

인공위성데이터로부터 DEM 향상을 위한 3차원 지심좌표계 형태의 위성센서 모델링

Satellite Sensor Modeling Based on the 3-D Geocentric Coordinates System for DEM Generation with high Quality from Satellite Data

서두천* · 안기원** · 김용승***

Seo, Doo Chun* · Ahn, Ki Won** · Kim, Yongseung***

1. 서 론

최근 IKONOS, QuickBird-2와 같은 고해상도 상업용 인공위성의 등장으로 인공위성데이터의 활용범위가 점점 더 확대되고 있으며, 이에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 위성영상 활용 연구는 크게 지도제작부분, 정보추출부분 및 일반사용자를 위한 인터넷 기술부분 등으로 나눌 수 있다. 이들 연구중 지도제작분야는 기존의 항공사진촬영의 단점중 하나인 지도갱신, 촬영폭 등의 문제점을 보완할 수 있을 뿐 아니라, 항공사진과 유사한 공간해상도와 짧은 주기로 영상을 획득할 수 있으므로 새로운 지도제작의 방법으로 각광 받고 있다.

입체위성영상으로부터 지도를 제작하기 위해서는 먼저 영상에 포함되어 있는 기복변위를 소거한 후, 정사투영영상을 제작하여야 하며, 이때 정확한 수치표고모델(DEM)이 필연적으로 구축되어야 한다.

DEM을 구축을 위한 지상 3차원 좌표추출을 위해서는 인공위성의 위치와 자세, 즉 외부표정요소를 결정하여야 한다. 이 외부표정요소는 기준점의 영상좌표와 지상좌표를 이용하여 번들조정법으로 결정할 수 있는데, 기준점의 지상좌표로 평면직각좌표계를 입력하는 기존의 방법에는 이론적인 문제점이 있어 왔다. 우선, 인공위성의 촬영고도가 매우 높은 곳에 위치하고 있으며 촬영기선의 길이가 길기 때문에 위치추산력으로부터 추산되는 인공위성 위치의 경위도를 평면직각좌표로 바꿔 초기값으로 사용한다는 점이 문제점이 있으며 특히, 대상지역에 적용되는 평면직각좌표계가 2개 이상인 경우에 지도좌표 통일에 어려운 점이 있다.

또한 21세기 디지털 국토실현을 위한 제2차 국가지리정보체계기본계획에 따르면 우리나라 국가기준체계를 지구중심좌표체계로 전환할 계획이다. 이에 따라 현재 국립지리원은 우리나라 전역에 걸쳐 14개의 GPS 상시 관측소를 설치 운영하고 있다.

따라서 본 연구에서는 지상기준점에 대한 지도좌표계와 위성좌표계 사이의 불일치성 문제를 해결하고, 향후 우리나라의 기본좌표계를 지구중심좌표체계로 전환됨에 따라 입체위성으로부터 3차원 지심좌표계 형태로 표현되는 위성센서모델링 및 DEM을 생성할 수 있는 기초적인 연구를 수행하고자 한다.

이를 위하여, 인공위성의 위치와 자세, 기준점 및 검사점의 지상좌표를 모두 지구중심을 원점으로 하는 3차원 지심직각좌표로 입력, 계산하는 방법을 적용하였다. 또한 위성외부표정요소 결정을 위한 번들조정법을 적용시 초기값 결정 신뢰도를 향상시키기 위하여 위성보조데이터로부터 위성궤도요소를 산출하여 활용하였다.

2. 사용 데이터 및 기준점 선정

사용된 인공위성 데이터는 KOMPSAT-1 EOC(6.6 m) 및 IRS-1C PAN(5.8 m)이며, 사용된 위성데이터의 주요한 특성은 표 1과 같다.

KOMPSAT-1 데이터는 그림 1과 같이 대전광역시 일대의 유성구, 대덕구, 서구, 중 및 동구지역이다.

