

SPOT, EOC, IKONOS 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석

임용조 · 김태정

한국과학기술원 인공위성연구센터

Comparison of DEM Accuracy and Quality over Urban Area from SPOT, EOC and IKONOS Stereo Pairs

Yong-Jo Im and Tae-Jung Kim

Satellite Technology Research Center, KAIST

Abstract : In this study we applied a DEM generation algorithm developed in-house to satellite images at various resolution and discussed the results. We tested SPOT images at 10m resolution, EOC images at 6.6m and IKONOS images at 1m resolution. These images include the same urban area in Daejeon city. For camera model, we used Gupta & Hartley's(1997) DLT model for all three image sets. We carried out accuracy assessment using USGS DTED for SPOT and EOC and 23 check points for IKONOS. The assessment showed that SPOT DEM had about 38m RMS error, EOC DEM 12m RMS error and IKONOS DEM 6.5m RMS error. In terms of image resolution, SPOT and EOC DEM error corresponds to 2~4 pixels where as IKONOS DEM error 6~7pixels. IKONOS DEM contains more errors in pixels. However, in IKONOS DEM, individual buildings, apartments and major roads are identifiable. All three DEMs contained errors due to height discontinuity, occlusion and shadow. These experiments show that our algorithm can generate urban DEM from 1m resolution and that, however, we need to improve the algorithm to minimize effects of occlusion and building shadows on DEMs.

Key Words : Urban DEMs, IKONOS, EOC, SPOT, DLT.

요약 : 본 연구에서는 한국과학기술원 인공위성연구센터에서 개발한 DEM생성 알고리즘을 다양한 해상도의 위성영상에 적용하여 도심지역의 DEM생성결과를 살펴보고자 한다. 실험에 사용한 위성영상은 10m해상도의 SPOT영상과, 6.6m해상도를 가지는 EOC영상, 1m해상도를 가지는 IKONOS 위성영상이며 모든 위성영상에는 대전광역시의 도심지역이 포함되어 있다.

모든 위성영상에 대해 궤도정보 없이도 카메라 모델이 수립되는 Gupta와 Hartley(1997)가 제안한 DLT모델을 사용하였다. EOC DEM과 SPOT DEM정확도 검증은 USGS DTED를 사용하였으며, IKONOS DEM의 정확도는 DGPS측량을 수행한 23개의 검증점(check points)를 사용하여 정확도를 비교하였다. 그 결과 SPOT 위성영상으로부터 얻은 DEM은 약 38m RMS오차를 갖고 EOC DEM은

약 12m RMS오차를 보였다. 이 수치는 위성영상의 해상도를 고려하면 약 2~4픽셀에 해당하는 오차이다. IKONOS DEM의 정확도는 약 6.5m RMS오차를 보였으며 해상도를 고려하면 약 6~7픽셀의 오차를 가지고 있다. 이는 SPOT DEM과 EOC DEM보다 다소 높은 수치나 IKONOS DEM은 SPOT, EOC DEM과 달리 도심지역의 건물을 육안으로 구분할 수 있을 정도의 DEM을 생성하고 있다. 그러나 높이 불연속과 건물의 그림자 등에 의해 오정합이 발생하고 있어 향후 높이 불연속과 그림자의 영향을 최소화 하는 알고리즘 개발이 필요하다.

1. 서론

최근까지 일반인이 사용할 수 있는 위성영상은 대부분 중 저급 해상도를 갖는 위성영상이었다. 그러나 1999년 9월 24일 IKONOS위성이 발사에 성공함에 따라 1m급 고해상도 입체영상을 획득할 수 있게 되었으며 다양한 활용분야에 고해상도 위성영상을 사용할 수 있는 계기가 마련되었다.

위성영상을 활용하는 분야는 해양, 기상, 수리, 도시계획, 지질, 군사 등 다양하게 존재하며 지리 정보시스템(Geographic Information System)의 입력 자료로도 많이 활용하고 있는 추세다. 이 중에서도 입체 위성영상을 이용한 3차원 지형정보 추출은 영상지도(image map) 생성과 지도생성등에 이용될 뿐만 아니라 다른 응용분야에 중요한 분석 자료로 사용되고 있어 정밀한 3차원 지형정보 추출의 중요성은 날로 증가하고 있다.

이러한 3차원 지형정보 추출은 위성의 다른 위치, 다른 각도에서 같은 지표면을 촬영한 입체 영상을 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 입체 위성영상을 이용하는 방법은 기존 항공사진의 도화기를 이용한 아날로그 작업방식을 자동화할 수 있는 계기를 마련했으나 아직 연구개발 단계이며 작업공정 및 규정등에 대한 표준화도 미비한 실정이다. 그리고 위성영상의 종류와 카메라 모델링 기법에 따라 생성되는 DEM의 성능이 가변적이기 때문에 다양한 위성영상과 카메라 모델링에서의 성능분석이 수행되어야 한다.

