

SPOT 영상을 사용한 3차원 모델링시 지상기준점수에 따른 정확도 평가

Estimating Accuracy of 3-D Models of SPOT Imagery Based on Changes of Number of GCPs

김감래¹⁾ · 안병구²⁾ · 김명배³⁾

Kim, Kam Lae · Ahn, Byung Gu · Kim, Myoung Bae

Abstract

There is various kinds cause that influence to created DEM and orthoimage using stereo satellite images. Specially, research about effect that GCP number gives to accuracy of DEM, orthoimage and modeling may have to be gone ahead. Therefore, this research increases GCP number by 5 to 30 and created each modeling, DEM and orthoimage using SPOT panchromatic images that resolution is 10m by digital image processing method. Accuracy assessment did by orthoimage using 20 check point. As a result, GCP number between 10~30 modeling RMSE is 1pixel low appear. Horizontal · vertical error that use orthoimage looked tendency that decrease GCP number increases, and confirmed by the most economical in GCP number 10~15. Also, analyze correlation of GCP number and orthoimage position accuracy and presented improvement plan and research task hereafter.

요 지

입체위성영상을 사용하여 생성된 수치표고모델과 정사영상의 위치정확도에 영향을 미치는 여러 가지 요인이 있다. 특히 지상기준점의 수량이 영상모델링과 수치표고모델, 정사영상의 위치정확도에 주는 영향에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 수치영상처리 방법으로 공간해상도가 10m인 SPOT 흑백영상을 사용하여, 지상기준점 수량을 10~30개까지 5개 단위로 증가하여 각각의 모델링 과 수치표고모델, 정사영상을 생성하였다. 정확도평가는 20개의 검사점을 사용하여 정사영상상에서 이루어졌다. 그 결과 지상기준점 수가 10~30 개 사이에서 모델링의 표준오차는 1화소 미만으로 나타났다. 정사영상을 사용한 수평 · 수직오차는 기준점수가 증가 할 수록 줄어드는 경향을 보였으며, 지상기준점 10~15개가 가장 경제적인 것으로 나타났다. 또한 지상기준점 개수와 정사영상 위치정확도의 상관관계를 분석하고 향후 개선방안과 연구과제를 제시하였다.

핵심용어(Keywords) : 수치표고모델, 정사영상, 지상기준점, 영상정합, 모델링

1. 서 론

최근에는 질적, 양적으로 향상된 수치표고모델과 정사영상이 요구되며, 활용분야 또한 광범위하게 확대되고 있다. 특히, 지도제작분야에 있어서는 정사투영영상의 작성 뿐만 아니라, 지형도의 신속한 제작, 등고선도, 경사도, 사면방위도, 지형기복도 및 표고 분포도 작성 등에 수치표고 모델이 많이 활용된다.(연상호, 2000)

위성영상처리예의해 생성된 수치표고모델과 정사영상의 정확도에 영향을 미치는 요소중 지상기준점수가 정확

도에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가 선행되어야 하겠다. 또한 지상기준점수에 따른 삼차원좌표 (X, Y, Z)의 정확도 변화율 및 위치오차의 분포경향 등을 분석하여 입체위성영상을 이용한 수치표고모델과 정사영상 생성시 경제적인 지상기준점수를 산출하여야 할 필요성이 있다. 입체위성영상을 이용한 수치표고모델과 정사영상의 정확도 평가에서 기존의 연구들에서는 입체위성영상내의 일부 지역을 선정하여 실험을 수행한 경우가 많았다. 본 연구에서는 입체시가 되는 영상 전체에 대한 정사영상 생성시 지상기준점수와 정확도에 관한 연구를 수행하였다.

1) 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)

2) 정회원 · 명지대학교 박사과정(E-mail:mmskymm@hotmail.com)

3) 정회원 · 명지전문대학 토목과 교수(E-mail:kimmb@mail.mjc.ac.kr)

따라서 본 연구에서는 항공사진과는 다른 공간 해상도를 가지는 입체수치위성영상으로부터 영상처리 소프트웨어에 의한 수치영상처리 방법으로 공간해상도가 10m 이내인 SPOT 흑백영상 입체수치위성데이터로부터 양질의 위치정확도를 확보하기위해 SPOT 입체영상내에서 각각의 지상기준점수를 사용하여 만들어진 5단계의 정사영상을 이용하여 지상기준점 수에 따른 3차원 위치정확도를 분석하고 입체수치영상을 이용한 수치표고모델과 정사영상 생성시 지상기준점 개수와 3차원 위치 정확도에 관해 평가하고자 한다.

2. 연구수행절차 및 실험

입체 인공위성데이터로부터 정사영상 생성시 지상기준점 수가 정사영상생성시 3차원 위치 정확도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보기 위하여 본 논문에서는 서울지역과 경기일부를 포함하는 SPOT 입체영상을 사용하였다.

