

# 입체정사영상의 반복 정합에 의한 SPOT DEM의 보정

## Correction of SPOT DEM by Iterative Stereo-Orthoimage Matching

유복모 · 이용웅 · 손홍규

Yeu, Bock Mo · Lee, Yong Woong · Sohn, Hong Gyoo

### 1. 서 론

입체항공사진이나 인공위성영상으로부터 수치상관정합에 의한 수치고도모형(Digital Elevation Model)의 생성시 입체영상간의 기하학적인 조건이나 방사적인 차이로 인하여 여러 가지의 정합오류가 발생하게된다. 자동화된 수치사진측량 공정에서 발생하는 이와 같은 정합오류는 DEM 품질 저하의 원인이 될 수 있으며, 수동적인 별도의 편집작업을 필요로 하게 되므로 자동화에 의한 예측되는 경제적/시간적 효율을 감소시키게 된다. 만일 두 입체영상의 외부표정요소가 매우 정확한 값을 갖는다면, 수치고도모형에서 추출된 고도자료의 오차는 두 정사영상의 정합과정에서 기하학적 불일치를 발생시키게 된다. 이와 같은 두 정사영상간의 불일치량을 최소화하므로써 DEM의 품질을 개선시키는 정제가 가능하다. DEM 보정에 관한 연구는 입체 항공사진으로부터 추출한 DEM을 중심으로 수행하였다(Schenk, 1989; Norvelle, 1996; Lobonc, 1996).

본 연구에서는 push-broom 방식으로 영상을 취득하는 SPOT-PAN 위성영상을 이용하여 자동화된 방법으로 DEM을 생성한후, 이로부터 입체 정사영상을 정밀제작하고 반복적 정사영상 정합을 수행하였다. 이를 위하여 수치미분편위수정 방법으로 좌·우측의 정사영상을 제작한후 고도 보정량을 계산하고 입체 정사영상 정합을 통한 불일치량을 계산하였다. 수치 상관정합방법으로 제작한 수치고도모형의 보정 가능성을 연구한 결과, SPOT 입체위성영상으로 제작한 DEM에도 반복적인 정사영상 정합기법이 적용될 수 있으며, 이를 통하여 위성사진으로 제작한 수치고도자료의 보정 및 DEM의 효율적인 생성이 가능하다는 결론을 얻었다.

### 2. 반복적 정사영상 정합

자동화된 수치상관 정합방법을 이용하여 좌·우측의 입체 영상으로부터 하나의 DEM을 생성할 수 있다. 또한 동일한 입체영상과 생성된 DEM을 이용하여 좌측과 우측의 입체 정사영상을 만들 수 있으며, 이 두 입체 정사영상은 이론적으로 동일하여야 한다. 그러나 3차원 모형화 오차 및 정합오차 등에 기인한 다양한 요인들에 의하여 기하학적으로 정확히 일치하지 않는다. 두 정사영상을 DEM 생성시와 동일한 방법의 정합과정을 거치게 되면 불일치량을 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 고도의 보정량을 계산하여 두 정사영상이 일정한 한계치 이하로 일치될 때까지 반복적으로 정합을 수행하면 DEM의 보정이 가능하다.

\*연세대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-361-2799(E-mail:yeubm@yonsei.ac.kr)

\*\*국방과학연구소 기술연구본부 선임연구원 · 042-821-4638(E-mail:lpillyw@sunam.kreonet.re.kr)

\*\*\*연세대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 · 02-361-2809(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