* 정회원 · 한국항공우주연구원 · Post-Doc. (E-mail:dcivil@kari.re.kr)

** 정회원 · 경상대학교 토목공학과 · 교수 (E-mail:kwahn@nongae.gsnu.ac.kr)

*** 한국항공우주연구원 · 책임연구원 (E-mail:yskim@kari.re.kr)

표 1. 사용데이터

항 목	KOMPSAT-1		IRS-1C	
	왼쪽영상	오른쪽영상	왼쪽영상	오른쪽영상
GRS	927-1325	928-1325	140-44	141-44
취득시기	Mar. 9, 2000	Mar. 1, 2000	Nov. 05. 1998	Oct. 18. 1999
전처리수준	Level 1R	Level 1R	Level 1A	Level 1A
영상중심	36.37399° 127.3856°	36.37401° 127.4625°	37.4543104° 126.6723894°	37.6067904° 126.7083183°
경사관측각	-28.92880°	4.279901°	0.4064703rad	-0.2613005rad

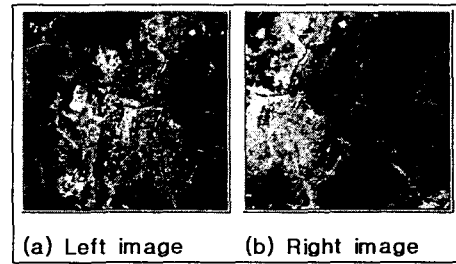


그림 1. KOMPSAT-1 EOC 스테레오 영상

IRS-1C는 경기도 인천, 안양, 안산, 시흥 및 서울 일부지역이다. IRS-1C PAN 카메라는 3개의 검출기가 일렬로 배치되어 동시에 영상을 취득하며, 지도제작에 주로 이용되는 Level 1A 영상의 경우 하나의 격자참조좌표계(GRS)에 해당되는 영상이 3개로 나누어져 있다. 그림 2는 이들 영상에서 상호 중복되는 지역만을 포괄하는 부분만 나타낸 것이다.

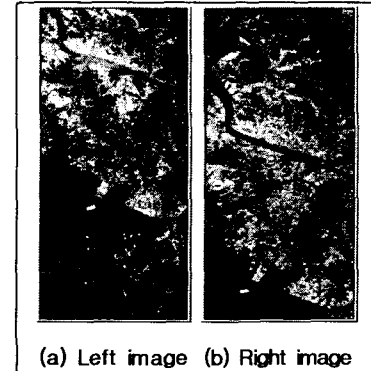


그림 2. A IRS-1C PAN 스테레오 영상

3. 기준점 선정 및 좌표변환

센서모델링 결과정확도는 영상과 촬영 대상공간에 정의된 기준점의 분포상태, 획득방법, 기준점 수에 따라 전체 정확도가 많이 좌우된다.

지상관측점의 3차원 지상좌표는 국립지리원이 1995년에 제작한 축척 1:5,000 수치지도에서 평면직각좌표(동부원점 기준)형태로 독취하였다. 지상기준점은 위성의 취득시기와 상당한 차이가 있으나, GPS 또는 현장 측량의 방법으로 관측점 성과를 획득하는 것은 많은 경제적, 시간적인 어려움이 있다. 또한 관측점은 영상과 수치지도에서 명확히 판단되는 지물을 이용하였고, 영상의 공간해상도가 5.5~6.6m(수직직하)정도이고, 1:5,000 수치지도의 위치정확도(평면위치, 등고선; 1.0m, 표고점; 0.5m)가 영상 공간해상도보다 작으므로 지도와 영상의 위치적인 오차는 크게 발생되지 않을 것으로 판단된다.

수치지도로부터 획득한 기준점을 WGS84 3차원지심직각좌표로 좌표변환에 있어서는 7개 매개변수의 Brouss-Wolf모델과 EGM96모델을 사용하였다. 매개변수 선정에 있어서는 국내에 발표된 여러 변환계수와 EGM96모델로부터 산출되는 지오이드고와 가장 잘 조합을 이루는 매개변수를 선택하고자 하였다. 이를 위하여 국내의 여러 논문을 참고하여 총 27형태의 매개변수를 선택하여 좌표변환을 수행한 후, 그 결과를 비교 평가하여 선정하였다.

