

동적 DGPS 측위에 의한 투영중심좌표 결정을 위한 수신기 위치의 보간 Correction of Antenna Position for Projection Center Coordinates by Kinematic DGPS-Positioning

이종출* · 문두열** · 신상철***
Lee, Jong-Chool · Mun, Du-Yeoul · Shin, Sang-Cheal

요 旨

동적 DGPS 측위에 의해 결정된 투영중심 좌표를 이용한 결합 번들블럭조정은 높은 정확도를 가지게 되었으며, 지상좌표 표준편차가 $\pm 10\text{cm}$ 이내로 결정될 수 있다. 이러한 정확도 수준에서는 더 작은 오차 성분이 중요하게 되었으며, 이 가운데 중요한 것은 GPS-Antenna 위치 사이에서 시간의 함수로 투영중심을 보간하는 것이다. 선형보간은 비행기의 비선형 움직임을 고려하지 않는 반면 최소제곱 다항식에 의한 보간은 비행기의 거동이 더 정확하게 고려되고, 위성의 상실과 신호차단 등에 의한 GPS-위치의 과대오차를 소거하여 준다. 본 연구대상지 RHEINKAMP에서 3초의 시간을 이용한 보간은 MAAS의 6~7초의 시간간격을 이용한 보간과는 다르며, 이러한 GPS 위치는 국부회귀 다항식에 의하여 과대오차로 확인되었고, 이것은 정확한 블럭조정을 위해서는 무시할 수 없다.

ABSTRACT

The combined bundle block adjustment with projection center coordinates determined by kinematic DGPS-positioning has reached a high level of accuracy. Standard deviations of the ground coordinates of $\pm 10\text{cm}$ or even better can be reached. On this accuracy level also smaller error components are becoming more important. One major point of this is the interpolation of the projection centers as a function of time between the GPS-antenna locations. A just linear interpolation is not respecting the not linear movement of the aircraft. Based on a least squares polynomial fitting the aircraft maneuver can be estimated more accurate and blunders of the GPS-positions caused by loss of satellite and cycle slips are determinable. The interpolation with a time interval of 3sec in the study area RHEINKAMP is quite different to the interpolation with a time interval of 6~7sec in the study area MAAS. The GPS-positions of the study area are identified as blunders based on a local polynomial regression. This cannot be neglected for precise block adjustment.

1. 서 론

항공사진측량은 그 존재 이래로 공간상의 모든 물체의 형태, 크기 및 위치를 가장 정확하고 경제적으로 결정하는 자료 획득 수단으로 인식되고 있으며, 오늘날 가장 중요한 활용분야는 지표면을 측량하고 도식화하여 지형도를 제작하는데 있다. 이러한 항공삼각측량의 탁월성도 촬영당시의 기하상태를 완전히 재현할 수 있

을 때 그 효용성을 발휘할 수 있으며, 외부표정은 가장 중요한 문제이다. 측지측량 분야를 비롯하여 항행, 항공기를 이용한 모든 측정 분야에 GPS가 아주 우수한 기법으로 인식되면서 항공사진에 의한 위치결정 분야에 공헌하였는데, 실시간으로 관측된 GPS 위치는 정확한 촬영비행, 사진 촬영지역의 중복도 축소에 도움을 주며, 수신기와 항공카메라의 연결은 계획된 위치에서 촬영을 할 수 있게 하여 준다.^{1,2)}

부가의 관측값으로서 동적 DGPS 측위로 결정된 투영중심 좌표를 이용하는 것은 결합블럭조정의 주요 문제점을 해결하였다. 하나의 비행 스트립에서 다른 스트

*부경대학교 공과대학 토목공학과 교수
**동의대학교 공과대학 토목공학과 교수
***동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정

립으로 회전비행시에 발생하는 cycle slips에 의해 야기되는 GPS 측위의 정오차가 2개 이상의 횡스트립의 설치로 블록의 기하구조가 안정되면 블록 모서리에 설치한 최소기준점을 이용한 결합블럭조정에서 지상좌표를 높은 정확도로 결정할 수 있으며, 일반적인 결과에서 10 cm나 그 이상의 지상 정확도를 얻을 수 있다. 그러므로 시간의 함수와 동시에 일치하지 않는 GPS 관측자료를 보관하여 정확도 저하를 유발할 수 있는 요소를 제거하고자 한다.

2. GPS-항공삼각측량에 필요한 좌표계

측지좌표계는 지표면의 모든 공간정보를 취득, 표시 또는 이를 활용하는데 필요한 기본 도구의 역할을 한다. 측지분야에 이용되는 좌표계는 그 목적에 따라서 매우 다양하다. GPS 위성 보조에 의한 항공삼각측량의 경우에는 WGS-84, 사진좌표계, 지상좌표계 등 세 좌표계가 중요한 의미를 갖는다. 결합블럭조정에서는 이 세 좌표계가 하나의 동일한 기준계 상에 표시되어야 한다. 따라서 충분한 정확도의 유지하에 좌표계 간의 상호변환이 필요하다. 그러나 실제에서는 평면과 높이측량이 분리되어 시행되므로 다음과 같은 문제점이 수반된다.

