

# Block Modeling에 의한 SPOT DEM의 접합선 제거

## Seam-line Removal in DEM Mosaicking by Use of Block Modelling

강준묵\* · 최선용\*\* · 신대식\*\*\*

Kang, Joon-Mook · Choi, Sun-Yong · Shin, Dae-Sik

### 요 지

본 논문에서는 SPOT 입체영상을 이용하여 광범위한 지역의 DEM을 제작할 경우 DEM 모자이크 과정에서 발생할 수 있는 접합선(seam-line)을 최소화할 수 있는 방법을 연구하였다.

지상의 60km×60km 영역을 촬영할 수 있는 SPOT 위성의 입체 영상으로부터 구성된 단일 모델은 일반적으로 관심 있는 지역의 DEM을 제작하기에 충분히 넓은 지역을 포함할 수 있다. 그러나 광범위한 지역의 DEM 제작을 위해서는, 각각의 입체영상을 통해 제작된 DEM들을 접합해야 하며, 이때 발생하는 접합선을 효과적으로 제거하는 작업이 필요하다. 이를 위해 SPOT 위성영상의 블록 조정 방법을 이용하여 중첩접합모델을 구성하고 중복되는 인접한 SPOT DEM간의 표고값을 일치시키므로써 DEM 접합선의 발생을 최소화하여 모자이크시 작업량을 줄이고자 한다.

본 논문에서는 기존의 지상기준점과 추가로 관측한 영상접합점을 이용하여 중첩접합 블록을 구성하고 광속조정 방법을 적용하여 블록에 포함된 위성영상의 외부표정요소를 계산하였다. 블록모델을 이용하여 DEM을 제작할 경우 접합선 탐색 및 blending 작업 없이 단순중첩 방법으로도 DEM 모자이크 작업을 빠르게 수행할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서 론

중첩접합모델을 주로 사용하는 항공사진 모델링과는 달리 위성영상의 경우에는 일반적으로 각각의 단위 모형별로 위성영상에서 식별이 용이한 지점을 지상기준점으로 선정하여 영상에서의 좌표를 해석도화기나 컴퓨터 영상내에서 취득하고, 그에 대응하는 지상좌표는 현지측량이나 기본지도, 또는 기존의 자료로부터 얻는다[1].

연속 strip으로 촬영된 영상에서 중복영역을 포함하는 2개의 인접된 모델의 경우 각각 독립모델링 정확도가 우수하여도 두 모델을 접합하기 위해 구성된 접합점(tie point)의 지상좌표는 지상기준점의 지상좌표 및 영상좌표 등 모델링에 포함된 오차로 인해 각각의 모델에서 서로 다른 값을 갖게 된다. 이러한 오차는 지상기준점의 정확도가 동일하다고 할 때, 영상좌표 관측이 어려운 낮은 해상도의 영상에서 더 크게 나타나며, 특히 pushbroom 방식으로 촬영하는 SPOT 영상의 경우 항공사진에 비해 촬영기사가 복잡하여 모델링 오차가 더 크게 발생하게 된다. 따라서 각 독립모델을 이용하여 제작한 DEM을 모자이크할 경우 접합부분에 접합선이 발생하게 된다.

\* 충남대학교 토목공학과 교수  
\*\* 충남대학교 대학원 석사과정  
\*\*\*국방과학연구소 선임연구원

위성영상의 경우 위성의 궤도 및 방문주기로 인해 원하는 시기에 원하는 지역의 고품질 영상을 항상 획득할 수 있는 것은 아니다. 따라서 한쪽의 모델에서 뚜렷이 식별되는 특징점을 접합점으로 선정하였을 경우 다른 모델에서는 식별이 어려울 수도 있다. 이러한 접합점 식별의 어려움은 모델 외곽의 접합부분에 영향을 주게 되며, 이로 인해 각 DEM의 절대 정확도에 거의 차이가 없어도 그 차이가 접합부분에서 전반적으로 나타날 경우 DEM 모자이크 접합선이 나타나게 된다.