그림 3은 이들 27개 형태의 매개변수 중 상위 10개 형태의 매개변수에 대한 좌표변환정확도를 RMSE로 표현한 것이다.

이중 E매개변수를 사용하였을 때, X축방향 0.41m, Y축 0.79m, Z축 0.24m으로 가장 양호한 결과를 보였다. 따라서, 본 연구에서는 E매개변수와 미국 NIMA에서 만들어진 EGM96모델(최대 차수 360)의 반복계산법으로 모든 관측점을 WGS84 지심좌표로 변환하여 센서모델링에 적용하였다.

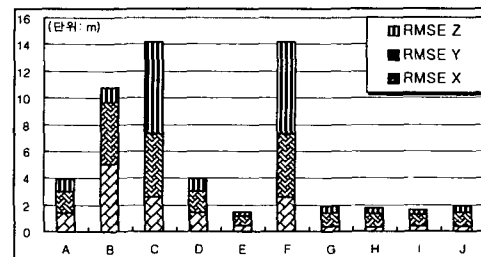


그림 3. 상위 10개 매개변수에 대한 좌표변환정확도 (Bessel 경위도→WGS84지심)

4. 센서모델링

입체의 인공위성데이터로부터 3차원 지상좌표를 추출하기 위해서는 인공위성의 위치와 자세, 즉 외부표정 요소를 결정하여야 한다. 번들조정과정중 발생하는 상관성과 기준점수를 줄이기 위해, 먼저 각 위성들의 위치추산력 데이터를 이용하여 위치추산력 데이터가 기록되는 순간의 6개의 위성궤도요소를 산출하였다. 산출된 위성궤도요소에 최소제곱법 원리를 적용하여 시간에 관한 함수형태로 모델링하였다. 자세변화를 모델링에

있어서는 각 위성보조데이터로부터 추출한 자세데이터를 취득시간별로 정리한 후, 이를 최소제곱법원리를 적용하여 산출한 각 위성의 모델식을 산정하였다.

표 2는 산출된 모델식을 나타내는 것으로서, 궤도요소인 경우 2차항 이후의 계수는 거의 zero에 가까운 미소한 값을 보이므로, 2차항까지만 모델링하였으며, 자세변화율에서 산출되는 값은 라디안 단위이다. 표 2의 산출된 모델식은 번들조정과정중 위성초기위치를 계산하는데 활용된다.

센서모델링식의 결정은 두 단계로 구분하였다. 첫 번째는 위성의 운동특성을 고찰 부분, 두 번째는 외부표정요소중 특정요소를 고정값으로 처리하여 상관성을 제거하는 부분으로 나누어 처리하였다.

그 결과 첫 번째 단계에서 KOMPSAT-1 위성은 환경 I(위성위치: 1차, 위성자세: 1차)에서 8.446m와 5.615m의 가장 좋은 결과를 보였고, IRS-1C 위성에서는 환경III(위성위치: 2차, 위성자세: 2차)에서 5.730m의 정확도로 가장 좋은 결과를 보였다.

두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 결정된 운동특성을 기본으로 자세요소중 일부 요소를 고정값으로 처리하였다. KOMPSAT-1은 4가지 환경, IRS-1C는 7가지 환경에 대하여 적용하였으며, 본 연구에서 고려된 환경에 따라 산출된 결과는 그림 4 및 그림 5와 같다.

