

# GPS 관측자료를 이용한 광속조정 Program 구현

서현덕 \* · 김병국 \* \*

\* 인하대학교 지리정보공학과 석사과정 · \* \* 인하대학교 지리정보공학과 교수

## 요 약

본 연구에서는 국내의 항공사진측량에서 적용되지 않고 있는 광속조정 Program을 구현하였다. 또한, 구현된 프로그램을 이용하여 과천지역에 대한 측량자료를 처리하였다.

GPS를 이용하여 결정한 카메라 노출중심 위치를 이용하여 광속조정에 적용한 결과는 지상기준점수가 감소하여도 정확도는 완만하게 저하되었으나, 지상기준점만을 이용하여 광속조정에 적용한 결과는 지상기준점수가 감소함에 따라 정확도는 급격하게 저하되었다.

GPS를 이용하여 결정한 카메라 노출중심 위치를 광속조정에 적용한 결과 블록 가장자리에 배치한 4개의 지상기준점 만으로 공공측량에 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통하여 GPS로 결정한 카메라의 노출중심위치를 항공삼각측량에 적용할 경우 필요한 지상기준점수를 축소함으로써, 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 서 론

### 5.1. 연구의 배경

사진측량은 지도를 제작하는 가장 효율적인 방법으로 사용되어져 왔으나, 많은 지상기준점에 대한 정확한 측량이 수반되어야 하며 이는 지도제작 비용에 상당부분을 차지한다. 많은 사진측량학자들은 외부표정 6요소 중 일부를 미리 결정함으로써 지상기준점의 수를 줄이려는 연구를 수행해 왔다. 최근 GPS 기술의 발달로 이동중인 물체의 위치를 높은 정확도로 결정함에 따라 GPS 수신기를 항공기에 탑재하여 카메라 노출중심의 위치를 미리 결정하려는 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 아직 적용된 바는 없으며, 국내의 사진측량 방법은 재래식 모델 조정기법을 사용하고 있어 과도한 지상기준점이 필요하다. 지상기준점 측량에 소요되는 비용은 수치지도 제작비용의 30~50%를 차지하고 있다. 지상기준점수를 줄이기 위해서는 항공삼각측량기법이 개선되어야 한다.

### 5.2. 연구의 목적

본 연구에서는 광속조정 Program을 구현하고, 항공기에 GPS 수신기를 탑재하고 GPS로 결정된 카메라 노출중심좌표를 이용하여 구현된 Program을 수행한 결과와 지상기준점만을 이용하여 Program을 수행한 결과를 비교하고자 한다. 또한, 최종적으로는 GPS로 결정한 카메라의 노출중심위치를 항공삼각측량에 적용할 경우 필요한 지상기준점수를 제시하고자 한다.

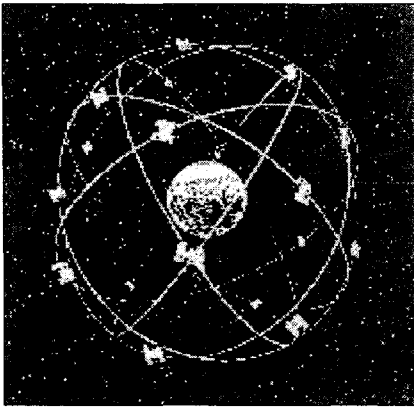
### 5.3. 연구의 범위

상기의 목적을 달성하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 내용을 연구범위로 설정하였다.

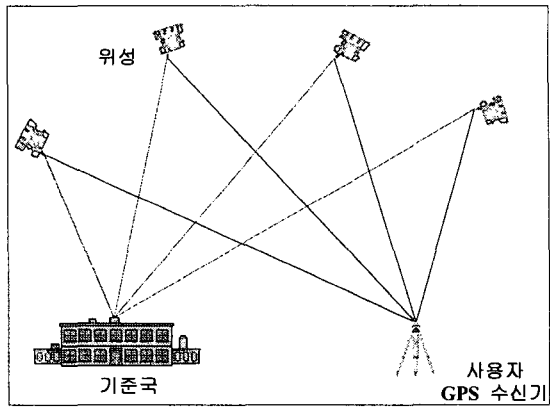
- ① 광속조정법 알고리즘 고찰
- ② GPS 관측자료 처리 알고리즘 고찰
- ③ GPS 항공삼각측량 기법 고찰
- ④ 광속조정 프로그램 구현
- ⑤ 재래식 광속조정기법과 GPS 항공삼각측량의 결과 비교
- ⑥ 실제적용을 위한 안정적인 지상기준점 배치 및 개수 도출

