

KOMPSAT-1입체 스트립 영상의 3차원 기하 모델링

3D Geometric Modeling of KOMPSAT-1 Stereo Strip Imagery

유환희* · 손홍규** · 김성삼*** · 정주권****

Yoo, Hwan Hee · Sohn, Hong Gyoo · Kim, Seong Sam · Jeong, Ju Kweon

* 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수(055-751-5321; hhyoo@nongae.gsnu.ac.kr)

** 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 조교수(02-2123-2809; sohn1@yonsei.ac.kr)

*** 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정(055-751-5321; kimss333@netian.com)

**** (주)E&G 정보기술(042-345-2246; jjk@engit.com)

要 旨

비접근지역이나 넓은 지역의 3차원 위치정보를 취득하기 위하여 본 연구에서는 KOMPSAT-1호 EOC 스트립 영상과 헤더자료를 이용한 3차원 기하모델링 기법을 개발하고 오차특성을 분석하였다. ECEF 좌표계로 제공되는 위성 헤더자료를 위성궤도 모델링에서 일반적으로 사용되는 ECI 좌표계로 모델링하는 경우와 ECEF 좌표계로 모델링하는 경우에 대해 비교 분석하고 단영상으로 제공되는 KOMPSAT-1호 EOC 영상을 스트립영상으로 재구성한 후 기준점배치에 따른 오차보정기법을 제시하고 오차특성을 분석하였다.

1. 서론

최근 지형공간정보체계 구축에 있어 고해상도 위성영상의 보급과 더불어 영상지도 제작에 관한 관심이 고조되고 있다. 1m급의 고해상도 위성영상이 출현함에 따라 종래의 위성영상들의 낮은 해상도에 따른 응용분야의 한계를 벗어나 더욱 광범위한 지형정보 추출에 위성영상들을 활용할 수 있게 되었으며, 종래의 항공사진에 의한 지형공간정보 취득과 비교하여 넓은 지역을 일정주기로 관측하므로 비접근지역도 관측이 가능해졌으며, 신속하고 용이한 분석 또한 가능하게 되었다. 특히, SPOT 위성이 발사되어 입체 영상취득이 가능하게 됨으로서 위성영상을 이용한 3차원 위치 결정을 위한 기하학적 모델링 기법이 연구되기 시작하였다. 하지만 그 동안의 대부분의 연구들은 많은 지상기준점을 이용한 센서 모델링을 시도하여 3차원 위치결정을 하였기 때문에 지상기준점의 취득에 대한 어려움과 비접근지역의 경우 3차원 위치결정이 어려운 실정이었다.

따라서 위성영상에서 제공하는 영상헤더정보를 이용한 궤도모델링을 수행하고 최소기준점(1~2점)만을 이용하여 궤도요소를 검정하고 3차원 위치를 결정하는 기법을 개발함으로써 비용과 시간을 절감하고 기존의 모델링의 문제점을 해결할 수 있다.

또한 비접근지역의 지상 3차원 위치결정 시 기준점 취득이 불가능하여 지상 3차원 위치결정이 어려운 실정이지만 스트립 영상을 이용할 경우 비접근지역에 대한 3차원 위치결정이 가능하며, 스트립 조정을 수행함으로써 넓은 지역을 최소 기준점으로 동시조정이 가능하기 때문에 지상 3차원 위치결정의 시간 및 경제적 측면에서 유용하다.

따라서 본 연구는 동일한 촬영경로에서 취득된 연속영상을 스트립으로 구성하고 영상헤더정보와 최소기준점을 이용하여 위성궤도 모델링과 3차원 위치결정 모델링 기법을 개발하고 정확도를 평가함으로써 비접근 지역이나 넓은지역의 3차원 정보를 취득하는 데 그 목적이 있다. 따라서 동일궤도에서 연속적으로 촬영된 여러 장의 단영상으

로 3차원 위치결정을 수행할 수 있는 두 가지 모델링 기법을 제안하였다. 첫째로, 연속된 단영상 처리기술로서 동일한 궤도에서 촬영된 연속적인 영상 중 하나의 영상에서 지상기준점을 통한 궤도모델링과 오차보정 모델링을 수행하여 오차보정량을 계산하며, 다른 영상에 계산된 오차보정량을 적용하는 방법이다. 둘째로, 스트립영상 처리기술로서 연속적인 영상을 모두 스트립으로 구성하여 하나의 스트립 영상을 모델링하는 방법으로 그림 1과 2는 그 자료처리과정을 나타내고 있다.

