축과 Y축의 회전량이 0이며, 축척계수 S 는 1이라고 가정하고 Z축의 회전량 χ 와 평행이동량 ΔX , ΔY , ΔZ 를 구하는 방법이다. 한편 GPS 수신기를 이용하여 지면에 대해 수직인 대상물들의 3차원 위치를 관측하고, 이를 기준 관측값으로 이용하여 CCD 사진기와 GPS에 의해서 결정된 대상물들의 3차원 위치

표 2. GPS신호를 직접 수신하여 취득한 대상물의 3차원 좌표 (단위 : mm)

대상물 No.	X	Y	Z
1	-216045.8995	9306.9586	87811.8909
2	-216357.7163	8636.9264	88021.1221
3	-216491.5468	8002.7592	87963.5387
4	-216666.5430	7241.0633	87763.5055
5	-216682.3975	6452.4577	87851.9054
6	-216859.5075	5907.7006	88027.0176
7	-217003.2469	5285.4001	88021.6735
8	-221329.9916	6484.3164	87978.2397
9	-221239.7770	7138.8948	88012.6102
10	-220965.4186	7966.8936	88087.4373
11	-220808.9785	8530.1582	88042.4162
12	-220662.6688	9136.4375	88202.0765
13	-220426.4947	9726.1603	88117.6955
14	-220074.5723	10228.5367	88219.0658
15	-223301.7274	11328.6562	87794.6318
16	-223573.8814	10884.7395	87532.7672
17	-223720.8444	9881.5292	87579.7400
18	-224091.6953	9134.8223	87490.3417
19	-224228.9254	8501.7477	87704.4534
20	-224505.0342	8029.1582	87613.6382

와 비교하여 정확도를 검사하였다. 표 2는 GPS신호를 직접 수신하여 취득한 대상물의 3차원 좌표이다.

5.5.2 비교분석

본 연구에서는 지면에 대해 수직인 대상물을 설치한 후 3개의 지점에서 각각의 외부표정요소를 결정하고 이를 이용하여 각 지점별로 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하였다. 본 실험에서 결정된 외부표정요소는 총 3개이며, 이를 3개의 지점에 적용하여 지면에 대해 수직인 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하였기 때문에 총 9개의 실험자료를 얻을 수 있었다. 또한 지면에 대해서 수직인 대상물에서 GPS신호를 수신하여 결정된 각 점들의 3차원 좌표들을 검사점으로 이용하였다. 1 group을 case 1, 2, 3으로 하고 2 group을 case 4, 5, 6으로 한다. 또한 3 group을 case 7, 8, 9로 가정한다. 9개의 case를 설정하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정한 결과는 표 3과 같다. 본 연구를 통하여 7-매개변수법을 이용할 경우 4-매개변수법에 비해서 X방향으로 더

표 3. case별 3차원 위치결정오차

case No.	외부표정요소 결정지점	CCD영상	GPS신호수신	7-매개변수법을 이용한 경우의 평균제곱근 오차			4-매개변수법을 이용한 경우의 평균제곱근 오차		
				X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
case 1	지점 1	지점 1	지점 1	581	4186	452	1540	3657	219
case 2	"	지점 2	지점 2	757	1491	1366	633	1229	208
case 3	"	지점 3	지점 3	1273	1194	335	1272	823	204
case 4	지점 2	지점 1	지점 1	815	4091	450	1920	3599	222
case 5	"	지점 2	지점 2	634	1390	1327	874	1159	209
case 6	"	지점 3	지점 3	1202	1083	318	1502	746	202
case 7	지점 3	지점 1	지점 1	683	4131	512	1515	3688	243
case 8	"	지점 2	지점 2	695	1411	1410	642	1208	229
case 9	"	지점 3	지점 3	1122	1073	367	1266	764	218

작은 오차가 발생함을 알 수 있었다. 또한 4-매개변수법을 이용할 경우 7-매개변수법에 비해서 Y방향과 Z방향으로 더 작은 오차가 발생함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 동영상을 이용하여 대상물의 3차원 위치를 결정하기 위해서 4-매개변수법을 이용하였다. 동영상을 이용하여 대상물의 3차원 위치를 결정하기 위해서는 미리 결정된 외부표정요소가 존재해야 한다. 9개의 case를 설정하여 실험한 결과 1 group이 갖춘 실험환경에서의 오차가 비교적 작게 발생하였기 때문에 동영상을 이용하여 대상물의 3차원 위치를 결정할 때에는 지점 1에서 결정된 외부표정요소를 이용하였다.