본 논문에 사용된 SPOT 영상은 전처리 수준 Level 1A

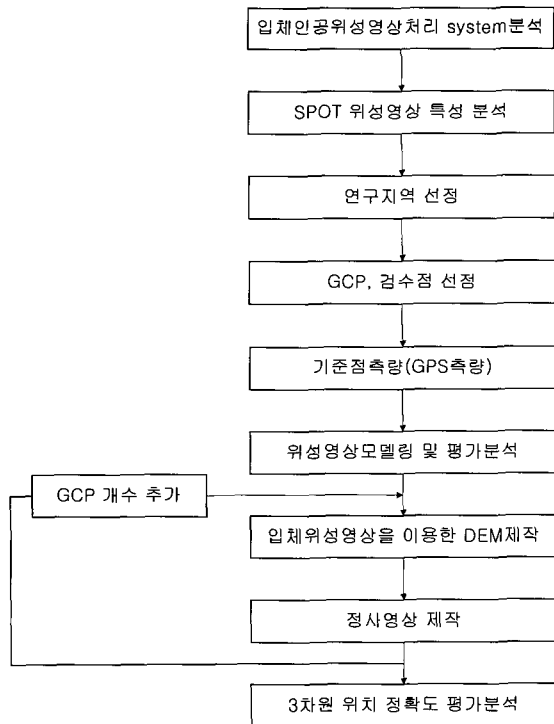


그림 1. 연구수행 흐름도

의 6,000 × 6,000 화소 전정색 영상으로 60km × 60km의 지역을 포함한다.(SPOT IMAGE, 1997) 입체위성영상 처리에 필요한 기준점은 두 영상 상에서 공통으로 포함하는 특징 점들을 선정하였으며, GPS 측량을 하여 36점의 X, Y, Z 좌표를 취득하였다. 좌우영상의 영상좌표는 화소 이하단위까지 획득하였으며, 영상처리 소프트웨어를 사용하여 영상처리를 수행 하였다.

지상기준점수에 따른 좌우영상의 모델링 결과를 비교분석하여 지상기준점수량에 따른 모델링 정확도를 평가하였다. 모델링 결과는 수치표고모델과 정사영상생성시 정확도에 영향을 미치기 때문에 신뢰 할 수 있는 모델링 결과를 산출하여야 한다.

실험에서는 수치표고모델 격자의 크기 및 외부조건들은 고정시키고 지상기준점수를 추가하면서 각각의 수치표고 모델과 정사영상을 생성한다. 생성된 정사영상은 GPS측량으로 획득한 3차원좌표의 검수점들을 사용하여 각각의 정확도를 비교·분석하였다. 실험에서 얻어진 지상기준점 수에 따른 3차원 위치정확도 변화추이를 고찰한 후 SPOT PAN 입체영상을 이용하여 수치표고모델 및 정사영상 생성시 3차원 위치 정확도를 향상할 수 있는 방법을 알아내고자 한다. 본 연구의 흐름도는 다음 그림 1과 같다.

2.1 실험데이터

본 연구에 사용된 인공위성 데이터는 SPOT 3호기로 촬영된 전정색의 공간해상도가 10m인 입체영상 데이터이다. SPOT 영상데이터는 그림 2에서와 같이 서울, 인천, 안산, 안양, 시흥, 수원 일대를 포함하는 Level 1A 입체영상 데이터로서, 1995년 11월 15일, 29일에 각각 촬영된 영상이다. 영상내의 구름은 수치표고모델 생성시 과대오차를 유발하는 원인으로 작용하였다. 연구에 사용된 영상 데이터의 주요한 특성은 표 1과 같다.

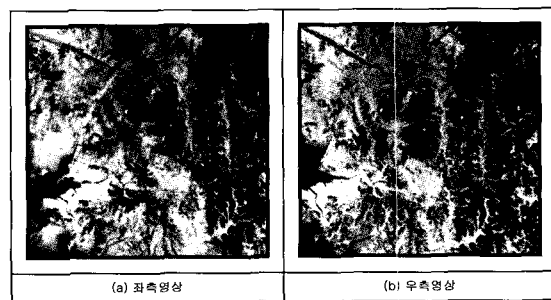


그림 2. SPOT 전정색 입체영상

표 1. 실험에 사용된 입체위성영상의 특성

목 록	좌측영상	우측영상
위성	SPOT-3	SPOT-3
센서	HRV 1	HRV 1
분광모드	전정색(PAN)	전정색(PAN)
영상취득일	1995. 11. 29	1995. 11. 15
처리단계	Level 1A	Level 1A
씬(Scene) 중심 (Lat.,Log.)	37° 21' 00" , 126° 58' 12"	37° 21' 00" , 127° 02' 24"
센서 시야각	L -25.10°	R 24.10°
해상도	10m	10m
초점거리	1082.00mm	1082.00mm
화소크기	13 μm	13 μm
센서고도	800000.0m	800000.0m
촬영 경로-열	304-275	304-275

2.2 관측점 선정

본 연구에서 기준점과 검사점을 통합하여 관측점이라 정의하였으며, 기준점은 위성센서모델링 과정에 주로 사용되며, 검사점은 각각의 수치표고모델을 이용한 정사영상제작후 3차원 위치정확도를 분석·평가하기 위하여 사용하였다. 위성센서모델링 결과정확도는 영상과 촬영 대상공간에 정의된 기준점의 분포상태, 획득방법, 기준점 수에 따라 정확도가 많이 좌우되므로 좌표 취득에 신중을 기하였다.