카메라 모델링에 적용하는 알고리즘에 따른 DEM의 성능 비교와 위성영상의 종류에 따른

DEM의 성능 비교는 이미 선행연구에서 수행하였다(김태정 *et al.*, 2000, 임용조 *et al.*, 2002). 그러나 선행연구는 10m와 6.6m의 해상도를 갖는 위성영상에 적용한 결과이며, 1m급 고해상도 위성영상에는 결과를 검증하지 않았다.

기존 중 저급 해상도와 달리 고해상도 위성영상에는 도심지역 아파트 및 인공구조물이 매우 상세하므로 해상도의 기대치에 부응하는 DEM이 생성되어야 할 것이다. 또한 기존의 SPOT용으로 개발한 알고리즘을 고해상도 위성영상에 적용할 경우 건물의 그림자, 건물에 의한 폐색(occlusion)과 같은 고해상도 위성영상의 내재하고 있는 특성이 DEM의 성능에 어떤 영향을 주는 지 고찰할 필요가 있다.

본 연구에서는 10m해상도의 SPOT 위성영상과 6.6m해상도의 EOC 위성영상, 1m해상도의 IKONOS 입체 위성영상에서 DEM을 생성하여 정확도를 정량적으로 계산하고 각 해상도별 도심지역의 DEM생성 결과에 영향을 미치는 요인을 검토한다.

2. 자료 및 방법

1) 입체 위성영상 자료 및 지상 기준점

본 연구에서 다양한 해상도의 위성영상에서 결과를 살펴보기 위해 SPOT, EOC, IKONOS 입체 위성영상을 사용하였으며 각 위성영상의 특징은 Table 1에 정리하였다. EOC 및 IKONOS용 지상 기준점(Ground Control Points: GCP)은 각각 한국항

Table 1. Characteristics of stereo pairs used for experiments.

Sensor	SPOT	EOC	IKONOS
Region	Chungnam	Daejeon	Daejeon
Acquisition Date	97.11.15(Left) 97.10.14(Right)	2000.3.9(Left) 2000.3.1(Right)	2001.11.19(Left) 2001.11.19(Right)
Tilt Angle (negative when tilt to the west)	4.2°(Left) -28.7°(Right)	26°(Left) -4°(Right)	N/A
Resolution	10m	6.6m	< 1m
Swath Width	60Km	17Km	11km
GCPs	21	30	18

공우주연구원과 전자통신연구원에서 제공받았으며 세 종류의 위성영상에 사용된 GCP모두 DGPS (Differential GPS)측량을 수행한 지점이고 좌우 입체영상에서 공통으로 포함하는 지역에 대해 선택하였다.

대전 IKONOS위성영상은 Precision Geometrically Corrected된 영상으로 이미 에피플라 리샘플링이 수행된 영상이다. Table 2는 e-HD.com에서 연구용으로 제공받은 대전지역 IKONOS위성영상의 메타데이터(metadata)를 정리한 결과이다. IKONOS위성영상의 Cross Scan GSD(Ground Sampling Distance)와 Along Scan GSD를 살펴보면 1m 이하임을 알 수 있다. 그러나 실제로 제공받은 IKONOS 영상은 1m해상도로 quasi epipolar-geometry된 영상임을 밝힌다. 또한 IKONOS 위성

영상은 SPOT, EOC위성영상과 달리 along track 방식으로 입체영상을 획득할 수 있어 좌우 영상의 시간차가 수분이내로 미비하다.

지상 기준점은 좌우 입체 영상이 겹치는 부분에 대해 선택하였으며 분포는 Fig. 1과 같다. SPOT영상에서 사용한 지상 기준점은 총 21개 지점이며 영상 전체에 걸쳐 고루 분포시켰다. EOC의 지상 기준점은 좌우 영상의 공통 영역에 대해서만 선택하였기 때문에 우상단에 밀집되어 있다. IKONOS의 경우 총 18개의 지상 기준점을 선택했으며 해상도가 높아 영상좌표 선택에 신중을 기했다. 본 연구에서는 영상 전체에 대해 DEM을 생성하였으나 도심지역 DEM의 특성을 집중적으로 살펴보기 위해 면적이 약 64km²에 해당하는 다음 Fig. 1의 굵은 점선 내부의 지역에 대해서 고찰하기로 한다.

2) DEM 생성방법 및 연구과정

본 연구에서는 Fig. 2와 같은 과정을 거쳐 SPOT DEM, EOC DEM, IKONOS DEM을 생성하였다. 먼저 전체적인 과정을 살펴보면 입체 위성 영상에서 지상 기준점을 사용하여 좌우 영상에 대한 카메라 모델을 수립한 후 영상 정합을 수행하였다. 정합에 성공한 정합점들은 다시 카메라 모델을 적용하여 지리 좌표를 부여하고, 정합점들

Table 2. Characteristics of IKONOS stereo image pairs for experiments.