## 6. GPS 항공삼각측량 개요

### 6.1. GPS의 개요



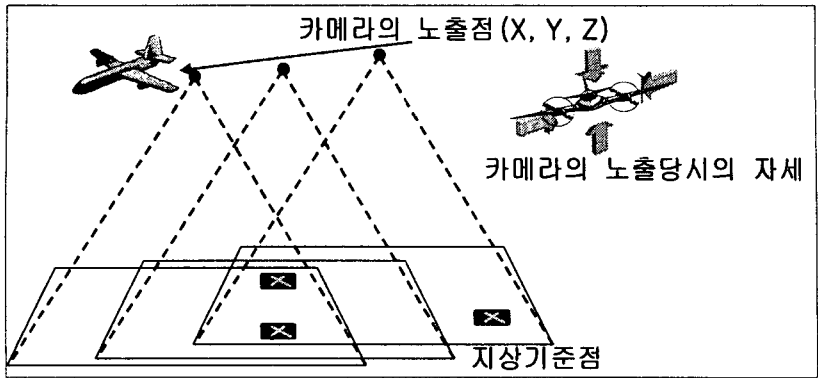
<그림 1> GPS위성의 배치



<그림 2> GPS의 구성

<그림 1>은 지구 주위를 순회하고 있는 GPS위성의 배치를 나타내고 있다. 위성의 고도는 지구표면에서부터 약 20,000km 정도이다. 4개의 위성이 한 궤도를 유지하며 총 6개의 궤도에 24개의 위성들이 배치되어 있다. <그림 2>는 일반적인 GPS의 구성을 나타내고 있으며, 기준국은 GPS위성을 제어하며 사용자에게 위성 정보를 제공하기도 한다. GPS위성은 지속적으로 전파를 지구로 전송한다. 전파는 L1파와 L2파에 코드정보를 실어서 전송한다. 코드를 이용하는 방법보다는 반송파를 이용하는 방법이 매우 정확하다. 수신기는 자체적으로 위치를 계산하여 사용자에게 수신기의 위치를 알려주며, 사용자는 GPS수신기와 GPS관련 업체에서 제공하는 S/W를 이용하여 다양한 방법으로 자신의 위치를 좀 더 정확하게 파악할 수 있다. 이러한 GPS 기술은 선박의 자동항해, 비행기의 자동이착륙, 차량항법시스템, 측지측량, 공사측량, 사진측량 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

## 6.2. 항공삼각측량의 개요

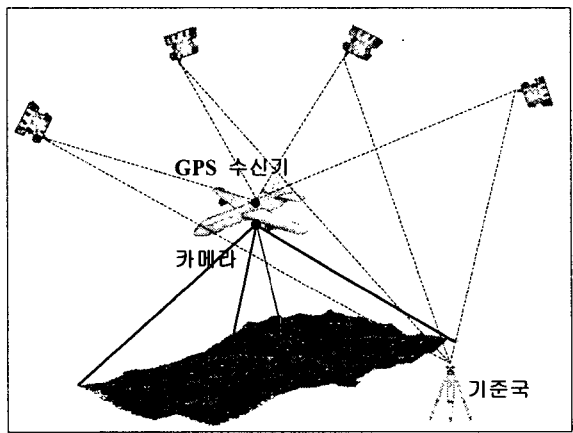


<그림 3> 항공삼각측량의 구성

<그림 3>의 좌측은 비행기가 대상지를 촬영하며 비행하는 모습이다. 항공삼각측량의 관측자료는 크게 두 부분으로 나누어 설명할 수 있다. 하나는 지상기준점에 대한 측량자료이며 다른 하나는 항공사진에 촬영된 지상점들의 사진좌표이다. 최근에는 지상기준점에 대해 GPS관측을 수행하여 비용을 절감하고 있다. 항공사진은 3차원좌표를 획득하기 위하여 중첩되도록 촬영한다. 사진의 2차원 좌표들을 이용하여 대상지역의 3차원 좌표를 획득하기 위해서는 공선조건식을 이용한 최소제곱법을 수행한다.