2.2.1 영상좌표 획득

SPOT 입체영상에서 입체시가 되는부분에서 전체 영상에 고르게 분포하도록 관측점을 36점 획득하였으며 영상좌표는 VirtuZo 3.2을 사용하여 좌·우 두 영상에 공통적으로 존재하는 관측이 용이하고 특징점들을 선정하여 화소단위 이하까지 좌표를 취득하였다. 두 영상에서 취득한 각각의 영상 좌표는 표 2에 나타 내었다. 그림 4는 실험영상에서 최종관측점으로 사용한 점들의 분포를 나타낸 것이다.

2.3 기준점 측량

관측점들은 정지측량에서 3mm+0.5ppm RMS 오차를 가지는 Leica SR520 GPS로 측량을 하여 UTM X, Y, Z좌표로 취득하였으며 실험 영상전체에 골고루 배치되도록 하였다. 측량한 점들 중에서 실험에 사용된 36점을 제외하고 나머지는 실험에서 제외시켰다.

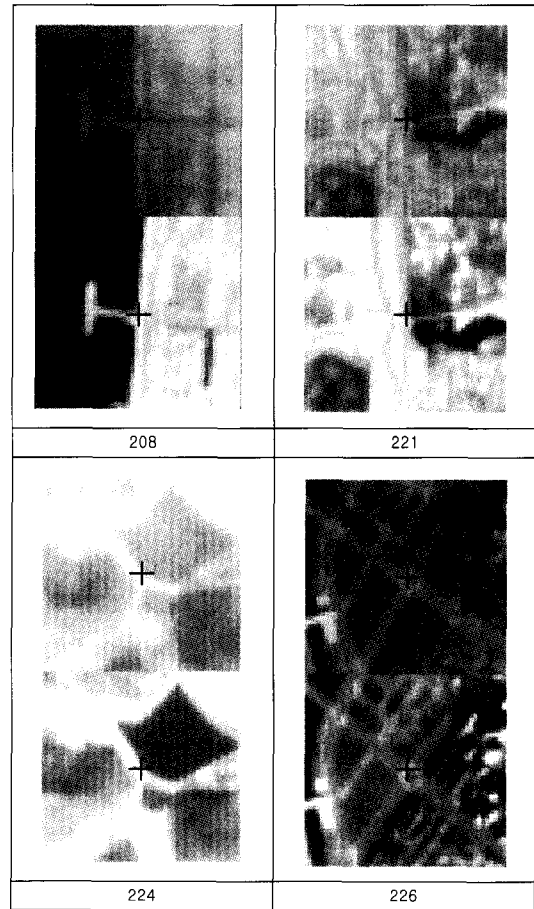


그림 3. 좌·우측 영상의 동일점 영상좌표획득

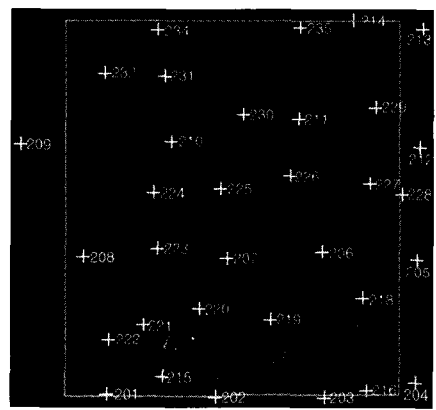


그림 4. 실험영상 전체의 관측점 배치

표 2, 3은 실험에 사용한 관측점들의 좌표를 나타낸 것이다.

표 2. SPOT 영상의 관측점 영상좌표 일부

점번호	좌측 영상좌표(pixel)		우측 영상좌표(pixel)	
	x	y	x	y
1	1350.507	371.657	708.262	467.139
2	2917.101	325.150	2251.363	255.432
3	4459.533	333.540	3832.255	97.145
4	5765.354	546.669	5231.698	166.064
5	5787.524	2341.066	5371.313	1949.87
6	4423.078	2468.442	3939.557	2225.912
7	3078.545	2370.490	2553.567	2274.672
8	1012.612	2381.490	517.337	2505.65
9	1111.480	4052.240	725.184	4162.443
10	2264.648	4094.038	1855.012	4080.465
11	4093.214	4431.540	3735.132	4219.794
12	5824.232	4015.744	5536.063	3614.639
13	5879.254	5752.458	5727.607	5336.052
14	4865.853	5871.133	4648.983	5567.106
15	2140.291	628.741	1499.239	640.696

