

# Direct Georeferencing의 응용 연구

## The Study on The Application of Direct Georeferencing

조 규 전<sup>1)</sup> · 이 재 원<sup>2)</sup> · 유 재 엽<sup>3)</sup>

Cho, Kyu Jun · Lee, Jae One · Yoo, Jae Yup

### 1. 서 론

#### 1.1 개 요

GPS/INS 항공사진측량이란 항공기에 항공사진 촬영용 카메라와 위성측위시스템(GPS, Global Positioning System) 및 관성항법장치(INS, Inertial Navigation System)를 탑재하여, 사진촬영과 동시에 카메라의 노출 위치와 회전각, 즉 사진의 외부표정요소를 직접 결정하는 항공사진측량의 신기술을 말한다. 1900년대 중반부터 시작된 항공사진측량은 지형도 제작을 위해 가장 보편적이고 경제적인 측량기술로서 모든 나라가 보편적으로 이용하고 있다. 그러나 기존의 항공사진측량은 촬영이 완료된 후 지상측량을 병행하여 작업을 수행함으로써 이중 경비와 시간을 소요하게 되어 측량의 효율성 측면에 역행하는 결과를 초래하였다.

최근, 선진 각 국에서는 항공사진측량에 첨단전자장비(GPS/INS)를 접목하여, 신속하고 정확한 지형정보의 취득 및 작업공정 단축 등을 위한 혁신적인 신기술 개발로, 시간과 경비를 최소화하여 업무에 실용화하는 노력을 가속화하고 있는 실정이다. 반면, 국내의 항공사진측량 기술은 기존의 전통적인 방법을 유지함으로써, 비경제적이고 비효율적인 작업과정이 진행되고 있어, 보다 전문적이고 체계적인 기술개발연구가 절실히 요청되고 있다.

#### 1.2 연구목적 및 필요성

기존 항공삼각측량은 지상에 다량의 기준점을 배치하여 간접적으로 표정요소를 결정하기 때문에 데이터 취득의 문제점이 대두되고 있지만, 최근 위성을 이용한 비행시스템인 GPS의 도입으로 이러한 단점을 보완할 수 있는 길이 열렸다. 하지만, 최근 연구결과에 따르면 GPS 자체의 약점인 '회전각의 결여, Cycle slip, 낮은 integrity'가 드러나면서 상호단점을 보완하고 장점을 극대화할 수 있는 GPS와 INS를 통합한 시스템의 사용이 절실히 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 항공사진측량의 신기술인 GPS/INS를 활용하여, 지상기준점측량, 항공삼각측량, 해석·수치도화, 수치정사사진지도제작 등에 대한 종합적이고 구체적인 대안을 제시하고자 하며, 모든 지리정보시스템 구축의 기반이 되는 수치지도의 효율적 제작·갱신 및 향후 수치사진측량의 기반기술을 마련하고자 함이다.

1 조규전 경기대학교 토목공학과 교수, 대한측량협회장·공학박사·kjcho@kasm.or.kr

2 이재원 대한측량협회 측량정보산업기술연구원 연구위원·공학박사·jolee@kasm.or.kr

3 유재엽 대한측량협회 측량정보산업기술연구원 연구위원·공학석사·jyyou@kasm.or.kr

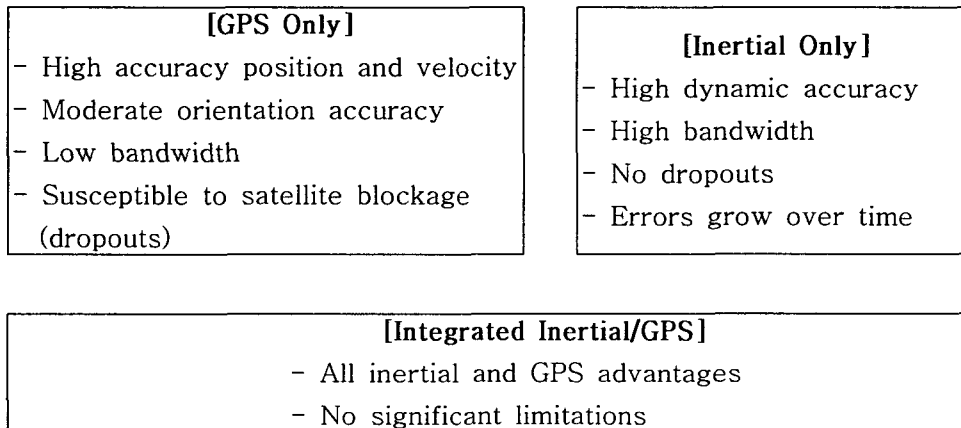
### 1.3 Direct Georeferencing의 정의

Direct Georeferencing이란 촬영과 동시에 센서의 위치와 회전각, 즉 외부표정 요소( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ )를 직접 결정하는 작업으로 모든 영상점을 지상의 대응점에 매칭시키기 위하여 영상의 기하변형을 보정하고 영상면에서 지도투영면으로 변환하는 과정을 포함한다. Direct Georeferencing의 최대장점으로는 영상데이터로부터 직접 지상의 위치를 결정할 수 있어 지상측량 작업과 사진기준점 측량(Aerial Triangulation)이 필요 없다는 것이며, 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