## 2.1 정제의 개념

반복적인 정사영상 정합의 기본 개념은 동일한 DEM 과 입체영상으로부터 생성한 입체 정사영상은 동일 하여야 한다는 가정에서 출발하며, 이는 지상기준점(Ground Control Point)과 외부표정요소(Exterior Orientation Parameters)오차에 의한 DEM 상의 오차가 없는 경우에 성립한다. 그러나 실제적으로 본 연구에서 사용한 SPOT 위성영상의 경우 지상해상력이 약 10m 정도로서 모형화에 사용한 지상기준점의 정확도는 약 5-10m정도의 오차를 가지고 있다. 그러므로 영상의 외부표정요소에 존재하는 오차와 원시 DEM의 고도 오차 때문에 좌·우 입체 정사영상을 정합시키게 되면 불일치가 발생하게 된다. 이러한 불일치를 감소시키기 위하여 불일치량으로부터 고도 보정량으로 계산한후 입체정사영상을 다시 생성하고 정합을 반복 수행하면 DEM을 정제(refinement)할 수 있다. 입체정사영상간의 불일치는 3차원 모형화오차 및 정합오차에 기인한다. 여기서 전자의 경우는 계통오차로 간주할 수 있으므로 제거할 수 없고, 따라서 반복회수를 결정하기 위한 불일치의 수렴 한계치가 3차원 모형화 오차보다는 커야 함을 알 수 있다. 그림 1은 본 연구에서 적용한 반복적 정사영상 정제과정을 보여주고 있다. 입력 SPOT 영상에 대한 외부표정요소를 결정하기 위한 3차원 모형화(광속조정)는 항공사진 공선조건식을 변형한 영상 취득시간(t)의 2차 다항식을 사용하였다.

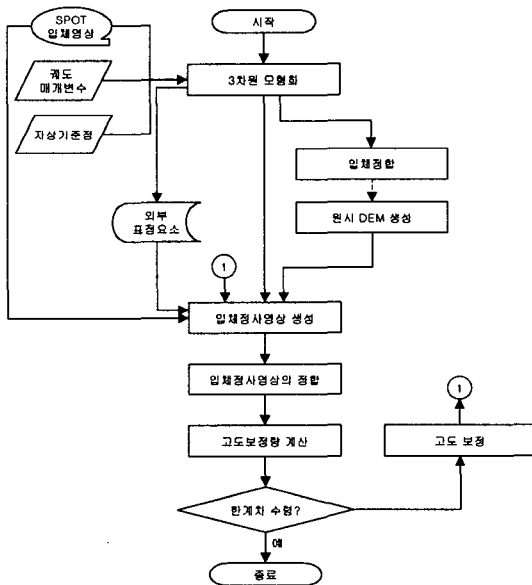


그림 1. 반복적 DEM 정제 과정

## 2.2 정사영상 생성

미분편위수정에 의한 정사영상 생성을 위하여 원 영상자료, 3차원 모형화 결과(외부표정요소) 및 수치 고도모형이 필요하다. 수치미분편위수정은 좌표변환 방법에 따라 직접법과 간접법으로 수행될 수 있으며 (Chen and Lee, 1993), 본 연구에서는 간접적인 방법에 의해 정사영상을 생성하였다. 이 방법은 주어진 지상좌표에 대하여 촬영시간  $t$ 를 구한후 좌·우 영상의 영상좌표와 지상좌표를 계산하는 방식이다. 이와 같이 얻어진 영상좌표는 3차원 모형화과정에서 포함된 오차로 인하여 원 영상의 영상좌표와 일치하지 않게되지만 공선조건식에 의하여 영상좌표와 지상좌표 간에는 1:1 관계가 성립하게된다. 그러므로 이상적인 환경하에서 반복정합과정을 거친 DEM에는 3차원 모형화 오차만이 포함되게 된다.

