

SPOT 5/HRG 입체영상으로부터 추출된 DEM의 평가

Evaluation of Digital Elevation Model Created from SPOT 5/HRG Stereo Images

김연준¹⁾ · 유영걸²⁾ · 양인태³⁾

Kim, Yeon Jun · Yu, Young Geol · Yang, In Tae

Abstract

A new High Resolution Geometry or HRG imaging instrument is developed by CNES to be carried on-board SPOT 5. The HRG instrument offers a higher ground resolution than that of the HRV/HRVIR on SPOT 1 - 4 satellites. The field width of HRG is 60 km, same as SPOT constellation. With two HRG instruments, a maximum swath of 120 km at 5 m resolution can be achieved. The generation of Digital Elevation Models (DEMs) from satellite stereo images scores over conventional methods of DEM generation using topographic maps and aerial photographs. This global availability of satellite images allows for quicker data processing for an equivalent area. In this study, a HRG stereo images of SPOT 5 over JECHEON has been used with Leica Photogrammetry Suite OrthoBASE Pro tool for the creation of a digital elevation model (DEM). The extracted DEM was compared to the reference DEM obtained from the contours of digital topographic map.

Keywords : SPOT 5, HRG, stereo images, DEM

초 록

새로운 HRG(High Resolution Geometric) 영상 장치는 CNES에 의해 개발된 SPOT 5 위성의 고해상도 관측 센서이다. HRG 장치는 SPOT 1 - 4 위성들에 탑재된 HRV/HRVIR 보다 진보된 높은 지상 해상도로 영상을 얻는다. HRG의 관측폭은 다른 SPOT 위성들과 같은 60km이며, 두 개의 HRG 장치는 5m 공간해상도로 최대폭 120km까지 영상을 획득할 수 있다. 위성의 입체 영상으로부터 DEM을 생성하는 방법은 지형도와 항공사진을 이용한 DEM 생성의 연장선상에 있다. 위성영상의 광범위 관측능력은 동일한 지역에 대한 빠른 자료 처리를 가능하게 한다. 이 연구에서는, 제천 지역에 대한 SPOT 5/HRG 입체 영상을 이용하여 DEM을 생성하기 위해 LPS의 OrthoBASE Pro 툴을 사용하였다. 결과로 얻어진 DEM은 수치지형도의 등고선으로부터 획득된 참조 DEM과 비교분석을 수행하였다.

핵심어 : SPOT 5, HRG, 입체영상, 수치표고모형

1. 서 론

SPOT 5는 프랑스의 국립우주센터(CNES; Centre National D'Etudes Spatiales)에 의해 개발된 SPOT(Satellite Pour l'Observation de la Terre) 위성군에 속한다. 위성군은 Pushbroom 스캐닝 기술과 선형 배열 시스템을 최초로 장착한 지구자원탐사위성으로서 3개 운영 위성들(SPOT-2,

SPOT-4 및 SPOT-5)로 구성된다(CNES site).

위성군 중에서 SPOT 5는 2002년 5월에 발사되어 운영 중이며 가장 혁신적인 위성으로 SPOT 4의 HRVIR 장치로부터 추출된 새로운 HRG(High Resolution Geometry) 장치는 센서 2대를 탑재하여 궤도의 직각방향으로 팬크로매틱 모드 5m의 공간해상도와 재배열(Resampling)할 경우 2.5m의 해상도를 가지고, 다중분광(Multi-Spectral)

1) 연결저자 · 정회원 · 대원과학기술대학 토목과 조교수(E-mail:yjkim@mail.daewon.ac.kr)

2) 정회원 · 강원대학교 토목공학과 공학박사(E-mail:cain25@nate.com)

3) 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수(E-mail:intae@kangwon.ac.kr)

모드에서는 가시광선 및 근적외선의 3밴드에서 10m, 중적외선 밴드는 20m의 공간해상도의 영상을 공급하고 있다.

새로운 HRS(Hight Resolution Sensor)는 20° 전·후 방향으로 두 개의 telescope pointing을 이용하여 궤도의 진행방향으로 입체 영상을 획득하고 있다.

