

# 고해상도 영상 자료로부터 추출한 DEM 및 정사영상 생성에 관한 연구

## Research for DEM and ortho-image generated from high resolution satellite images.

정재훈, 이태운, 김태정, 박완용 \*

Jaehoon Jeong, Taeyoon Lee, Taejung Kim, Wanyong Park \*

인하대학교 지리정보공학과, 국방과학연구소 \*

최근 도심지역이 급변하고 고해상도 위성영상의 보급이 증가함에 따라 고해상도 위성영상을 이용한 수치표고모델과 정사영상 생성에 관한 연구가 활발해 지고 있다. 본 연구에서는 IKONOS, SPOT5, QUICKBIRD, KOMPSAT2 위성영상을 이용하여 DEM 과 정사영상을 생성하였으며 USGS DTED 와 기준점을 이용하여 결과의 정확도를 비교 분석하였다. 보다 정확한 DEM 생성을 위해 자동 피라미드 알고리즘을 적용하고 영상 정합시 에피폴라 기하학을 적용하였다. 정사 영상 생성시 DTED 높이값을 이용하여 보정을 수행하였으며 생성 속도를 높이기 위하여 리샘플링 그리드를 적용하였다. 본 연구에서 DEM 과 정사영상 생성시 QUICKBIRD 와 SPOT5 의 경우 영상의 용량이 매우 커 메모리 부족문제와 알고리즘 수행 속도 저하가 발생함을 확인하였다. 이를 개선하기 위하여 DEM 생성시 정합 후보점의 개수를 줄이는 알고리즘을 고안하여 기존에 메모리 문제로 생성하지 못했던 QUICKBIRD 와 SPOT5 의 DEM 을 생성하였으며 정사 영상 생성시 리샘플링 그리드를 적용하여 고해상도 정사영상 생성 속도 개선에 상당한 효과를 가져왔다. 그러나 고해상도 위성 영상의 용량이 점점 커져감에 따라 이러한 메모리 문제와 처리 속도 저하에 관한 문제는 추후 계속적으로 연구되어야 할 부분이라고 할 수 있다. 본 연구에서 생성한 IKONOS, SPOT5, QUICKBIRD DEM 의 정확도를 USGS DTED 와 비교한 결과 13~15 m 정도의 RMS 높이 오차가 산출되었으며 생성된 IKONOS, QUICKBIRD, KOMPSAT2 정사영상을 기준점과 비교한 결과 3 m 정도의 거리오차가 산출되었음을 확인하였다.

### 1. 서론

고해상도 위성영상의 보급이 확대됨에 따라 고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM (Digital Elevation Model) 과 정사영상 생성에 관한 연구가 활발해지고 있다. 본 연구에서는 영상에 적합한 센서 모델을 찾아 영상과 센서와의 기하학적 관계를 수립하였으며 에피폴라 곡선의 기하학을 이용하여 스테레오 매칭을 통해 DEM 을 생성하였다. 또한 센서모델이 수립된 단영상의 정밀 기하학보정을 통해 정사영상을 생성하였다.

이 때 고해상도 영상처리에 따른 메모리 부족 문제와 수행속도 저하가 발생할 수 있음을 발견하고 이에 대한 해결방안을 모색하였다. 아울러 본 연구에서는 USGS DTED 와 기준점을 이용하여 생성된 DEM 과 정사영상의 정확도를 평가하였다.