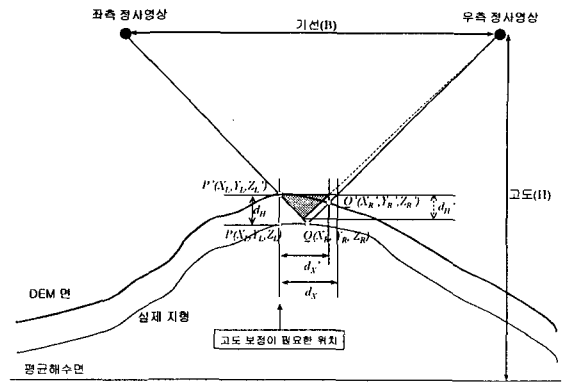
## 2.3 고도의 보정

그림 2는 정사영상정합 오차와 DEM 오차와의 관계를 보여주고 있다. 정사영상의 정합점 사이에 발생하는 불일치를 이용하여 수치고도자료의 고도오차를 보정하기 위하여 불일치를 고도오차로 변환하여야 한다. 지상점  $P(X_L, Y_L)$  에 대하여 DEM 과 실제위치간의 고도오차  $d_H$  가 존재한다고 가정하면, 이 고도오차로 인하여 점  $P$  는 좌측영상으로 생성한 정사영상상의  $(X_L, Y_L)$ 에 위치하지 않게 된다. 그 대신에  $P$  이  $(X_L', Y_L')$ 에 나타날 것이다. 마찬가지로  $Q$  는 우측영상으로 제작한 정사영상의  $(X_R, Y_R)$ 에 있지 않을 것이다. 따라서 어떤 위치에 고도오차가 존재한다면 이 고도오차에 기인한 불일치가 두 정사영상간에 존재하

게 될 것이다. 고도오차는 이들 불일치량을 관측하므로써 알아낼 수 있다. 그림 2에서  $(X_L, Y_L)$ 에 대한 DEM 오차를 계산하는 추정식으로 다음과 같은 식을 이용할 수 있다(유복모 등, 1999).

$$d_H' = d_X' \cdot (H/B) \quad (1)$$

여기서  $d_X'$  은 동일한 지점에 대한 입체 정사영상간의 불일치량이다.



### 3. 관측 대상지역 및 연구방법

그림 2. DEM과 정사영상의 관계

본 연구의 관측 대상지역은 그림 3에 나타난 바와 같이 SPOT GRS 305-277 지역내의 대전근교 약 10km × 10km 지역으로써 Bessel UTM 좌표로는 Easting 332000m-342000m, Northing 4019000m-4029000m 이다. 관측에 사용한 SPOT 입체위성영상은 각각 1995년 4월 4일과 5일에 촬영된 영상이다.

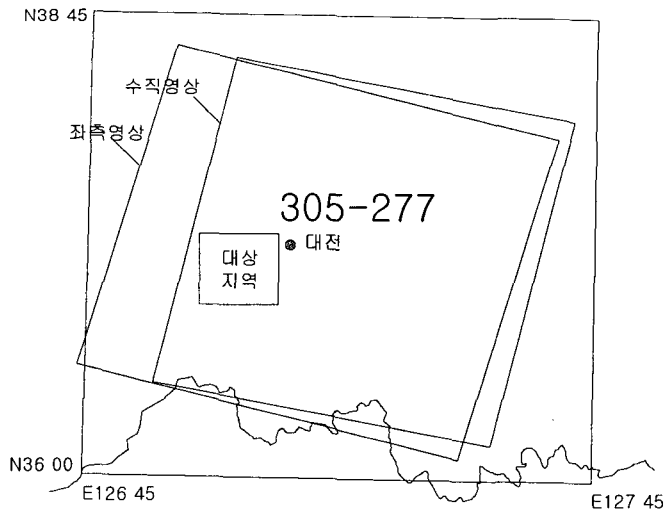


그림 3. 관측 대상 지역

그림 4에는 SPOT 305-277 지역중 관측대상지역에 해당하는 영상을 절취하여 나타내었다. 또한, 항공사진으로부터 제작한 관측대상지역의 기준 DEM(격자간격 : 12.5m)을 그림 5에 음영기복도 형태로 도시하였다.