5.6 동영상과 GPS를 이용한 3차원 위치결정

지면에 대해 수직인 대상물을 설치한 후 차량을 10~20 km/h 정도의 속도로 이동시키면서 초당 1 프레임의 동영상을 취득하였다. 이때 취득된 동영상에는 문자기록기에 의한 시각이 표시되며, GPS수신기의 시각과 초단위까지 동일하게 일치시켰다. 본 연구에서는 지면에 대해 수직인 대상물을 설치하고 CCD 사진기에 의한 동영상과 GPS를 이용한 3차원 위치결정을 시도하였다. 또한 대상물에서 GPS신호를 직접 수신하여 얻은 3차원 좌표를 기준으로 하여 CCD 사진기와 GPS를 이용한 3차원 좌표를 비교하여 위치결정오차를 파악하였다.

5.6.1 동영상으로부터 정지영상 취득

지면에 대해 수직인 대상물을 설치한 후 차량을 이동시키면서 동영상을 취득하여 avi파일로 저장하였다. 영상처리용 S/W인 Photopaint를 이용하여 저장된 동영상

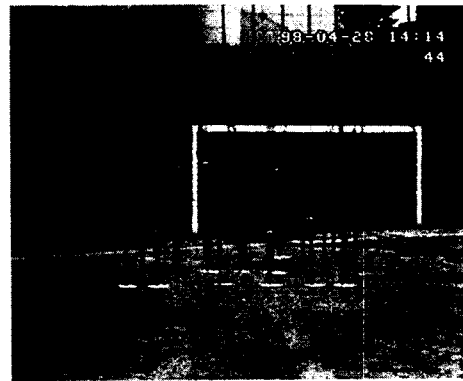


그림 14. 동영상 1st frame의 좌측영상



그림 15. 동영상 1st frame의 우측영상

으로부터 5쌍의 좌측영상과 우측영상을 추출하였다. 그림 14와 15는 첫 번째 프레임의 좌측과 우측영상을 나타낸다. 또한 그림 16과 17은 두 번째 프레임의 좌측과 우측영상을 나타낸다.

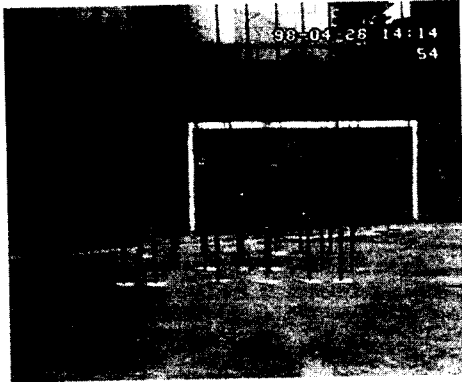


그림 16. 동영상 2nd frame의 좌측영상

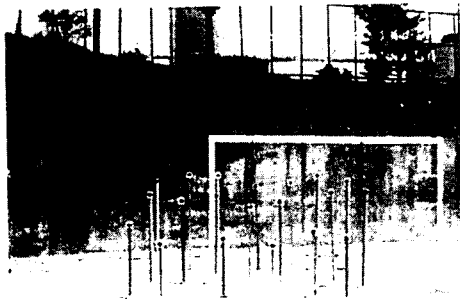


그림 17. 동영상 2nd frame의 우측영상

5.6.2 4-매개변수 결정

4-매개변수를 결정하기 위해서 지점 1에서 결정된 외부표정요소를 이용하였다. 외부표정요소와 다섯 쌍의 좌·우측 영상을 이용하여 지면에 대해서 수직인 대상물의 3차원 좌표를 구하였고, 4개의 매개변수를 각각 결정하였다.