평면기준점은 기하학적으로 설정되는 반면 높이는 물리적인 방법에 의해 정의된다. 높이의 기준은 지오이드나 혹은 지역적 중력을 고려한 quasigeoid로 설정되며, 지표면의 표시 방법은 기하학적으로 매우 복잡하여 실측에 의해서만 가능하다. 실제 높이의 결정을 위해서는 레벨 또는 삼각수준측량을 사용하고 있다. 지상기준점은 일정한 수준원점을 기초로 하는 반면 GPS-높이는 항상 타원체고로 표시된다. 관측구역의 범위가 작을 경우에는 일반적으로 지오이드 기복고를 고려하지 않는데, 이는 결합블럭조정시 지오이드 기복고에 의한 오차가 shift, drift 변수에 의해 다 흡수되기 때문이며, 지형의 변화가 심하고 블록이 큰 경우에는 지오이드 기복고를 고려함으로써 정확도의 향상을 가져올 수 있다.³⁾

결합블럭조정은 수치 계산적인 문제로 인하여 다음과 같은 다른 어려움이 있다. 블럭조정은 직각좌표계를 전제로 하는 공선조건식에 기초하는 반면 지상기준점은 일반적으로 요철된 지형을 고려한 비직각좌표계인 지상좌표계로 표시된다.⁴⁾ 그럼에도 불구하고 사진좌표에 대해 지구의 곡률보정을 선행하면 일반적인 목적을

위한 항공사진의 활용은 지상좌표계 상에서 이루어져도 무방하다. 이때 지역적인 곡률 특성을 무시함으로써 망 전체에 미소한 크기의 편이가 발생하므로 곡률의 무시로 인한 오차가 커지면 직각좌표계 상에서 계산되어야 한다.

그러므로 항공사진의 활용시에는 주자오선을 고려한 동일 좌표계 상에서 이루어져야 한다. 지상좌표가 여러 자오선계로 표현되어 있으면 사전에 이를 동일 자오선계로 통일시켜야 한다. 동적으로 결정된 GPS-위치를 이용하는 결합블럭조정에서는 WGS-84 좌표계로 표현되므로, WGS-84에서 직접 직각좌표계로 회전한 다음 원점 변환을 시행하여 지상좌표계로 변환을 한다.^{5,6)}

3. GPS 수신기

GPS 수신기 설치 위치로는 카메라 바로 위의 비행기 동체나 수직균형 조정기의 끝이 적당하다. 비행기 동체에 설치하면 이점은 안테나의 상 중심이 카메라의 광축에 따라 설치될 수 있다는 것이며, 이는 수신기의 이격거리(offset) 벡터의 모형화와 측정을 단순화 시켜준다. 그러나, 비행기 동체에 설치하는 것은 항공기의 다른 부분에서 떨어진 multipath에 종속되기 쉬우며, Multipath는 위치 정확성을 떨어뜨린다.^{7,8)} 항공기 날개의 위치에 따라서 동체 위치는 비행기가 회전하는 동안 안테나의 그림자에 더 영향을 미칠지 모르며, 이는 cycle slips를 야기한다. 그러므로 수직균형 조정기에 설치하는 것은 multipath와 shadowing에 덜 민감하며, 카메라와 수신기가 항공기에 영원히 설치된다면, 이격거리 벡터는 단지 한 번만 측정되면 측정된 값은 여러 다른 작업을 위해서 사용될 수 있다.

특별한 경우에, GPS 수신기 설치에 가장 좋은 위치는 GPS 신호를 가장 잘 수신할 수 있는 곳이며, 이것은 항공기 설계에 달려 있고, 수신기 이격거리 벡터는 구성요소의 수나 길이에 상관없이 번들조정에서 더 정확하게 형성될 수 있다.⁹⁾

3.1 수신기-카메라의 시각동기화

GPS 수신기와 항공카메라는 카메라 노출이 기록되어 GPS 위치와 상관될 수 있도록 하기 위해 연결되어야 한다. 현대의 항공카메라는 수신기 출력을 위해 필요한 "노출파의 중심"을 가지고 있다. 이런 파들은 대

개 수십의 나노 초(nanoseconds)로 반복된다. GPS 수신기는 규칙적인 시간으로 자료를 기록하며, epoch는 사용자에 의해 조정될 수 있다. 사진측량 응용을 위한 일반적인 간격은 0.5 second 인 반면, 카메라 노출은 어느 시간에도 가능하며, 노출시의 카메라 위치는 GPS 위치로부터 보간된다. 이론적으로, 카메라는 노출시간을 정밀하게 기록하고, 보간은 시간으로부터 이루어진다. 그러나, GPS 수신기가 매우 정확한 시간기선을 가지고 있고, 대부분의 수신기가 카메라와 단순히 케이블로 연결되어 있기 때문에 수신기에서 노출시간을 기록하는 것이 좋다. 촬영 때마다, 카메라 신호가 수신기로 전송되며, 노출시간과 동일한 수신기 자료에 기록되고, GPS 수신기는 원하는 노출시간에 가장 가까운 GPS 주기에서 카메라를 작동하기 위해 사용되는 pulse-per-second를 공급한다.