표 3. GPS 측량 관측점 좌표 일부

점번호	관측점의 UTM 좌표(m)		
	X	Y	Z
1	293033.734	4114703.544	8.90
2	310866.476	4109497.283	21.80
3	328951.434	4104801.980	30.70
4	345141.749	4102729.677	39.10
5	350812.114	4119814.213	173.50
6	335008.686	4125302.824	74.30
7	318983.274	4128541.348	30.70
8	295360.758	4134925.104	5.10
9	301572.098	4150618.199	17.70
10	314835.019	4147521.441	53.10
11	337136.314	4145119.843	59.30
12	356405.116	4135691.001	110.90
13	362412.770	4152089.558	27.70
14	350661.443	4156437.198	22.10
15	302865.612	4114778.223	10.90

2.4 기하보정 및 단계별 GCP배치

위성으로부터 획득된 영상은 많은 기하학적 왜곡을 포함하고 있다. 이러한 왜곡의 주요 원인은 위성센서의 고도, 자세 및 속도 변화와 지구 곡률, 대기 반사 현상들이며 크게 계통적 왜곡 과 비계통적 왜곡으로 구분 할 수 있다.

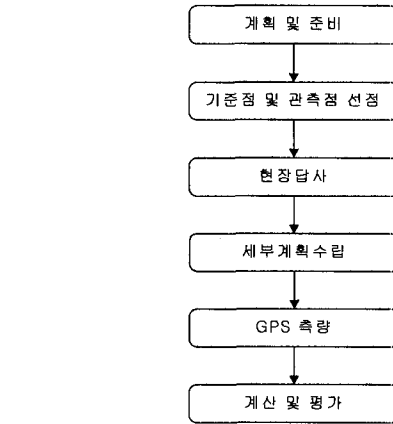


그림 5. GPS측량 간략도

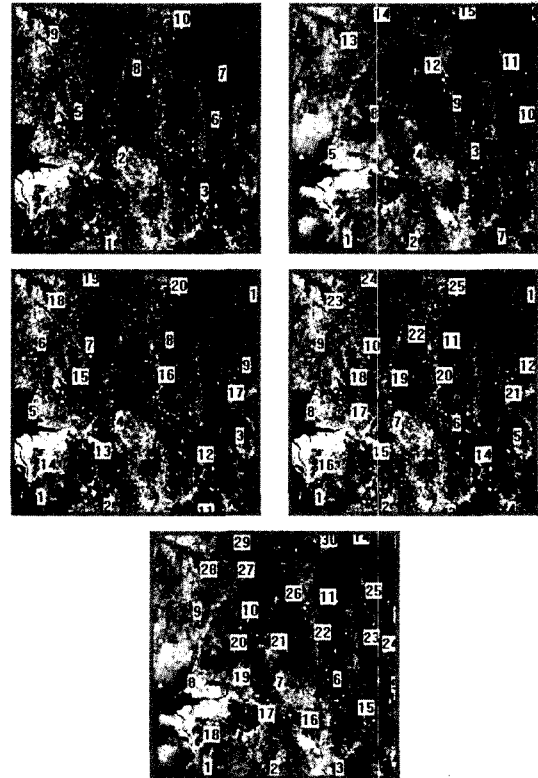


그림 6. 단계별 GCP배치

여기서 계통적 왜곡은 위성체 내부 센서와 궤도 위치 정보 등으로부터 보정이 가능하지만, 비 계통적 왜곡은 정확하고 충분한 개수의 지상기준점을 통한 보정이 필요하다.

지상 기준점은 다양한 용도로서 활용되지만, 기하보정에 서의 지상 기준점이란 영상 좌표계와 지상 좌표계 사이에

대응되는 점을 정의한 것을 말한다. 지상 기준점의 선정이란 결국 영상에서의 해당 화소의 영상좌표와 그 대응 지점의 지리 좌표를 설정하는 과정으로 요약될 수 있으며, 지리 좌표의 설정을 위해서는 좌표계의 지도 투영 방법과 타원체에 대한 이해와 설정이 필요하다.

본 연구에서는 좌·우 영상의 모델링시 UTM 좌표계를 사용하였으며 실험영상은 UTM 52존에 속한다. 그림 6은 지상기준점 개수별 배치를 나타낸것이다.

3. 실험

3.1 수치표고모델 생성

본 실험에서 수치표고모델을 생성하기 위해서는 먼저 사용하는 SPOT 영상에 대하여 데이터 취득시의 위치 및 자세, 즉 외부표정요소를 계산하여야 한다. 이를 위하여 번

들 조정기법을 사용하였다. 번들조정이란 공간상의 임의의 점과 그에 대응하는 영상상의 점 및 센서촬영중심이 동일직선상에 있다는 공선조건식을 기본으로 하여 최소제곱법에 의하여 각 영상의 외부표정요소를 동시에 구하는 것이다.(박병욱, 1991) 수치표고모델을 생성하기 위해서는 영상의 각 화소에 대한 지상좌표 X, Y, Z를 알아야 한다. 이를 위하여 먼저 한쌍의 입체모델 상에서 동일점을 찾는 자동매칭이 선행되어야 한다.