DEM의 생성은 지형도의 등고선이나 항공사진을 이용하여 반자동으로 얻을 수 있으며, 또한 광학 센서와 마이크로파 센서로부터 획득된 위성 입체 영상을 이용한 DEM의 생성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(유복모 등, 2000 ; 유복모 등, 1991 ; Zhang et al., 2004).

위성 입체 영상으로부터 생성된 DEM은 다른 방법에 비해 전세계적인 이용성, 넓은 지역의 동시성, 높은 해상도, 정교한 소프트웨어 기술, 낮은 처리 비용 등의 장점을 가진다.

최근에는 다양한 고해상도 입체 영상을 이용한 DEM의 생성이 가능하지만 QuickBird와 IKONOS 같은 고해상도 영상을 이용한 DEM의 생성은 포함 면적이 16km×16km, 11km×11km로 비교적 작고 비용이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 SPOT 5는 60km×60km의 포함 면적이 상대적으로 넓고, 높은 공간해상도를 가진다.

SPOT 5/HRG 장치는 모델의 영상들 사이의 큰 복사량 차이를 피하기 위해 짧은 시간 간격으로 입체 쌍의 영상을 획득한다.

SPOT 5는 또한 전후 20°로 하나의 궤도에서 입체모형을 취득하는 HRS 장치도 포함되어 있지만 이들 영상은 보통 배포되지 않는다.

이 연구에서는 제천을 포함하는 시험지역에 대해 5m 공간해상도의 SPOT 5 입체 영상을 LPS의 OrthoBASE Pro 툴을 이용하여 DEM을 생성하고 정확도를 분석하고자 하였다. 좌우영상은 최상의 조건을 갖도록 시간 간격이 최대한 작으면 이상적이지만 실제 영상은 시간간격을 가지므로 약간의 복사량 차이를 보일 수 있다.

SPOT 5의 HRG 센서로부터 얻어진 영상으로부터 추출된 DEM의 정확도와 품질을 비교평가하기 위해 영상 표정과 영상 매칭을 실시하고 DEM을 생성하였다. 또한 수치지형도로부터 산출된 참조 DEM를 기준으로 HRG 영상으로부터 생성된 DEM을 비교분석하였다.

2. 자료 및 연구방법

2.1 SPOT 5/HRG 영상자료

SPOT 5의 밴드는 가시광선과 단파장 적외선 영역으로

SPOT 4와 거의 같다. 각각의 HRG 장치는 4°의 관측각(a field of view)을 가지며, 지상을 60km×60km 폭으로 관측할 수 있고 경사각을 27°(off-vertical) 까지 지정할 수 있다.

HRG 센서는 pushbroom 주사 기법을 이용하여 영상을 획득하며, 신호는 디택터의 선형 배열로부터 순차적으로 기록되어 위성의 전방 운동을 통하여 영상을 구축한다.

표 1은 SPOT 5 위성과 HRG 센서의 제원을 나타낸 것이다.

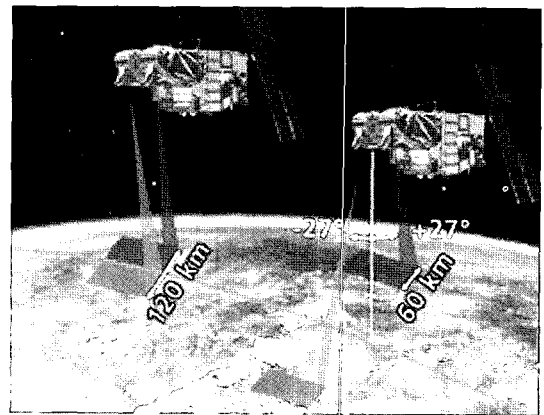


그림 1. HRG(유복모 등, 2000)