이렇게 하여 노출순간을 GPS 관측시간과 1msec의 정확도로 일치시킬 수 있었으며, 새로이 개발된 카메라에서는 펄스화된 회전판식 셔터를 사용하므로써 그림 1과 같이 접근시간을 약 50 msec로 해결하였다.

펄스식 셔터에서는 자동화 장치에 의하여 노출신호를 보내어 정확히 50 msec 뒤에 셔터가 완전히 열리도록 하였다. 여기서 시간포착의 최대오차는 0.1 msec 정도로 미소하나 정밀한 GPS 항공삼각측량을 위해서는 50 μ msec 까지도 정확히 측정이 가능하다. 이렇게 기록된 신호는 차후 노출시간을 정확히 결정하는데 사용된다. 이론적으로 위의 방법은 매우 간단해 보이지만 실제적으로 동시노출은 기계적인 장치문제로 매우 어려

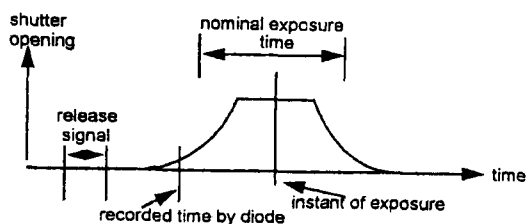


그림 1. GPS-위치결정을 위한 노출순간의 포착

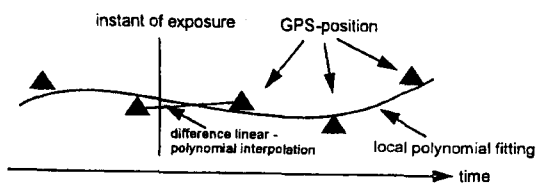


그림 2. GPS-관측과 노출시각

우며, 대개는 그림 2와 같이 먼저 노출순간만을 정확히 포착한 후 GPS-관측시간을 보간하고 있는 실정이다.¹⁰⁾

촬영순간을 위한 보간방법으로는 현재까지 선형보간 혹은 다항식법을 사용하고 있으며, 다항식법을 사용할 때 그 차수나 미지수의 결정은 촬영간격, 비행경로의 정확도에 의존한다.¹¹⁾

3.2 수신기-카메라 이격거리

동일한 좌표계와 수신기의 시각, 공간일치화는 GPS-위치를 결합 항공삼각측량에 이용하기 위한 기본조건이다. 이것은 GPS-위치와 사진좌표가 동일한 시간계를 가져야 함은 물론이고 그 좌표의 중심도 서로 같아야 함을 의미한다.¹²⁾ 공간적인 편심이 발생하는 원인은 GPS-수신기는 위성의 신호 수신을 위해서 비행기의 동체상부에 고정 설치되는 반면 촬영카메라는 항상 지상을 향해 비행기 동체의 하부에 장착되기 때문이다. 그림 3과 같이 사진중심에 대한 수신기의 위상 중심의 편심벡터는 미리 측정된 후 사진좌표계로 변환한다. 이때 광선의 입출구를 고려한 대물렌즈의 중심과 카메라의 몸체까지의 중심 차로 생기는 높이 차를 환산하여야 하는데, 편심위치의 결정은 현재까지 데오돌라이트를 이용한 지상관측법에 의존하여 왔는데 최근 근거리 사진측량에 의해 측정되어진다.

본 실험에서는 기내에 특수장치를 설치하여 비행선 X, Y, Z의 정확한 편심량을 측정하였으며 촬영 후에도 반복 측정된 후, 그 변화량을 고려 번들조정시 반영하였다. 편심오차 중 정오차 성분은 블럭조정시 간단히 발견하여 소거시킬 수 있으나 촬영 순간 비행동체의 변형, 엔진의 과열에 의한 카메라의 왜곡에 대한 모델화는 극히 어려우며 특히 풍속을 고려한 편류각(drift angle)의 보정을 위해 카메라를 완전 고정할 수 없으므로 약간의 부정오차가 부가적으로 발생한다.

한편 위에서 설명한 공간일치 문제에 더하여 시간적

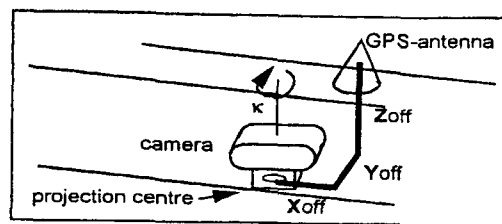


그림 3. 수신기 이격거리

인 동기화 문제가 발생하는데 이는 기본적으로 GPS의 수신과 카메라의 노출이 다른 시각에 행하여지기 때문이다. 즉, 다시 말해서 GPS 수신은 GPS time을 기준으로 1초 정도의 간격으로 촬영은 상용시를 기준으로 측정과 비행속도를 고려하여 미리 설정된 적당한 간격으로 각각 독립적으로 이루어지기 때문이다. GPS 수신 시각과 노출을 동시에 기록할 수 있는 장치를 이용하면 이상적이나 현재로서는 그렇지 못하며 대부분 부가의 기계장치를 이용하여 노출 순간의 시각을 정확히 기록한다. 본 연구에서는 감광도가 매우 좋은 Diod를 사진건판에 부착하여 카메라를 100% 구개된 순간을 Diod가 포착하여 그 시각을 GPS의 수신기에 전달되도록 하였다. 그 후 GPS 위치는 노출순간의 시각을 기준으로 하여 선형보간법으로 수정된 후 노출점의 위치로 표시된다.