5.6.3 대상물에 대한 3차원 위치결정

외부표정요소와 다섯 쌍의 좌·우측 영상을 이용하여 지면에 대해서 수직인 대상물의 3차원 좌표를 구하였고, 4개의 매개변수를 각각 결정하였다. 이를 이용하여 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점을 기준으로 한 대상물의 3차원 좌표를 구할 수 있었다. 표 4는 동영상과 GPS를 이용한 3차원 위치결정의 평균제공근 오차를 나타낸다. 또한 그림 18은 동영상과 4매개변수법을 이용한 3차원 위치결정오차를 도표로 나타낸 것이다.

5.6.4 비교분석

본 연구에서는 대상물에 대한 동영상을 취득한 후 5개 frame의 좌·우측 정지영상을 취득하여 미리 결정된 지

표 4. 동영상과 GPS를 이용한 3차원 위치결정시 평균제공근 오차 (단위 : mm)

	ΔX	ΔY	ΔZ
동영상 1st	1793.7550	747.5450	253.9359
동영상 2nd	1681.1460	673.2494	289.1331
동영상 3rd	1967.6583	685.9669	283.6634
동영상 4th	1684.5475	929.2607	309.4634
동영상 5th	1574.1980	961.0228	369.3691

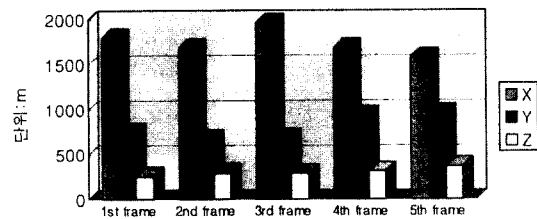


그림 18. 동영상과 4-매개변수법을 이용한 3차원 위치결정 오차

점 1에서의 외부표정요소를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치결정을 수행하였다. 이때 지점 1에서의 외부표정요소를 사용한 이유는 4-매개변수법을 이용하여 대상물에 대한 위치결정을 수행하였을 때 지점 1에서의 평균제공근 오차가 다른 지점에 비해서 작게 발생했기 때문이다. 또한 GPS 수신기의 테오돌라이트 좌표와 GPS 수신기의 GPS 좌표를 이용하여 각 지점에서 4-매개변수를 결정하였다. 대상물에 대한 3차원 위치결정 결과와 4-매개변수를 이용하여 연세대학교 공과대학 옥상에 위치한 기준점을 기준으로 한 대상물의 3차원 좌표를 결정할 수 있었다. 또한 대상물에서 GPS신호를 수신하여 대상물의 3차원 좌표를 직접 구한 후 이를 기준값으로 하여 대상물에 대한 3차원 위치결정오차를 파악하였다.

동영상을 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하는 경우, 정지영상을 이용하는 경우와 비교할 때 X방향으로는 94 cm정도 크게 오차가 발생하였다. 또한 동영상을 이용한 경우 Y방향으로는 7 cm정도로 오차가 작게 발생하였으며 Z방향으로는 약 5 cm 정도 크게 오차가 발생하였다.

본 연구를 통하여 GPS수신기를 이용하여 위성으로부터 신호를 취득하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정할 때 위성의 배치상태나 수신된 신호의 질적인 측면이 매우 큰 영향을 미친다고 판단된다. 좌·우측 영상을 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치만을 결정할 경우에는 매우 큰