	Left		Right	
	Coord 1.(Low Left)	36.29545119	127.30824047	36.29545119
Coord 2.(Upper Left)	36.38087960	127.33108292	36.38087960	127.33108292
Coord 3.(Upper Right)	36.36250309	127.43578855	36.36250309	127.43578855
Coord 4.(Low Right)	36.27709446	127.41283725	36.27709446	127.41283725
Cross Scan GSD	0.88m		0.93m	
Along Scan GSD	0.91m		0.93m	
Scan Azimuth	179.96°		179.96°	
Collection Azimuth	151.8080°		46.0332°	
Sun Azimuth	164.1390°		163.8771°	
Sun Elevation	32.80824°		32.75480°	
Acquisition Date	2001-11-19 02:19 GMT		2001-11-19 02:18 GMT	

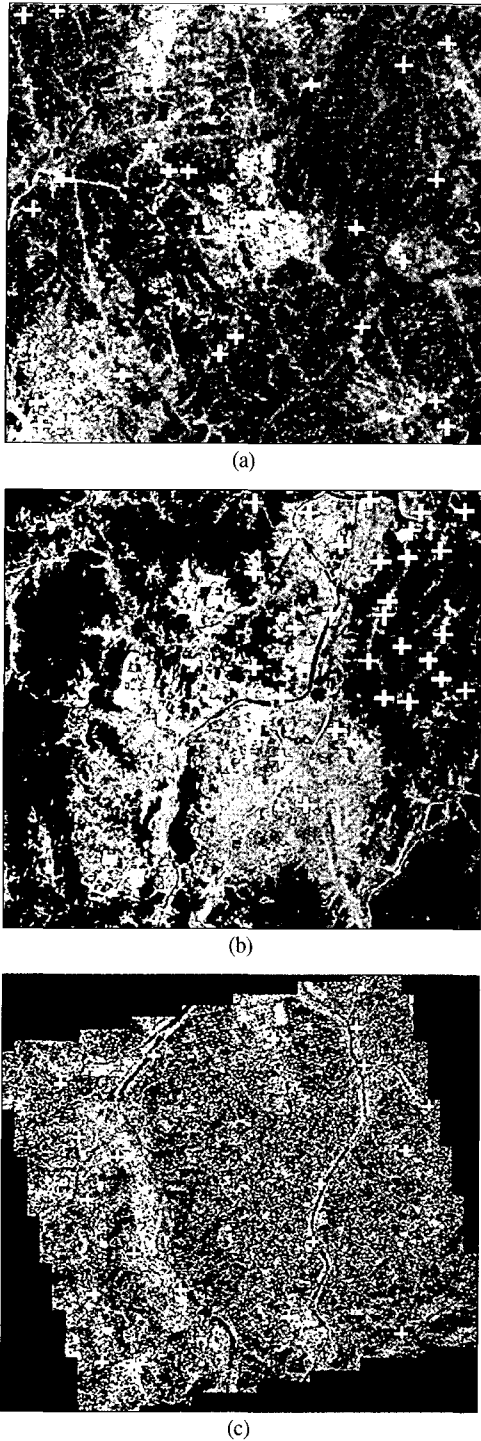


Fig. 1. Crosses in each image are the location of ground control points and dotted rectangles show the test urban area. (a) SPOT Chungnam, (b) EOC Daejeon, (c) IKONOS Daejeon.

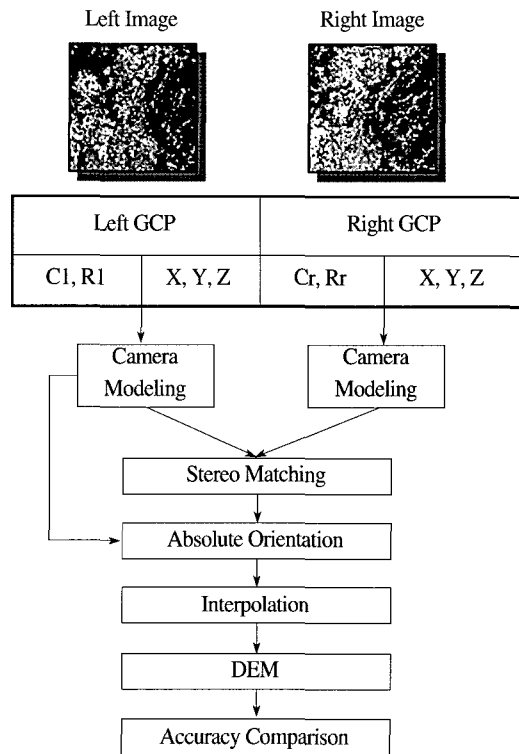


Fig. 2. Procedure of DEM Generation experiments.

을 보간하여 DEM을 생성하게 된다.

DEM생성에 사용한 카메라 모델 알고리즘은 IKONOS위성의 경우 영상에 대한 궤도정보를 제공하지 않기 때문에 Orun과 Natarajan이 제안한 모델(1994)을 사용할 수 없었으며, 궤도정보 없이도 카메라 모델이 수립되는 Gupta와 Harteley (1997)가 제안한 DLT모델을 사용하였다(편의상 Gupta와 Harteley가 제안한 DLT모델은 "DLT모델"로 칭함).