4. 동적 GPS 관측과 관측값 처리

본 연구는 GPS-항공삼각측량의 비행실험과 관련된

장비, 기술, 인력 등이 국내에서는 거의 전무하여 독일 Hannover 대학의 항공사진측량연구소와 지구측량연구소의 협조를 얻어 관측값을 획득하였다. 본 연구대상지역인 Rheinkamp는 독일 루르 광산지대 (Ruhr region) 의 하나인 두이스부르크 (Duisburg) 부근으로 1989년에 실험되었다. 블록의 크기는 약 8 km×8 km이며 중중복도 80%, 횡 중복도는 30%로 하여 15 스트립에 총 454 매의 사진을 촬영하였다. 이중 다섯 스트립은 횡 스트립으로 블록의 기하구조를 강하게 하기 위해 설치하였다. 촬영지역내에도 하나의 기준수신점을 설치하여 동일 수신기인 TI 4100으로 비행기와 지상에서 동시에 관측을 하였다. 본 실험에 이용된 TI 4100 수신기는 미정부의 후원 아래 84년 개발된 코드에 종속하는 2 주파수 수신기로 수신간격은 원래 3초이다. 80년대의 대부분 GPS에 관한 연구는 이 수신기를 사용하였으며 현재도 이용하고 있으나 덩치가 크고 전력소모가 많은 단점들이 있다. 위성의 평균 PDOP는 5~7이었으며, 1.2초 간격으로 지상과 항공기에서 동일 위성을 관측하였다.

표 1. GPS-Rheinkamp의 비행자료

촬영용 항공기 비행 속도 비행 고도	Cessna 404 210 km/h 1200 m	Photos/strips Photo/object points Photo/point	454/15 (5 횡스트립) 29500/4856 6
카메라 초점 거리 촬영 간격	Zeiss RMK 20/23 305.010 mm 3 sec	기준점 수 자 정확도	21 full/133 height ±2-3 cm
블록 크기 사진측척 중복도	8 km×8 km 1:4030 p=80%, q=30%	GPS수신기 data rate 관측기법	4 TI 4100 3 sec Kinematic DGPS

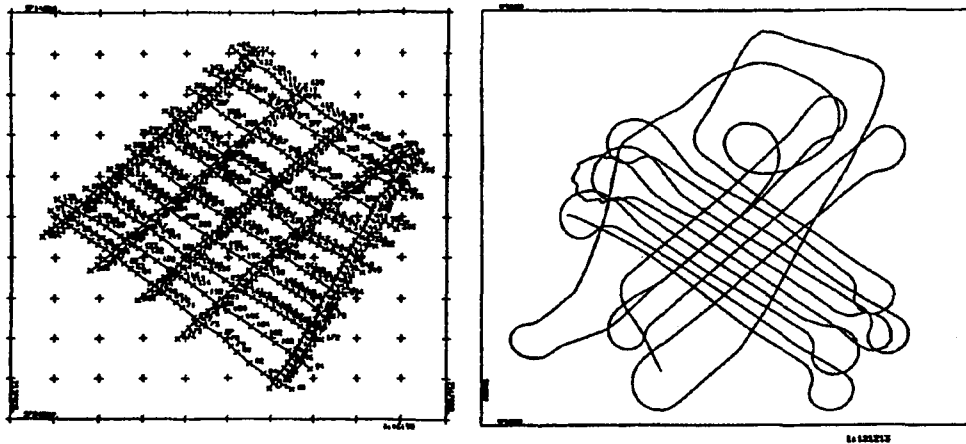


그림 4. Rheinkamp 지역의 GPS 관측에 의한 블록의 형상 및 비행궤적

이와 동시에 4.5초 간격으로 항공사진촬영을 하였다.

GPS 관측값은 지구측량연구소에서 개발되어 현재 GeoSpace에서 상업용으로 계속 확장중인 GEONAP (GEOdetic NAstar Positioning)을 이용하였으며, 이 프로그램의 기본원리는 매개변수 추정법에 의해 미지수를 결정하며 신속관측 뿐만 아니라 동적 특히 해상관측과 관련된 실시간 비행 및 위치결정이 가능하다. 블록 형상과 GPS 관측에 의한 비행계획은 그림 4와 같고, 그 외 비행자료는 표 1에 수록하였다.

