한국측지학회지, 제 17 권 제 3 호, pp. 293~300(1999년 9월 30일)

# IRS-1C 위성데이타를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구
# A Study on the Generation of Digital Elevation Model from IRS-1C Satellite Image Data

안기원* · 이효성** · 서두천** · 신석효**
Ahn, Ki-Won · Lee, Hyo-sung · Seo, Doo-chun · Shin, Sok-hyo

**要 旨**

IRS-1C PAN의 수치화상데이터를 사용하여 수치표고모델을 생성하는 기법을 연구하였다. 번들조정기법을 적용하여 라인별 외부표정요소를 결정하였으며, 그 결과 위성의 자세와 위치 모두에 있어서 1차다항식이 가장 유효하였다. 수치표고모델과 정사투영화상을 생성한 후, 연구 대상영역내의 상이한 표고를 가지고 있는 16점의 평가점을 선정하여, 연구결과의 지도좌표와 비교해본 결과, 표고오차의 RMSE가 ±16.66 m인 수치표고모델을 생성할 수 있었다.

**ABSTRACT**

The study aims to develope techniques for generating digital elevation model(DEM) from IRS-1C PAN stereo image data. The bundle adjustment technique was used to determine the satellite exterior orientation parameters as a function of along-track lines. The first degree of polynomial was selected as a function of satellite attitude and position for each scan line. To evaluate the DEM and orthoimage generated, the resulted three dimensional coordinates of the 16 elevation points were computed with the map coordinates. The elevation test showed that root mean square errors of the DEM elevation was about ±16.66 meters.

## 1. 서 론

수치표고모델이란 지형특성의 공간적 분포를 수치적으로 표현한 것으로, 그 자료의 양이 방대하고, 응용분야가 폭넓어 이에 대한 관심이 높아지고 있다.[1,2]

수치표고모델 자료 구축 방법은 크게 기존지도를 스캐닝, 디지타이징(digitizing)하는 방법, 항공사진측량에 의한 방법, 인공위성 데이터를 이용하는 방법 등으로 나눌 수 있다. 기존지도를 스캐닝 하거나 디지타이징 하는데 있어서는 오차의 누적, 많은 시간과 경비의 소요 및 지형의 변화에 능률적으로 대처하는데 문제가 있다. 항공사진측량에 의한 방법은 현재까지는 가장 효과적이고 정밀한 방법이지만, 한 장의 항공사진에 포함되는 지상면적이 작기 때문에 광역에 대한 데이터를 얻는데 한계가 있다는 단점이 있다.[3]

인공위성의 입체수치화상데이터를 이용하여 지형의 3차원좌표나 수치표고모델을 작성하는 것과 관련된 연구는 1986년 2월 프랑스에서 SPOT 위성을 발사하므로서 본격적으로 연구되기 시작하였다. SPOT 위성의 수치화상데이터는 한 scene에 포함되는 지상면적이 60 km×60 km(直下관측시)로서 항공사진 면적의 100~200배에 달하며, 주기적인 데이터를 얻을 수 있으므로 많이 활용되고 있다. 그러나 SPOT PAN 화상데이터의 공간해상력이 10 m이기 때문에 대축척 지형도나 정밀한 수치표고모델의 작성을 위하여는 보다 높은 공간해상력의 화상데이터가 요구되고 있는 실정이다.[1-6]

1995년 12월 28일 발사된 IRS-1C 위성의 화상데이터는 높은 공간해상력(5 m)의 PAN 입체수치화상데이터를 관측수집하고 있다.[7] 이 IRS-1C 위성의 화상데이터와 같이 고해상력의 인공위성 수치화상데이터는 현재 지도제

*경상대학교 공과대학 토목공학과 교수
(경상대학교 부속 생산기술연구소 연구원)
**경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정

작, 국토개발 및 국가전산망을 위한 데이터베이스 구축 작업에 활용할 가치가 높지만, 위성자료가 방대하고 각종 기하학적 왜곡을 포함하고 있기 때문에 데이터의 처리에 여러 가지 어려움이 뒤따르며 효율적인 컴퓨터 처리기법과 유효한 알고리즘의 개발이 요구된다.