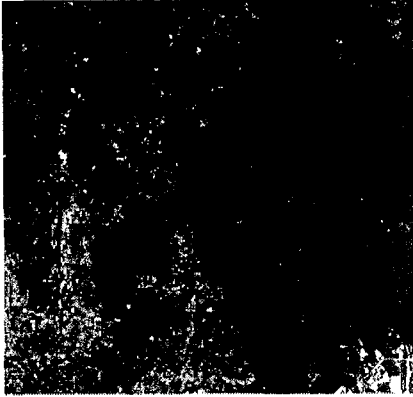


그림 4. SPOT 영상

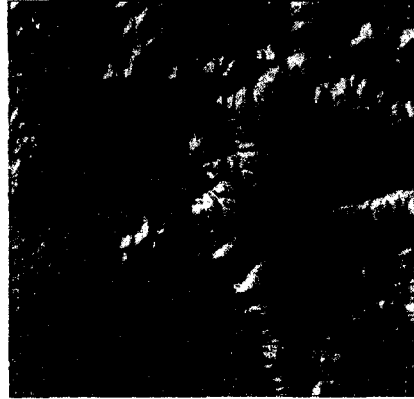


그림 5. 대상지역의 기준 DEM

수치상관정합방법을 이용하여 그림 6과 그림 7과 같이 100m 간격의 DEM과 20m 간격의 DEM을 제작하여 반복적 정사영상 정합에 의한 DEM 보정효과를 관측하였다.

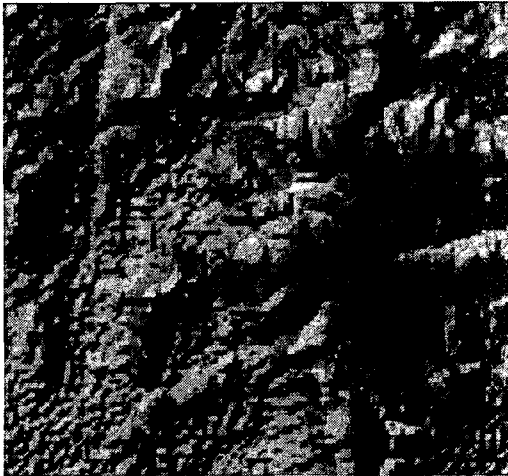


그림 6. 100m 간격의 SPOT DEM

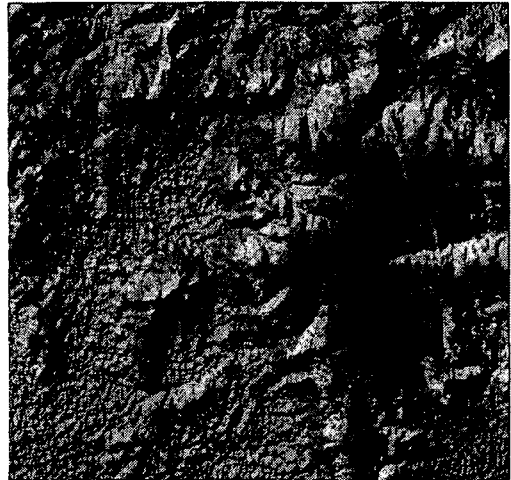


그림 7. 20m 간격의 SPOT DEM

본 연구를 통하여 주로 관측하고자 하는 반복적 정사영상 정제 기법의 효과는 DEM의 정제이므로, 각 반복 과정에서의 DEM은 정밀도와 정확도가 우선적으로 분석되어야 한다. DEM의 위치정확도는 항공사진으로부터 제작한 기준 DEM이 이미 확보되어 있으므로 공분산 해석으로 분석하였고, DEM의 각 격자점에서의 고도오차에 대한 RMSE도 함께 분석하였다. DEM 오차를 공분산해석하기 위해서는 비교대상 DEM 간의 공액점을 추출하여야 한다. 또한 반복 단계마다 생성되는 좌·우 정사영상 간의 불일치량을 분석함으로써 고도 오차에 의한 정사영상의 오차, 즉 횡방향 및 종방향 불일치량의 감소 여부를 판단할 수 있다. 따라서, 이에 대한 불일치량 및 그 변화에 대한 분석을 수행하였다. 이때, 좌·우 정사영상의 불일치 정보는 정사영상을

입체정합함으로써 얻을 수 있다. DEM의 공분산 해석 및 정사영상 정합에 사용한 매개변수는 표 1과 같다.