### 2. DEM 생성 알고리즘

#### 2.1 영상 정합 알고리즘

본 연구에서는 IKONOS, QUICKBIRD,

SPOT5 위성영상을 이용하여 DEM 을 생성하였다. 우선 위성영상의 센서 모델이 수립되어야 하는데 이 때 위성의 물리적인 특성을 고려하여 적절한 센서 모델이 적용되어야 한다. 본 연구에서는 센서 모델 수립 시 IKONOS 의 경우에는 DLT모델 (Gupta, Harteley 1997) 을 사용하였으며 SPOT5 와 QUICKBIRD 경우 레도-자세각 모델 (Kim 2006) 을 적용하였다. 센서 모델 수립 후 영상 정합을 수행하게 되는데 본 연구에서는 원 영상으로부터 자동으로 영상 피라미드를 추출하여 피라미드 방식으로 영상 정합을 수행하였으며 영상 정합시 에피폴라 곡선의 기하학적 특징을 이용하였다. (Kim et al., 2003) 그림 1 은 피라미드 방식을 적용한 영상 정합을 나타낸 것이다. 우선 스테레오 위성영상을 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 로 축소하여 영상 피라미드를 추출한 후 Level 4 영상부터 정합을 수행한다. Level 4 영상 정합이 수행되면 정합에 성공한 점을 Level 3 의 정합 후보점으로 사용한다. 그 다음 Level 3 의 정합 성공점을 Level 2 의 정합 후보점으로 사용하고 이러한 방식을 Level 0 즉 원 영상까지 수행하여 최종 영상 정합을 완료한다.

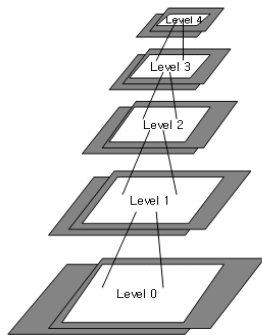


그림 1 영상 피라미드를 이용한 정합

## 2.2 메모리 문제 개선 알고리즘

본 연구에서 고해상도 위성영상을 이용한 DEM 생성시 영상의 해상도가 증가하고 촬영 면적이 커짐에 따라 영상의 용량과 정합 데이터의 양이 늘어나 메모리 문제가 발생

할 수 있음을 확인하였다. 실험 중 예로 QUICKBIRD, SPOT5 의 경우 Bmp 파일로 변환시 영상의 용량이 500 M 가 훨씬 넘어 스테레오 영상을 입력시 1G 이상의 메모리가 필요하고 피라미드 방식 적용시 정합 후보점(seed)의 개수가 기하급수적으로 늘어나 메모리 풀 현상으로 인한 오류를 발생시킨다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 영상 입력시 정합에 필요한 최소한의 메모리만을 할당하고 해제시키는 영상 부분입력 알고리즘과 DEM의 정확도를 유지시키면서 정합 후보점의 개수를 최소한으로 줄이는 알고리즘에 대해 연구하였다.

### 2.2.1 영상 부분 입력 알고리즘

영상 정합시 영상의 픽셀값을 입력하여야 하는데 이 때 스테레오 영상을 한꺼번에 입력받게 되면 굉장히 많은 메모리가 소요되고 영상 정합이 종료될 때까지 그만큼의 메모리를 할당한 상태에서 정합을 수행해야 하므로 정합 도중 속도 저하와 메모리 부족 현상을 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 영상 부분 입력 알고리즘을 고안하였다. 이 알고리즘은 정합시 해당 지점의 정합을 수행하기 위한 최소한의 메모리만을 할당하여 필요한 픽셀값만을 읽어들이고 정합 수행 후 다시 메모리를 해제시키는 방식이다. 그림 2는 영상 부분 입력 알고리즘 방식을 나타낸 것이다.

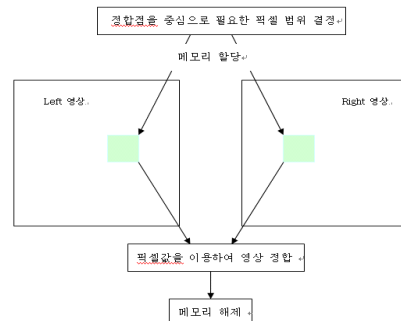


그림 2 영상 부분 입력 알고리즘의 적용

이 알고리즘을 적용하게 되면 영상을 한꺼번에 로딩할 필요가 없어 영상의 용량으로

인한 메모리 부족문제는 발생하지 않게 된다. 하지만 고해상도 영상 정합의 경우 정합점 수가 크게 증가하게 되는데 이 알고리즘을 적용할 경우 정합점 수만큼 필요한 픽셀에 접근하여 메모리를 할당하고 해제시키는 것을 반복해야 하므로 매우 긴 시간이 소요된다. 이에 대한 개선책으로 스테레오 중 한 쪽 영상은 전체를 입력받은 상태에서 나머지 한 쪽 영상만 영상부분입력 알고리즘을 적용하여 정합을 수행하면 다소 수행 시간을 감소시킬 수 있으나 이 역시 기존 알고리즘의 2 배 정도의 시간이 소요된다. 표 1은 피라미드 Level4 영상 정합의 경우 영상 부분 입력 알고리즘 적용에 따른 수행 시간을 비교한 결과이다.