IRS 위성데이터로부터 DEM을 작성하는 연구로는 Malleswara Rao 등(1996)이 IRS-1A LISS-II 다중파장대(multi-spectral) 데이터(해상력 약 36.25 m)로부터 시차공식을 적용하여 표고정확도 34~39 m의 DEM을 작성하였으며, 축척 1:250,000이하의 소축척도 작성을 위한 표고추출이 가능함을 제시한 바 있다.[8]

IRS-1A 및 IRS-1B위성과는 달리, IRS-1C위성부터는 고해상도의 PAN데이터를 관측수집하고 있으며, 이 데이터를 이용한 표고추출 관련 연구는 찾아보기 어렵다. IRS-1C PAN데이터는 Level 0, Level 1, Level 2 및 Level 3의 수준으로 보정되어 공급되는데 전혀 보정하지 않은 Level 0와 방사보정과 기하보정 일부를 처리한 Level 1 데이터는 다수(약 100 scene)의 주문이 있는 경우에만 공급될 수 있다.[7] 따라서, Level 0 및 1의 데이터는 취득이 어렵고 국내에는 공급표준포맷인 Level 2의 상당수가 이미 공급되어 있다.

Level 0와 Level 1의 데이터는 기하학적 내용 파악이 쉽고 높은 정밀도의 DEM작성에 유리하지만 Level 2의 데이터에는 기복변위가 그대로 남아 있기 때문에 DEM 작성이 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 IRS-1C PAN의 Level 2 수치화상데이터를 사용하여, 수치표고모델을 생성하는 기법을 연구하고 생성된 수치표고 모델을 비교 평가하여 개발된 기법의 유효성을 검증하고자 하였다.

## 2. 사용데이터 및 해석대상영역

### 2.1 사용데이터

본 연구에 사용된 인공위성 화상데이터는 표 1에서 보는 바와 같이 1995년 12월에 인도 ISA(Indian Space Agency)에서 발사된 IRS-1C 위성의 PAN 데이터(관측파장대 : 0.5 0.75 μm)로서 1997년 1월 8일(좌측화상)과 1997년 4월 19일(우측화상)에 관측 수집된 sub-scene(지상면적 약 23 km×23 km)이다.

그림 1 및 그림 2는 본 연구에서 사용된 IRS-1C PAN sub-scene의 좌우화상의 모습이다.

### 2.2 원화상의 작성

인공위성 화상데이터를 이용한 수치표고모델 작성에 있어서는 원화상(raw image data)또는 방사보정만 수행

**표 1. Image data used**

| Parameter | Left | Right |
|---|---|---|
| Image | IRS-1C PAN | IRS-1C PAN |
| Spatial resolution | 5.8 m | 5.8 m |
| Date of acquisition | Jan. 8, 1997 | April 19, 1997 |
| Path-Row | 142-045 | 143-045 |
| Cloud | 0% | 0% |
| Look angle | 2.05 | -2.01 |
| Data correction | Level 2 | Level 2 |