구현한 영상정합 알고리즘은 적당한 개수의 동일점쌍을 수동으로 입력하게 되어 있다. 이러한 동일점쌍을 정합 후보점이라 하며, 이 정합 후보점에 대해 쌍곡선 형태의 에피폴라 특성을 이용하여 탐색영역을 제한하여 정합속도를 향상시켰다 (Kim, 2000). 또한 정합에 필요한 탐색창의 모양을 좌우 영상을 취득할 당시의 위성의 촬영각을 고려하여 크기와 모양을 조절할 수 있게 하여 정합 가능성을 향상시켰다.

한 점이 정합이 되면 그 주위에 있는 점들 중 이전에 정합되지 않은 점들이 다시 정합을 위한 정합 후보점으로 간주되고, 정합은 정합 후보점이 생기지 않을 때까지 계속 수행하였다. 보다 정확한 정합 후보점을 얻기 위하여 개발된 알고리즘은 정합 후보점의 높이값을 후보점 주위의 정합된 점의 높이값과 같다고 가정한 후 이 정보를 이용하여 해당 높이값을 가지게 하는 우측 영상 상의 점을 정합 후보점으로 결정하였다(Kim *et al.*, 2001)

생성한 DEM의 정확도 검증은 SPOT과 EOC DEM인 경우 USGS DTED를 사용하여 검증하였다¹⁾. 그러나 IKONOS DEM의 경우 해상도가 3초간격의 USGS DTED와 비교하는 것이 무리가 있으므로 DGPS측량을 수행한 23개의 검증점을 사용하여 정확도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 3은 각 위성영상의 카메라 모델링에서 모델 오차와 검증점 오차를 확인한 것이다. 우선 모든 지상 기준점에서 8개의 지상 기준점만을 이용하여 DLT모델을 적용한 후 모델링에 사용하는 지상 기준점은 하나씩 증가시키고 검사점으로 사용하는 지상 기준점은 하나씩 감소시켜 모델 오차와 검사점 오차를 살펴보았다. 그 결과 Table 3과

Table 4. Accuracy of absolute orientation.

Sensor	SPOT	EOC	IKONOS
Area	Chungnam	Daejeon	Daejeon
Horizontal Accuracy (RMS Error)	3.18m	5.14m	1.14m
Vertical Accuracy (RMS Error)	4.94m	6.37m	0.94m

같이 모든 위성영상의 모델 오차가 1~2픽셀로 수렴함을 확인할 수 있다.

SPOT과 EOC영상과 달리 IKONOS 위성영상은 해상도가 높기 때문에 지상 기준점의 영상좌표에 매우 민감하다. 그 결과 다소 모델 오차와 검증점 오차가 SPOT과 EOC의 오차에 비해 높게 나왔으나 모델을 수립하는데 크게 문제가 되지는 않았다. 또한 SPOT영상에 DLT를 적용한 결과가 EOC에 DLT를 적용한 결과보다 다소 정확하게 보이나 모델 오차가 모두 1픽셀 이하로 수렴하며 차이는 무시할 만 하다.

Table 4은 지상 기준점을 이용하여 DLT카메라 모델링을 수립한 후 지상 기준점의 영상좌표를 카

1) 선행연구(Lee *et al.*, 1999)에서 지상 기준점과 USGS DTED를 비교하였으며 그 결과 USGS DTED가 DEM의 정확도 분석에 사용되는 것은 적합하다는 결론을 내릴 수 있었다(평균 수직오차: 1.5m, 표준 편차: 6.5m)

Table 3. Accuracy of camera model(root mean square errors in pixels).

Image GCP ID	SPOT Chungnam(Left)		EOC Daejeon(Left)		IKONOS Daejeon(Left)	
	Model Error	Check Error	Model Error	Check Error	Model Error	Check Error
8	0.32	0.81	0.64	3.54	0.85	4.00
9	0.33	0.67	0.79	1.33	1.09	2.12
10	0.33	0.67	0.85	1.48	1.14	1.99
11	0.34	0.6	0.90	1.16	1.15	1.79
12	0.33	0.64	0.86	1.25	1.15	1.83
13	0.32	0.68	0.88	1.46	1.11	2.05
14	0.34	0.71	0.85	1.41	1.10	2.07
15	0.38	0.66	0.83	1.22	1.17	1.98
16	0.41	0.61	0.80	1.02	1.16	2.22
17	0.4	0.68	0.79	1.07	1.21	2.31
18	0.41	0.72	0.78	1.12	1.28	N/A

Table 5. Stereo matching results and DEM accuracy from each stereo pairs.

Sensor	SPOT	EOC	IKONOS
Area	Chungnam	Daejeon	Daejeon
No. of Match Points (msec/point)	1.04	0.924	9.83
DEM Average Error	-5.78m	0.31m	-1.0m
DEM RMS Error	38.88m	12.08m	6.55m

메라 모델에 적용하여 지리좌표를 계산하고 실제 측량한 지리좌표와 비교한 결과이다. 모든 위성영상의 정확도가 1픽셀로 떨어짐을 확인할 수 있으며 이는 본 연구에서 사용한 지상 기준점이 문제가 없고 절대 표정(absolute orientation) 또한 제대로 수행함을 보여준다.