오차가 발생하지 않았지만, 매개변수를 구하여 대상물에 대한 3차원 위치를 결정할 경우 GPS신호의 수신상태에 의하여 위치결정오차가 크게 좌우됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 대상물에 대한 3차원 위치결정오차를 파악하기 위하여 대상물에 직접 수신기를 설치하여 3차원 위치를 결정하였는데 GPS 수신자료의 질적상태에 의해서 기준값 자체가 오차를 지니는 것으로 생각된다. 따라서 위성의 배치상태가 양호하고 취득된 GPS신호가 양질일 경우 CCD 사진기와 GPS를 이용한 3차원 위치결정오차는 현재보다 크게 줄어들 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 지면에 대해 수직인 대상물을 설치한 후 3개의 지점에서 각각의 외부표정요소를 결정하고 CCD 사진기에 의해서 취득된 좌·우측 정지영상과 GPS를 이용하여 9개의 case별로 대상물에 대한 3차원 위치를 결정하였다. 또한 대상물에 대한 동영상 취득 후 5개 frame의 좌·우측 영상과 GPS를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치결정을 수행하였다. 본 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구를 통하여 CCD 사진기와 GPS를 이용한 3차원 위치결정 알고리즘을 개발하므로써, CCD 사진기와 GPS수신기가 장착된 이동차량을 이용하여 근거리 사진측량 및 실시간 사진측량을 실시할 수 있는 연구환경을 마련하였다.

둘째, CCD 사진기와 GPS를 이용하여 대상물에 대한 3차원 위치결정을 수행한 결과 정지영상의 경우, 7-매개변수를 이용하였을 때가 4-매개변수를 사용하였을 때 보다 X방향의 정확도는 8% 향상되었고, Y와 Z방향의 정확도는 각각 44%, 55% 씩 나쁘게 나타났다.

셋째, CCD 사진기와 GPS를 이용하여 이동중 관측 대상모형에 대한 3차원 위치를 결정하기 위해서 동영상과 4-매개변수를 사용한 결과, 정지영상의 경우와 비교하였을 때 X방향의 정확도는 170% 나쁘게 나타나고 Y와 Z방향의 정확도는 각각 37%, 19% 향상되었다.

감사의 글

본 연구는 한국 건설기술연구원의 '96 건설교육기술 연구개발 2차년도 사업에 의한 연구결과임을 밝히며

본 연구를 지원해 주신 한국건설기술연구원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Schenk, A. F. , "GS728 Digital Photogrammetry", The Ohio Univ. Lecture Note, 1-6, 1990.
2. Stanley, A. Morain, "Observations on Transferring Earth Observing Technology to the Developing World", ACSM/ASPRS, 3, 282-290, 1991.
3. Tudhope, Robert L., "Contact Issues for GPS/Photogrammetry : A Management Perspective", ACSM/ASPRS, 3, 382-391, 1993.
4. Curry, Sean and Peter Griffioen, "Real-Time Kinematic GPS for Surveying : Centimeters in Seconds", ACSM/ASPRS, 1, 109, 1993.
5. 송인성, "GPS 관측성분에 따른 응용 및 오차분석", 한국지형공간정보학회, 워크샵 자료집, 21-32, 1995.
6. Joshua, S. Greenfeld, "Applications of Video Photogrammetry for Transportation Studies", ACSM/ASPRS, 3, 122-130, 1993.
7. Maria, M. Gruenewald and Jeffrey, L. Kretsch, "Knowledge Base Systems in DMA's Digital Production System", ACSM/ASPRS, 3, 170-177, 1991.
8. Kurt Novak, "Real-Time Mapping Technology", ISPRS, Com. II, XXIX, 569-575, 1992.
9. R. Li, M.A. Chapman, L. Qian, Y. Xin and C. Tao, "Mobile Mapping For 3D GIS Data Acquisition", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XX, 232-237, 1996
10. Franz Leberl, "Design Alternatives for Digital Photogrammetric Systems", ISPRS, Com. II, XXIX, 384-389, 1992.
11. Merchant, D. C., Analytical Photogrammetry-Theory and Practice, Unpublished Lecture Notes, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, 1979.
12. Biggs, P. H. , Pearce, C. J. , westcott, T. J. , "GPS Navigation for Large-Scale Photography", PE&RS, LV(21), 1737-1741, 1989.
13. Lee, R. Warren, "Digital Production System", ISPRS, Com. II, XXIX, 631-635, 1992.
14. Horst, A. Beyer, "Automated Dimensional Inspection with Real-Time Photogrammetry", ISPRS, Com. V, XXIX, 722-727, 1992.
15. Armin, W. Gruen, "Digital Photogrammetric Processing Systems : Current Status and Prospects", PE & RS, LV (5), part 1, 581-586, 1989.