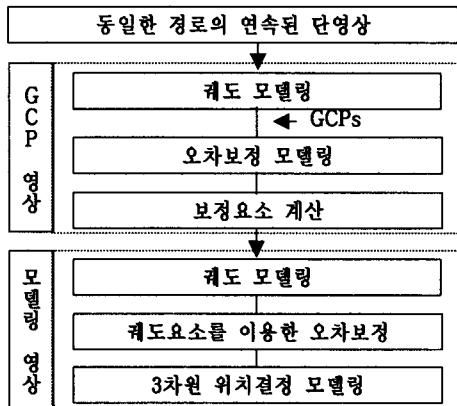


그림 1. 연속된 단영상처리

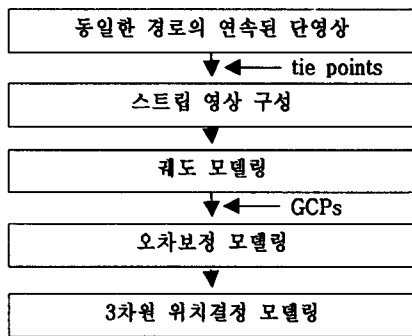


그림 2. 스트립영상 처리

2. 스트립 영상의 3차원 위치결정 모델링

2.1 스트립 영상의 구성

KOMPOSAT-1 위성은 17km의 폭으로 800km까지 연속촬영이 가능하다. 그러나

사용자에게 공급함에 있어 2797라인으로 구성된 단영상만 공급하고 있으며, 이는 인접 영상과 약 30%의 중복된 부분을 포함하고 있다. 또한, 인접영상은 서로 중복되는 천체력 자료와 자세자료를 가지고 있다. 따라서 동일한 경로에서 촬영된 단영상들의 중복부분을 이용하여 스트립 영상을 구성할 수 있다. 스트립 영상의 구성은 영상좌표의 재구성 과 영상헤더의 스트립 구성으로 나눌 수가 있다. 영상좌표의 재구성은 인접영상과의 접합점을 이용하여 영상의 중복부분을 제거 후 하나의 스트립 영상의 FCS(Frame Coordinate System)좌표를 계산한다. 그리고 천체력자료와 자세자료는 중복되는 부분을 제거하여 스트립 영상의 천체력자료와 자세자료를 구성한다. 마지막으로 스트립 영상의 중심시간은 처음 영상의 영상중심시간과 스트립영상의 전체 라인수를 이용하여 계산한다.¹⁾

2.2 궤도 및 자세 모델링

천체상의 위성 위치는 궤도가 타원체라는 가정 하에 Keplerian 궤도요소에 의해 정의된다. 그림 3과 4는 ECI (Earth Centered Inertial) 좌표계와 ECEF(Earth Centered Earth Fixed) 좌표계에서 위성궤적을 나타낸 것으로 지구의 자전과 좌표계와의 관계가 서로 독립적인 ECI 좌표계에서는 지구가 자전하더라도 좌표계는 고정되어 있기 때문에 위성의 궤도가 타원체를 이룬다. 반면, ECEF 좌표계는 지구의 자전과 함께 좌표계가 회전하므로 회전하는 위성의 궤도를 알기가 쉽지 않다. 따라서 궤도를 정의하기 위해서는 ECI 좌표계와 같은 관성좌표계가 기준이 되어야 한다. 하지만 KOMPSAT-1 호 위성영상의 헤더정보의 위성 위치와 속도벡터는 ECEF 좌표계로 제공이 되고 있으며, 지상의 3차원 위치결정을 위해서는 ECEF 좌표계의 개념이 도입되어야 한다.

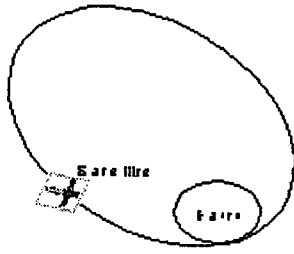


그림 4. ECI 좌표계에서
본 위성의 궤도

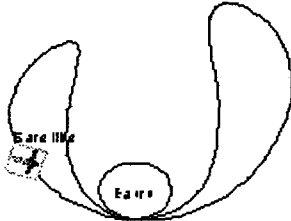


그림 5. ECEF 좌표계에서
본 위성의 궤도

각각의 천체력점의 궤도요소는 천문학에서 사용하는 ECI 좌표계의 개념으로 모델링을 수행하였다.^{1),2),3),4),5),6)} 하지만 승교점(ascending node)의 경도(Ω)는 지구의 자전속도와 동일한 크기로 지구자전방향의 반대방향으로 회전을 수행하여야 한다. 따라서 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.^{7),8),9),10),11),12)}

$$\Omega = \Omega_0 - W_e(t - t_0) \quad (1)$$

여기서, Ω_0 는 위성의 승교점을 지날 때 ECEF 좌표계의 X축을 기준으로 승교점까지의 경도를 나타내며, W_e 는 지구자전속도, t 는 천체력점의 시간, t_0 는 위성이 승교점을 지날 때의 시간을 나타낸다.