GPS-항공삼각측량 Maas는 네덜란드의 KLM 항공사와 델프트 측량국에 의해서 공동으로 1994년에 이루어졌으며, 블록의 크기는 12 km × 4 km이다. 블록은 횡스트립 없이 총 다섯 개의 긴 종스트립으로 이루어졌으며, 종 중복도 60%, 횡 중복도 30%이다. 사진축척은 1:4,000, 비행고도 600 m이며 RC-20카메라($f=153.229$ mm)로 총 182매의 사진을 촬영하였다. 블록 전체에는 약 ± 2 cm의 정확도로 총 129개의 기준점을 설치하였다. 그림 5에 나타난 바와 같이 블록의 형상과 비행계획

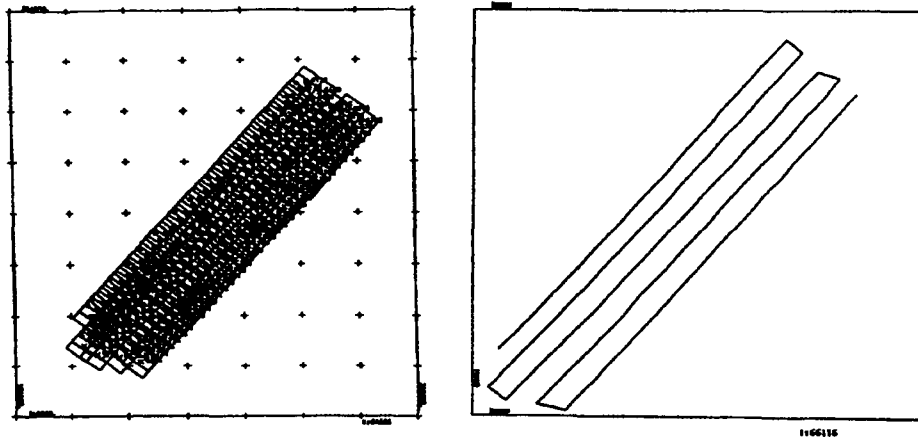


그림 5. Maas 지역의 GPS 관측에 의한 블록의 형상 및 비행계획

적을 이루고 있으며, 비행자료는 표 2에 수록하였다. 이러한 5년간의 시간차이가 있는 두 연구대상지역의 관측값은 위성의 상태, 수신기, 촬영용 카메라의 발달 등으로 인한 정확도의 변화를 보여준다.

비행중 잦은 cycle slips의 영향과 기타 오차요인들에 의해서 정확도의 저하를 초래하였으며, 특히 회전 비행시에 장시간의 신호차단에 의해 그림 6과 그림 7에 나타난 바와 같이 스트립마다 각각 특성이 다른 일정한 선형변이량 즉 shift가 생겼다.

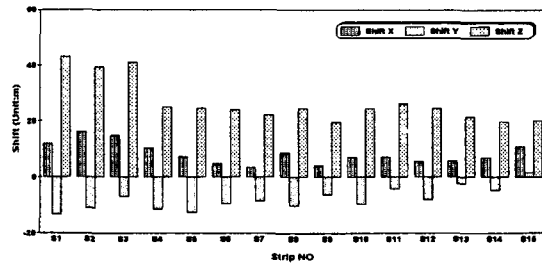


그림 6. RheinKamp 지역의 GPS 관측의 정오차

표 2. GPS-Maas의 비행자료

촬영용 항공기 비행 속도 비행 고도	KLM Aerocarto 210 km/h 600 m	Photos/strips Photo/object points Photo/point	182/5 (5 횡스트립) 3151/957 6
카메라 축척 거리 촬영 간격	RC-20 15/23 153.229 mm 6-7 sec	기준점 숫 자 정확도	129 $\pm 2-3$ cm
블 록 크 기 사진축척 중 복 도	12 km × 4 km 1:4030 p=60%, q=30%	GPS수신기 data rate 관측기법	Trimble 3 sec Kinematic DGPS

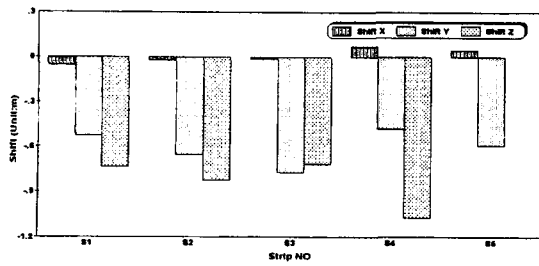


그림 7. Maas 지역의 GPS 관측의 정오차

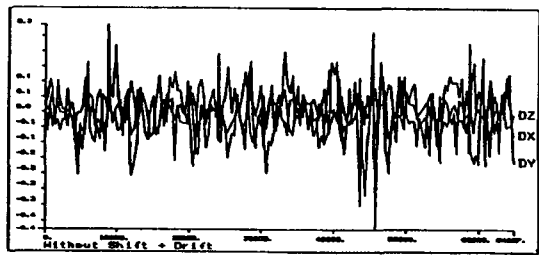
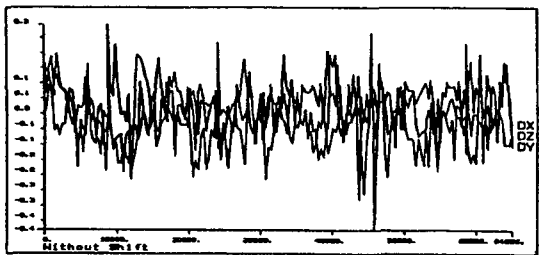


그림 8. GPS 관측값의 shift, drift 소거 후 오차분석도

위와 같이 동적 GPS 관측 동안 발생한 shift를 소거하고, 시산의 증가에 따라 선형으로 증가 또는 감소하는 drift 오차를 소거한 후 오차를 분석하면 다음 그림 8과 같이 잔존하는 오차가 있음을 알 수 있다.