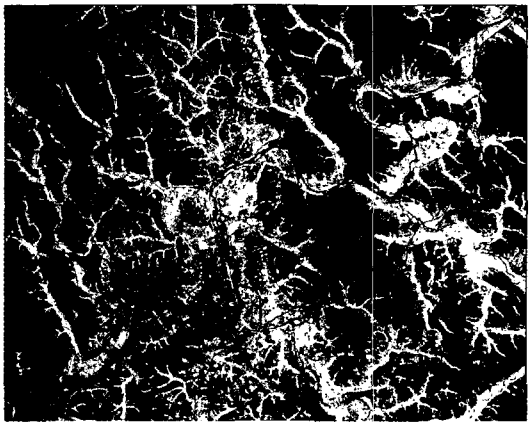

**그림 1. The left image of the IRS-1C PAN sub-scene**

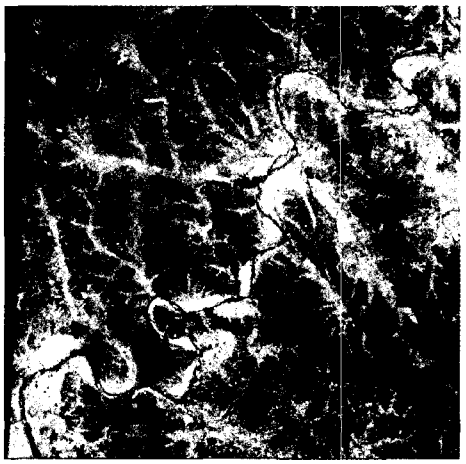

**그림 2. The right image of the IRS-1C PAN sub-scene**

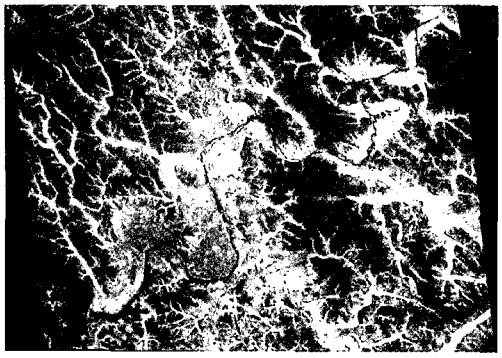

그림 3. The original left image generated

그림 4. The original right image generated

그림 5. The left image of the study area trimmed
(size : 1971×2429 pixels, pixel size : 5 m×5 m)

그림 6. The right image of the study area trimmed
(size : 1971×2429 pixels, pixel size : 5 m×5 m)

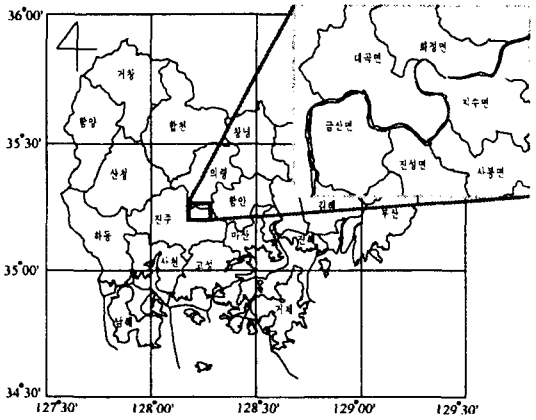


그림 7. The location map of the study area

된 중복 화상을 사용하는 것이 원칙이지만, IRS-1C 위성의 화상데이터 독점 공급권을 갖고 있는 미국의 Space Imagine사에서는 다량주문인 경우에만 원화상을 공급하고 있기 때문에 경제적인 면등을 고려하여 기하보정이 수행된 화상을 사용할 경우에는 최대한 원화상과 유사한 화상을 복원시키는 작업이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 header 정보를 이용한 역변환을 통하여 원화상의 성질을 갖는 화상(그림 3 및 그림 4)을 작성하였다.

### 2.3 해석대상영역

해석대상영역으로는 그림 5 및 그림 6과 같은 중복지역을 절출하여 사용하였는데 이 지역 위치는 그림 7의 위치도에서 보는 바와 같다.

## 3. IRS-1C 위성의 번들조정과 외부표정 요소의 결정

### 3.1 번들조정

본 연구의 목적인 수치표고모델을 생성하기 위해서는 먼저, IRS-1C PAN 화상데이터 취득시의 위성의 위치 및 자세, 즉 외부표정요소를 결정하여야 한다. 이를 위하여 번들조정(bundle adjustment)기법을 적용하였다.

IRS-1C PAN 화상데이터는 각 라인마다 중심투영으로 데이터를 취득하므로 각각의 라인에 대하여 6개의 외부표정요소 ($\omega_L$, $\phi_L$, $\kappa_L$, $X_L$, $Y_L$, $Z_L$)가 존재한다.