각각의 천체력점의 궤도요소를 이용하여 임의점의 궤도요소를 계산하기 위하여 궤도요소와 자세자료 각각을 영상중심시간을 기준으로 한 시간의 다항식을 구성하였다.

2.3 3차원 위치결정 모델링

위성영상을 이용한 3차원 위치결정은 궤도 모델링을 통한 위성의 위치를 결정한 후 공간전방회법으로 3차원 위치를 결정하였다. 그 과정은 어떤 주어진 시간에 영상에서 임의점의 센서좌표계(sensor coordinate

system)의 좌표를 계산하고 시간의 다항식에 의해 계산된 해당 점의 궤도요소를 이용하여 위성의 위치를 결정 후 지상의 3차원 위치를 결정하였다.^{7),9),12)}

임의점의 위성 3차원 위치를 결정하기 위해서 영상중심과 임의점까지의 시간을 계산하고 시간의 다항식에 대입하여 임의점의 6개 궤도요소와 3개의 자세요소를 계산하게 된다. 이를 이용하여 지구 중심으로부터 위성의 공칭위치까지의 거리, 좌표계 회전행렬(M_b)을 계산하게 되며 위성의 공칭위치는 식(2)에서 계산된다.

$$\begin{bmatrix} X_s' \\ Y_s' \\ Z_s' \end{bmatrix} = M_b' \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_s' \end{bmatrix} \quad (2)$$

3차원 모델링 과정은 최종적인 지상의 위치를 결정하는 과정으로 좌/우측의 스테레오 영상을 이용하여 지상점의 표고를 계산하고 3차원 위치를 결정해야 한다. 표고는 좌측영상과 우측영상의 반복적 계산과정을 통해 결정되며, 좌측영상에서의 3차원 위치와 우측영상에서의 3차원 위치를 결정한 후 그 차이가 최소가 되도록 표고값을 변화시켜 최적의 표고값을 결정한 후 3차원 위치를 결정하였다.

2.4 오차보정 모델링

식 (3-3)에서와 같이 실제 위성의 위치(\vec{P}_{act})는 위성의 헤더정보만을 이용하여 계산한 위성의 nominal position vector(\vec{P}_{nor})와 위성의 위치편위(Δ_s)로 나타낼 수 있다. 그리고 지상 3차원 위치편위는 위성의 위치편위(Δ_s)와 위성 자세의 편위에 의해 발생하게 된다.

$$\vec{X} = \vec{P}_{act} + \Delta_s \quad (3)$$

이러한 위성의 위치편위는 영상시간의 불일치로 영상중심시간과 천체력 점의 시간의 불일치로 간주하였다. 따라서 천체력 점에 대하여 지상기준점을 이용하여 영상중심시간의 보정시간을 결정 후 궤도요소를 다시

결정하여 위성의 위치편위를 제거하였고 위성의 자세를 보정하여 지상의 위치편위를 제거하였다. 이 때, 보정시간 및 위성의 자세요소 보정량의 결정은 보정요소와 오차의 크기가 이차원 포물선 형태를 보임으로서 오차가 최소가 되는 점을 보정시간 및 위성의 자세요소 보정량으로 결정하였다. 보정시간 및 자세요소 보정량 중 보정시간은 위성의 진행방향으로 발생하는 오차의 보정을 수행하며, roll 회전량의 보정요소는 위성의 진행방향으로 발생하는 오차 제거 후 위성 궤도방향의 직각방향으로 발생하는 오차의 보정을 수행하였다.⁷⁾

3. 결과 분석

3.1 연구 사용 영상

본 연구에 사용된 KOMPSAT-1호 위성 영상은 2000년 4월 28일과 동년 5월 1일 취득된 논산지역을 통과하는 좌/우측 동일한 궤도에서 촬영된 6장의 영상이며 관측각이 -12° , $+19^\circ$, 기선고도비(B/H)가 0.6이다. 영상이 포함하는 지상 영역은 $17\text{km} \times 80\text{km}$ 으로 지상기준점은 1/5,000 수치지도에서 132 점을 취득하여 한 점 또는 두 점을 기준점으로 사용하였으며, 나머지는 검사점으로 사용하였다. 동일한 경로에서 촬영된 연속된 영상의 ID를 좌측경로 영상은 L01~L06, 우측경로 영상은 R01~R06으로 지정하였다.