표 2. 위성보조데이터로부터 산출된 위성궤도요소 및 자세변화율 모델링 결과

위성	매개변수	모델링식	
		왼쪽영상 결과	오른쪽 영상 결과
KOMPSAT-1	a_s	$7067.4865 - 0.019389172t + 2.4941493E-04 t^2$	$7068.7820 - 0.016334975t - 1.0335891E-04 t^2$
	e_s	$0.0010146 - 4.46452E-06t + 1.3458157E-08 t^2$	$0.0011904 - 1.71184E-06t - 2.1586136E-08 t^2$
	i	$1.8082688 + 0.001178092t - 3.6793587E-05 t^2$	$1.6076975 + 0.001072588t + 1.2762398E-05 t^2$
	ω	$590.50058 - 0.000449674t + 1.8611825E-06 t^2$	$599.90808 - 0.000119665t + 1.5804348E-05 t^2$
	Ω	$2.3054823 - 1.01184E-07t - 1.2343068E-08 t^2$	$2.3831010 + 1.61096E-07t + 2.1444230E-09 t^2$
	t_f	$1.7135723 + 7.42280E-08t - 3.1821685E-08 t^2$	$1.7135871 - 5.78550E-08t + 1.7680946E-08 t^2$
	ω'	$4.472820E-01 + 1.322687E-06t - 1.408621E-08 t^2$	$-6.658982E-02 + 1.776887E-07t - 6.609530E-09 t^2$
	ϕ'	$-3.312521E-03 - 4.667481E-06t - 5.617798E-08 t^2$	$-2.619973E-03 - 4.479168E-06t + 4.040608E-09 t^2$
	χ'	$1.395157E-03 + 3.780557E-06t - 9.200598E-08 t^2$	$-5.925099E-05 - 7.215923E-07t + 5.485761E-08 t^2$
	IRS-1C	a_s	$7197.0155 + 0.018095379t - 4.4392787E-06 t^2$
e_s		$0.0013403 + 9.37214E-07t - 1.2591010E-09 t^2$	$0.0013022 + 9.57132E-07t - 1.2541920E-09 t^2$
i		$1.2025385 + 0.001747018t - 7.8744003E-07 t^2$	$1.2585647 + 0.001772551t - 8.8765745E-07 t^2$
ω		$2382.4808 + 0.005320602t + 9.0201924E-06 t^2$	$2399.7440 + 0.005642289t + 8.4486755E-06 t^2$
Ω		$-0.9512335 + 5.70443E-07t + 5.1551400E-10 t^2$	$-0.8221442 + 5.90563E-07t + 4.0232100E-10 t^2$
t_f		$1.7222551 - 1.88502E-07t + 9.7991000E-11 t^2$	$1.7225251 - 1.85082E-07t + 5.5156000E-11 t^2$
ω'		$1.549925E-05 + 1.763824E-06t - 2.208272E-08 t^2$	$7.145860E-06 + 1.248253E-06t - 1.570414E-08 t^2$
ϕ'		$-3.348873E-06 - 1.268498E-07t + 1.559099E-09 t^2$	$1.966983E-06 - 9.210715E-08t + 1.115621E-09 t^2$
χ'		$-2.101071E-06 + 7.630565E-08t - 9.202970E-10 t^2$	$2.536342E-07 - 1.433747E-09t - 5.016400E-11 t^2$

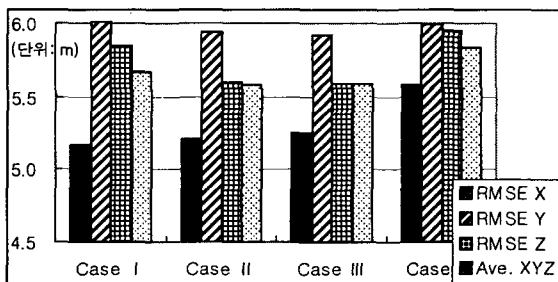


그림 4. KOMPSAT-1영상의 두 번째 단계에서 산출된 센서모델링 결과

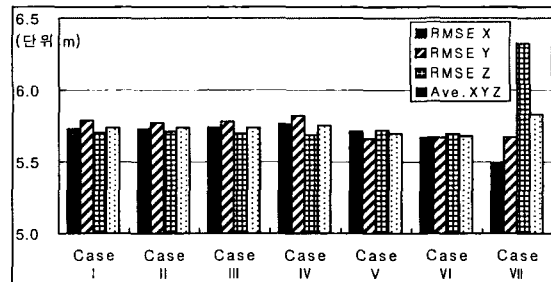


그림 5. IRS-1C 영상 of 두 번째 단계에서 산출된 센서 모델링 결과

위의 그림 4와 그림 5의 결과를 살펴보면, KOMPSAT-1에서는 Case III의 평균RMSE가 5.581m(X:5.205m, Y:5.934m, Z:5.603m) 가장 우수하였으며, IRS-1C는 Case VI에서 평균RMSE가 5.677m(X:5.668m,

Y:5.666m, Z:5.696m) 가장 양호하였다.