IRS-1C PAN데이터의 full-scene(70 km×70 km)은 12,288(3×4,096)개의 라인으로 구성되어 있으므로 한 scene에 대하여 총 73,728개의 외부표정요소가 존재하게 된다. 그러나 IRS-1C 위성의 자세 안정성과 빠른 관측시간을 고려하여 외부표정요소들을 시간 또는 라인의 함수형태로 단순화하여 모델링을 할 수 있다. 이 모델링에 대하여는 국내외 여러 논문에서 연구한 바 있으며 사용하는 화상데이터의 종류에 따라 1차~3차 다항식중의 적절한 다항식을 선정하여 적용하여야 한다.[3)]

본 연구에서는 위성의 자세 ($\omega_L$, $\phi_L$, $\kappa_L$)에 대해서는 최대 3차까지의 다항식을, 위성의 위치 ($X_L$, $Y_L$, $Z_L$)에 대해서는 최대 2차까지의 다항식을 적용·평가하여 최적다항식을 결정, 사용하고자 하였다. 각 라인(L)의 외부표정요소를 다항식의 형태로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
\omega_L &= \omega_0 + \omega_1 L + \omega_2 L^2 + \omega_3 L^3 \\
\phi_L &= \phi_0 + \phi_1 L + \phi_2 L^2 + \phi_3 L^3 \\
\kappa_L &= \kappa_0 + \kappa_1 L + \kappa_2 L^2 + \kappa_3 L^3 \\
X_L &= X_0 + X_1 L + X_2 L^2 \\
Y_L &= Y_0 + Y_1 L + Y_2 L^2 \\
Z_L &= Z_0 + Z_1 L + Z_2 L^2
\end{aligned} \qquad (1)$$

### 3.2 외부표정요소의 결정

외부표정요소를 결정하기 위해서는 입력되는 외부표정요소 초기값, 지상기준점의 3차원지상좌표 및 화상좌표의 획득이 중요하다. 외부표정요소에 대한 초기값 결정에 있어서는 IRS-1C PAN의 header자료에 포함되어 있는 위성의 위치 및 자세에 관한 보조데이터를 활용하였다. header 정보 중, 위성의 위치, 화상중심좌표등은 Clark 1866타원체와 UTM 투영법에 의한 것이기 때문에 본 연구에서는 이들 데이터를 우리 나라에서 사용되는 Bessel 타원체의 경위도 좌표체계로 변환하여 사용하였다.

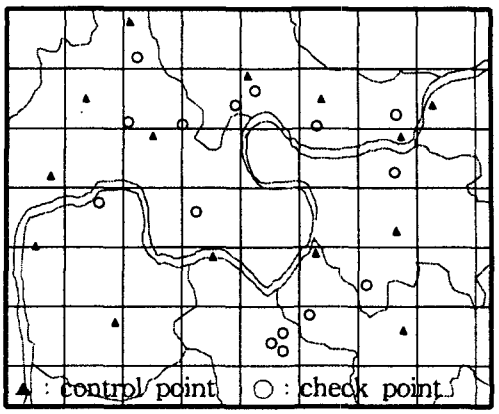


**그림 8. The location map of the control points and check points used for the bundle adjustment**

기준점의 지상좌표는 정밀기준점 측량의 성과를 이용하는 것이 좋지만 측량지역이 광범위하고, 산악지역이 많기 때문에 시간과 경비가 많이 소요된다. 따라서 본 연구에서 디지타이저를 사용하여 1:5,000 국가기본도로부터 최대한 정밀 독취할 수 있도록 노력하였다.

화상좌표를 획득하는데 있어서는 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.3.1)를 사용하여 좌측화상 좌표는 확대된 모니터 화상으로부터 화소이하의 단위로 독취하였으며, 우측화상좌표는 ERDAS IMAGINE의 GCP 매칭기능으로 자동 추출하였다.

사용된 29개 기준점(기준점 14점, 검사점 15점)의 화상내의 위치는 그림 8에서 보는 바와 같다.