	IKONOS	SPOT5	QUICKBIRD
Case 1	3 sec	61 sec	31 sec
Case 2	7 sec	74 sec	57 sec
Case 3	20 sec	119 sec	132 sec

case 1 Left, Right:영상 전체 입력  
 case 2 Left:영상 부분 입력, Right:영상 전체 입력  
 case 3 Left, Right:영상 부분 입력  
 (Platform : CPU 2.4 GHz, RAM 1G)

표 1 영상부분입력 적용에 따른 정합시간비교

결론적으로 이 알고리즘을 적용시 영상전체를 입력하는 것을 기다릴 필요없이 바로 하나하나 정합결과를 빠르게 확인할 수 있어 어느 정도 적용가치가 있음을 발견하였다. 하지만 결과에서 확인할 수 있듯이 상당히 오랜 시간이 소요되고 또한 표 4의 결과는 Level 4 영상 정합의 결과이므로 상위 레벨의 경우 더 많은 정합을 수행하게 되면 훨씬 오랜 시간이 소요되게 된다. 따라서 최종 정합 결과를 산출하는데 있어 메모리 문제를 해결하는 현실적인 해결책임에는 다소 부족하다고 판단된다.

### 2.2.2 정합 후보점의 개수를 줄이는 알고리즘

피라미드 방식으로 영상 정합을 수행시 최종 영상 정합의 경우 정합 후보점(seed)의 개수가 기하급수적으로 늘어나게 된다. SPOT5,

QUICKBIRD 의 경우 seed 의 개수는 천만 개에 달하게 되는데 이는 스테레오 영상의 각각의 column, row 즉 4개의 실수로 이루어져 있으므로 seed 하나당 32 byte 의 용량을 갖게 된다. 따라서 정합 후보점이 천만개에 달했을 때 300 M 가 넘는 메모리가 소요되고 영상을 적재한 상태에서 가용 메모리가 작을 경우 이로 인해 메모리 부족 현상이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 정확도를 최대한으로 유지시키면서 seed 를 최소한으로 줄이는 방법을 고안하였다. 기존방식에서는 하위레벨 정합 성공점 중 일정 상관관계수 이상인 점들을 모두 seed 로 사용하였다. 이것을 최대 40 배 이상 줄이도록 하면서 대신 영상 전역에 골고루 할당되도록 하였다. 표 2는 원 영상 정합시 기존 알고리즘과 seed 를 줄인 알고리즘의 seed 개수를 영상별로 비교하여 나타낸 결과이다.

	기존 방식	Seed 줄인 알고리즘
IKONOS	1044609	47800
QUICKBIRD	11454052	276672
SPOT5	9882104	212408

표 2 기존 방식과 Seed 줄인 알고리즘 비교

이러한 알고리즘을 적용하여 DEM 을 생성한 결과 기존의 메모리 부족 문제로 생성하는데 어려움을 겪었던 QUICKBIRD 와 SPOT 5 의 DEM 을 성공적으로 생성하였으며 IKONOS DEM 을 생성한 결과 기존 알고리즘과 마찬가지로 만족할 만한 DEM 이 생성된 것을 확인하였다. 그림 3은 이 알고리즘을 적용해 생성한 영상별 최종 DEM 결과이다. 5 절에서 소개할 DEM 정확도 분석을 통해 13~15m 의 높이오차를 가짐을 확인하였고 결과에서 확인할 수 있듯이 영상 전역에 걸쳐 정합이 잘 이루어졌음을 보여줌으로서 이 알고리즘의 적용은 메모리 부족 문제를 개선하는데 있어 매우 유용하다고 할 수 있다.