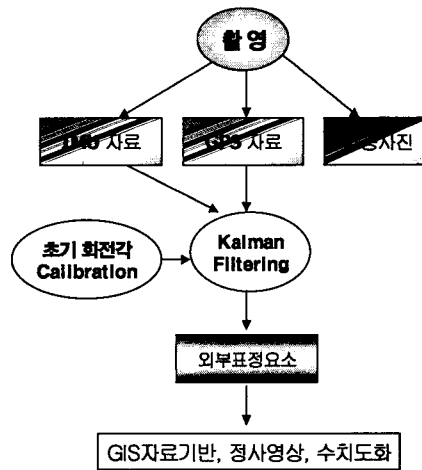
- 지상측량 작업과 사진기준점측량(AT)이 불필요
- Sensor Independent data representation
- 영상 데이터로부터 직접 지상의 위치를 결정
- 타센서에 의해 수집된 데이터와 연계하여 활용이 용이

또한, 기존 항공삼각측량의 작업 공정이 항공사진촬영 후 지상기준점측량을 수행하고, 항공삼각측량(AT)에 의해 도화를 하는 반면, GPS/INS를 이용하면 항공사진촬영에서 곧바로 도화를 할 수 있을 만큼 공정을 대폭 간소화 할 수 있다.

### 2. GPS/INS의 통합효과



GPS/INS 통합시 각각의 역할로, GPS는 시간경과에 따른 INS 오차의 급속한 증가를 GPS 정보를 이용하여 요구정확도를 유지하도록 하며, INS는 cycle slip 등에 의한 GPS 신호 수신에 곤란한 경우 INS 정보로부터 시스템을 유지하여 요구 정확도를 유지하게 된다.



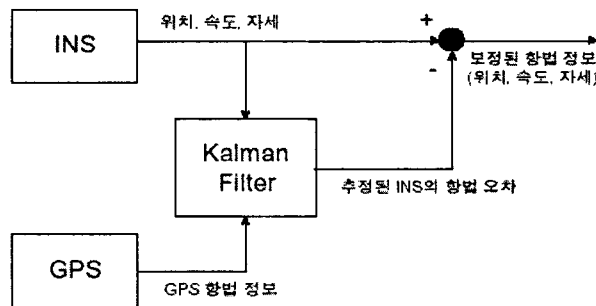
<그림 1> GPS/INS 관측 흐름도

### 3. 칼만 필터를 이용한 GPS/INS 통합

선형 시스템에 적용될 수 있는 칼만 필터를 비선형 항법 방정식을 갖는 INS에 이용하기 위해서는 선형 섭동법을 이용하여 얻어지는 선형화된 시스템 모델을 이용하여야 한다. 이러한 경우 필터는 간접 (indirect) 방식의 특성을 갖는다. 간접방식을 이용하는 경우 오차로 표현된 상태변수가 시스템에 되먹임 되어 시스템의 변수에 영향을 주는 구조를 간접 되먹임 (indirect feedback or closed-loop) 방식, 시스템의 출력단에서 오차를 보정하여 시스템의 변수에 영향을 주지 않는 구조를 간접 앞먹임 (indirect feedforward of open-loop) 방식이라 한다.

이러한 간접 되먹임 및 간접 앞먹임 방식의 장단점은 해석적으로 논의되기 어려우나, 일반적으로 짧은 시간 동안 운용되는 경우는 간접 앞먹임 방식이, 긴 시간 동안 운용되는 경우는 간접 되먹임 방식이 유리하다. 이것은 간접 앞먹임 방식의 경우 시간이 경과됨에 따라 선형화의 기준점이 실제 궤적과 멀어지므로 작은 오차 범위내에서 신뢰성을 갖는 선형화 과정에서의 오차가 발생하기 때문이다.