Table 5는 좌우입체영상에서 영상 정합을 수행하고 DEM을 생성한 결과에 대해 성능분석을 수행한 결과이다. Table 5에서 RMS오차를 살펴보면 IKONOS DEM이 가장 정확한 것으로 나타나 있으나 영상의 해상도를 고려하면 EOC와 SPOT DEM의 RMS오차는 약 1~2픽셀의 정확도를 보이고 IKONOS는 6픽셀 이상의 오차를 보여 해상도의 관점에서 보면 다소 오차가 많음을 알 수 있다.

외국의 연구사례를 살펴보면 Zhou와 Li(2000)의 경우 IKONOS 영상에 24개의 지상 기준점을 사용할 경우 수직 오차가 약 2m정도 됨을 밝힌바 있다. 또한 Cheng과 Toutin(2001)의 DEM생성결과에 대해 정확도를 검증한 결과 약 2~5m의 오차가 있음을 밝힌바 있다. 본 연구에서의 결과는 외국의 경우에 비해 2~3배로 오차가 높으나 사용하는 지상 기준점의 분포와 개수가 차이가 있고 영상의 크기 및 건물의 그림자와 높이 불연속, 건물 가려짐과 같은 현상이 다르기 때문에 외국의 경우와 직접적인 비교는 힘들며 앞으로 다양한 검증자료를 사용하여 정밀한 정확도 검증이 필요할 것으로 사료된다.

Table 5에서 정합속도는 정합에 걸린 총시간을 정합점 수로 나눈 결과로 IKONOS위성영상이 크

기로 인해 가장 많은 시간이 소요됨을 알 수 있다. 또한 생성한 DEM의 RMS오차를 보면 SPOT DEM의 오차가 EOC DEM의 오차보다 다소 크나 이는 좌우 SPOT영상의 취득시기가 지표 특성이 급변하는 때이기 때문에 발생한 현상이다.

Fig. 3은 EOC와 SPOT영상에 대해 영상 정합을 수행한 후 정합점에 대해 내삽을 하여 DEM을 생성한 결과이다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)의 흰색 점선은 동일지역인 대전광역시 월평동, 만년동 일대의 아파트 단지를 표시한 것으로 도심지역 아파트 단지의 DEM생성 결과를 자세히 보여주기 위해 Fig 3(c), (d)와 같이 확대하였으며, Fig 3(e)와 Fig 3(f)는 각각 Fig 3(c)와 Fig 3(d)에 해당하는 SPOT과 EOC영상을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 도심지역 특성을 자세히 보기 위해 DEM에 대해 임의로 선형 변환(linear stretch)을 수행했음을 밝히며 DEM영상의 일부에 어두운 부분은 실제 Null값이 아니라 높이값이 존재함을 밝힌다.

Fig 3에서 원형 점선들은 EOC DEM과 SPOT DEM의 결과를 비교하기 위해 정부청사 일대의 동일지역을 표시한 것이며 대전 정부청사와 일부 관공서 건물을 제외하면 평지로 이루어진 지역이다. Fig 3(c)와 Fig 3(d)의 원형 점선 부분을 비교하면 EOC DEM이 SPOT DEM에 보다 건물의 윤곽을 더 자세히 보여주고 있으며, SPOT DEM의 경우 평지에서의 높이값 오차가 많은 것을 확인할 수 있다.

SPOT DEM이 EOC DEM에 비해 건물 윤곽이 부정확한 이유는 SPOT영상이 EOC영상에 비해 해상도가 약 2배 정도로 낮아 동일 면적에 대한 영상 정합점 수가 작고 이는 내삽(interpolation)단계에서 경계가 무더지는 현상을 발생시키기 때문이다. 또한 SPOT DEM이 평지에서 높이값 오차가 많이 발생하는 이유는 EOC영상과 달리 SPOT 영상의 경우 좌우영상의 획득시기의 차이로 평지 지역의 밝기값이 다르고 이는 좌우 영상에 대한 오정합을 발생시켰으며 이러한 오정합이 정합점에 대한 3차원 지리좌표 계산에 오차를 발생시키는 요인으로 작용하였기 때문이다.