5. 결합블럭조정을 위한 투영중심좌표의 결정

보간은 선형이나 최소제곱법으로 이루어지는데, 항공기의 비행경로에 대한 정보에 근거하여야 하며, 대기의 교란, 지상고도와 기상조건에 따라서도 다를 수 있다.

스트립 방향에 있어서의 인접한 GPS 위치좌표의 차이를 분석해 보면 그림 9와 같이 나타나며, 그림 9의 아래 부분과 같이 비행방향의 변화는 2차 미분으로 더욱 명확하게 나타나며, 이것은 가속도와 일치한다.

그리고 이러한 불규칙성은 그림 10과 같이 비행고도의 변화를 보아도 알 수 있다. 즉 스트립 변경을 위한

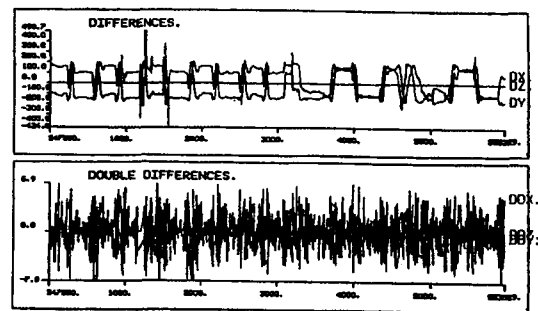


그림 9. 스트립 방향에 있어서의 인접한 GPS 위치좌표의 차이

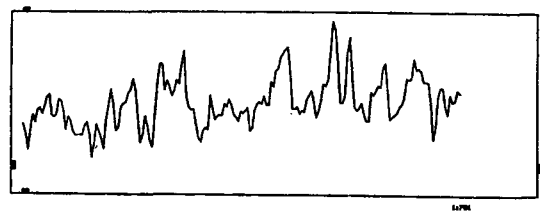


그림 10. 비행고도의 변화

회전시 기준점 상실에 의해 발생한다.

위와같은 분석결과를 토대로 GPS 관측값에 포함된 shift를 소거한 후 번들조정의 투영중심좌표를 0으로 하여 편차값을 각 스트립 별로 분석하면 그림 11과 같이 나타난다. 횡축은 한 스트립당 소요된 GPS 관측시간을 종축은 번들조정 값에 대한 편차를 나타내고 있다.

위의 그림에서 알 수 있듯이 GPS 편차는 거의 일정하나 어느 시점에서 돌출하는 부분이 발생하는 이유는 관측시간 동안 위성의 기하가 변한다든지 또는 비행기의 가속에 의한 영향이다. 이렇게 하여 GPS오차의 특성을 파악하여 각 epoche 마다의 관측값에 대한 정확도를 분석하였는데, Rheinkamp 지역은 총 454개의 GPS 관측값 중 수신상태가 불량한 부분은 삭제하고 총 305개의 GPS 관측값을 이용하여 분석한 결과 그림 12~그림 15와 같고, Maas 지역은 총 182개의 GPS 관측값을 모두 이용하여 분석한 결과 그림 15~그림 17과 같이 각 스트립 별로 투영중심을 결정할 수 있었다.

선형보간과 2차, 3차 다항식 법에 의하여 각 스트립 별로 투영중심의 위치를 결정한 결과 회전비행시 몇몇 위성이 수신 불가능하고, 위성의 수가 4개 이하가 되는 cycle slips에 의해 위치에서 일정한 오차가 야기되고, 시간에 종속되는 것을 알 수 있으며, 그러한 스트립에서는 투영중심의 정확도가 저하되는 것을 알 수 있었