라인별 외부표정요소의 다항식은 식(2)을 기본으로 하여 위성의 자세는 1차, 2차 또는 3차다항식을, 위성의 위치는 1차 또는 2차 다항식을 각각 적용하여 번들조정을 수행하였다. 그 결과, 표 2에서 보는 바와 같이 위성의 자세와 위치 모두 1차다항식을 적용한 경우에 있어서 평균제곱근오차가 가장 작았으며, 이 경우의 결정된 라인별 외부표정요소의 다항식은 좌측화상에서는 식(2), 우측화상에서는 식(3)과 같았다.

$$\begin{aligned}
\omega_L &= 0.00058902 + 9.647325E-07L \\
\phi_L &= -0.03455012 - 5.665326E-07L \\
\kappa_L &= -0.18843493 + 4.472041E-07L \\
X_L &= 99131.282 + 1.29762L
\end{aligned}$$

Table 2. The root mean square errors of the check points from the bundle adjustment result(unit : m)

| Degree of polynomials / Root mean square errors | Degree of polynomials for satellite attitude and position | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1st(attitude) and 1st(position) | 2nd and 1st | 2nd and 2nd | 3rd and 2nd |
| RMSE X | 1.32 | 1.26 | 1.31 | 3.62 |
| RMSE Y | 2.78 | 3.14 | 3.83 | 4.65 |
| RMSE Z | 11.82 | 12.78 | 15.78 | 28.41 |
| RMSE XYZ | 12.21 | 13.22 | 16.29 | 29.01 |

$$Y_L = 187656.965 + 4.81358L$$
$$Z_L = 782666.400 - 0.23600L \quad (2)$$

$$\omega_L = 0.00017192 + 1.013619E-06L$$
$$\phi_L = 0.03575670 - 4.561648E-07L$$
$$\kappa_L = -0.18637607 + 3.078342E-07L$$
$$X_L = 155725.052 + 1.03780L$$
$$Y_L = 187777.668 + 4.87107L$$
$$Z_L = 818308.078 + 0.11513L \quad (3)$$

## 4. 자동매칭과 수치표고모델의 생성

### 4.1 자동매칭

각 화소에 대응하는 지상좌표를 구하기 위해서는 각 화소에 대한 좌우화상좌표를 구한 후 공간교차이론(space intersection)을 적용하여야 한다. 결국, 한 쌍의 입체수치모델상에서 각 화소의 좌우화상좌표를 찾는 자동매칭이 선행되어야 한다.

본 연구에 있어서는 자동매칭기법중 표준상관기법(automatic correlation technique)에 의하여 대상영역의 전 화소를 대상으로 자동매칭을 실시하였다. 표준상관기법에 있어서는 영역에 대한 화소값들을 비교하기 때문에 한 화소에 해당하는 지상면적들이 비슷해야 하며 탐색영역도 규칙적으로 움직이는 것이 효율적이기 때문에, 일반적으로 매칭 전에 기준좌표계(지도좌표계)에 맞추는 기하보정을 실시한다.

따라서 본 연구에서도 화상데이터를 지도의 평면직각좌표계에 일치하도록 기하보정을 실시하였다.

결정된 변환식은 식(4) 및 식(5)와 같으며 재배열(resampling) 방법으로는 공1차내삽법(bilinear interpolation)을 사용하였다.

좌측화상:

$$u = -4684.12 + 0.17185x - 0.05362y$$
$$v = -46209.80 + 0.03206x + 0.16959y \quad (4)$$
(RMSE = 0.775 pixels)

우측화상:

$$u = -12034.39 + 0.16613x - 0.04124y$$
$$v = -47270.70 + 0.03138x + 0.16770y \quad (5)$$
(RMSE = 0.942 pixels)

매칭에 있어서는 기준영역(window area)의 크기에 따라 매칭결과가 달라질 수 있기 때문에 화상데이터의 질에 따른 적절한 크기를 결정해야할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 검사점들을 선정하여 기준영역의 크기에 따른 상관계수의 평균값들을 비교하였다. 우측화상에 있어서 100 m 간격마다의 총 456점의 검사점을 대상으로 매칭을 실시하여 상관계수의 평균값을 비교하였는데 기준영역의 크기는 7×7, 9×9, 11×11, 13×13, 15×15 및 17×17 화소크기의 경우를 고려하였다. 탐색영역(search area)의 크기는 매칭에 소요되는 시간과 관련이 많기 때문에 신중을 기하여야 하지만 기준영역 크기의 결정에 있어서는 검사점의 갯수가 많지 않기 때문에 여유 있게 택하였다.