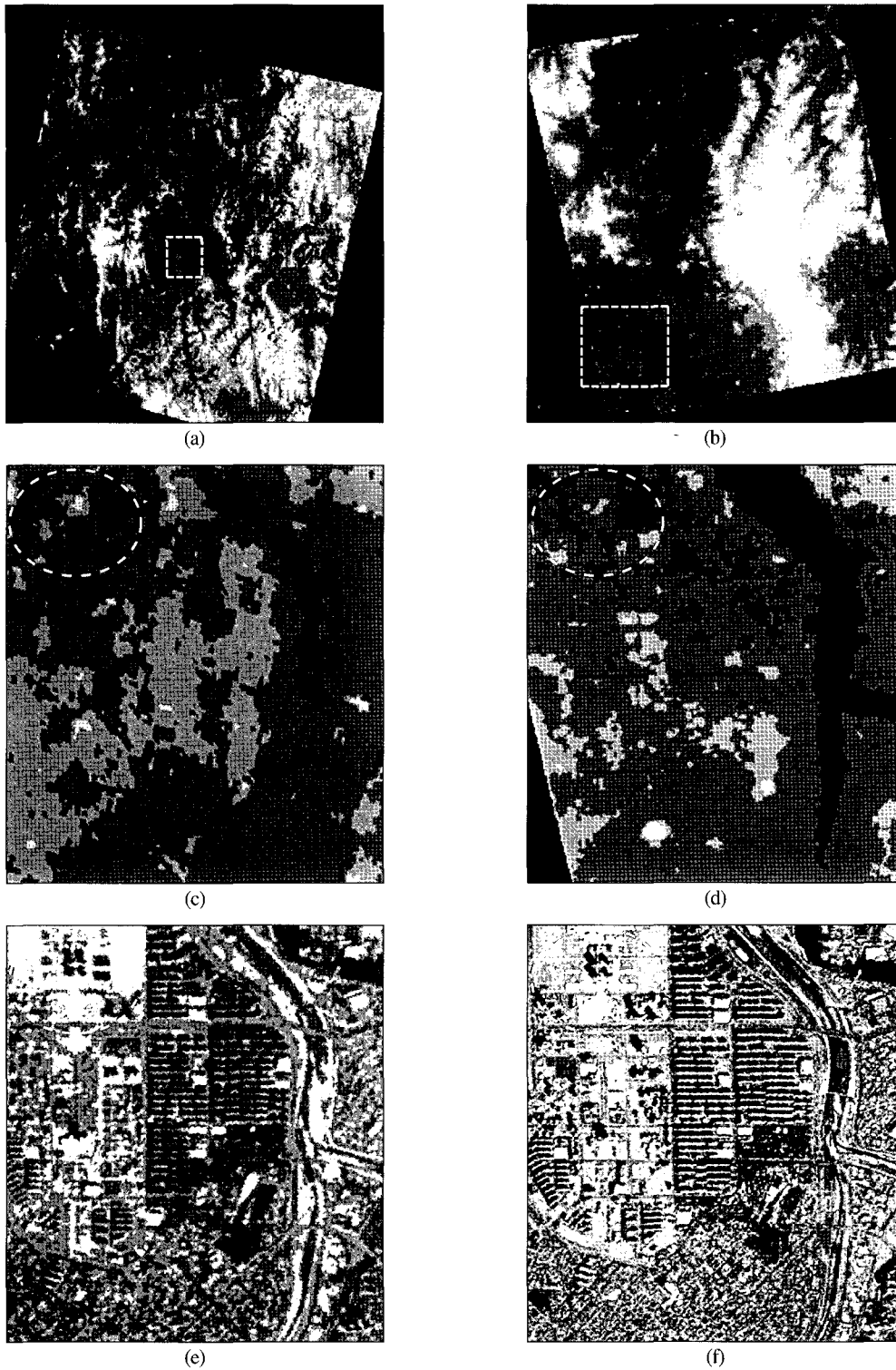
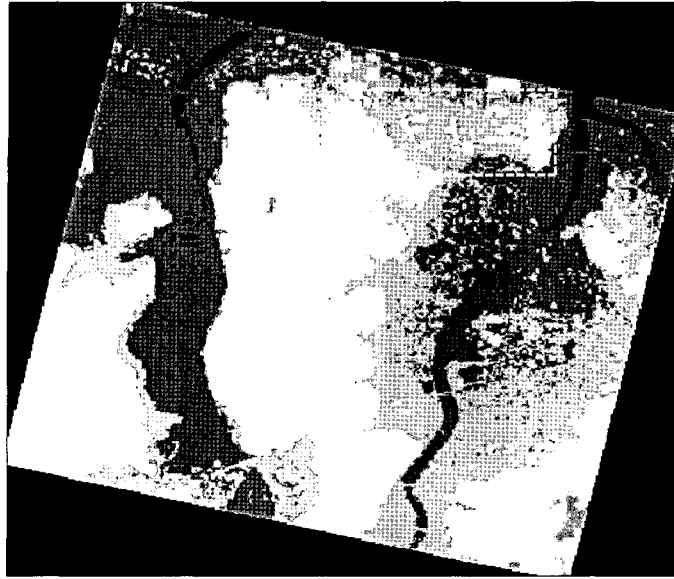
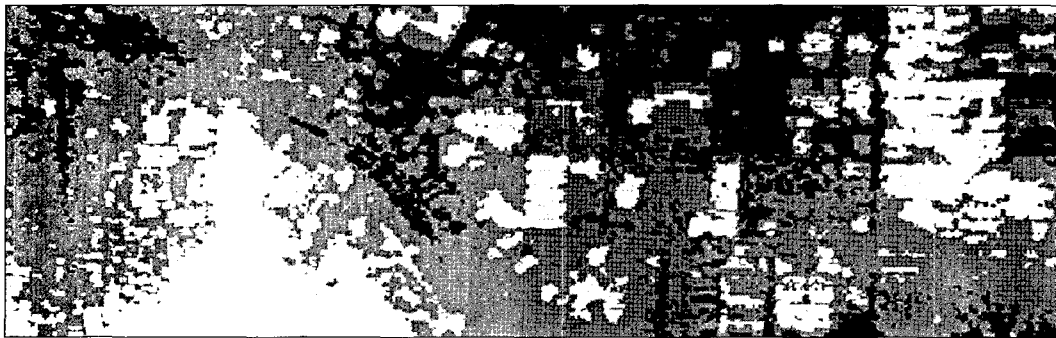