광범위한 지역의 DEM 제작을 위해서는 DEM 모자이크 작업이 반드시 수행되어야 한다. DEM 모자이크 작업은 인접한 DEM에서 가장 유사한 지형정보를 갖는 위치를 식별하는 접합선 찾기 작업과 접합부분을 평활화하여 식별되지 않게 하는 blending 작업으로 구분된다. 두 인접한 DEM 중복영역의 표고값 차이가 많이 날수록 접합선 찾기 작업에 시간이 많이 소요되며, 과도한 blending 작업에 의해 DEM 고유 지형정보에 대한 왜곡이 심해지게 된다. 따라서 DEM 모자이크 시간 및 DEM 왜곡을 최소화하기 위해서는 중복되는 영역의 표고값 차이가 최소화된 DEM을 제작하는 것이 무엇보다도 중요하다.

본 논문에서는 독립 모델링 방법을 이용하여 제작한 한반도 전역 SPOT DEM에서 접합선이 비교적 눈에 띄게 나타나는 1개 지역 4개 모델을 대상으로 SPOT 위성영상의 광속조정 방법으로 중횡접합 모델을 구성하여, 인접한 DEM간 표고값 차이를 최소화하는 연구를 수행하였으며, 독립모델에 의한 DEM 모자이크 접합선과 영상접합점을 추가로 관측한 중횡접합모델에 의한 DEM 모자이크 접합선을 비교 평가하였다.

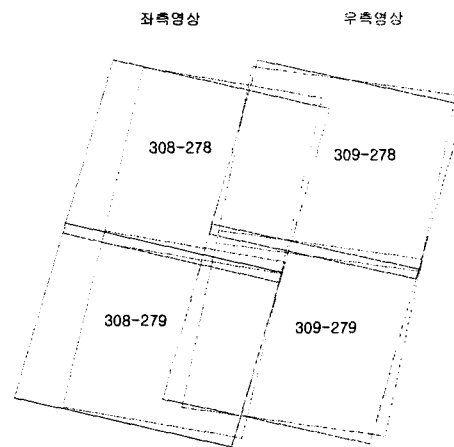
## 2. 연구대상지역 및 모델링 자료

### 2.1 연구대상지역

본 연구에서는 130 여개의 SPOT 단일 입체 모델을 이용하여 제작한 한반도 전역의 DEM에 대해 DEM 제작시 비교적 접합선이 크게 나타나는 지역중 1개 지역인 SPOT GRS 308-278, 308-279, 309-278, 309-279를 대상으로 하였으며 각 입체 영상의 지상 피복 형태는 [그림 1]과 같으며 영상 기본 특성은 [표 1]과 같다.

### 2.2 좌표계 설정

위성영상을 입체 모델링하기 위해서는 모델링에 관련된 다양한 자료들의 좌표값들을 하나의 통일된 좌표계로 변환해 주어야 한다. 디지털 SPOT 영상의 영상좌표는 선형 CCD 센서의 물리적 배치 및 노출시간을 이용하여 거리와 시간의 함수로 변환하여 사용하였다.



[그림 1] SPOT 영상의 지상피복 형태

[표 2] SPOT 위성영상 기본 특성

구 분		GRS 308-278	GRS 308-279	GRS 309-278	GRS 309-279
전처리수준	좌측	1A	1A	1A	1A
	우측	1A	1A	1A	1A
촬영일자	좌측	2000. 2. 9	2000. 2. 9	1998.11. 7	1998.11. 7
	우측	1998.11.25	1998.11.25	1998.11.10	1998.11.10
촬영경사각	좌측	L26.5	L26.5	L23.4	L23.4
	우측	R05.3	R05.3	R21.3	R21.3

모든 위치자료가 GRS80 타원체를 기준으로 설정된 SPOT 위성영상은 지상의 60km×60km 영역의 영상을 촬영하므로 평면투영된 좌표체계를 이용할 경우 지구 곡률의 왜곡을 포함하게 되기 때문에 본 연구에서는 중앙부근에 임의의 원점을 갖는 국소 직교좌표계를 설정하였으며, 이를 기준으로 지상기준점과 위성 위치 및 자세자료를 변환함으로써 하나의 통합된 좌표체계를 구성하였다.