#### 3.1 간접 앞먹임 (Feedforward or Open-loop) 방식

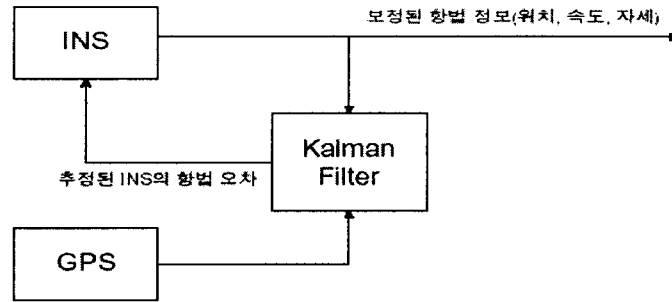


<그림 2> 간접 앞먹임 (indirect feedforward) 방식

간접 앞먹임 필터 (indirect feedforward filter)를 이용하는 경우 선형화 기준점이 추정치의 영향을 받

지 않고 기준 궤적의 차이로 정의된 항법오차는 선형화된 모델의 특성과 같은 동적 특성을 갖는다. 필터링의 관점에서 볼 때 간접 앞먹임 칼만 필터를 이용하는 경우 오차의 시간 전파 및 측정치 갱신 과정이 모두 이루어져야 한다.

### 3.2 간접 되먹임(Feedback or closed-loop) 방식



<그림 3> 간접 되먹임(indirect feedback) 방식의 칼만 필터

간접 되먹임 방식은 INS와 같이 비선형 항법 방정식을 선형화하여 이용하는 경우 시스템의 오차 증가를 선형적으로 유지할 수 있다는 장점이 있어 장시간 운용시 보다 적합하다고 알려져 있다. 이 방식의 경우 추정된 오차가 시스템에 되먹임되어 시스템의 변수를 교정하며, 되먹임 과정 후 시스템 모델에 의한 상태 변수의 예측과정을 수행하지 않고 필터의 상태변수를 0으로 재 설정한다. 한편, 다음 epoch에서는 INS의 항법 정보와 GPS의 항법 정보의 차이로 정의되는 측정치만을 이용한 측정치 갱신과정을 수행하여 오차를 추정된 후 다시 시스템에 되먹임하는 과정을 반복한다.

이 경우 추정된 오차가 기준 궤적에 되먹임되므로, 선형화의 기준점은 기준 궤적이 아닌 추정된 궤적이며, 추정된 궤적으로부터 선형화된 모형과 같은 동적 특성을 갖지 않는다. 또한 선형화의 기준점이 되먹임된 궤적에서 결정되므로 칼만 필터의 상태변수로 표현되는 기준점에 대한 오차의 시간 전파 과정이 필요 없다. <표 1>은 칼만 필터의 유형별 장·단점을 기술하여 놓은 것이다.

<표 1> 칼만 필터의 유형별 장·단점

| 유형              | 장점  | 단점   |
|-----------------|---|--|
| Open loop       | - INS에 대해 외부적으로 수행<br>- 플랫폼 INS에 적합<br>- INS로부터 항법에 사용          | -비선형 오차 모델<br>- 확장 칼만 필터 요구                    |
| Closed loop     | -관성 시스템 오차, 선형 모델<br>충분<br>-소프트웨어 수준에서 통합에<br>적합                | -보다 복잡한 자료 처리<br>- GPS 오차의 INS에 영향             |
| Loosely-coupled | -유연성, 모듈별 조합<br>- 빠른 자료 처리<br>- 병렬 프로세서에 적합                     | - 부정확한 공분산<br>- 안정된 자료처리를 위해 4<br>개의 GPS 위성 필요 |
| Tightly-coupled | -최적기법<br>- GPS 관측치가 4개 이하의 위<br>성에 대해 사용가능<br>- 빠른 ambiguity 추정 | -크기가 큰 오차 상태 모델<br>- 복잡한 자료 처리                 |

#### 4. GPS/INS의 활용분야

GPS와 INS를 탑재하여 사진측량시스템과 함께 실시간적으로 지형정보를 취득하여 시간과 인력, 비용을 획기적으로 줄일 수 있으며, GIS 응용분야에서 필수적인 지형정보 자료의 자동 취득이 가능하여 현재 모든 센싱이나 데이터 획득 시스템에 활용할 수 있다.

- 항공사진측량(Airborne Photogrammetry survey)

: GPS/INS 통합시스템을 이용하여 항공삼각측량을 수행하는데 있어 초기에는 항공사진측량용 카메라를 이용하였으나 pushbroom 방식의 linear scanner와 Synthetic Aperture Radar(SAR)와 같은 다양한 영상 매핑 센서로 확대되어 활용되고 있다. 특히, linear CCD arrays의 경우 pushbroom 방식으로 촬영하며 디지털 형태의 직접적인 자료취득이 가능하므로 실시간 자료처리가 가능할 뿐 아니라 다중 분광 영상 취득이 가능하여 각종 주제도 및 식생 분석이 가능하다.