표 1. SPOT 5/HRG의 제원

SPOT 5 위성			
궤도	태양동주기궤도(원궤도)		
고도	850km		
경사	98.7°		
주기	101분		
순환주기	26일		
장착센서	HRG 2, HRS, DORIS, VEGETATION		
H R G			
경사각	+/- 27 degrees		
초점거리	1.082m		
관측각	+/- 2 degrees		
	Pan	B1 B2 B3	SWIR
라인당 디택터의 수	12000	6000	3000
라인의 수	2 offset	3 registered	1
공간해상도	5 × 5 m (단일영상) 3,5 × 3,5 (듀얼영상)	10 × 10 m	20 × 20 m

2.2 연구대상지역 및 연구방법

연구대상지역은 제천시를 포함하는 지역을 선정하고 일정한 입사각을 가지고 2004년 12월 9일(우측영상)과 23일(좌측영상)에 촬영된 HRG 입체영상을 이용하였다(표 2, 그림 2, 그림 3). 두 영상사이에는 14일의 시간 간격을 가지기 때문에 약간의 복사량 차이를 가진다.

두 영상 12월 9일 영상과 12월 23일 영상의 히스토그램은 최소값에서 51과 48로 3의 근소한 차이를 보이고 평균값에서 81과 85.2로 4.2의 근소한 차이를 보이고 있어 14일간의 시간간격이 있지만 비교적 유사한 히스토그램을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

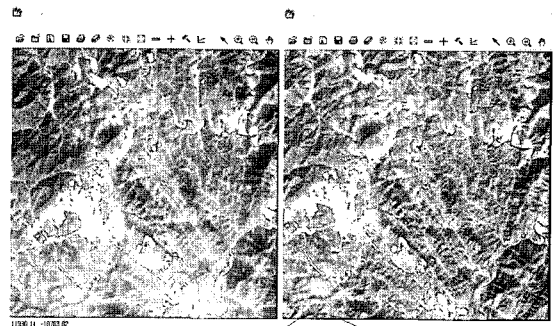
각각의 SPOT 5의 HRG 영상은 궤도의 직각방향으로 얻어졌으며, 12002×12002 픽셀 크기를 가진다. 영상은 비행 방향을 따라 입체 관측한 팬크로매틱 모드로 획득되었다.

영상에 포함된 연구대상지역은 경사가 있는 높은 산악

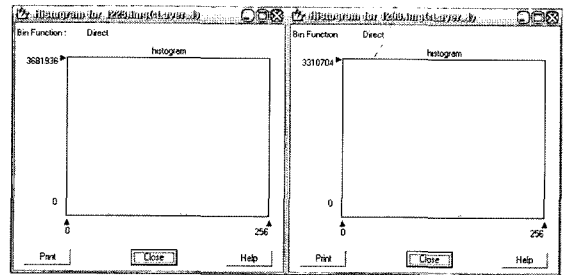
지역과 약간 경사진 언덕 지역이 주를 이루고 있는 지역으로서, 평탄한 지형에는 농경지와 도시가 자리 잡고 있고, 하천 및 호수 등을 다양하게 포함하고 있다.

영상은 구름이 없고 비교적 양호한 상태를 가지고 있다.