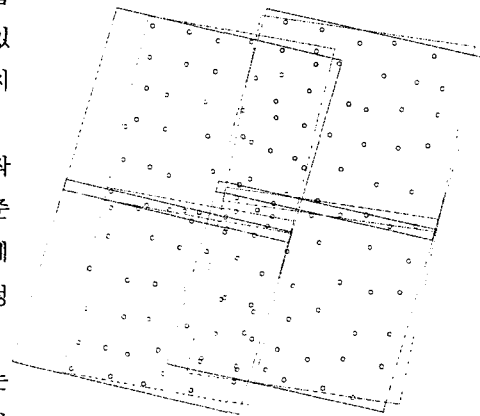
국소 직교 좌표계는 일반적으로 처리하고자 하는 대상영역의 중앙지점에 좌표계의 원점을 설정하고, 원점에서 특정의 타원체에 접하는 가상의 평면상에서 원점을 통과하는 자오선의 북쪽방향을 x축, x축과 동쪽으로 직교하는 방향을 y축, 원점에서의 천정 방향을 z축으로 정하는 왼손 좌표계를 이용하는 데, 필요에 따라서는 y축을 서쪽 방향으로 정의함으로써 오른손 좌표계가 되도록 하기도 한다.[2]

### 2.3 모델링 기준점

본 연구에 사용된 지상기준점은 SPOT 입체영상에서 해석도화기를 이용하여 약 10km×10km에 1점씩 제작하였으며, 지상정확도는 5~10m 수준으로 하나의 입체 모델에 약 36점이 포함되어 있다[3]. 또한 이들 지상기준점에는 모델간 접합이 용이하도록 중복되는 영역에 2~3점의 지상기준점 접합점이 포함되어 있다. 위성의 경사촬영 및 strip 촬영으로 인해 접합점은 일반적으로 동서 방향으로 비교적 많이 배치되어 있으며 남북방향으로는 중복되는 영역이 적어 소수만 배치되어 있다.

모델간 중복되는 영역에 보다 많은 지상기준점을 제작하면 DEM 접합시 접합선을 최소화할 수 있으나 지상기준점 제작비용이 많이 소요되기 때문에 모델간 접합부분에서는 지상좌표를 알지 못하는 영상접합점을 추가로 측정하여 블록 모델링에 활용한다.

블록 모델링을 수행할 때 기준점(control)으로 사용하는 지상기준점은 경중률을 크게 하여 모델링 과정에서 지상좌표의 변동폭을 적게 하였으며, 영상기준점은 초기값을 국소직각좌표의 원점으로 하고 경중률을 작게 하여 모델링 과정 중에 지상좌표를 계산하도록 하였다. 다음은 기준점 배치도이다.



[그림 2] 기준점 배치도

### 3. SPOT 입체영상 모델링 방법

본 연구에 사용한 지상기준점은 해석도화기에서 추출한 10m 이내의 지상정확도를 갖는 SPOT 위성

영상 지상기준점을 사용하였다. 위성의 위치와 자세는 영상 탐측시간에 대한 2차 함수로 근사한 18개의 외부표정요소를 이용하였다. 영상 접합점 및 검사점들의 지상좌표 초기치는 국소직교좌표의 원점으로 설정하였다.

#### 4. 결과 분석

##### 4.1 단일 입체영상 모델링

2개의 입체영상만을 이용한 모델링 정확도는 각 모델별로 다음 [표2]와 같다. 각 모델에 포함된 지상기준점중 성과가 좋지 않은 점을 제외하고 모델 내에서의 점의 배치를 고려하여 반 정도를 기준점(control)으로 사용하여 모델링하였다. 나머지 반은 모델링 정확도 평가를 위한 독립 검사점으로 사용하여, 모델링 과정에서 산출되는 외부표정요소를 이용하여 검사점의 지상좌표를 계산하고 원래의 지상기준점 성과와 직접 비교 평가하였다.