비교 결과, 그림 9에서 보는 바와 같이 기준영역의 크기가 13×13일 때에 평균 상관계수값이 0.745로서 최대이었으며 기준영역의 크기가 이것보다 더 큰 경우에는 평균 상관계수가 다소 감소하였다. 그 이유는 기준영역의 크기가 커질수록 좌우화상을 얻을 때의 사시관측 각

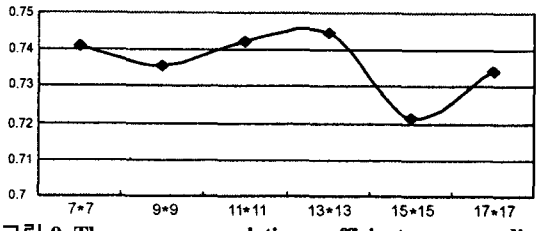


**그림 9. The average correlation coefficient corresponding the window area for the check points**

도, 태양방위각 및 태양고도의 차이로 인하여 기준영역의 포괄지역이 많이 달라지고 화상데이터값 자체도 차이가 많아지기 때문인 것으로 판단되었다.

따라서 전 화소를 대상으로 하는 본 매칭에 있어서 기준영역의 크기를 13×13 화소크기로 하였으며 탐색영역의 크기는 기하보정시의 정밀도와 대상 지역의 표고에 따르는 기복변위 등을 고려하여 37×17(column×row) 크기로 결정하여 사용하였다. 화상의 전 화소를 대상으로 우측화상의 각 화소에 대한 좌측화상좌표를 자동매칭하였으며, 상관계수가 최대인 경우의 좌우 및 전후 상관계수에 1원 2차 방정식을 적용하여 column 및 row 방향의 화소 이하단위의 좌측화상좌표를 찾을 수 있었다.

### 4.2 지상좌표의 추출

전 화소의 대응되는 좌우화상좌표가 얻어졌더라도 이 좌표들은 원화상을 기하보정한 화상의 좌표이기 때문에 다시 원화상의 화상좌표를 계산하여야만 한다. 좌우화상의 각 화상좌표를 기하보정시의 역변환식에 대입하여 원화상의 좌우화상좌표로 다시 변환하였는데 사용된 역변환식은 식(6) 및 식(7)와 같다.

좌측화상:

$$x = 106019.41 + 5.49480u + 1.73232v$$
$$y = 252439.34 - 1.03867u + 5.56818v \quad (6)$$

우측화상:

$$x = 136084.24 + 5.75237u + 1.41436v$$
$$y = 256379.27 - 1.07638u + 5.69767v \quad (7)$$

각 화소에 대한 지상좌표를 구하기 위하여 공간교차이론을 적용하였다. 자동매칭기법 및 역변환에 의하여 얻어진 원화상의 좌우화상좌표와 위성의 라인별 위치로 두 개의 직선을 형성할 수 있으며 이 두 직선은 이론적으로 한 점에서 만나야 하지만 실제로는 외부표정요소의 계산오차, 매칭오차 및 기타의 오차로 인하여 한 점에서 만나지 않는다. 따라서 본 연구에서는 두 직선의 최단 거리 벡터를 찾아 그 중점을 교차점으로 간주하여 3차원 지상좌표를 계산 추출하였다.

두 화상의 관측시기나 계절이 크게 다른 경우에는 매칭 결과가 나쁘게 되고 이상표고(異常標高)가 얻어질 수 있다. 본 연구에서는 대응점 탐색시의 상관계수의 최대값이 0.5 이하인 경우는 탐색이 성공적으로 이루어진 것이 아니라고 판단하였고, 0.5보다 크더라도 탐색이 잘못된 경우도 있을 수 있다고 판단하였다. 따라서 이상표고점에는 2종류가 있을 수 있으며, 한 가지는 대응점 탐색시의 상관계수의 최대값이 0.5이하인 점이고 다른 한 가지는 상관계수의 최대값이 0.5를 초과하지만 대응점의 오탐색으로 인하여 잘못된 표고가 산출된 경우이다. 이 것을 제거하기 위하여 산출된 표고 데이터에 다음의 후처리를 행하였다.