### 3. Image Quality 차이에 따른 DEM 비교

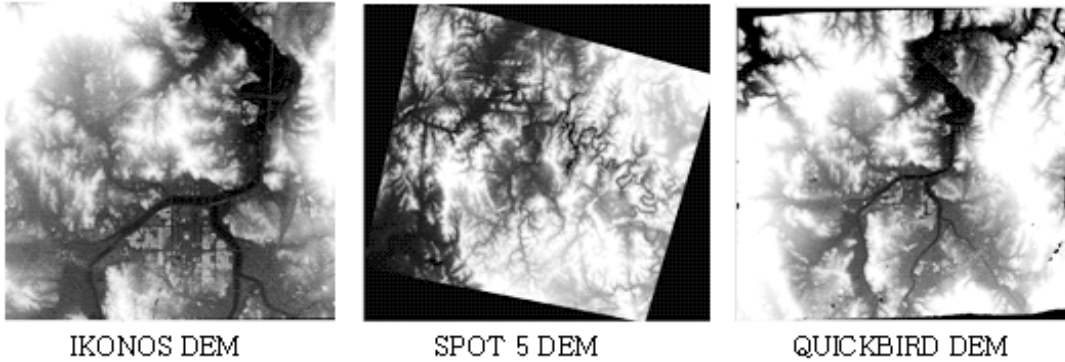


그림 3 영상별 최종 DEM

본 연구에서는 Image Quality 에 따른 DEM 생성 결과의 차이를 비교해 보았다. 여기서 Image Quality 란 영상의 선명도나 얼마나 촬영지역을 사실적으로 표현할 수 있는지에 따라 달라지게 된다. 촬영시 대기 상태나 영상의 번짐 현상도 영상의 Quality 에 영향을 미칠 수 있다. 영상이 선명하고 해당 지역의 실제 밝기값을 잘 표현하고 있으며 왜곡이 없을 수록 좋은 Quality 를 가진 영상이라고 할 수 있다. 이러한 영상의 Quality 는 DEM 생성 결과에 큰 영향을 끼치며 실험을 통해 이를 확인해 보았다.

우선 동일한 1m 급의 해상도를 갖는 IKONOS 와 KOMPSAT2 영상의 일부 지역을 임의로 선택하여 확대해 보았다.

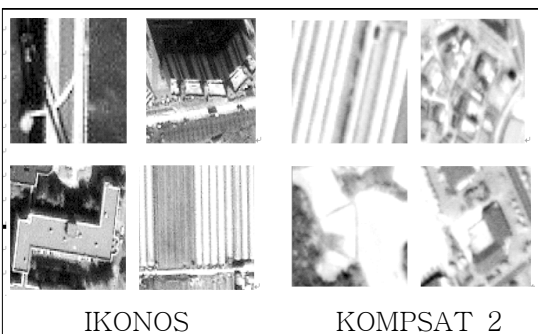


그림 4 IKONOS 와 KOMPSAT2 영상 비교

임의의 지역을 확대해 본 결과 IKONOS 의 경우 영상이 선명하고 경계선이 뚜렷하나 KOMPSAT2 의 경우 영상의 번짐이 많고 경계선이 다소 불분명하다는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 영상 Quality 를 비교한

두 영상의 DEM 결과를 나타낸 것이다.