3.2 스트립 영상의 구성

연속적으로 촬영된 단영상들은 인접영상과 약 30%의 중복된 부분을 포함하며, ancillary data 또한 인접한 영상과 약 70~80% 중복되어 있으므로 이러한 중복되는 부분을 제거하여 스트립 영상을 구성하였다. 스트립 영상은 좌/우측 경로 6장의 영상에 대해 총 5점의 집합점을 이용하였으며, 구성된 좌측스트립 영상의 전체 라인수는 12,300 라인, 중심시간은 2000년 4월 28일 6561.377625 sec이며, 우측 스트립 영상

의 라인수는 12,200 라인, 영상의 중심시간은 2000년 5월 1일 7625.096539 sec이다. 좌·우측 스트립 영상 라인수에 차이가 발생하는 것은 단영상의 제공시 인접영상과 중복부분이 영상마다 다르기 때문이다.



a. 논산지역 좌측 스트립 영상



b. 논산지역 우측 스트립 영상

그림 5. KOMPSAT-1 EOC 스트립 영상

3.3 ECI와 ECEF 좌표계 기준 모델링 분석

3.3.1 ECI 좌표계 기준의 궤도요소 계산

ECEF로 제공되는 좌측 스트립 영상의 각 천체력점의 위성의 위치와 속도벡터를 ECI 좌표계로 변환한 결과값은 표 1과 같다. ID는 새로 구성한 스트립 영상헤더자료 중 천체력점의 ID를 나타낸 것이며 GAST는 그리니치 자오선의 항성시로서 ECI 좌표계의 X축(춘분점)과 그리니치 자오선이 이루는 각이다.

표 1. ECI 좌표계상의 위성위치와 속도벡터

ID	GAST (deg)	X(km)	Y(km)	Z(km)	가속도 X (km/s)	가속도 Y (km/s)	가속도 Z (km/s)
1	243.4153	5547.3401	1188.4240	4207.8500	-4.0372	-2.2246	5.9329
2	243.4110	5551.3834	1190.6375	4201.9099	-4.0309	-2.2233	5.9377
3	243.4067	5555.4136	1192.8459	4195.9700	-4.0246	-2.2219	5.9424
4	243.4025	5559.4352	1195.0582	4190.0299	-4.0183	-2.2206	5.9472
5	243.3982	5563.4571	1197.2700	4184.0799	-4.0121	-2.2192	5.9519
6	243.3939	5567.4660	1199.4766	4178.1199	-4.0058	-2.2179	5.9567
7	243.3896	5571.4753	1201.6827	4172.1700	-3.9995	-2.2165	5.9614
8	243.3853	5575.4760	1203.8827	4166.1999	-3.9932	-2.2151	5.9661
9	243.3811	5579.4726	1206.0931	4160.2299	-3.9869	-2.2138	5.9708
10	243.3768	5583.4605	1208.2975	4154.2600	-3.9806	-2.2124	5.9756
...

표 2는 ECI 좌표계의 위성 위치와 속도벡

터를 이용하여 각 천체력점에 대하여 계산한 궤도요소의 결과값이다.

표 2. ECI 좌표계 기준의 궤도요소

ID	t_f (sec)	i (deg)	Ω (deg)	ω (deg)	a_s (km)	e_s
1	600.6953	98.1717	18.2059	115.4853	7065.4244	0.0014
2	600.6946	98.1717	18.2058	115.4510	7065.4340	0.0014
3	600.6938	98.1717	18.2056	115.3765	7065.4451	0.0014
4	600.6930	98.1717	18.2055	115.1988	7065.4765	0.0014
5	600.6927	98.1717	18.2054	115.1530	7065.4887	0.0014
6	600.6903	98.1717	18.2053	114.9983	7065.5094	0.0014
7	600.6910	98.1716	18.2051	114.8665	7065.5409	0.0014
8	600.6892	98.1716	18.2050	114.7405	7065.5624	0.0014
9	600.6883	98.1717	18.2049	114.6603	7065.5766	0.0014
10	600.6881	98.1717	18.2048	114.5399	7065.6027	0.0014
...

표 2에 나타나 있듯이 각 천체력점의 궤도요소는 미소한 변화량이 있음을 알 수 있다. 특히 ω 의 경우는 그 변화량이 다른 궤도요소에 비하여 크게 나타나며, KARI(한국항공우주연구원)에서는 KOMPSAT-1호 위성의 경우 ω 에 있어서 30초에 3.4°정도 변화량이 있다고 제시하고 있다.

3.3.2 ECEF 좌표계 기준의 궤도요소 계산

좌측 스트립 영상의 각 천체력점의 위성 위치와 속도벡터를 이용하여 계산한 6개의 궤도요소를 표 3에서 보여주고 있다.