**표 1 공분산 해석과 정사영상 정합 매개변수**

매개변수	공분산 해석	정사영상 정합
Mask 크기	41×41	15×15
검색 폭	5	6
검색 높이	5	3
한계 상관 계수 값	0.8	0.9
간격	20 / 13	-

첫 번째 매개변수는 소구역의 크기, 즉 입체정합 과정에서 사용하는 정합 기준영역의 크기를 의미한다. 탐색영역의 크기를 나타내는 폭과 높이는 일반적인 입체영상 정합과는 다르게 예비정보가 없어도 상당히 축소된 영역으로 정합 범위를 제한할 수 있기 때문에 작게 설정할 수가 있다. 단, 고도오차가 불일치량에 반영될 때는 횡방향 불일치에 대부분 반영이 되므로 탐색영역의 폭이 높이보다 크다. 상관계수의 임계값이 의미하는 것은 공액점을 선정할 때의 상관계수 값이 한계값 보다 작으면 공액점의 추출 내용을 활용하지 않는다는 것이다. 일반적인 입체정합 과정에서는 0.7에서 0.85 사이의 값을 사용하지만, 정사영상의 경우에는 지형기복에 의한 영상의 왜곡이 충분히 보정되었다고 가정하여 이 한계값을 상당히 큰 값인 0.9로 설정하였다. 위치정확도를 표현하기 위하여 미국의 군사표준(MIL-STD-60001)에 규정된 원형 지도 정확도 표준(Circular Map Accuracy Standard, 90% 확률오차)과 선형 지도 정확도 표준(Linear Map Accuracy Standard, 90% 확률오차)를 사용하여 수평 및 수직 위치정확도 변화 추이를 분석하였다.

#### 4. 관측결과 및 고찰

##### 4.1 100m 간격의 DEM 정제

100m 간격의 DEM의 위치정확도 분석결과는 표 2에 나타난 바와 같이 수평 위치정확도는 약 20m 내로써 Class A급으로 판명되었다. 또한 수직 위치정확도는 약 10m 내외로 Class A급과 Class B급의 경계로 판명되었다. 정사영상을 생성하여 이를 토대로 입체정사영상간의 불일치를 분석하였으며, 그 결과는 표 3과 같다. 또한 각각의 반복과정별로 고도보정을 수행하여 DEM이 정제되는 과정을 그림 8에서 볼 수 있다.

표 2 100m 간격 DEM 의 위치정확도

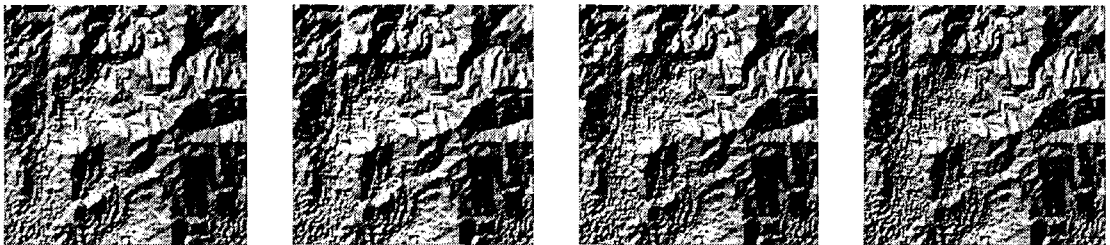
수평 위치오차(m)				수직 위치오차(m)				
Easting		Northing		CEP (90%)	$\mu_{\Delta H}$	$\sigma_{\Delta H}$	LEP (90%)	RMSE
$\mu_{\Delta E}$	$\sigma_{\Delta E}$	$\mu_{\Delta N}$	$\sigma_{\Delta N}$					
1.4	6.6	4.2	7.7	16.7	-3.0	7.3	13.1	10.0