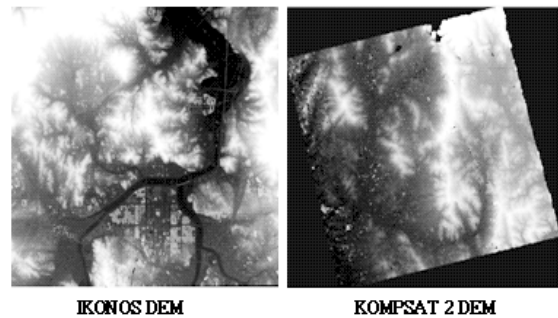


그림 5 IKONOS 와 KOMPSAT2 DEM 비교

DEM 생성 결과에서 확인할 수 있듯이 IKONOS DEM 의 경우 영상 전역에 정합이 잘 이루어지고 도심지역과 산악지역이 확연히 구분되나 KOMPSAT2 의 경우 어느 정도 정합이 이루어졌으나 해상도에 걸맞는 자세한 지표면의 형태가 드러나지 않으며 정합에 실패한 부분도 많이 눈에 띄는 것을 확인할 수 있다. 물론 IKONOS 의 경우 동일 날짜 동일 궤도에서 촬영한 스테레오 영상이며 KOMPSAT2 의 경우 다른 날짜 다른 궤도에서 촬영한 스테레오 영상이므로 다소 차이가 있을 수 있으나 동일한 지역을 촬영한 스테레오 영상임을 감안할 때 Image Quality 에 따라 생성된 DEM 의 결과에 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 정사영상 생성

본 연구에서는 IKONOS, KOMPSAT2, QUICKBIRD 영상을 이용하여 정사영상을

생성하였다. 본 연구에서 수행한 정사영상 생성 과정은 그림 6 과 같다.

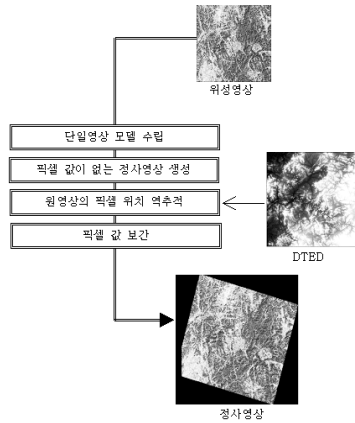


그림 6 정사영상 생성 과정

우선 단영상의 센서모델을 수립 후 메타데이터로부터 영상의 네 모서리의 좌표를 얻어 생성할 정사영상의 영역을 알아낸다. 그 다음 해상도를 결정하고 여기에 원 영상의 픽셀값을 입력하면 정사영상이 생성된다. 정사영상 격자에 들어갈 픽셀값을 원 영상으로부터 추출하여 정사영상을 구성하는 과정이 영상 리샘플링이다. 이 때 픽셀값 추정시 센서모델의 결과와 해당 지역의 높이 값을 이용하였다. 여기서 해당하는 위치의 높이를 반영하지 않으면 그림 7과 같이 실제 위치와 오차가 생기게 된다.

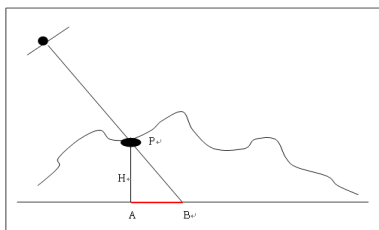


그림 7 보정 영상의 위치 오차

P 에 해당하는 위치는 실제로 A 점인데 반해 해당 지역의 높이 H 를 반영하지 않으면 B 위치로 투영되어 AB 만큼의 위치 오차가 생기게 된다. 따라서 본 연구에서는 DTED 데이터로부터 해당지역의 높이값을 얻어 이를 이용하여 정사보정을 수행하였다. 그런데 QUICKBIRD 와 같이 영상의 용

량이 매우 크고 해상도가 높을 경우 수행시간이 매우 길어지는 문제점이 있음을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 리샘플링 그리드를 생성하여 영상 리샘플링을 수행하였다. 정사영상의 모든 격자에 대해 원 영상의 픽셀값을 추정하는 역맵핑을 수행하게 되면 매우 긴 시간이 소요된다. 본 연구에서 적용한 리샘플링 그리드는 DTED 와 동일한 공간 해상도를 갖는 격자 구조로서 DTED 높이 값과 경위도 좌표값을 통해서 역맵핑 된 원 영상의 위치 정보가 들어있다. 이 격자구조를 이용하면 역맵핑 수행을 최소로 줄이고 모든 픽셀 위치를 간단하게 계산할 수 있다. 표 3 은 리샘플링 그리드 적용에 따른 수행시간을 나타낸 결과이다.

	모든픽셀 역추정	리샘플링 그리드
IKONOS	87 sec	247 sec
QUICKBIRD	225 sec	44684 sec
KOMPSAT2	204 sec	27651 sec

(Platform : CPU 2.4 GHz, RAM 1G)

표 3 리샘플링 그리드 적용에 따른 수행시간 결과에서 확인할 수 있듯이 훨씬 수행시간이 단축되는 것을 알 수 있다.