표 3. ECEF 좌표계 기준상의 궤도요소

ID	t_f (sec)	i (deg)	Ω (deg)	ω (deg)	a_s (km)	e_s
1	600.6958	98.1737	137.3310	115.4071	7065.4244	0.001429
2	600.6951	98.1737	137.3310	115.3730	7065.4340	0.001430
3	600.6943	98.1737	137.3310	115.2982	7065.4451	0.001429
4	600.6935	98.1737	137.3310	115.1181	7065.4764	0.001428
5	600.6933	98.1736	137.3309	115.0724	7065.4887	0.001429
6	600.6909	98.1737	137.3309	114.9161	7065.5094	0.001428
7	600.6915	98.1736	137.3309	114.7829	7065.5409	0.001428
8	600.6898	98.1736	137.3309	114.6577	7065.5624	0.001429
9	600.6888	98.1736	137.3308	114.5788	7065.5766	0.001428
10	600.6887	98.1736	137.3308	114.4538	7065.6027	0.001428
...

ECI 좌표계상에서 계산한 궤도요소의 특성과 유사하게 각 천체력점의 궤도요소는 미소한 변화량을 보이고 있으며, ω 의 경우

다른 궤도요소에 비하여 변화량이 큼을 알 수 있다.

논산 좌측 스트립 영상에 대해 ECI 좌표계 기준과 ECEF 좌표계 기준으로 각각의 천체력점에서 계산된 궤도요소로 식 (4)와 같이 시간에 대한 다항식으로 구성하여 다항식의 계수를 계산하였다.

$$A(\text{궤도요소}) = A_0 + A_1\Delta t + A_2\Delta t^2 + A_3\Delta t^3 \dots \quad (4)$$

식 (4)에서 각각의 방정식은 영상중심에 대한 시간에 대한 다항식으로 표현되며 상수항 A_0 즉, $\Delta t=0$ 일때의 값은 영상중심에서의 궤도요소를 나타낸다.

3.4 3차원 위치결정 결과 분석

ECI 좌표계와 ECEF 좌표계 기준의 두 궤도모델링을 검정하기 위하여 지상 3차원 위치결정 계산 결과를 비교 분석하였다.

3.4.1 위성 3차원 위치결정 결과 분석

지상의 3차원 위치결정을 수행을 위해 스트립 영상의 중심에서 임의점까지의 시간을 이용하여 임의점의 궤도요소를 계산하였다. 계산된 임의점의 궤도요소를 이용하여 임의점의 촬영 당시 위성 위치를 결정하였다. ECI 좌표계 기준 및 ECEF 좌표계 기준 모델링으로 계산된 위성의 위치는 최종적으로 ECEF 좌표계의 지상위치를 계산하기 위하여 ECEF 좌표계의 위성 위치를 계산하여야 한다. 즉 ECI 좌표계 기준 모델링으로 수행된 ECI 좌표계의 위성 위치를 ECEF 좌표계로 변환을 해야 한다. 표 6은 132개의 검사점 중 6점에 대한 ECI 좌표계 기준 모델링과 ECEF 좌표계 기준 모델링 방식으로 수행한 ECEF 좌표계의 위성의 위치를 나타내고 있다. 표 4에서 보듯이 ECI 좌표계 기준 모델링을 통한 ECEF 좌표계의 위성의 위치와 ECEF 좌표계 기준 모델링을 통한 ECEF 좌표계의 위성의 위치가 거의 동일함을 알 수 있다.

표 4. 기준좌표계에 따른 위성의 위치

기준점 ID	위성위치(km)					
	ECI 기준			ECEF 기준		
	X	Y	Z	X	Y	Z
101	-3604.0174	4462.2337	4122.3038	-3604.0174	4462.2337	4122.3038
102	-3604.1048	4462.2826	4122.1749	-3604.1048	4462.2826	4122.1749
103	-3605.0022	4462.7848	4120.8509	-3605.0022	4462.7848	4120.8509
104	-3603.8029	4462.1137	4122.6201	-3603.8029	4462.1137	4122.6201
105	-3602.2417	4461.2396	4124.9218	-3602.2417	4461.2396	4124.9218
106	-3602.6311	4461.4576	4124.3479	-3602.6311	4461.4576	4124.3479

3.4.2 지상 3차원 위치결정 결과 분석

표 5은 두 가지 방법의 궤도모델링 통하여 계산된 지상 3차원 위치결정의 결과를 나타낸다.