- 항공 레이저 스캐닝(Airborne Laser Scanning)

: 1970년대 중반 처음 실시되었고, 1980년대 초 당시 Laser Altimeter와 같은 장비를 Laser Profile로 개조하여 지상 측량에 활용하기 위한 연구가 시작되었다. 그러나 항공기의 위치를 결정하기 위한 장비가 INS 정보 밖에 없었으며, 1980년대 말 GPS가 도입되면서 연구가 본격적으로 시작되었으며 1990년대 말 다양한 상용제품이 몇몇 회사에서 개발되어 활용되기 시작하였다.<sup>2)</sup>

- 항공 중력 측정(Airborne Gravimetry)

: 항공기에 관측 장비를 실어 공중에서 수행하는 항공 물리탐사는 신속하고, 탐사 비용이 저렴하며 접근이 어려운 지형에서도 탐사가 가능하다. 항공 물리탐사에 이용될 수 있는 물리탐사는 자력 탐사, 방사능 탐사, 전자 탐사, 중력 탐사 등인데, 이들 중 두가지 이상의 방법을 동시에 수행하는 것이 효과적이다. 항공중력관측은 광범위한 지역에 대해 신속한 중력값 결정이 가능하므로 측지학과 지구물리학 분야에 필요한 중력자료를 제공하는 효과적인 측량방법이다.

- 원격탐사 및 환경감시(Remote Sensing)

: 최근 위성 기술의 발달로 많은 센서를 동시에 운용할 수 있게 됨으로써 지구 관측을 포함한 환경관측으로 발전하고 있다. 이러한 지구환경과 관련된 위성뿐만 아니라 지상의 도로, 건물, 수계, 산림, 해양 등 각종 지형지리정보를 추출하기 위한 광학적 센서를 탑재한 다양한 위성들이 개발되어 운용 중에 있다.

#### 5. 기대효과

항공사진측량은 그 개발과 함께 위치결정과 지형도제작을 위한 가장 정확하고 경제적인 기법으로 자리잡아오고 있다. 또한 꾸준한 장비의 개선과 활용 S/W의 개발로 인하여 그 활용범위의 증가와 함께 온리날 GIS DB구축시 가장 많이 사용하는 측량기술이다. 또한 최근에는 항공사진측량의 공정이 반수동식인 해석식에서 전자동화를 피하는 완전한 수치사진측량으로 접근해가고 있다. 하지만 항공사진의 활용을 위한 전제조건은 어떠한 경우이든 촬영당시 사진기의 외부표정요소, 즉 세 개의 위치와 회전각을 알아야 한다는 것이다.

GPS/INS의 응용을 통하여 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다.

- 영상데이터로부터 직접 지상의 위치를 결정
- 타 센서로부터 수집된 데이터와의 연계활용이 용이
- GPS/INS는 항공사진측량의 새로운 방법으로 정착
- 이는 Digital Camera의 상용화로 가속화 될 전망
- 통합(Integration)을 위한 기반기술 확보의 필요성

## 4. 결 론

GPS/INS 신기술의 도입을 통한 외부표정요소의 직접 결정은 기대되는 제반기술에 대한 무한한 잠재력을 보유하고 있다. 기대효과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

영상데이터로부터 직접 지상의 위치를 결정할 수 있다는 것이며, 타 센서로부터 수집된 데이터와의 연계 활용이 용이하다는 것이다. 또한 GPS/INS는 항공사진측량의 새로운 방법으로 정착되어 현재 Digital Camera의 상용화로 가속화 될 전망이나 통합(Integration)을 위한 기반기술 확보의 필요성이 대두되고 있다.

### [참고문헌]

1. 강준목, 주영은, 이강원, 2001. GPS/INS를 이용한 항공삼각측량의 활용성 평가. 한국측량학회 학술 발표대회, 2001.
2. 한국건설기술연구원, "GPS분야의 선진기술 도입방안 연구", 2001.
3. Cramer, M., 2001, "Performance of GPS/Inertial Solutions in Photogrammetry", in: D. Fritsch & R. Spiller, eds, 'Photogrammetric Week '01', Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
4. Cramer, M. and D. Stallmann and N. Haala. 2000. "Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientation for Photogrammetric Applications", IAPRS, Volume XXXII/B, Amsterdam, The Netherlands, July.
5. Grejner-Brzezinska D. A., 1999. "Direct Exterior Orientation of Airborne Imagery with GPS/INS System: Performance Analysis", Navigation, Vol. 46, No. 4.