그림 3은 연구에서 이용된 SPOT5의 HGR 좌우 영상과



(a) 좌우 영상



(b) 히스토그램

그림 3. HRG영상과 히스토그램

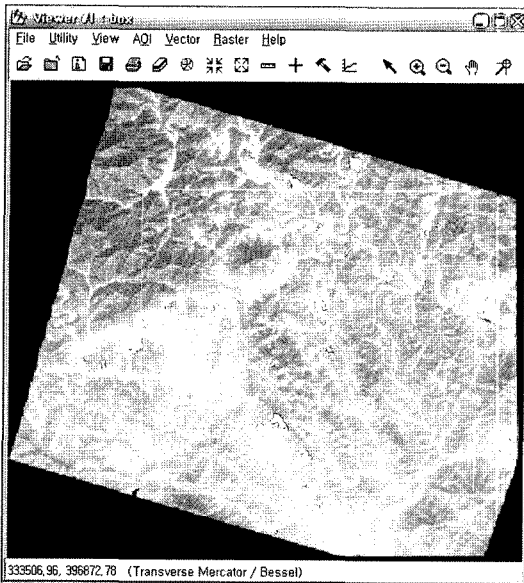


그림 2. 연구대상지역

표 2. HRG 영상

영 상	영상의 범위	경사각(°)
Left	N37° 19'56" E128° 09'28"	L27.737288
	N37° 14'03" E128° 33'44"	
	N36° 58'26" E128° 27'49"	
	N37° 04'18" E128° 03'39"	
Right	N37° 18'51" E128° 09'59"	R21.987199
	N37° 15'02" E128° 32'50"	
	N36° 59'12" E128° 28'34"	
	N37° 03'01" E128° 05'48"	

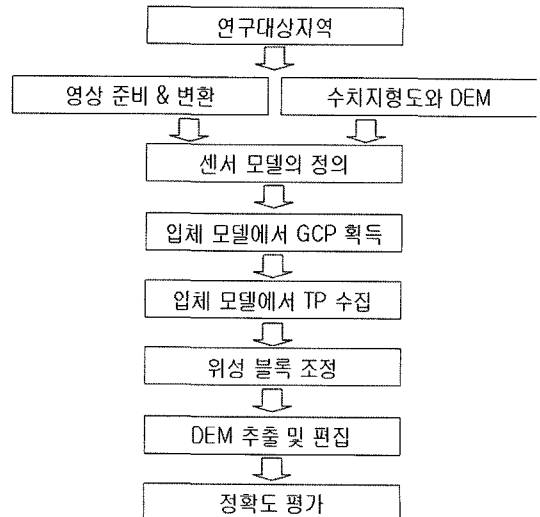


그림 4. 연구흐름도

히스토그램의 분포를 나타낸 것이다.

이 연구에서는 SPOT 5의 HRG 센서로부터 획득된 전처리 수준 Level 1A의 입체 영상을 이용하여 영상 매칭을 통해 DEM을 생성하고 결과로 추출된 SPOT DEM과 참조 DEM을 비교 분석하기 위해서 그림 4의 연구과정을 거쳐 수행되었다.

3. 분석 및 결과

3.1 DEM 생성

SPOT 5의 HRG 입체영상을 준비하고 Erdas Imagine 포맷으로 변환하였으며, 1/5000 수치지형도의 등고선을 ArcGIS 소프트웨어를 이용하여 10m와 15m 격자크기의 참조 DEM을 생성하였다.

센서모델은 초점거리 1082mm, 픽셀 크기 0.00325mm, 센서 킬립 12002를 사용하여 지상해상도 2.5m 영상을 처리하여 SPOT DEM의 격자크기 10m와 15m를 각각 생성하였다.

우수한 DEM 생성을 위해서는 GCP들의 표고가 많이 차이나면 큰 오차가 발생하므로 낮은 고도 지역에서 골고루 GCP를 수집하였으며, 또한 많은 수의 TP는 좋은 영상 매칭을 통하여 우수한 결과를 가져올 수 있으므로 GCP와 TP를 적절하게 수정하면서 DEM을 생성하였다.

GCP는 1/5000 수치지형도로부터 수집하여 사용하였으며, TP는 두 개의 입체 쌍사이의 매칭을 향상시키기 위해 자동 수집되었다.

SPOT 영상에 대해서 20개의 GCP와 118개의 TP를 이

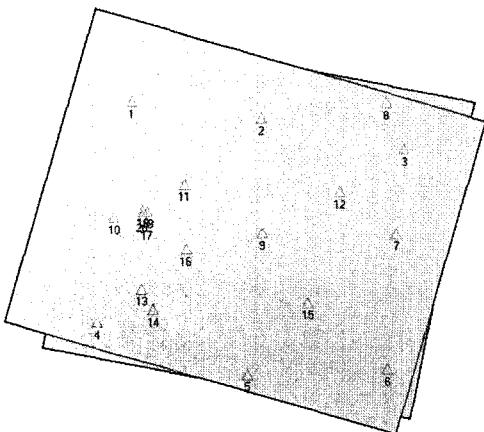


그림 5. GCP의 분포

용하였다. DEM 생성시의 GCP의 RMSE는 10m DEM이 $\pm 8.2m$, 15m DEM이 $\pm 8.7m$ 였다.