표 5. 기준좌표계에 따른 지상 3차원 위치결정

기준점 ID	지상 3차원 위치결정(km)					
	ECI 기준			ECEF 기준		
	X	Y	Z	X	Y	Z
101	-3143.8668	4128.6982	3695.9939	-3143.8700	4128.7004	3695.9888
102	-3142.0006	4130.5510	3695.4301	-3142.0039	4130.5532	3695.4249
103	-3143.2826	4130.5732	3694.3457	-3143.2859	4130.5754	3694.3405
104	-3138.6659	4133.3330	3695.1645	-3138.6693	4133.3353	3695.1592
105	-3139.9833	4129.8954	3697.8234	-3139.9866	4129.8976	3697.8182
106	-3142.7928	4127.8066	3697.8704	-3142.7959	4127.8088	3697.8652

표 4에서 ECI 기준 모델링과 ECEF 기준 모델링을 통한 위성 위치 모두 거의 동일한 값을 보이고 있다. 하지만 표 5의 경우 지상의 3차원 위치는 최대 5m까지의 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 M^t 행렬 계산 시 ECEF 좌표계의 영상좌표 오차때문으로 분석된다.

표 4과 표 5에서 살펴본 바와 같이 앞에서 논의되고 있는 ECEF 좌표계 기준 궤도 모델링과 ECEF 좌표계 기준 궤도모델링 모두 최종적인 지상 3차원 위치결정 계산시 거의 동일한 결과를 보임을 알 수 있었다.

3.5 입체 영상을 이용한 3차원 위치결정

앞 장에서 분석한 ECI와 ECEF 좌표계 기준 궤도모델링에서 ECEF 좌표계 기준 궤도모델링이 오차발생 확률이나 계산 알고리즘에서 더 효율적이라는 결론을 도출하였으며 본 연구에서는 ECEF 좌표계 기준 궤

도모델링을 기초한 3차원 위치결정 모델링의 결과를 분석하였다.

3.5.1 지상기준점을 이용한 보정요소의 결정

표 6은 스트립으로 구성하기 위한 각각의 단영상에 대하여 좌/우 입체 영상의 영상헤더자료만을 이용하여 지상 3차원 위치결정 결과, 절대위치오차가 약 15km로 오차가 크게 발생하였으나 지상기준점간 거리와 계산되어져 나온 기준점간 거리를 이용하여 계산한 상대적 거리오차는 평균 11.6m임을 감안 할 때, 지상 3차원 위치결정시 일정한 방향으로 위치편위가 발생하고 있음을 알 수 있었다.

표 6. 헤더정보만을 이용한 3차원위치결정 오차

입체 영상	절대위치오차(km)				상대오차 (m)
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔP	
L01 R01	8.68	3.78	11.48	14.88	12.34
L02 R02	8.69	3.80	11.46	14.87	11.25
L03 R03	8.71	3.83	11.46	14.89	12.31
L04 R04	8.73	3.85	11.45	14.90	11.54
L05 R05	8.74	3.87	11.43	14.90	9.77
L06 R06	8.76	3.89	11.42	14.91	12.34
평균	8.72	3.84	11.45	14.89	11.59

일정한 방향으로 발생하는 위치편위 분석한 결과 위성의 내부 시간 불일치가 가장 큰 원인으로 분석되었으며 따라서 본 연구에서는 영상중심시간의 불일치를 보정하여 궤도요소($\Delta t_i, i, \Omega, \omega, a_s, e_s$)를 보정하였으며, 그 후 발생하는 미소한 오차를 보정하기 위하여 위성의 자세(ω, ϕ, x)를 보정하였다.

각각의 입체 영상에 지상기준점 한 점씩을 사용하여 지상 3차원 위치결정 결과 절대적 위치오차가 12m~17m였다. 영상의 헤더정보만을 이용하여 지상 3차원 위치결정을 수행하였을 경우 약 15km의 오차와 비교할 때 입체영상의 영상헤더자료를 이용한 3차원 모델링 기법과 지상기준점을 이용한 궤도요소 및 자세보정 기법으로 절대적 위치정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

3.6 스트립 영상의 지상 3차원 위치결정

3.6.1 지상기준점 수와 배치에 따른 오차특성 분석

지상기준점 수와 그 배치에 따른 오차특성을 분석하기 위하여 지상기준점을 그림 6과 같이 배치하여 그 오차특성을 분석하였다.

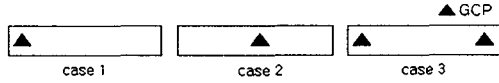


그림 6. case에 따른 기준점 수 및 배치

1) 연속된 단영상의 오차특성 분석

가. 기준점 한 점(case 1, case 2)을 이용한 경우

표 7은 지상기준점 한점을 좌우측 영상에 각각 설치하여 계산된 case 별 보정요소를 나타내고 있으며, 표 8은 표 7에서 계산된 보정요소를 이용하여 3차원 위치결정을 수행하고자 하는 영상에 보정량을 적용하여 수행한 모델링 결과를 나타내고 있다. 표 8에서 살펴보면 기준점과의 거리에 따라 즉, 기준점으로부터 멀어질수록 시간의 오차 및 지구곡률에 의한 오차가 누적되어 오차가 크게 발생함을 알 수 있었다.