[표 3] 단일 모델링 정확도 평가

단위(rmse:m)

구 분	308-278				308-279				309-278				309-279			
	점수	x	y	z	점수	x	y	z	점수	x	y	z	점수	x	y	z
기준점(control)	18	5.2	4.7	7.6	18	3.9	6.8	6.6	17	8.0	5.5	6.1	18	6.0	5.4	5.1
검사점(check)	17	6.0	4.4	7.3	17	5.4	7.2	9.9	14	6.9	8.1	6.6	17	4.1	5.1	4.3
전체(total)	35	5.6	4.5	7.5	35	4.7	6.9	8.4	31	7.5	6.8	6.4	35	5.1	5.2	4.7

위 [표2]에서 보는 바와 같이 각각의 모델링 정확도는 SPOT 해상도인 1 화소 10m 이내로서 각각의 모델은 비교적 정확하게 모형화 되었음을 확인할 수 있다. 그러나 각각의 단일 모델이 정확하게 모형화 되었어도 모델이 중복되는 지역에 위치한 접합점의 지상좌표는 각각의 모델에서 서로 다르게 계산된다. 모델별로 계산한 접합점의 지상좌표 값의 차이가 클수록 모델링 결과를 이용하여 모자이크된 DEM의 접합선은 더욱 선명하게 나타날 것이다. 다음 [표 3]은 중복 영역에 위치한 지상기준점중 접합점으로 사용한 점에 대해 각각의 단일 모델에서 계산한 지상좌표 성과간의 차이를 비교한 것으로서 평균계급근 오차를 이용하여 나타내었다. 지상기준점 접합점은 아래와 위 모델에서 2점과 왼쪽과 오른쪽 모델에서 9점이다.

[표 4] 단일 모델 접합점 오차

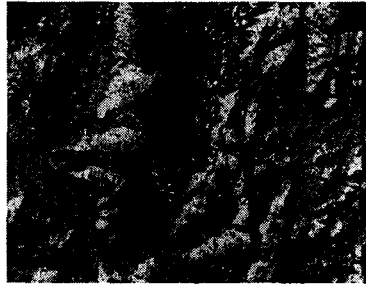
구분	오차	RMSE(m)		
		x	y	z
상하접합점(2점)		10.0	4.0	1.3
좌우접합점(9점)		6.7	9.4	12.7
계(11점)		7.4	8.6	11.5

위의 표에서 보는 바와 같이 지상기준점 접합점의 경우 각 모델에서 계산된 지상좌표의 차이가 각각의 모델링 오차 보다 크게 나타나고 있다. 이와 같이 각각의 단일 모델링 오차만으로는 모델의 중복 영역에서 나타나는 모델간 지상좌표의 차이를 확인할 수 없다.

#### 4.2 단일 입체영상 DEM 모자이크

지상기준점이 많이 배치되어 있고 중복영역이 많은 동서 방향의 DEM 모자이크에는 접합선이 거의 식별되지 않는 반면, 소수의 지상기준점만이 배치되어 있고 중복영역이 좁은 남북 방향의 DEM 모자이크 접합선은 보다 더 뚜렷하게 나타나는 경향을 고려하여 실험은 모두 남북방향의 DEM 모자이크를 대상으로 하였다.

다음 [그림3][그림4]는 단일 입체모델링을 이용하여 제작한 DEM 모자이크 결과인 음영기복도의 일부를 절취한 것이다. 모자이크 방법은 DEM 접합 오차를 식별하기 위해 접합선 찾기 및 blending 작업을 하지 않은 단순 중첩 방법을 사용하였다.