\*  $\mu_{\Delta E}$ ,  $\mu_{\Delta N}$ ,  $\mu_{\Delta H}$  : 오차의 평균,  $\sigma_{\Delta E}$ ,  $\sigma_{\Delta N}$ ,  $\sigma_{\Delta H}$  : 오차의 표준편차

표 3 100m 간격 DEM의 입체 정사영상의 불일치 량

Easting(영상소)				Northing(영상소)			
$\mu_{\Delta p}$	RMSE	Min.	Max.	$\mu_{\Delta l}$	RMSE	Min.	Max.
-0.040	0.313	-2.75	3.14	-0.249	0.369	-2.13	1.68

\*  $\mu_{\Delta p}$  = pixel 방향 오차의 평균,  $\mu_{\Delta l}$  = line 방향 오차의 평균



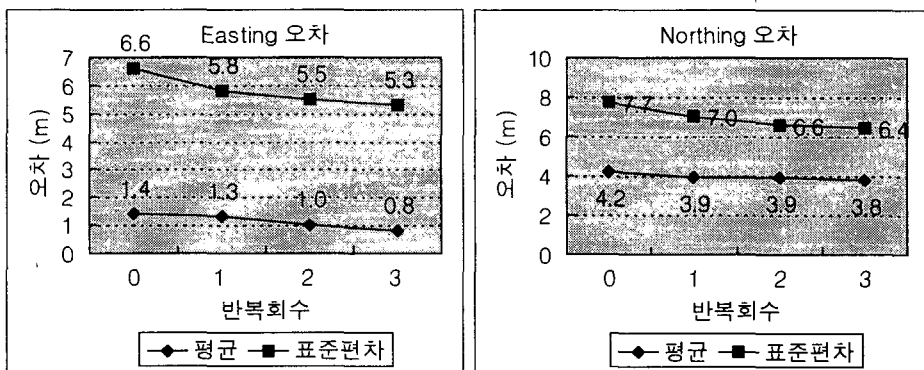
반복전

1회 반복후

2회 반복후

3회 반복후

그림 8. 100m 간격 DEM 반복 정제결과



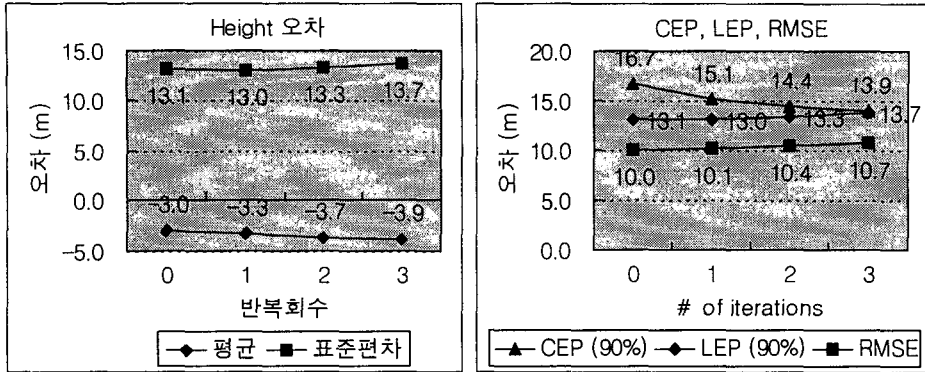


그림 9. 100m 간격 DEM의 반복 회수별 오차 분석

그림 8과 9에서 예시 보는바와 같이 반복적인 정제를 수행함에 따라 100m 간격 DEM의 수평 및 수직위치 정확도가 향상됨을 알 수 있다. Easting 과 Northing 오차 변화량을 보면 표준편차와 평균이 거의 비슷하거나 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 그림에 나타난 바와 같이 수평 위치오차가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 수직 위치오차는 오차의 평균과 표준편차가 거의 비슷하거나 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 수직 위치오차가 약간 증가하고 있으나 큰 변화는 없으며, 반복적 정사영상 정제의 적용 과정에서 위치정확도를 손실시키지 않는 범위 내에서 정밀도를 증가시키는 결과인 것으로 판단된다.