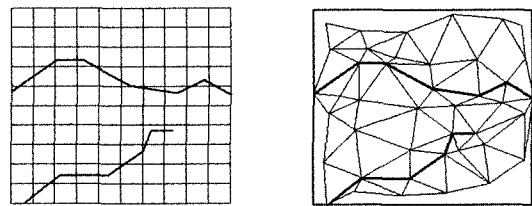


그림 9. 격자 수치표고모델과 삼각망 수치표고모델

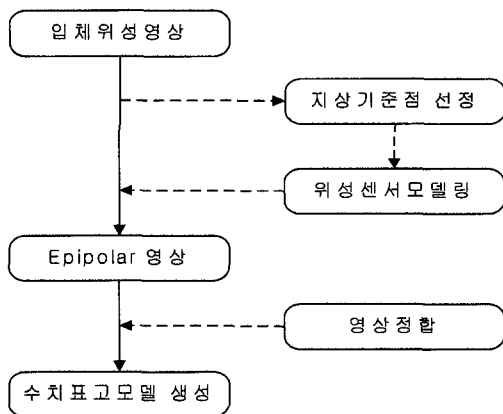


그림 7. 수치표고모델 생성

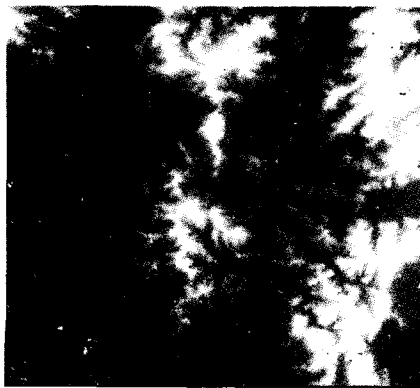


그림 8. 래스터 수치표고모델

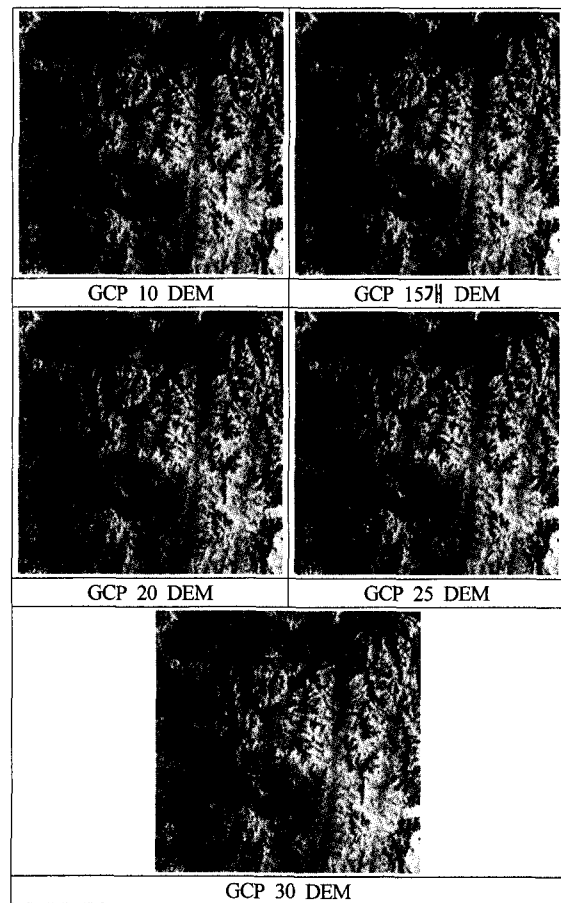


그림 10. 실험에서 생성된 수치표고모델

정사영상을 제작하기 위해서는 수치표고모델이 필요하며, 영상정합 결과를 이용하여 수치표고모델을 제작할 수 있다. 수치표고모델을 표현하는 방식은 일반적으로 래스터 수치표고모델과 삼각망 수치표고모델이 있다.

래스터 수치표고모델은 격자에 의하여 고도를 표현하도록 구성되어 있으며, 고도값을 이용하여 화면에 색상으로 표현할 수 있다.

삼각망 수치표고모델은 삼각형으로 연결된 3차원 점들의 불규칙한 점들로 구성되어 지형을 표현한다.(김감래, 1996) 그림 9에는 동일한 지역에 대해 격자 수치표고모델과 삼각망 수치표고모델을 나타내었다.

영상정합에 의한 결과는 입체영상에서 중첩된 지역에 불규칙하게 분포되어 나타난다. 이렇게 정합된 점들은 3차원 좌표를 계산할 수 있다. 계산된 결과들은 중첩된 지역내에서 불규칙하게 분포한다. 이 자료를 이용하여 정사영상 제작용 수치표고모델을 생성한다. 본 연구에서는 지상기준점수를 10~30개까지 5단계로 늘려가면서 모두 5개의 수치표고모델을 제작하였다.