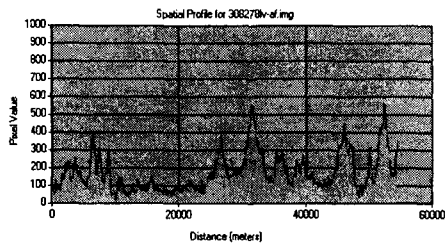
[그림 3] 단일 입체모델링  
308-strip 모자이크



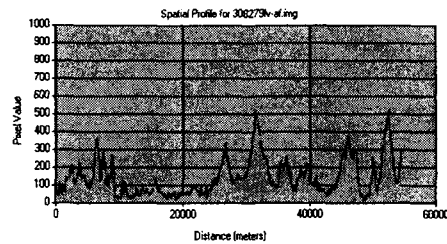
[그림 4] 단일 입체모델링  
309-strip 모자이크

위의 음영기복도 그림에서 보는 바와 같이 모델간의 접합 부위에서 접합선이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 지형의 고도차와 광선의 각도를 이용하여 도시하는 음영기복도는 일정한 경향으로 고도차가 발생될 때 지형의 기복이 뚜렷하게 식별되는 특성을 가지고 있다. 따라서 위의 그림으로 판단하면 인접 모델의 지형 기복 형태는 유사하지만 접합영역에서 전반적인 고도값 차이가 있음을 확인할 수 있다.

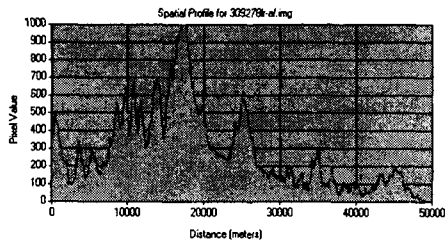
또한 아래위 DEM의 중복영역을 동서방향으로 자른 [그림5]~[그림8]의 DEM profile에서 보는 바와 같이 각각의 DEM 고도값 특성은 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있다.



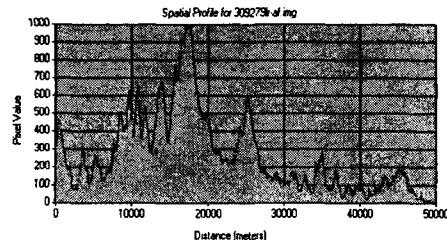
[그림 5] 단일모델 DEM의 접합부분  
profile(308-278)



[그림 6] 단일모델 DEM의 접합부분  
profile(308-279)



[그림 7] 단일모델 DEM의 접합부분  
profile(309-278)



[그림 8] 단일모델 DEM의 접합부분  
profile(309-279)

다음 [표4]는 인접된 DEM에서 앞의 각 DEM profile에 해당하는 동일한 평면좌표에서의 고도값 차이를 분석한 결과이다. [표4]에서 보는 바와 같이 고도값 차이의 평균과 rmse가 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있으며, 이는 인접한 두 DEM의 접합부위 전반에 걸친 유사한 고도 값 차이가 있음을 나타낸다.

[표 5] 단일모델 중복부분 profile 차이값 비교

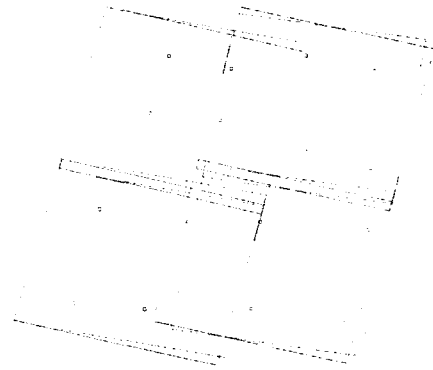
중첩모델	평균(m)	rmse(m)	비고
308-278/308-279	29.9	32.1	
309-278/309-279	17.2	21.3	

### 4.3 중첩접합 블록 모델링

단일 strip으로 촬영된 SPOT 영상에서의 중복영역은 영상에 따라 조금씩 다르지만 약 400 화소 정도이며 이는 전체영상의 6.7%로서 항공사진의 strip 중첩도와는 크게 차이가 난다. 10m 해상도를 갖는 이와 같은 SPOT 영상의 좁은 중복영역에서 지상기준점을 제작할 수 있을 정도로 식별이 명확한 점을 찾기는 용이하지 않다. 본 연구에 사용한 영상의 경우 남북방향으로 strip 촬영된 308-278/308-279 모델에서 1점, 309-278/309-279 모델에서 1점만이 지상기준점 접합점이다. 그러나 단일 strip으로 촬영된 SPOT 영상은 중복영역에서 완벽하게 일치하기 때문에 영상접합점의 경우 영상과 영상 및 모델과 모델을 매우 정확하게 연결시킬 수 있다.