각 점의 표고가 주변 8점중 상관계수 최대값이 0.5 이하인 점을 제외한 점들의 평균표고와의 차가 어떤 값(본 연구에서는 한 개 화소의 지상크기 간격에 따른 최대표고차와 위성 데이터의 표고추출 정밀도 등을 고려하여 30 m로 설정) 이상인 경우에는 이상표고점으로 간주하였다. 이상표고점인 경우에는 주변 8점중 상관계수 최대값이 0.5 이하인 점을 제외한 주변 점들의 평균값으로 치환하였다.

### 4.3 수치표고모델의 작성

이와 같이 얻어진 3차원 지상좌표는 우측화상의 각 화소 중심에 대한 지상좌표이다. 그러나 이 우측화상은 위성의 외부표정요소와 지표의 기복 등에 따른 수평변위가 포함되어 있는 중심투영화상의 일종이다. 따라서 추출된 이들 화소의 3차원 지상좌표를 이용하여 변위가 보정된 일정한 간격마다의 정사투영화상과 수치표고모델을 만들 필요가 있다.

본 연구에서는 간격이 일정하지 않은 3차원 지상좌표와 화상데이터값으로부터 거리의 역에 따른 가중평균법(inverse-weighted distance average method)을 사용한 내삽(interpolation)기법을 통하여 정사투영화상과 수치표고모델을 작성하였다. X 및 Y좌표 5 m 마다의 격자점 주변의 데이터에 대하여 거리를 계산하여 sorting한 후 격자점과의 거리가 가장 가까운 6점을 선정하고 다음 식에 의하여 격자점 마다의 화상데이터값과 표고를 다시 계산하였다. 이와 같은 방법으로 최종적으로 작성된 정사투영화상과 수치표고모델의 크기는 540×380 화소크기였다. 그림 10은 생성된 수치표고모델을 3차원 투시도이다.

$$H_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \quad (8)$$

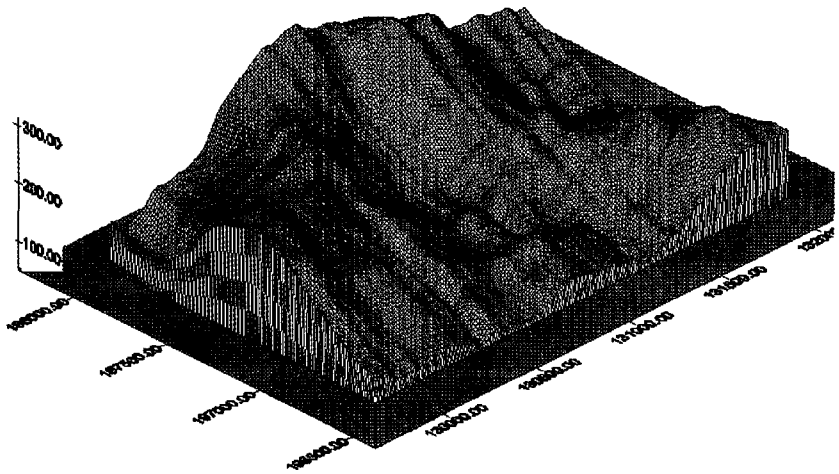


**그림 10. The graphic visualization from the digital elevation model**

여기서, $H_i$ : 격자점의 정사투영화상 데이터값 또는 표고

$W_i$(weight) = $1/d_i$

($d_i$는 격자점으로부터 주변점까지의거리)

n = 6(사용점수)

## 5. 평 가

작성된 수치표고모델의 정확도를 평가하기 위하여, 연구대상영역내의 16점의 평가점을 선정하였다. 평가점은 산의 정상, 학교 운동장, 도로 교차점 등의 화상에서 그 위치를 정확히 식별할 수 있는 점들을 대상으로 선정하였고, 표고는 45 m에서 215 m의 범위다.