3.2 정사영상 생성

지상기준점을 이용한 기하 보정은 기본적으로 평면에서의 영상에 대한 기하학적 변환과정이다. 이러한 기하 보정은 비교적 평탄한 지형에 대한 영상의 보정에 적용할 수 있다. 그러나, 매우 심한 고저 차이를 가지는 지역에 대한 영상은 지형에 의한 왜곡이 무시할 수 없는 크기로 나타나며 이는 위성 영상이나 항공 사진이 기본적으로 원근법의 성격을 가지기 때문이다. 즉, 센서의 직하부를 제외한 모든 지역은 사실상 대상체의 직상부가 아닌, 약간 측면에서 보여지는 영상이 된다. 이에 따라 대상체의 고도 차이는 2차원 영상에서는 평면 위치의 차이로서 나타나게 된다. 이와 같은 원인으로 발생하는 영상내의 기하학적 왜곡을 보정하는 과정을 정사 보정이라하며, 보정된 영상을 정사 영상이라고 한다. 정사영상을 생성하기 위해서는 원영상, 3차원 모델링 자료, 수치표고모델 등의 자료가 필요하다. 이러한 자료를 입력하고 수치미분편위수정을 통하여 영상의 자세에 의한 왜곡과 지형의 기복에 의한 왜곡을 보정한다. 수치미분편위수정을 개념적으로 설명하면 화소의 위치(x, y)를 선정하고 공선조건을 이용하여 지상의 수평좌표(X, Y)를 계산한다. 여기서, Z값은 일정한 값으로 가정하여야 한다. 이렇게 계산된 Z값은 수치표고모델로부터 해당지역의 Z값을 대치하여 좀 더 공선에 가까운 수평좌표를 계산

할 수 있다. 반복적으로 Z값을 수치표고모델로부터 대치하여 계산하면 Z값의 변화량이 0에 가까워질 때 왜곡이 소거된 정확한 위치라고 판단할 수 있다. 이렇게 획득된 3차원 위치는 영상의 화소와 1:1로 대응되지 않으므로 영상재배열 기법을 통하여 보간된 화소값으로 정사영상 각각의 화소들을 결정할 수 있다. 그림 11은 수치미분편위수정 과정을 기하학적으로 나타낸 그림이다.