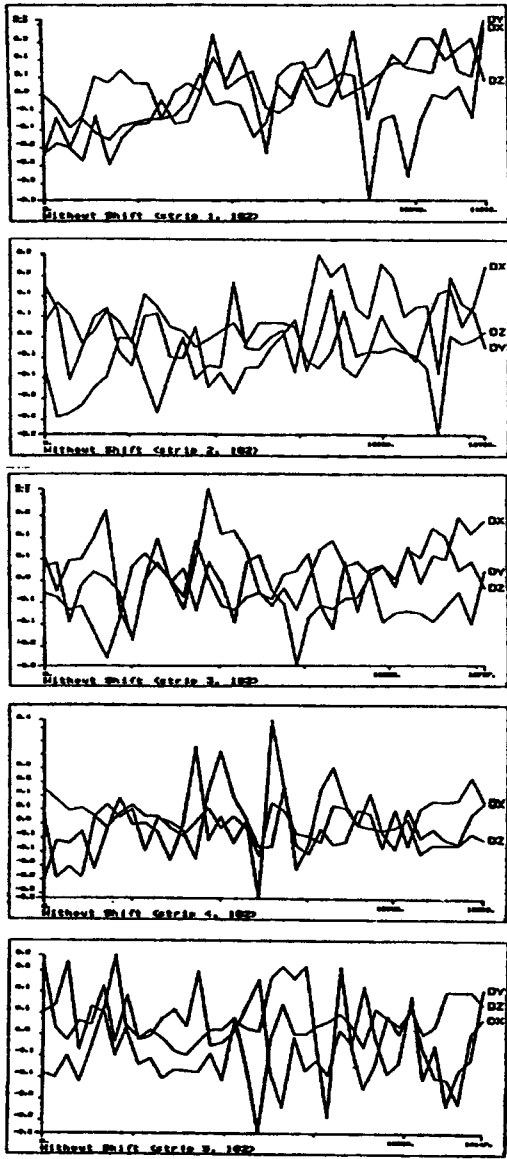


그림 11. GPS 관측값의 스트립별 오차 분석도 (Maas 지역)

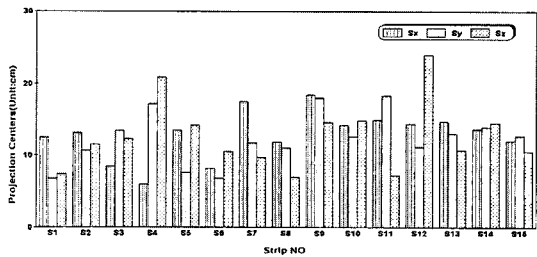


그림 12. 선형보간에 의한 Rheinkamp 지역의 스트립별 투영중심의 결정

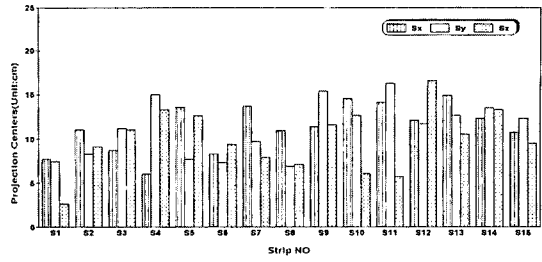


그림 13. 2차 다항식보간에 의한 Rheinkamp 지역의 스트립별 투영중심의 결정

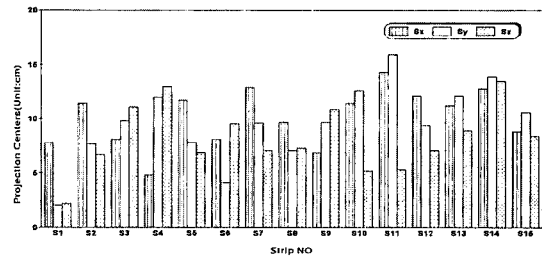


그림 14. 3차 다항식보간에 의한 Rheinkamp 지역의 스트립별 투영중심의 결정

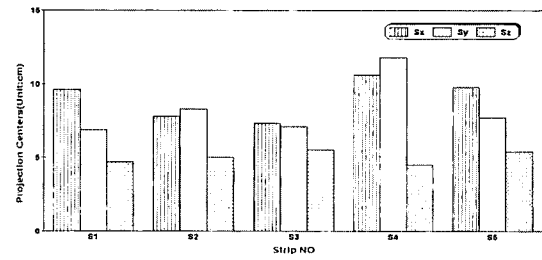


그림 15. 선형보간에 의한 Maas 지역의 스트립별 투영중심의 결정

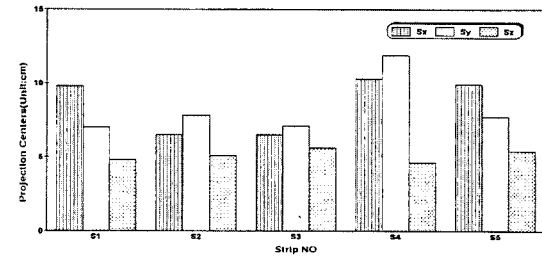


그림 16. 2차 다항식보간에 의한 Maas 지역의 스트립별 투영중심의 결정

다. 그리고 연구대상지역 전체 스트립에 대하여 동적 GPS관측값을 선형보간과 다항식 보간법을 적용하여 투영중심의 정확도를 계산해 본 결과 표 3과 같이 얻을

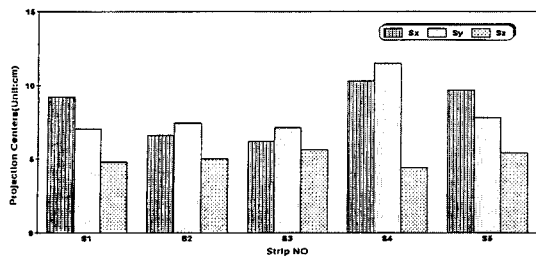


그림 17. 3차 다항식보간에 의한 Maas 지역의 스트리프별 투영중심의 결정

표 3. GPS 관측값의 fitting 후의 정확도

Test field	Fitting	S _x (cm)	S _y (cm)	S _z (cm)
Rheinkamp	Without shift	22.6	19.9	19.0
	Without shift+drift	12.8	12.9	12.8
	Polynom t ²	12.3	12.0	10.5
	Polynom t ³	11.0	11.1	8.5
Maas	Without shift	9.0	10.0	7.2
	Without shift+drift	9.1	8.3	5.2
	Polynom t ²	8.8	8.2	5.2
	Polynom t ³	8.5	8.1	5.2

수 있었다. 이러한 두 연구대상지에 대한 분석 결과에서 위성의 완전한 배치, 12채널 수신기의 개발 등으로 인해 투영중심좌표의 정확도가 많이 향상된 것을 알 수 있었으며, 보간된 관측값을 바탕으로 그 이용 여부를 신속히 판단하여 결합 번들블럭조정에 활용할 수 있다.