표 3은 KOMPSAT-1의 Case III과 IRS-1C의 Case VI에 대한 번들조정결과 산출된 외부표정요소를 각 위성별로 정리한 것이다. 여기서 위성의 위치는 m 단위이며, 위성자세는 라디안 단위이다. 최종적인 센서 모델식의 구성은 표 2로부터 계산되는 위성 초기위치, 지심좌표계를 케도면 좌표계로 회전, 이동시키는 직교 회전행렬 M_b , 자세변화율과 표 3에서 계산되는 위성 편위위치, 편각량의 조합으로 이루어진다.

표 3. 센서모델링 결과 산출된 위성편위위치 및 편각량 모델식

위 성	매개 변수	모델링식	
		왼쪽 영상 결과	오른쪽 영상 결과
KOMPSAT-1	ΔX	-21.164 + 26.189 t	170.104 - 10.527 t
	ΔY	-32.391 - 39.322 t	-136.465 + 4.125 t
	ΔZ	-1.431 + 38.251 t	-150.495 - 51.207 t
	$\Delta \omega$	-0.440527820	0.066069170
	$\Delta \phi$	-0.023250316	-0.023004117
	Δx	0.002422003 - 1.432841E-04 t	0.002677955 - 1.060880E-03 t
	IRS-1C	ΔX	182.249 + 10.971 t + 1.976798E+00 t ²
ΔY		257.349 - 31.225 t - 5.869857E+01 t ²	-359.759 + 13.021 t + -5.609E+00 t ²
ΔZ		171.233 - 21.709 t - 4.711445E+01 t ²	-721.911 - 0.406 t + -7.101E+00 t ²
$\Delta \omega$		-0.001095073	0.001953408
$\Delta \phi$		-0.007100764 - 2.035867E-05 t	-0.003327669 + 7.070E-05 t
Δx		0.001891071 + 3.946340E-05 t	-0.001820871 + 1.940E-04 t

5. 결 론

최근 고해상도 인공위성의 등장으로 인공위성데이터가 GIS와 같은 정보분야에 중요한 기본데이터로 활용되고 있으며, 그 활용분야에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이들 고해상도위성데이터는 높은 공간해상도 뿐만 아니라, 비교적 높은 정확도로 위성보조데이터정보를 제공한다.

본 연구에서는 이와 같은 위성들의 보조데이터를 이용하여 보다 효과적으로 DEM을 생성할 수 있는 기초적인 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 인공위성의 위치와 자세, 기준점 및 검사점의 지상좌표를 모두 지구중심을 원점으로 하는 3차원 지심직각좌표로 입력, 계산하는 방법을 적용함으로써, 우리나라 좌표불일치성 문제를 해결할 수 있었고, 지상기준점과 위성 공칭위치 정확도를 향상시킬 수 있었다.

또한 위성보조데이터로부터 산출된 위성궤도요소와 자세변화율을 번들조정기법에 적용함으로써, 외부표정요소 초기값의 결정신뢰도를 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. 최경재, 최윤수(1999) EGM96 모델을 이용한 Bessel 지오이드 계산, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제17권, 제1호, pp. 33-39.
2. 신동석, 이영란, 이홍규(1998) 선형 CCD카메라 영상의 정밀 기하학적 보정. 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제14권, 제2호, pp. 137-148.
3. American Society of Photogrammetry(1980) Manual of Photogrammetry 4th edition, ASPRS, pp. 883-933.
4. Mikhail, E. M., Bethel, J. S. and McGlone, J. C.(2001) Introduction to modern photogrammetry, John Wiley & Sons. pp. 235-246.