표 7. case 별 보정량 계산

case	영상 ID	시간 보정량 (sec)	자세 보정량(rad)		
			$\Delta\omega$	$\Delta\phi$	$\Delta\kappa$
case1	L01	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
case2	L04	2.25	-0.001406	0.000080	0.000001

표 8. case 별 모델링 결과 (RMSE : m)

case/영상ID	L01/R01	L02/R02	L03/R03	L04/R04	L05/R05	L06/R06	평균
case 1	11.95	19.11	30.21	40.98	47.98	51.92	33.69
case 2	40.54	23.28	14.86	10.49	18.10	40.96	24.70

나. 기준점 두 점(case 3)인 경우

동일한 경로에서 촬영된 연속 영상이 포함하고 있는 지상 영역이 긴 선형지역이기 때문에 지구의 곡률 및 위성의 시간 오차 누적으로 인해 지상위치 오차가 누적된다. 하지만 case 1과 case 2의 경우 기준점 한

점을 이용하기 때문에 지구 곡률과 위성의 시간 오차 누적을 해결하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 지상기준점 두점으로 보정요소의 변화 패턴을 식 (5)와 같은 비례배분식을 구성하여 분석함으로써 3차원 위치정확도를 향상시킬 수 있었다.

$$\Delta t_f = \Delta t_{f1} + \frac{\Delta t_{f2} - \Delta t_{f1}}{N_2 - N_1} \times (N - N_1) \quad (5)$$

여기서 N_i 은 영상의 번호이며, Δt_{fi} 는 i 번째 영상중심시간 보정량이다.

표 9는 두 개의 지상기준점을 이용하여 산출된 각각의 영상에 해당하는 보정요소를 나타내고 있으며, 표 10은 표 9에서 계산된 보정요소를 각각의 모델링 영상에 적용한 3차원 위치결정 오차를 나타낸 것이다. 한 점의 기준점을 사용한 모델링의 오차와 비교했을 때보다 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

표 9. case 3 보정요소 결정

영상 ID	GCP	시간 보정량 (sec)	자세 보정량(rad)		
			$\Delta\omega$	$\Delta\phi$	$\Delta\kappa$
L01	1	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
L02	0	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
L03	0	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
L04	0	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
L05	0	2.25	-0.001421	0.000082	-0.000001
L06	1	2.25	-0.001436	0.000080	0.000001

표 10. case 3 모델링 결과 (RMSE : m)

cas	영상ID	L01/R01	L02/R02	L03/R03	L04/R04	L05/R05	L06/R06	평균
case 3		11.95	15.31	20.33	19.44	14.49	16.81	16.39

2) 스트립영상의 오차특성 분석

동일한 궤도에서 촬영된 영상을 스트립영상으로 재구성하여 연속영상 모델링과 동일한 방법으로 오차특성을 분석하였다. 다만, 식 (5)에서 영상의 수(N)대신 라인수를 이용하여 계산을 수행하기 때문에 각각의 라인마다 보정시간이 결정되어 세밀한 보정이 가능하다.

표 11은 case 별 계산된 보정요소이고, 표 12는 계산된 보정요소를 case 별로 적용

하여 산출된 위치결정 수행결과를 나타내고 있다. 연속된 단영상 모델링 계산결과(표 10)와 비교분석을 용이하게 하기위하여 스트립 영상의 모델링 결과를 오차해당영상별로 오차를 분석하였다. 그 결과 연속된 단영상 모델링과 유사한 오차특성을 보이고 있다.

표 11. case 별 보정요소 결정

case	시간 보정량(sec)	자세 보정량(rad)		
		$\Delta\omega$	$\Delta\phi$	$\Delta\alpha$
case 1	2.25	-0.001417	0.000082	0.000000
case 2	2.25	-0.001415	0.000081	0.000000
case 3	2.25	-0.001417	0.000082	0.000000
	2.25	-0.001428	0.000080	-0.000001

표 12. case 별 모델링 결과 (RMSE : m)

case	영상ID	L01/R01	L02/R02	L03/R03	L04/R04	L05/R05	L06/R06	평균
case 1		11.02	15.78	26.84	40.92	45.46	48.85	31.48
case 2		37.75	25.00	13.66	11.58	15.77	27.31	21.84
case 3		11.19	12.09	13.55	14.60	12.13	21.98	14.26

본 연구에서 수행한 연속영상 모델링과 스트립영상 모델링 모두 지상 영역이 긴 선형지역이기 때문에 기준점 한점을 이용하기 보다는 두점의 기준점으로 보정하는 것이 누적되는 오차보정에 효과적임을 알 수 있었다.