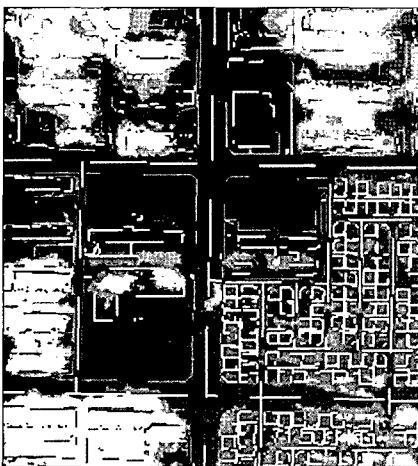
Fig. 3. DEMs generated from each stereo matching for each test area. (a) SPOT DEM, (b) EOC DEM, (c) zoom SPOT DEM in urban area, (d) zoom EOC DEM in urban area, (e) SPOT image, (f) EOC image.



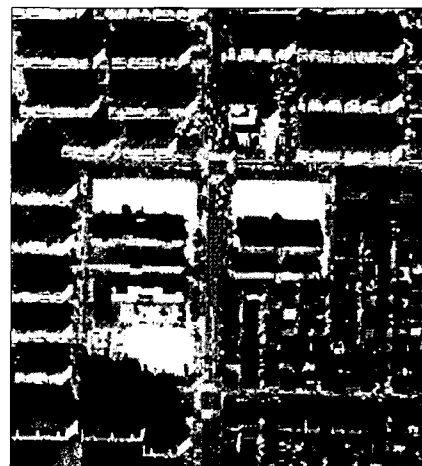
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4. IKONOS DEM : (a) IKONOS DEM of Full Image, (b) zoom in urban area, (c) overlay 1/1,000 digital map and IKONOS image

이러한 현상은 Table 3과 Table 4의 결과와 같이 지상 기준점에 대한 카메라 모델 오차와 절대 표점 오차가 낮아도 지상 기준점을 제외한 영상 정합점에서 오정합이 발생할 경우 생성되는 DEM은 Table 5에서 보는 바와 같이 부정확해질 수 있음을 보여준다. 특히 도심지역과 같이 급격한 밝기값 변화가 있는 곳에서는 영상 정합 결과에 민감함을 육안으로 확인하였다.

본 연구에서 사용한 영상 정합 알고리즘은 2절에서 언급한 바와 같이 정합 후보점 추출시 이미 정합된 지점의 높이값을 정합 후보점의 높이값과 같다고 가정한 후 우측 영상의 정합 후보점을 산출하여 영상 정합을 수행하므로 건물과 그림자가 좁은 간격을 두고 규칙적으로 존재할 경우 그림자 지역의 정합 후보점에 대한 높이값이 건물의 높이값과 같아져 오정합이 발생시키고 그 결과 SPOT DEM과 같이 건물과 그림자 지역의 높이값이 비슷하게 나오는 현상이 있음을 확인할 수 있다. 상대적으로 해상도가 높은 EOC영상에서는 이러한 영향이 SPOT영상에 비해 덜하나 그 차이는 미비하다고 할 수 있다.

전체적으로 SPOT영상과 EOC영상에서는 육안으로 도심지역의 형태를 확인할 수 있으나 생성한 SPOT DEM과 EOC DEM은 건물과 그림자를 구별해내지 못하고 있음을 확인할 수 있으며, 해상도가 낮아 건물의 폐색에 의한 영향과 높이 불연속에 의한 영향은 미비하며, 그림자의 오정합에 의해 그림자 지역의 높이값이 건물의 높이값과 같아 지는 현상이 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 1m 해상도의 IKONOS 위성영상에서 DEM을 생성한 결과이다. Fig. 4 (a)의 점선은 Fig. 4 (b)의 도심지역을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 IKONOS DEM은 SPOT DEM, EOC DEM과 달리 도심지역의 특성을 매우 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 4 (b)에서 보는 바와 같이 건물 주위로 그림자와 건물의 가려짐, 높이 불연속면에 의해 오정합이 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig 4 (c)는 생성한 DEM의 대략적인 위치 정



Fig. 5. 3D images of urban building area in daejeon, drape extracted building DEM from IKONOS DEM over IKONOS images.

확도를 살펴보기 위해 1/1,000수치지도²⁾를 생성한 DEM에 중첩한 결과이다. 건물과 건물사이의 그림자로 인해 오정합이 발생하여 건물의 가장자리가 뚜렷이 구분되지 않고 있음을 알 수 있으며 좌우 영상의 건물의 폐색으로 인해 정합이 실패한 곳도 부분적으로 확인된다. 그러나 건물 폐색이나 그림자의 영향이 덜한 우측하단의 낮은 건물단지는 상대적으로 잘 구별하고 있음을 육안으로 확인하였다.