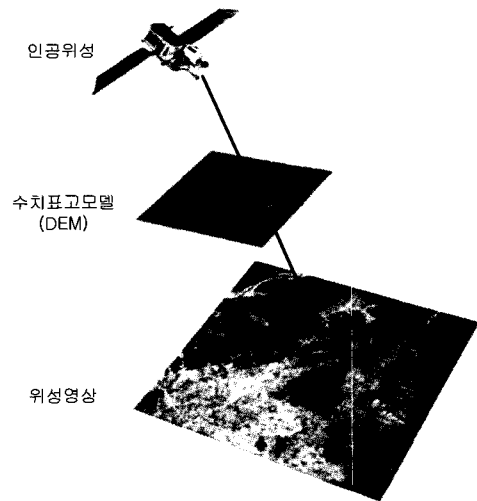


그림 11. 정사영상의 기하학적 관계

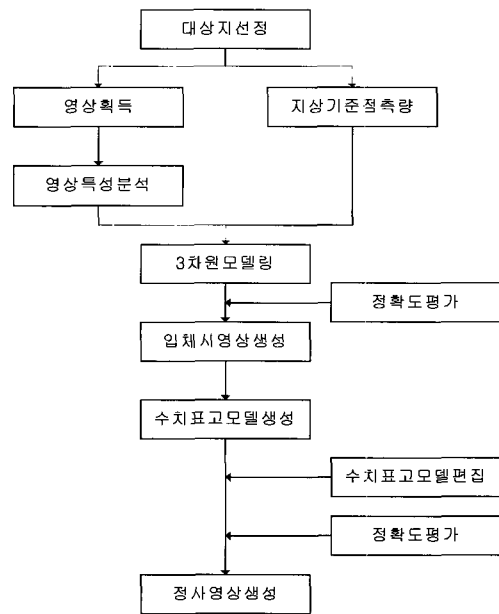


그림 12. 정사영상 제작 흐름도

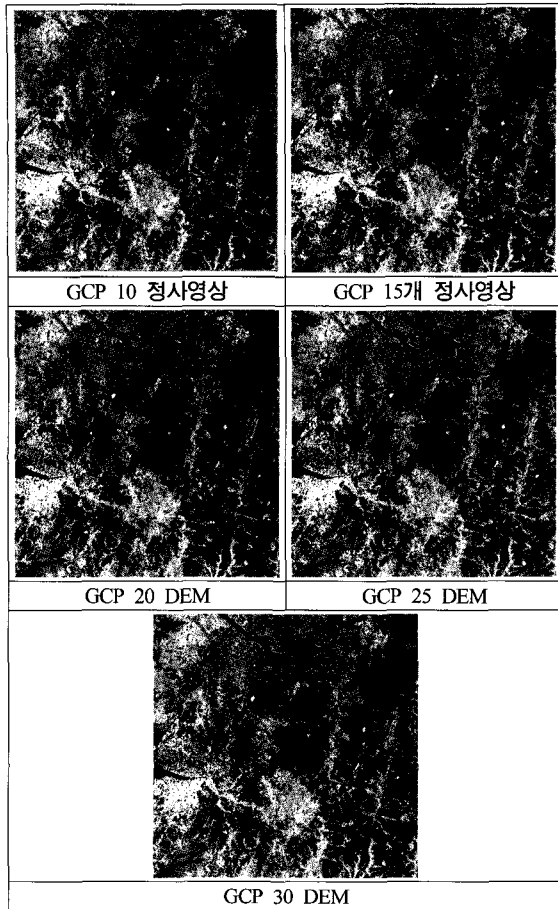


그림 13. 실험에서 생성된 정사영상

4. 비교고찰

4.1 모델링 평가 및 분석

DEM 생성을 위해 지상기준점의 개수를 10개에서 30개까지 5개씩 증가시키는 방법으로 5회의 모델링을 실시하였다. 모델링 결과는 표 4와 같다. X좌표의 표준편차는 기준점이 30개일 때 가장 작게 나타났다. 지상기준점을 30개까지 증가시켜도 표준편차는 거의 변화가 거의 없었으며, 좌·우 두영상 모두 비슷한 경향을 보이고 있다. Y좌표의 표준편차 또한 지상기준점이 늘어날수록 표준편차도 완만하게 줄어들음을 알 수 있었으며, 좌·우 영상 모두 비슷한 경향을 보이고 있다. Z좌표의 표준편차는 전체적으로 지상기준점이 늘어남에 따라 줄어드는 경향을 보였으며, X, Y 표준편차보다 상대적으로 크게 나타났다. 5회의 모델링 결과에서 표준편차의 값이 모두 1회소 이하의 값을 얻었

표 4. 지상기준점 개수별 모델링 표준편차

No	GCP수	영상	표준편차(pixel)		
			X	Y	Z
1	10	좌측영상	0.876	0.869	0.926
		우측영상	0.835	0.743	0.897
2	15	좌측영상	0.793	0.725	0.889
		우측영상	0.699	0.674	0.825
3	20	좌측영상	0.657	0.663	0.735
		우측영상	0.621	0.625	0.757
4	25	좌측영상	0.635	0.635	0.688
		우측영상	0.642	0.601	0.764
5	30	좌측영상	0.598	0.501	0.648
		우측영상	0.562	0.368	0.639

며, 지상기준점의 개수가 10~30개 사이에서는 SPOT 입체위성영상 모델링의 표준편차는 비슷한 경향을 보였다.

4.2 지상기준점 개수별 위치오차분석

3차원 위치정확도 분석을 위해 5개의 수치표고모델과 정사영상을 생성하여 GPS 측량으로 획득된 20개의 검수점을 기준값으로 사용하여 각각의 영상에 대해 X, Y, Z에 대한 표준편차를 산출해 본 결과 X, Y값의 표준편차는 지상기준점 수가 증가함에 따라 Z값에 비해서 일정한 값을 유지했다. Z값의 표준편차는 15개까지 줄어들다가 이후 일정한 값에 수렴하는 곡선 경향을 보였다. 입체위성영상을 이용한 위치정확도 분석에서 기준점의 수가 늘어날수록 표준오차가 줄어드는 경향이 있음을 알 수 있었다.

표 5. 지상기준점 개수에 따른 X, Y, Z 표준편차

지상기준점	X(m)	Y(m)	Z(m)
10	18.326	19.245	30.245
15	17.995	17.138	28.325
20	17.587	16.446	26.864
25	16.349	15.735	25.167
30	15.998	14.259	25.023

4.2.1 수평위치오차

정확도를 나타내는데 표본평균과 표본 표준 편차를 이용할 수도 있으나, 일반적으로 수평위치 정확도는 정해진 신뢰 구간에서의 원형 오차로 표현한다. 수평 위치 정확도는 X와 Y방향에서의 표준편차로부터 계산된다. 수평 오차는 두 변수의 타원 분포를 따른다. 그러나 X 와 Y좌표 성

표 6. 수평위치오차

	10개	15개	20개	25개	30개
원형오차 (σ_c : m)	18.791	17.572	17.126	16.045	15.153
90%신뢰 원형오차(m)	40.325	37.709	36.538	34.432	32.519

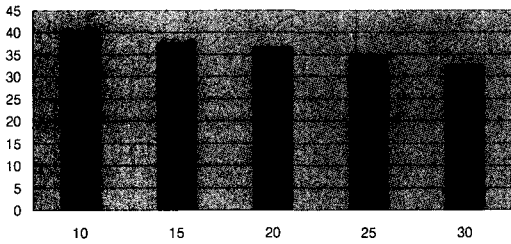


그림 14. 90%신뢰 수평오차

표 7. 수직위치오차

	10개	15개	20개	25개	30개
표준편차 (σ_z : m)	30.245	28.325	26.864	25.167	25.023
90%신뢰 원형오차(m)	49.750	46.592	44.188	41.397	41.160