우측은 촬영당시의 비행기의 자세를 나타내고 있다. 비행기 자세의 주요 6요소는 지상좌표계를 기준으로한 카메라 노출중심의 좌표들과 축방향에 대한 회전각들이다. 이들은 모두 미지수이며, 이들을 정확하게 미리 결정할 수 있다면 요구되는 지상기준점수를 많이 줄일 수 있다.

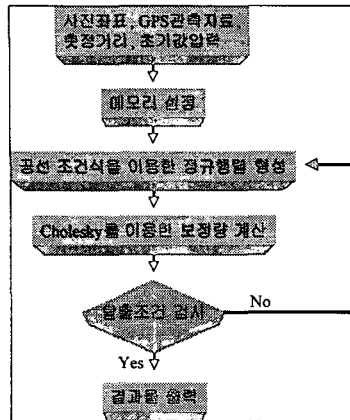
## 6.3. GPS 항공삼각측량의 개요



<그림 4> GPS-항공삼각측량의 구성

<그림 4>는 GPS 항공삼각측량의 구성을 나타내고 있다. 기준국은 정밀하게 관측되어야 하며 비행기에는 GPS 수신기를 탑재하여 사진촬영하는 동안 기준국과 동일한 시간대에 관측을 수행한다. 비행기에 탑재된 수신기의 좌표는 카메라 노출중심좌표에 대한 정보를 제공한다. 지상에는 GPS로 관측된 지상기준점이 있으며 비행기는 대상지역을 이동하며 사진촬영을 수행한다

#### 6.4. Program의 순서도



<그림 5> 광속조정 Program의 순서도

<그림 5>는 광속조정 Program의 순서도이다. 입력파일은 Header부분과 관측자료부분으로 구성하였다. Header부분은 계산에 요구되는 메모리를 설정하는데 필요한 정보를 수록하고, 관측자료부분은 GPS관측자료와 사진좌표 등이 수록하였다. 계산에 요구되는 메모리를 최소화하기 위하여 1차원 형태로 행렬을 구성하였으며, 메모리크기 설정 후 정규행렬을 구성하도록 하였다. Cholesky 알고리즘을 이용하여 보정량을 계산하였다. 최대보정량의 크기, Reference Standard Deviation의 변화율, Iteration 수, 발산을 이용하여 반복 계산의 탈출조건을 부여하였다.

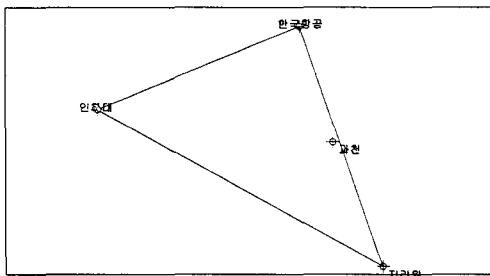
### 7. 관측 및 자료처리

#### 7.1. 기준망 구성 및 사용장비

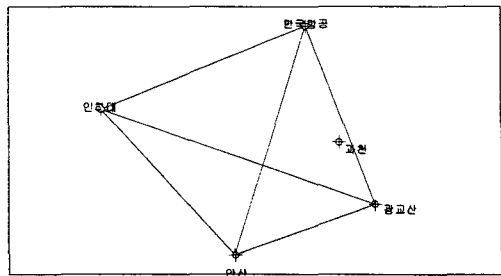
두 가지 방법으로 기준점 망을 구성하였다. <그림 6>는 WGS-84 좌표의 정확도 확보를 위해 구성한 기준국의 형태를 보여 주고 있으며, 계산 결과는 최대 표준편차( $\sigma$ )가 1.2cm이다. <표 1>은 WGS-84 좌표 계산을 위해 사용한 GPS 수신기의 제원 및 측량방법을 볼 수 있다.