모델링 기준점은 모델의 내부에 4점씩 배치하고 8개의 영상기준점을 상하 모델의 중복 영역에서 추가로 관측하여, 모델간 중복영역에서 각 모델에서 계산되는 지상좌표의 오차를 제거하도록 모델링 하였다.

[표5]는 블록 모델링 정확도를 나타낸다. 단일 입체 모델링 결과에 비해 정확도가 약간 저하되었지만 SPOT 영상의 1 화소인 약 10m에 근사한 모델링 정확도를 나타내고 있다.



[그림 9] 블록 기준점 배치도

[표 6] 블록 모델링 정확도 평가

구 분	단위(rmse:m)			
	GRS 308-278			
	점수	x	y	z
기준점(control)	16	4.8	2.3	5.0
검사점(check)	122	11.9	9.2	10.6
전체(total)	138	11.3	8.7	10.1

[표6]은 블록 모델 접합점의 지상좌표 차이를 보여주며, 이 결과는 단일 모델에 의해 계산된 오차와 유사함을 확인할 수 있다. 따라서 블록 모델링시 영상접합점을 활용하면 적은 수의 지상기준점만으로도 약 17점의 지상기준점을 이용한 단일모델링 정확도와 유사한 정확도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

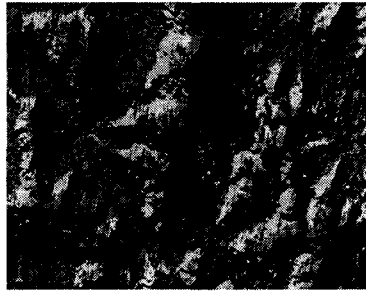
[표 7] 블록 모델 접합점 오차

구분 \ 오차	RMSE(m)		
	x	y	z
상하접합점(2점)	9.7	3.4	11.2
좌우접합점(9점)	6.9	5.6	7.4
영상접합점(8점)	7.6	1.7	3.4
계(19점)	7.5	4.2	6.6

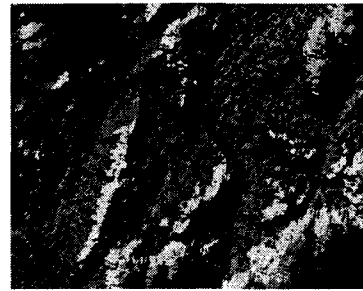
#### 4.4 중첩접합 블록 DEM 모자이크

다음 [그림10][그림11]은 블록 모델링을 이용하여 제작한 DEM 모자이크 음영기복도의 일부를 절취한 그림이다. 모자이크 방법은 정확한 비교를 위해 단일 모델에 의한 DEM 모자이크 방법과 동일하게 단순 중첩 방법을 적용하였다.

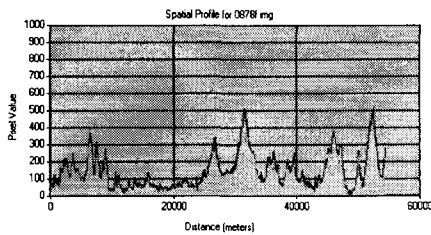
그림에서 확인할 수 있듯이 DEM 모자이크 접합선을 식별할 수 없다. 블록 모델 접합점 지상좌표 오차가 단일 모델링에 의한 결과와 비슷한 수준임에도 불구하고 DEM 모자이크 접합선이 나타나지 않는 것으로 보아 모자이크 접합선은 모델링 절대 오차 보다는 중복영역에서의 오차가 일정한 경향을 가질 때 나타난다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 단일 모델의 중복영역에서 발생하는 일정한 오차 경향은 정확한 영상접합점과 모델 내부에 지상기준점을 배치하여 블록 모델링할 경우 제거 될 수 있다고 판단된다.