지형을 획득하고 모델을 만들기 위해서, 영상 매칭에서 많은 수의 mass 포인트를 산출하고 선형 feature를 생산하였다. Tin 기반 DEM은 브레이크 라인 같은 매치된 mass 포인트와 edge들로부터 산출되었다.

그림 6은 참조 DEM과 SPOT DEM을 나타낸 것으로 시각적으로는 비슷한 결과를 보이고 있다. 그림 7은 생성된 DEM을 이용하여 음영기복도를 나타낸 것이다.

여기서는 DEM의 모양이 참조 표면과 제한된 해상도

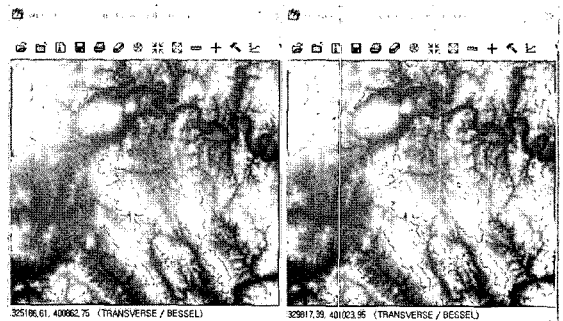
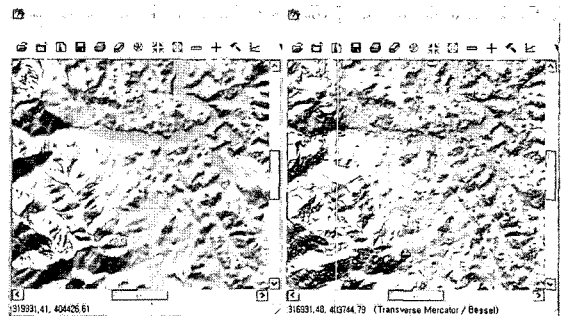
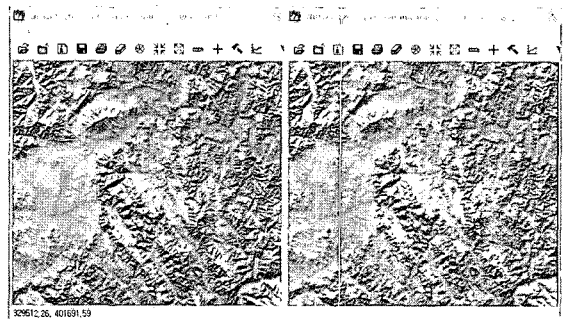


그림 6. 참조 DEM과 SPOT DEM



(a) 참조 DEM

(b) SPOT DEM

그림 7. 음영기복도

때문에 유사하게 보이지만 확대화면에서는 시각적으로 많은 차이를 보이고 있다.

3.2 정확도 평가

이 연구에서 이용된 좌표 체계는 TM 투영법, 베셀 타원체, 중부원점이다.

정확도 평가는 참조 DEM을 기준으로 생성된 SPOT DEM을 비교하였으며, 생성된 SPOT DEM의 정확도는 RMSE로 나타내었다.

정확도 평가를 위해서는 다음의 세 가지 방법을 사용하여 추출된 SPOT DEM의 정확도를 비교분석하였다.

우선 동일한 해상도인 10m와 15m로 참조 DEM과 SPOT DEM을 일대일로 대응시켜 그림 2에 표시된 범위의 모든 픽셀을 비교하였으며, 두 번째로 지도나 DEM에서 얻은 표고점에서 랜덤 체크를 통하여 비교 분석하였다. 마지막으로 평지, 산악지역에 대한 비교분석을 수행하였다.