<그림 7>은 국립지리원으로부터 정밀관측을 통해 WGS84 좌표와 TM좌표를 결정한 인하대 점과

한국항공기준점을 기본으로 안산과 광교산의 정밀1차 삼각점을 연결한 삼각망이다



<그림 6> WGS-84 좌표 결정용 기준망



<그림 7> GPS 좌표 변환용 기준망

<표 1> 기준국 측량 장비 제원 및 방법

구분	제원 및 측량	구분	제원 및 측량
GPS 수신기	AOA Turbo Rogue SNR-8000, Trimble 4000SSi, 2주파 수신기	측량 방법	정지측량
소프트웨어	Trimble GPSurvey ver2.30	관측 시간	10시간

<표 2> 촬영 장비 및 제원

장비명	제원	장비명	제원
항공기 Cessna C208	순항속도 : 140KTS / 260km/h 항속거리 : 1300km 비행시간 : 5시간	촬영시간 기록장치 TDU	Memory : 32 Kbyte 정확도 : $\pm 10^{-4}$ sec 자료 송신 : RS232C
항공사진 카메라 RC-30	초점 거리 : 152.85mm 최소 촬영 간격 : 2.8초(노출 시간 1/100초), 1.7초(노출 시간 1/1,000초) 사진 지포 : 8개	GPS 수신기 SR299	측지측량용 2주파 수신기 최대 9개 위성 동시 수신 가능 최소 수신간격 : 1초 Memory : 2MByte

## 7.2. 자료의 처리

### ① 모델 조정법

본 연구에서 구현된 프로그램의 수행결과와 비교하기 위해 기존의 방법인 모델 조정법에 의해서 투영 중심을 계산하였다. 사진 기준점 관측은 해석 도화기(P-2)로 입체 모델을 형성하여 수행하였고 모델 조정은 PAT-MR을 사용하였다. 조정 결과는 <표 3>에서와 같이 기준점의 잔차, 평면 위치 및 표고에 있어서 표준편차가 0.2 %Z(측척 1/5,000 항공 사진에서  $\pm 0.15m$ ) 이내라고 규정한 공공 측량 작업 규정의 정확도를 만족한다.

<표 3> 모델조정법 입력 자료 및 조정 결과

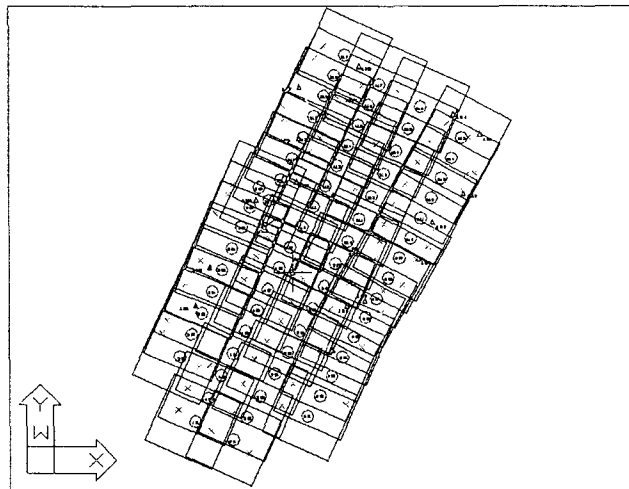
입력자료	모델	사진 기준점	평면 기준점	표고 기준점
	145	1758	50	171
RMS 오차	사진기준점	평면		0.031m
		표고		0.045m
	투영 중심	평면		0.067m
		표고		0.036m
	지상 기준점	평면		0.065m
		표고		0.053m
표준편차(Sigma Naught) (조정후/조정전)		수평		10.2/10.0
		표고		14.2/10.0

② 광속 조정 결과의 비교 분석

지상 기준점만을 사용하는 방법과 GPS 자료를 사용하여 광속 조정한 결과를 <표 4>에 나타내었다. 기선 거리 및 GPS 자료를 처리할 때 사용한 주파수에 따른 정확도를 분석하기 위해서 지상 기준점만을 사용하여 조정한 결과를 기준으로 촬영 지역인 과천 기준국에서 수신한 L1/L2 주파수를 사용하여 처리한 GPS 자료로 조정한 결과와 촬영 지역에서 약 30km 떨어진 인하대 기준국에서 수신한 L1 주파수를 사용하여 처리한 GPS 자료로 조정한 결과를 동시에 나타내었다. 지상 기준점만 사용하여 조정한 결과는 기준점의 수가 감소함에 따라 정확도가 떨어지지만 GPS 자료를 사용하여 조정한 결과는 기준점의 수가 감소해도 정확도는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