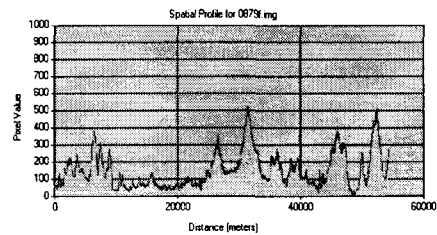
[그림 10] 블록 입체모델링 308-strip 모자이크



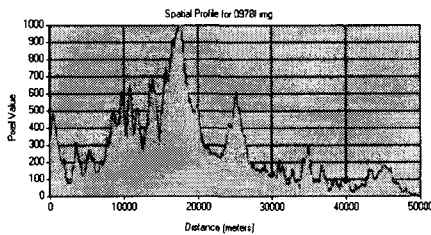
[그림 11] 블록 입체모델링 309-strip 모자이크



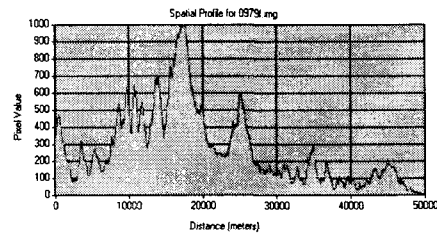
[그림 12] 블록모델 DEM의 접합부분 profile(308-278)



[그림 13] 블록모델 DEM의 접합부분 profile(308-279)



[그림 14] 블록모델 DEM의 접합부분 profile(309-278)



[그림 15] 블록모델 DEM의 접합부분 profile(309-279)

위의 그림은 DEM 접합부분의 profile로서 단일 모델의 profile에 비해 더욱 일치하는 것을 알 수 있으며, 다음 표에서 보는 바와 같이 접합 모델의 profile rmse는 단일 모델에 비해 현저하게 좋아진 것을 확인할 수 있다. 또한 rmse가 약 10m 이내이므로 단위모델 결과에 비해 오차량이 감소했음을 확인할 수 있고, 평균의 절대값이 매우 적은 것은 인접한 두 DEM간의 오차 경향이 감소했다는 것을 나타낸다.

[표 8] 블록모델 접합부분 profile 차이값 비교

중첩모델	평균(m)	rmse(m)	비고
308-278/308-279	-2.4	7.6	
309-278/309-279	-1.2	10.5	

## 5. 결론

광범위한 지역의 DEM을 제작할 경우 DEM 모자이크시 발생하는 접합선을 최소화하는 것은 중요하고도 기본적인 작업이다. 본 연구에서 수행한 블록 모델링 방법을 이용한 모자이크 접합선 최소화 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 모자이크시 발생하는 접합선은 인접한 각각의 단일 모델링 정확도가 우수하다 하여도 발생할 수 있으며, 이는 중복영역에서 인접한 DEM 간에 일정한 오차경향을 가질 때 더욱 뚜렷이 나타난다.

2) 연속 strip으로 촬영된 SPOT 영상의 경우 비행방향(남북방향)의 중복 영역이 적어 중복영역내에서 식별 용이한 영상점이 거의 존재하지 않기 때문에 지상기준점 제작이 용이하지 않다는 단점이 있지만 중복영역에서는 영상 화소가 완전하게 일치하기 때문에 영상접합점을 완벽하게 관측할 수 있다.

3) 모델링시 사용하는 지상기준점은 모델의 절대 표정에 매우 중요한 역할을 하기 때문에 오차를 갖는 지상기준점을 각 모델의 외곽에 배치하게 되면 DEM 모자이크시 중복영역에 일정한 경향을 갖는 오차의 발생을 유발할 수 있으므로, DEM 왜곡 없이 모자이크 작업을 용이하게 하려면 비교적 정확한 지상기준점을 사용하여 각 모델의 내부에 배치하고 정확한 영상접합점을 많이 사용하는 것이 타당하다.

## 참고문헌

- [1] 유복모, 이현직, 박흥기, "SPOT 위성영상용 번들조정에서 지상기준점 획득방법에 따른 정확도 분석", 대한토목학회논문집, 제11권, 제4호, pp151-162, 1991
- [2] 조봉환, "The Three Dimensional Mapping of the Continuous Strip Satellite Imagery", 박사학위 논문, 성균관대학교 대학원, 1991
- [3] 강준목 외3, "GPS에 의한 위성영상 GCP/DEM 정확도 평가", 대한토목학회 학술발표 논문, Nov. 2001.
- [4] KTRC-417-000381, "DEM 모자이크 알고리즘 연구", 국방과학연구소, Mar. 2000