모든 픽셀의 비교는 24km×23km 면적에 3419×3102 픽셀 크기를 대상으로 참조 DEM과 생성된 DEM을 단순 차감하여 분석을 수행하였다.

SPOT 입체 영상으로부터 추출된 10m DEM은 37.1m~887.1m, 15m DEM은 111.5m~863.2m의 표고 범위를 가지며, 10m 참조 DEM은 120m~875.2m, 15m DEM은 120.0m~875.3m의 표고 범위를 가지는 것으로 나타났다.

10m 격자크기의 SPOT DEM에서 참조 DEM을 차감하여 계산된 결과, 최소오차는 -394.4m, 최대오차는 457.4m, RMSE는 ±14.9m 나타났다.

또한 15m DEM의 비교에서 최소오차는 -322.5m, 최대

오차는 275.7m, RMSE는 ±12.8m로 나타났다.

그림 8은 참조 DEM과 SPOT DEM의 공간적인 분포를 profile로 나타낸 것이다.

일부 지역에서 과대오차가 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

팬크로매틱 SPOT 영상은 산림 지역에서 그레이 값의 변화가 생기는 문제가 있으며, 특히 산악 지역의 그림자 지역은 영상매치에서 큰 차이를 일으키는 약간의 문제를 발생시키기 때문에 최소오차와 최대오차의 크기가 상당히 과대하게 나온 것으로 판단된다.

그러나 그림 9의 10m DEM간의 차감 결과에 나타난 히스토그램을 살펴보면, 실제 대부분의 값들은 10m DEM은 -50m~50m 사이에 98.8%, 15m DEM은 99.2%가 분포되어 있으며, 수목 높이와 건물 등을 고려한 범위 -15m~35m 사이에는 10m DEM은 90.0%, 15m DEM은 90.1%로 나타났다. 대상지의 약 10% 지역이 DEM 생성시의 실패지역인 것으로 판단된다.

두 번째 비교는 랜덤 포인트를 210점을 대상으로 비교하였으며, 그 결과 10m DEM의 RMSE는 ±15.4m, 15m DEM의 RMSE는 ±13.6m로 나타났다.

마지막으로 평지와 산악지역에 대한 비교에서는 그림 10에 나타난 지역을 대상으로 분석을 수행하였다.

평지에서 10m DEM의 RMSE는 ±5.2m, 15m DEM의 RMSE는 ±4.5m로 전체 지역에 대한 비교보다 좋은 결과를 나타내고 있으며, 산악지역에서 10m DEM의 RMSE