6. 결 론

부가의 관측값으로 동적 GPS 관측에 의해 결정된 투영중심 좌표를 이용한 결합블럭조정은 위성수의 증가와 수신기의 발달 등으로 인하여 항공삼각측량의 표준 도구로 사용되는 추세다.

따라서 본 연구에서는 투영중심 결정을 위한 GPS 수신기 위치의 보간을 위해 선형보간법, 다항식 법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 스트리프 변경을 위한 회전 비행시의 신호차단, GPS 관측값의 shift와 drift, 위성형상의 변화 등의 정오차에 의해 투영중심의 정확도 저하를 초래하였다.
2. 연구대상지에 대한 투영중심의 좌표를 시간의 함수로 선형보간법과 다항식 법에 의해 보간한 결과 10 cm 이내의 정확도로 결정할 수 있었다.

3. 촬영비행 동안 위성의 기하상태와 비행기의 가속에 의한 영향 등을 고려하고, 시간에 비례하여 선형 혹은 비선형으로 나타나는 drift 오차를 소거하기 위해서는 다항식 법에 의해 보간하는 것이 좋다.

4. 두 연구대상지에 대한 동적 DGPS 관측값을 이용하여 투영중심좌표를 결정한 결과 관측일시와 관측장비, 위성의 완전한 배치 등으로 인하여 정확도가 많이 향상되었으며, 비행동체의 거동을 수학적으로 정확히 모형화하여 정확도를 향상시키기 위해서는 비선형의 공기동력학 계수를 고려해야 하고, 시각동기화가 가능한 촬영카메라의 개발과 관측측량기등을 이용한다면 정밀 결합블럭조정을 위한 투영중심좌표를 결정할 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 97년도 한국과학재단 핵심전문연구과제(과제번호:971-1207-025-2)의 연구비 지원에 의해 수행된 연구의 일부로서 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

1. Friess, P., Aerotriangulation with GPS-Methods, Experience, Expectations, Proceedings of the 43rd Photogrammetric Week, Stuttgart, Germany, 1991, pp.43-50.
2. Lucas, James R., Aerotriangulation without Ground Control, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 53(3):311-314, 1987.
3. Colomina, I., A note on the analytics of aerial triangulation with GPS aerial control., PE & RS, Vol. 59, No.11, 1993.
4. Jacobsen K., Combined Adjustment with kinematic GPS Data, User Manual BLUH, 1993.
5. Jacobsen, K., LI, K., Recent experiences in combined block adjustment with kinematic data., IUSM, Washington, 1992.
6. Jacobsen, K., GPS-Photogrammetry., Workshop on Advances in Photogrammetry and Cartography for Mapping, Anna Universitz, Madas, 1994.
7. Ackermann, F., Englich, M., Kilian, J., 1994, Die Laser-Profil-Befliegung Gammertingen 1992, Zeitschrift fuer Vermessungswesen, 1994, pp.264-277.
8. Herms, P., 1992, Einsatz von GPS fuer die Navigation von Messfluegen, Journal for Satellite-Based Positioning, Na-

- vigation and Communication, 1992, pp.101-103.
9. Jacobson, K. 1992, Handling of Disturbed Kinematic GPS-Data in Block Adjustment: ISPRS, Washington 1992.
 10. Jacobson, K. 1993, Experiences in GPS Photogrammetry, Phot. Eng & Rem. Sens., 1993 pp.1651-1658.
 11. Jacobson, K. 1994, Combined Block Adjustment With Precise Differential GPS-Data, ISPRS, Com. III, Munich 1994.
 12. Kilian, J., Englich, M. 1994, Topographische Gelaenderfassung mit flaechenhaft abtastenden Lasersystemen, Zeitschrift fuer Photogrammetrie und Fernerkundung, 1994, pp.207-214.
 13. Seeber, G. 1993, Satellite Geodesy, de Gruyter, Berlin and New York.
 14. 박운용, 임영빈, 이재원, "정밀 측지측량을 위한 GPS 신속관측기법들의 활용에 관한 연구", 대한토목학회 논문집 제15권 4호, 1995, pp.961-973.
 15. 박운용, 강준목, 이재원, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량", 대한토목학회 논문집 제15권 6호, 1995, pp.1731-1742.
 16. 박운용, 이종출, 윤경철, 신상철, "동적 GPS 관측에 의한 결합 번들블럭조정의 정확도", 대한토목학회 학술발표회(III), 1996, pp.71-74.
 17. 박운용, 이종출, 윤경철, 신상철, "다중수신점에 기초한 동적 GPS 관측에 의한 정밀 결합블럭조정", 대한토목학회 학술발표회(III), 1997, pp.113-116.