## 5. 정확도 분석

### 5.1 DEM 정확도 분석

본 연구에서는 USGS DTED 를 이용하여 생성된 DEM 의 높이 정확도를 분석하였다. 사용한 DTED 는 경도 1도 위도 1도의 면적을 포함하며 생성된 DEM 을 중첩시킬 경우 그림 8 과 같이 나타난다.

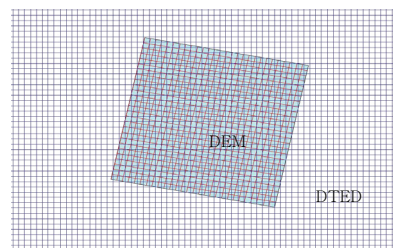


그림 8 DTED 과 생성 DEM 을 중첩한 경우

그림에서와 같이 일반적으로 DTED 가 DEM 을 포함하게 되나 두 데이터의 픽셀 이 갖는 경위도 좌표는 정확하게 일치하지 않는다. 따라서 Bilinear 보간법을 적용하여 높이값을 비교하였다. 높이값을 비교하여 RMS 오차를 산출한 결과 표 4에서 확인할 수 있듯이 IKONOS 는 약 14 m, QUICKBIRD 는 약 13m, SPOT5 는 약 15m 의 RMS 높이오차가 산출되었다.

위성 영상	RMS (단위 : m)
IKONOS	13.9547
QUICKBIRD	12.9203
SPOT5	15.2735

표 4 영상별 DEM 높이값 검증 결과

## 5.2 정사영상 정확도 분석

본 연구에서는 생성된 정사영상의 정확도를 기준점과 비교하여 분석하였다. 정사영상 생성시 수립한 센서 모델의 정확도는 표 5 와 같다.

위성 영상	RMS (단위 : pixel)
IKONOS	1.134
QUICKBIRD	1.910
KOMPSAT2	1.339

표 5 영상별 센서모델 정확도

결과에서 확인할 수 있듯이 모든 영상에서 1~2 픽셀정도의 오차 이내로 모델이 수립되었음을 확인할 수 있다.

생성된 IKONOS, QUICKBIRD, KOMPSAT2 정사영상에서 각각 7개, 11개, 7개의 점을 추출하여 기준점과 비교하였다. 기준점과 비교한 후 거리오차를 미터로 환산하여 RMS 를 계산하였다. 정확도 분석 결과 표 6 에서 확인할 수 있듯이 생성된 모든 정사영상에서 3m 내외의 거리오차를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

위성 영상	RMS (단위 : m)
IKONOS	3.61
QUICKBIRD	3.49
KOMPSAT2	2.83

표 6 영상별 정사영상 정확도 검증 결과

## 6. 결론

본 연구에서는 고해상도 영상자료로부터 DEM 과 정사영상을 생성하였다. DEM 생성시 자동 피라미드 정합방식과 에피폴라 기하학적 특징을 이용한 정합방식을 적용하였으며 정사영상 생성시 정밀기하학적 보정을 수행하였다. 고해상도 영상자료 처리에 따른 메모리 문제와 수행속도 저하문제를 해결하기 위해 여러 가지 방안에 대해 연구하였으며 생성된 DEM 과 정사영상의 정확도를 평가하였다. 향후 위성영상의 보급이 증가함은 물론 해상도와 용량이 더 커질 것으로 판단되어 고해상도 영상처리에 따른 메모리 문제와 속도저하문제를 개선하기 위한 연구는 계속되어야 할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 김태정, 2006, SPOT 위성영상에서의 위치-회전각 모델과 퀘도-자세각 모델의 비교, 한국측량학회지, 24(1):47~55
- Gupta, R. G., and R. I. Hartley, 1997. Linear pushbroom cameras, IEEE Trans. PAMI, 19(9): 963-975
- Hae-Yeoun Lee, Taejung Kim, Wonkyu Park, Heung Kyu Lee, 2003, Extraction of digital models from satellite stereo images through stereo matching based on epipolarity and scene geometry, Image and Vision Computing 21:789-796