평가점들의 화상으로부터 얻은 지상좌표를 지도좌표와 비교해 보았는데, 화상결과의 평면좌표(X, Y)는 정사투영화상으로부터, 표고(Z)는 수치표고모델로부터 얻었다. 그리고 이에 대응하는 지도의 평면좌표(X, Y)는 축척 1:5,000의 지형도상에서 디지타이저로 측정하였고, 표고(Z)는 등고선으로부터 읽었다. 평가점들에 대한 정사투영화상의 X, Y오차와 수치표고모델의 표고오차는 표 3에서 보는 바와 같다.

위의 결과를 살펴보면 X, Y 방향의 오차는 10m 정도 오차가 나타나며, Z 방향의 오차는 20 m 정도로 나타나며, 외부표정요소를 결정하기 위해 수행한 번들조정의 경우보다도 더 크게 발생하고 있다. 이것은 본 화상의 취득시기가 3개월 정도의 시간상의 차이가 있다. 그리고 왼쪽화상에서는 일부 지역에서 눈으로 판단되는 지역이 나타나 두 화상을 전체적으로 매칭시에 매칭점들의 명확성의 감소가 크게 작용하고 있으며, 또한 산림지역에 있어서는 태양고도각 및 태양방위각이 두 화상에서 상당한 차이가 나타나므로 인해 그림자 지역의 오차 및 수목의 영향 등에 의해서 전체적으로 오차가 비교적 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

**표 3. The RMSEs of the evaluation points in the direction of X, Y of the orthoimage and Z of the digital elevation model(unit : m)**

| No. | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| 1 | -12.51 | -16.51 | -19.29 |
| 2 | 1.45 | -15.52 | -15.60 |
| 3 | 3.75 | -3.27 | -3.52 |
| 4 | -3.32 | -2.55 | 2.75 |
| 5 | 1.83 | 17.16 | 18.47 |
| 6 | -2.15 | 0.47 | 1.16 |
| 7 | -10.96 | 6.05 | 30.05 |
| 8 | -9.08 | -4.23 | -20.63 |
| 10 | -9.81 | 11.13 | -24.04 |
| 11 | -8.74 | 18.58 | 19.08 |
| 12 | -7.49 | 1.58 | 14.02 |
| 13 | 8.47 | 11.07 | 17.94 |
| 15 | 2.52 | -0.04 | 1.59 |
| 16 | 6.54 | -3.19 | 10.69 |
| RMSE | ±7.29 | ±10.30 | ±16.66 |

## 6. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 고해상도의 IRS-1C PAN 화상데이터를 이용하여 수치표고모델을 생성하는 기법을 제시할 수 있었다.

2) IRS-1C 위성의 외부표정요소 최적다항식으로는 위성의 자세와 위치에 있어서 모두 1차다항식이 적절함을 알 수 있었다.

3) 표고오차 ±16.66 m RMSE의 수치표고모델을 생성할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지방대육성과제지원금(과제번호:1997-002-E00475)에 의한 연구결과임을 밝히며 본 연구의 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 안기원, "인공위성 화상데이터를 이용한 지형표고의 추출", 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 1988, 35-40.
2. 안철호, 안기원, 박병욱, "SPOT 위성데이타를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제2호, 1991, 93-102.
3. 안철호 외 9인, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영 영상 생성법에 관한 연구", 국방과학연구소, 1991, 228p.
4. Deren, L. and C. Jiayu, "Bundle Adjustment of SPOT Imagery", IAPRS, Vol. 27, Part B3, 1988, 449-455.
5. Doyle, F. J., "Digital Terrian Models : An Overview", PE&RS, Vol. 44, No. 12, 1978, 1481-1485.
6. Ehlers, M. and Welch, R., "Stereocorrelation of Landsat TM Images", PE&RS, Vol. 53, No. 9, 1987, 1231-1237.
7. EOSAT, "IRS-1C Products Available", EOSAT Notes, Vol. 11, No. 1, 4-7.
8. Malleswara Rao, T. Ch., Venugopala Rao, K., Rani Kumer, A., Rao, D. P. and Deekshatula, B. L., "Digital Terrain Model(DTM) from Indian Remote Sensing(IRS) Satellite Data from the Overlap Area of two Adjacent Paths Using Digital Photogrammetric Techniques", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 62, No. 6, 1996, 727-731.