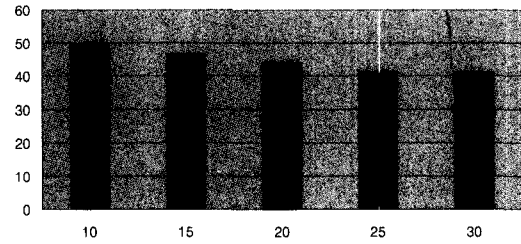


그림 15. 90%신뢰 수직오차

본에서의 표준 편차가 비슷한 크기를 갖는다면, 다음 방법으로 타원 오차를 원형 오차로 변환하여 사용할 수 있다. (한상학, 1998)

$$\sigma_c = 0.7071\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (1)$$

편이 없는 경우 원형지도 정확도 표준(CMAS: Circular Map Accuracy Standard)에서 정의한 90% 신뢰 수준의 원형오차는 원형 오차 분석 이론의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$CMAS = 2.1460\sigma_c \quad (2)$$

90% 신뢰 수준의 수평 위치 정확도는 관측점의 90%가 참값으로부터 수평 오차 허용 범위인 $2.1460\sigma_c$ 내에 있음을 의미한다.

실험에서 구한 X, Y의 표준편차를 이용하여 원형오차 분석을 한 결과 다음과 같은 수평위치 원형오차와 90%신뢰 원형오차를 얻을 수 있었다.

4.2.2 수직위치오차

수직 위치는 한 방향이므로 선형 오차분석 이론을 사용한다. 오차가 정규 분포임을 가정하면 선형지도정확도표준(LMAS: Linear Map Accuracy Standard)에서 정의한 90% 신뢰 수준의 선형 오차는 선형 오차 분석 이론에 의해 다음과 같다.

$$LMAS = 1.6449\sigma_z \quad (3)$$

90% 신뢰 수준에서의 선형 오차는 관측점들의 90%가 선형 오차 허용 범위 내에 있음을 의미한다. 실험에서 구한 Z의 표준편차를 이용하여 원형오차 분석을 한 결과 표 7과 같은 수직위치 90%신뢰 원형오차를 얻을 수 있었다. 수직 위치오차는 지상기준점수가 증가할수록 줄어드는 경향을 보였으며 지상기준점수 10개에서 최고, 30개에서 최저로 나타났다. 즉 입체 위성영상처리에서 지상기준점수가 늘어날수록 수직위치오차는 줄어들음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 공간해상도가 10m인 SPOT HRV 센서를 이용한 입체위성영상에 대해 지상기준점 수를 늘려가며 모델링을 실시하였고 수치표고모델과 정사영상을 생성하여 위치 정확도를 평가·분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 시도한 정사영상을 이용한 모델링 정확도 평가는 입체위성영상을 사용한 정사영상 생성시 위치오차의 검증에 효율적으로 사용할 수 있는 가능성을 보였다.
2. DEM 생성을 위해 지상기준점 수를 최소 10점부터 5점씩 증가시켜 모두 5단계의 입체영상에 대한 모델링을 실시한 결과 각 단계별 표준오차는 모두 1화소 미만을 얻을 수 있었다.

3. 정사영상을 이용한 정확도 평가 결과 지상기준점 수량에 따른 위치오차는 기준점 수가 증가할 수록 감소하는 경향을 나타내었으며 10점에서 최대, 30점에서 최소를 나타내었다.

이상과 같은 결과를 토대로 모델링의 정확도 개선을 위해서는 향후 예상하는 다양한 고해상 위성영상의 물리적 모델링에 대한 연구와 정확도 평가 방법, 기준점 수량 최소화 방안 등을 지속적으로 연구하여야 할 것으로 판단한다.

참고문헌

김갑래 (1996), “측량학”, 청문각, pp. 459-462.
 김갑래, 이호남, 이호재 (1999(IV)), “SPOT 영상을 이용한 DEM 정확도의 개선”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 503-506.
 박병욱 (1991), “SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구”, 서울대학교 박사학위논문, pp. 12-45.

연상호 (2000), “위성영상을 이용한 춘천지역의 3차원 입체영상 지도 생성에 관한 연구”, 한국지리정보학회지, 3(4), pp. 1-10.
 유복모, Toni Schenk (2001), “현대 디지털사진 측량학”, 문운당, pp. 117-123.
 서두천 (2002), “고해상도 입체위성영상으로부터 DEM을 작성하기 위한 수치영상처리기법”, 경상대학교 박사논문, pp. 34.
 한상학 (1998), “기준타원체가 상이한 지도간의 정확도 비교”, 명지대학교 석사논문, pp. 21-34.
 CNES and SPOT IMAGE (1988), SPOT user's handbook, Vol. 1, Reference manual.
 CNES and SPOT IMAGE (1988), SPOT user's handbook, Vol. 2, SPOT handbook.
 SPOT IMAGE (1997), The SPOT scene standard digital product format.
 Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt (2000), “Elements of Photogrammetry 3rd edition”, pp. 176-178.
 SPOT Image (2002), Company web site, “http://www.spotimage.fr/spot5/spot5_eng.html”.

(2003년 2월 20일 원고접수)