3.6.2 연속된 단영상 처리기술과 스트립영상 처리기술의 비교 분석

표 13는 연속된 단영상 처리기술과 스트립영상 처리기술의 case 별 절대오차를 나타내고 있다. 두 처리기술 모두 기준점 한점을 사용할 경우 기준점에서 멀어질수록 오차의 누적이 발생하고 있으며, 이를 보정하기 위하여 기준점 두 점을 사용할 경우 오차의 누적을 해결할 수 있었다.

정확도 측면에서는 스트립 영상 처리기술의 정확도가 연속영상 처리기술에 비해 약 1.4배 높으나, 연속영상 처리기술의 경우 동일 패스내 기준점이 위치한 영상과 모델링을 수행하고자 하는 영상만으로 모델링이 가능한 반면, 스트립영상 처리기술은 전체 영상 모두가 필요하다는 제한이 있다.

표 13. 3차원 기하 모델링 결과 비교 (m)

모델링 방식	case 1	case 2	case 3	평균
연속단영상 처리기술	33.69	24.70	16.38	24.92
스트립영상 처리기술	22.25	16.33	14.25	17.61

4. 결론

본 연구에서는 동일한 궤도에서 촬영된 연속된 영상과 최소의 기준점으로 넓은 지역 및 비접근지역의 지상 3차원 위치정보를 취득하기 위한 연구로서 KOMPSAT-1호 위성영상을 이용하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, ECEF 좌표계로 제공되는 위성영상 헤더정보를 이용하여 기하모델링을 할 경우, ECI 좌표계를 기준으로 한 경우와 ECEF 좌표계를 기준으로 한 경우를 비교 분석한 결과 본 연구에서 제시한 모델링 기법은 두 좌표계 설정에 따른 오차가 미소하였음을 알 수 있었다.

둘째, 두 궤도에서 연속적으로 촬영된 연속입체영상을 처리하기 위해 각각의 입체영상을 독립적으로 처리하는 경우와 스트립영상으로 재구성하여 처리하는 경우를 비교분석하고 기준점 배치 및 수에 따른 오차특성을 분석함으로써 대단위지역 및 비접근지역의 3차원 정보취득을 위한 모델링 기법을 제시하였다.

향후 대단위 지역에 걸친 스트립 영상의 오차보정시 지구 곡률 및 위성궤도요소의 오차누적 보정문제 등에 대한 체계적인 연구가 수행될 경우 보다 정확한 3차원정보를 취득할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Gugan, D. J. and I. J. Dowman. "Topographic Mapping from SPOT Imagery", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.54, No.10, 1988, pp. 1409-1414.
- H. Rantakokko, D. Rosenholm, "Rectification of Slant Range Imagery

- Through a Direct Image to Ground Relationship", *Photogrammetric Record*, Vol. 16, No. 94, 1999, pp. 685-694.
3. Light, D. L., "Satellite Photogrammetry, Manual of Photogrammetry", Forth edition, 1980, pp. 883-977.
 4. P.V. Radhadevi, R.Ramachandran, A.S.R.K.V. Nurali Mohan, "Restitution of IRS-1C PAN data using an orbit attitude model and minimum control", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 53, 1998, pp. 262-271.
 5. P.V. Radhadevi, T.P. Sasikumar, R. Ramachandran, "Orbit attitude modeling and derivation of ground co-ordinates from spot stereopairs". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 4, 1994, pp. 22-28.
 6. Westin, T., "Precision rectification of SPOT Imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No.2, 1990, pp. 247-253.
 7. 유환희, 김동규, 진경혁, "영상헤더정보를 이용한 아리랑 1호 EOC 영상 모델링", *한국지형공간정보학회 2000년도 학술발표회*, 2000, pp.29-40.
 8. 유환희, 성재열, 김동규, 진경혁, "매핑을 위한 고해상 위성영상의 궤도요소 모델링", *한국측량학회지*. 제 18권 4호, 2000, pp. 405-414.
 9. 유환희, 손홍규, 김동규, 진경혁. "최소 기준점을 이용한 KOMPSAT-1호 입체영상의 3차원 위치결정 모델링". *대한토목학회 논문집*. 제 21권 6-D호, 2001, pp. 953-961.
 10. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J., "Global Positioning System Theory and Practice.", Fifth edition, 2000, pp. 39-70.
 11. Paderes, F. C., "Geometric Modeling and Rectification of Satellite Scanner Imagery and Investigation of Related Critical Issues", Ph.D. Purdue University, 1986.
 12. S. A. Makki, "Photogrammetric Reduction and Analysis of Real and Simulated SPOT Imageries", Ph. D. Purdue university. 1991.