#### 4.2 20m 간격의 DEM 정제

수치상관정합에 의해 제작한 20m 간격 DEM의 수평 위치정확도는 약 20m 내외로 Class A급이며, 수직 위치정확도는 약 10m 내외로 Class A급과 Class B급의 경계로 판명되었다. 반복 회수별로 DEM 생성결과는 그림 10과 같고, 오차를 분석한 결과는 그림 11과 같다.

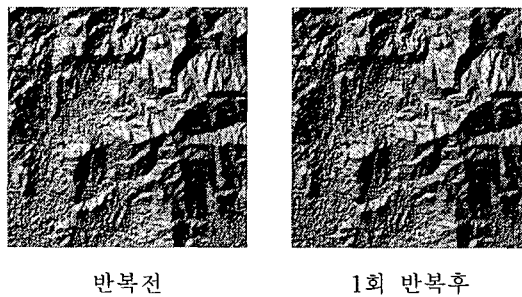


그림 10. 20 m 간격 DEM 반복정제 결과

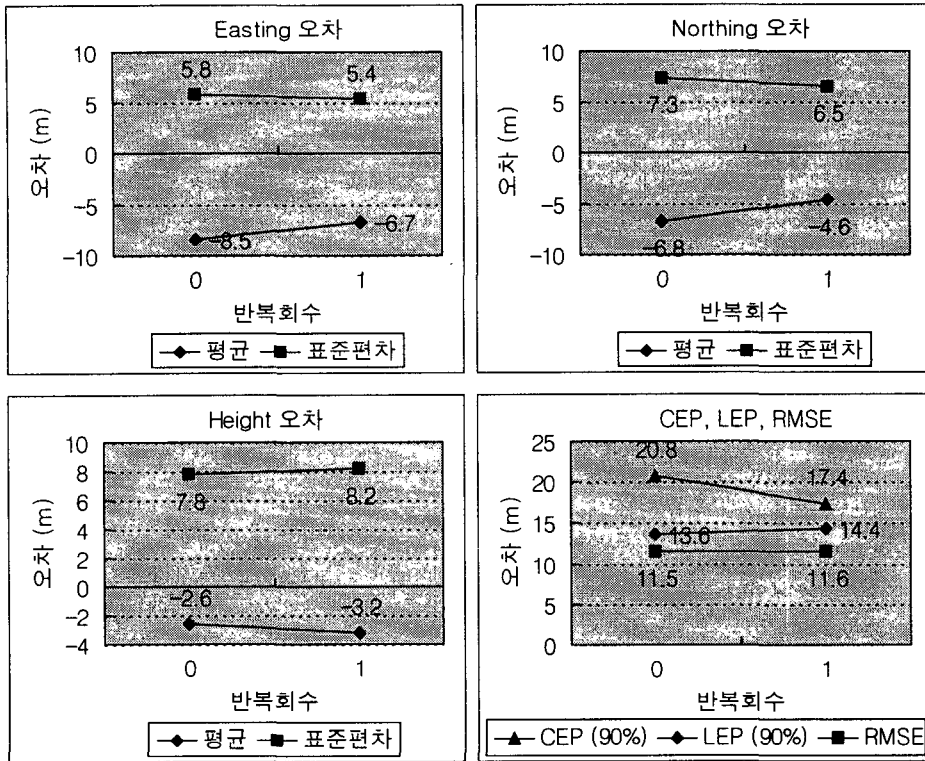


그림 11. 20m 간격 DEM의 반복 회수별 오차 분석

그림 11의 Easting 및 Northing 오차 변화량을 보면 전체적으로 거의 변화가 없는 것으로 나타나고 있다. 또한 고도 오차는 오차의 평균과 표준편차가 거의 비슷하거나 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상도 100m 간격의 DEM의 경우와 유사한 현상으로 판단된다. 마찬가지로, 기존 DEM의 격자간격이 20m 이므로 보다 정확한 판단을 위해서는 더 조밀한 DEM을 기존 DEM으로 활용하여야 할 것이다. 20m 간격 DEM의 경우에는 반복적 정제에 의해 위치정확도가 개선된다고 판단하기 곤란하다. 이는 DEM의 생성 과정에서 적용하는 입체정합 기법과 IOR의 정사영상 입체정합 과정에서 적용하는 정합 기법을 동일한 것을 사용하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 반복적 정사영상정제 기법을 이러한 경우에 적용하고자 할 때에는 입체정합 과정에서 과대오차를 제거할 수 있는 보다 제한적인 방법을 적용해야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

SPOT 입체영상으로부터 수치상관정합에 의해 자동 생성된 수치고도모형에 포함될 수 있는 오차를 보정하여 DEM의 품질을 향상시킬 수 있는 반복적 정사영상 정합기법을 적용한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. SPOT 위성영상에 대하여 개발한 반복적 정사영상 정합기법을 적용하여 100m 간격의 수치고도모형의 위치 정확도 및 정밀도가 개선될 수 있음을 알 수 있었다. 즉 거칠은 DEM의 효과적인 개선효과를



관측할 수 있었다.

2. 원시 DEM의 품질이 충분히 양호한 경우(정합오차의 발생이 적고 정확도가 높은 경우) 반복적 정제에 의한 효과가 별로 없었다. 그러나 입체영상 정합과정에서 보다 엄밀하고 최적의 제한 조건을 적용하여 과대오차를 제거할 경우 본 연구의 방법이 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.