SPOT DEM과 EOC DEM에서 발생한 건물 그림자에 의한 오정합 현상은 IKONOS DEM에도 동일하게 발생하였으나 건물의 형태를 구별하지 못할 정도는 아니며 육상을 중심으로 퍼져보이는 현상이 있음을 확인할 수 있다. 또한 SPOT DEM과 EOC DEM에서는 건물의 폐색에 의한 영향과 높이 불연속에 의한 영향은 미비하나 IKONOS

2) 대전지역 1/1,000수치지도는 1995년에 촬영된 항공사진을 바탕으로 1997년에 제작된 것으로 대전광역시 월평동, 둔산동일대의 아파트 건물 레이어는 2001년에 촬영한 IKONOS영상과 차이가 없음을 밝힌다. 또한 영상에 중첩한 수치지도의 레이어는 AAA*(건물 및 관련지물), AAC001(콘크리트 돌담), ADA*(도로), AD002(도로 중앙선) 레이어이다.

DEM에서는 건물의 폐색과 높이 불연속에 의해 정합이 실패하는 경우를 발견할 수 있었다.

이러한 현상들은 영역의 밝기값에 기반한 정합 알고리즘에서 발생하는 근본적인 문제이며 건물의 높이 불연속과 건물에 의한 폐색, 건물의 그림자에 의한 오정합과 같이 고해상도 위성영상에 내재하여 있는 문제점을 해결할 수 있도록 영상 정합 기법을 향상시킬 필요가 있다.

Fig 5는 Er-mapper 6.0을 사용하여 IKONOS DEM에 수치지도의 건물 레이어를 중첩하여 건물에 대해서만 masking을 하고 IKONOS 위성영상과 중첩하여 3D로 나타낸 결과이다. 그 결과 IKONOS DEM의 건물 주위에 존재하였던 오정합 부분을 제거하였고 도시 모델링에 이용할 수 있을 정도의 DEM을 생성할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 해상도를 갖는 위성영상에 대해 Gupta와 Hartley가 제안한 DLT모델을 적용하여 DEM을 생성하였고 도심지역의 DEM생성 결과를 고찰하였다.

그 결과 SPOT DEM과 EOC DEM은 1~2픽셀의 정확도를 보이고 IKONOS DEM은 6픽셀 이상의 정확도를 보였다. 또한 IKONOS DEM은 EOC DEM과 SPOT DEM에 비해 빌딩과 다리와 같은 도심지역의 특성을 확실히 구분하고 있어 앞으로 고해상도 위성영상을 이용한 DEM 생성에 가능성을 확인하였다.

그러나 빌딩에 의한 가려짐(occlusion) 현상과, 건물 그림자에 의해 오정합이 발생하여 정합점 내삽시에 건물 옥상을 중심으로 퍼져보이는 현상이 있음을 확인하였고, 향후 1m급 이상의 고해상도 위성영상을 이용한 DEM의 결과를 향상시키기 위해 이러한 영향을 극복할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하다.

사 사

IKONOS 대전지역 위성영상을 제공하여준 e-HD.com과 지상 기준점을 제공하여준 한국항공우주연구원과 전자통신연구원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김태정, 김승범, 신동석, 2000. 대표적 위성영상 카메라 모델링 알고리즘들의 비교연구, 대한원격탐사학회지, 16(1): 73-86.
- 임용조, 김태정, 김준식, 2002. KOMPSAT-1 EOC 입체영상을 이용한 DEM생성과 정확도 검증, 대한원격탐사학회지, 18(2): 81-90.
- Cheng, P., and T. Toutin, 2001. Orthorectification and DEM generation from high resolution satellite data, *Proceedings of ACRS 2001 Annual Conference*, Singapore, 1203-1208.
- Gupta, R. G., and R. I. Hartley, 1997. Linear pushbroom cameras, *IEEE Trans. PAMI*, 19(9): 963-975.
- Kim, T. J., 2000. A Study on the epipolarity of linear pushbroom images, *PE & RS*, 66(8): 961-966.
- Kim, T. J., D. S. Shin, and Y. R. Lee, 2001. Development of a robust algorithm for transformation of a 3D object point onto a 2D image point for linear pushbroom imagery, *PE & RS*, 67(4): 449-452.
- Lee, H. Y., W. Park, S. A. B Kim, T. J. Kim, T. H. Yoon, D. S. Shin, and H. G. Lee, 1999. Satellite image processing software for value-added products, *Korean Remote Sensing Journal*, 15(4): 339-348.
- Orun, A. B., and K. Natarajan, 1994. A modified bundle adjustment software for SPOT imagery and photography: Tradeoff, *PE & RS*, 60(12): 1431-1437.

Park, W., H. Lee, S. A. B Kim, T. J. Kim, T. H. Yoon,
T-G Kim, 2000. Development of DEM
generation software from satellite imagery,
(CD-ROM) *Proceedings of ASPRS 2000 Annual*

Conference, Washington.

Zhou, G., and R. Li, 2000. Accuracy evaluation of
ground points from IKONOS high-resolution
satellite imagery, *PE & RS*, 66(9): 1103-1112.