<표 4> 기준점수의 감소에 따른 광속 조정 결과 (RMS 오차 : mm)

기준점수	지상 기준점		과천 기준국 L1/L2 주파수 사용	
	평면	높이	평면	높이
263	72	56	68	64
102	120	107	113	117
58	122	119	115	130
23	141	148	131	144
18	204	138	130	146
12	157	352	132	145
8	205	1168	136	147
5	273	1149	139	150



<그림 8> 조정된 사진블록

촬영중 회전 인자를 조정함에 따라 편심 벡터가 코스별로 일정하지 않으므로, 광속 조정법에서 사용할 카메라의 초점 좌표는 광속 조정법의 조정 계산 과정에서 계산된 코스별 초점 위치를 GPS 좌표로 3차원 등각 사상 변환 방법을 사용하여 결정한 변환 계수를 식(1)에 적용하여 계산하였다. 또한, 초점 좌표의 가중 행렬을 구성하기 위해 광속 조정 초기값으로 표준 편차 100m를 적용하였고, 조정 과정에서는 3차원 등각변환으로 광속 조정에 의해 결정된 초점의 좌표를 GPS 좌표로 변환하는 과정에서 계산된 표준 편차를 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{PC} \\ Y_{PC} \\ Z_{PC} \end{bmatrix} = \frac{1}{S} R_{GPS}^{AT}{}^{-1} \begin{bmatrix} X'_{GPS} - T_X \\ Y'_{GPS} - T_Y \\ Z'_{GPS} - T_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$[X'_{PC} \ Y'_{PC} \ Z'_{PC}]^T$  : 광속 조정에 사용할 초점 좌표

$[X'_{GPS} \ Y'_{GPS} \ Z'_{GPS}]^T$  : 코스별 GPS 안테나 위치

## 8. 결 론

국내에서 사용되는 모델조정기법보다 우수한 광속조정 Program을 구현하였다. 또한, GPS를 이용하여 결정한 카메라 노출중심 위치를 광속조정에 적용한 결과는 지상기준점수가 감소하여도 정확도는 완만하게 저하되었으나, 지상기준점만을 이용하여 광속조정에 적용한 결과는 지상기준점수가 감소함에 따라 정확도는 급격하게 저하되었다. 따라서, 적은 지상기준점으로도 기존의 방법과 동일한 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

GPS를 이용하여 결정한 카메라 노출중심 위치를 광속조정에 적용한 결과 블록 가장자리에 배치한 4개의 지상기준점만으로 공공측량에 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

상기의 결과를 토대로 수치지도제작에 GPS 항공삼각측량 기법을 이용함으로써 비용절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Paul R. Wolf, Charles D. Ghilani, "ADJUSTMENT COMPUTATIONS : Statistics and Least Squares in Surveying and GIS", John Wiley & Sons, Inc, 1997
2. Paul R. Wolf, "ELEMENTS of PHOTOGAMMETRY : With Air Photo Interpretation and Remote Sensing", 2nd edition
3. Richard L. Burden, J. Douglas Faires, "Numerical Analysis", 6th edition
4. ASP, "Manual of Photogrammetry", fourth edition
5. BYUNG-GUK KIM, "Development of a Photogrammetric System for Monitoring Structural Deformations of the Sturgeon Bay Bridge WISCONSIN-MADISON", 1989
6. 유복모, "사진측정학", 1991, 문운당
7. "A Combined GPS-Photogrammetric Solution", 1988
8. 김동현, "실시간 GPS 정밀측량을 위한 이동중 위치결정에 관한 연구", 1997
9. 박운용 외 2인, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량", 1995, 제 15권, 제 6호, pp. 1731-1742
10. 배태석, "GPS 데이터를 이용한 항공사진측량 최소 기준점수 결정에 관한 연구", 1996
11. "GPS-위성보조에 의한 대규모 지역의 결합 번들블록조정", 1997, 대한토목학회논문집, 제 17권, 제 III-1호, pp. 71-79
12. 박운용 외 3인, "GPS 연속관측점을 이용한 항공사진측량의 결합블록조정", 1998, 대한토목학회 학술발표회 논문집(IV), pp. 373-376