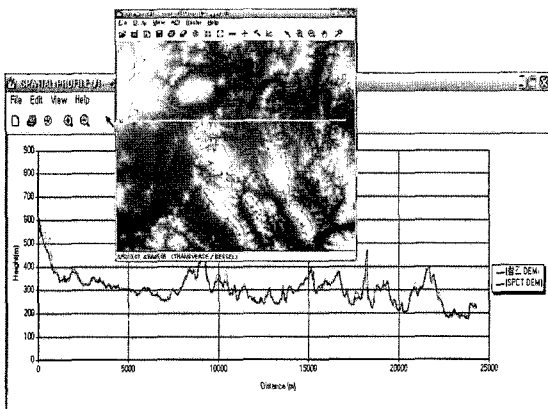


그림 8. DEM의 비교

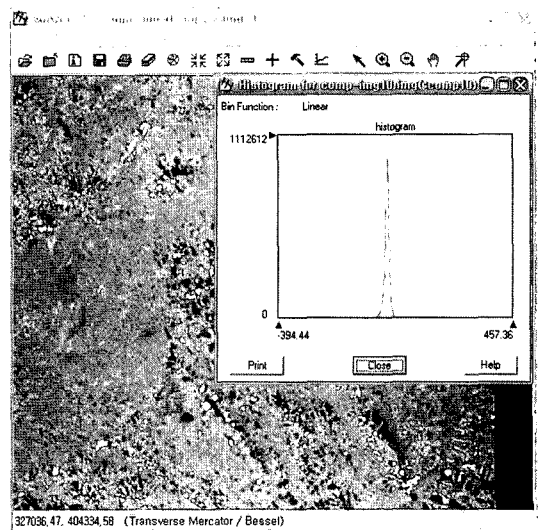


그림 9. DEM의 비교결과와 히스토그램

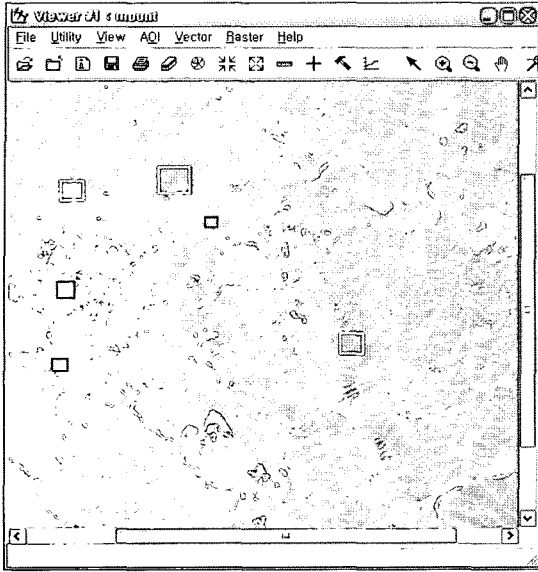


그림 10. 평지와 산악지역

표 3. 정확도 평가

SPOT5 level 1A	-15<dH<35m		실패지역		RMSE(m)	
	10m	15m	10m	15m	10m	15m
DEM 격자크기						
전체지역	90.0%	90.1%	10.0%	9.9%	14.9	12.8
평 지	98.7%	99.1%	1.3%	0.9%	5.2	4.5
산 악 지	87.9%	89.2%	12.1%	10.8%	21.8	15.5

는 $\pm 21.8m$, 15m DEM의 RMSE는 $\pm 15.5m$ 로 전체 지역의 결과보다 나쁜 결과로 나타났다.

4. 결 론

SPOT 5의 HRG 센서로부터 얻어진 영상을 영상표정

과 영상매칭을 실행하여 DEM을 추출하고 수치지형도로 부터 산출된 참조 DEM과 비교·분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, SPOT 5의 HRG 입체 영상을 이용하여 신속하게 DEM을 생성할 수 있었다.

둘째, 생성된 SPOT DEM과 참조 DEM의 일대일 비교에서 RMSE를 이용하여 정확도를 평가한 결과, $\pm 12.8 \sim 14.9m$ 의 오차를 보였다.

셋째, DEM의 정확도 평가에서 가장 좋은 결과는 평탄한 지역에서 얻어졌으며, 산악지역에서는 실패지역이 10%를 초과하였다.

참고문헌

- 유복모, 이용용, 최선용, 조봉환 (2000), "SPOT 위성영상의 지상 기준점 제작 및 위치정확도 평가 연구", 대한토목학회지, 제 20권 제3-D호, pp. 331-33.
- 유복모, 조기성, 이현직 (1991), "SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정의 정확도 향상에 관한 연구", 대한토목학회지, 제 11권 4호, pp. 151-162.
- CNES site : <http://www.cnes.fr>
- Fritsch, D. and Stallmann, D. (2000), Rigorous photogrammetric modelling processing of high resolution satellite imagery. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B1, Amsterdam, pp. 313-321.
- Grodecki, J. and Dial, G. (2003), Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Functions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No. 1, pp. 59-70.
- Leica Photogrammetry Suite OrthoBASE & OrthoBASE Pro User's Guide (2003).
- Leica Photogrammetry Suite Stereo Analyst User's Guide (2003).
- Zhang L. and Gruen, A. (2004), Automatic DSM Generation from Linear Array Imagery Data. IAPRS, Vol. 34, Part B3 (to be published).

(접수일 2005. 9. 8, 심사일 2006. 6. 2, 심사완료일 2006. 6. 9)