3. 본 연구의 방법은 기 생성된 DEM의 품질을 개선하거나 정확도를 평가하는 유용한 방법으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 자동상관 정합방법에 의한 DEM 생성공정에 병행하여 사용 하므로써 효과적인 DEM 생성방법으로도 사용될 수 있을 것이다.
4. 수치상관 정합에 의하여 DEM을 제작하는 경우 입체영상의 취득 기간차이가 짧아야 두영상간의 방사적 특성이 유사하여 정합오류를 줄일 수 있다. 그러나 SPOT 위성과 같이 광학 카메라는 지역별 날씨에 매우 의존적이며 궤도운동에 따른 주기적 영상 취득에 따라 현실적으로 동일한 방사적 특성을 갖는 영상 획득은 제한적이다. 이와 같은 제한이 있는 경우, 본 연구에서 제시한 방법을 적용하면 DEM의 품질을 개선하고 현실적인 문제점을 극복할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. Schenk, A.F. (1989), Determinatin of DEM using iteratively rectified images, *Photogrammetry Technical Report No.3*, Dept of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
2. Norvelle, F.R. (1996), Using iterative orthophoto refinement to generate and correct digital elevation models(DEMs), *ASPRS, Digital Photogrammetry*, pp. 151-155.
3. Lobonc, T. (1996), *Human supervised tools for digital photogrammetric systems*, Ph.D. Thesis, Purdue University.
4. Brockelbank, D.C. (1991), Stereo elevation determination techniques for SPOT imagery, *PE&RS*, Vol. 57, No. 8, pp. 1065-1073.
5. Liang Chen and Liang-Hwei Lee (1993), Rigorous generation of digital orthophotos from SPOT images, *PE&RS*, Vol. 59, No. 5, pp. 655-661.
6. US NIMA(1992), Mapping, Charting & Geodesy Accuracy, MIL-STD-600001.
7. 유복모, 이용웅, 고진우, 조봉환 (1999), DEM 보정을 위한 반복적 정사영상 정제법의 적용에 관한 연구, 대한 토목학회 논문집, 제 19권, 제III-5호, pp. 925-933.