

## 다시기 위성자료에 의한 조간대 수치지형모델의 작성

안충현 · 梶原康司 · 達石降太郎 · 劉洪龍\*

日本 千葉大學 映像隔測研究센터

\* 韓國海洋研究所 海洋地質研究部

(1992년 11월 10일 받음 ; 1992년 11월 20일 수리)

## The Generation of a Digital Elevation Model in Tidal Flat Using Multitemporal Satellite Data

Ahn Chung Hyun, Koji Kajiwara, Ryutaro Tateishi, Yoo, Hong-Rhyong\*

Remote Sensing and Image Research Center, Chiba Univ.,

1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba City, 263, Japan

\* Marine Geology and Geophysics Div. KORDI

Ansan, P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

(Received November 10, 1992 ; Accepted November 20, 1992)

### Abstract

A low cost personal computer and image processing S/W were employed to derive Digital Elevation Model(DEM) of tidal flat from multitemporal LANDSAT TM images, and to create three-dimensional(3D) perspective views of the tidal flat on Komsu bay in west coasts of Korea. The method for generation of Digital Elevation Model(DEM) in tidal flat was considered by overlapping techniques of multitemporal LANDSAT TM images and interpolations. The boundary maps of tidal flat extracted from multitemporal images with different water height were digitally combined in x, y, z space with tide information and used as an input contour data to obtain an elevation model by interpolation using spline function. Elevation errors of less than  $\pm 0.1\text{m}$  were achieved using overlapping techniques and a spline interpolation approach, respectively.

The derived DEM allows for the generation of a perspective grid and drape on the satellite image values to create a realistic terrain visualization model so that the tidal flat may be viewed from any desired direction.

As the result of this study, we obtained elevation model of tidal flats which contribute to characterize of topography and monitoring of morphological evolution of tidal flats. Moreover, the model generated here can be used for simulation of innudation according to tide and support other studies as a supplementary data set.

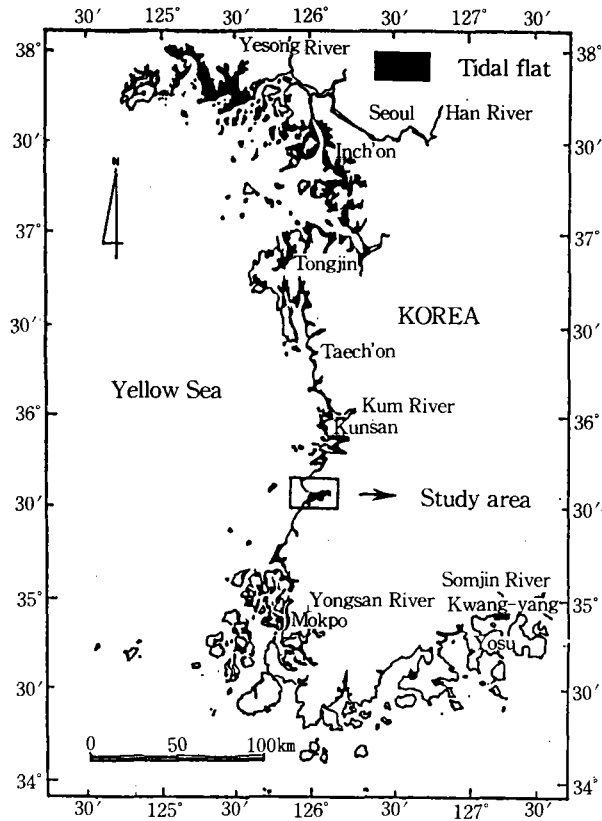


Fig. 1. Tidal flats on the western coasts of Korea and study area.

Table 1. Used LANDSAT TM images (path/row 116/35) and the water heights in Wido at each acquisition time

Date acquired	Local time (AM)	Water height (in m)
15 Jun. 85	10:42	3.97
15 Apr. 86	10:37	2.36
11 Dec. 86	10:30	4.32
13 Feb. 87	10:32	1.39
18 Apr. 87	10:34	1.90
20 May 87	10:35	4.66
27 Oct. 87	10:39	0.85
27 Sep. 88	10:42	0.31
10 Aug. 88	10:42	3.12

다중영상처리의 기본적 개념

조간대지역은 육상의 여타 지역과는 달리 조석에 따른 수면변화로 인해 그 노출범위가 달라지므로 위성자료에 나타난 조간대의 해안선은 자료획득 당시의 조위에 따른 등고선으로 간주할 수 있다. 따라서 자료획득 시간간의 지형의 변화를 무시할 수 있고 연구지역에서 수면이 거의 균일하다고 가정한다면 조위가 서로 다른 시기에 얻어진 여러 위성자료에 나타나는 조간대지역의 분포차이를 이용, 이를 서로 중첩시킴으로서 조간대의 등고선도를 작성할 수 있게 된다(Fig. 2). 이 과정에서 자료획득 시간간에 일어나는 지형의 변화에 의한 영향을 최소화하기 위해 가능한 한 단기간 내에 얻어진, 조위가 다른 자료를 이용할 필요가 있다.

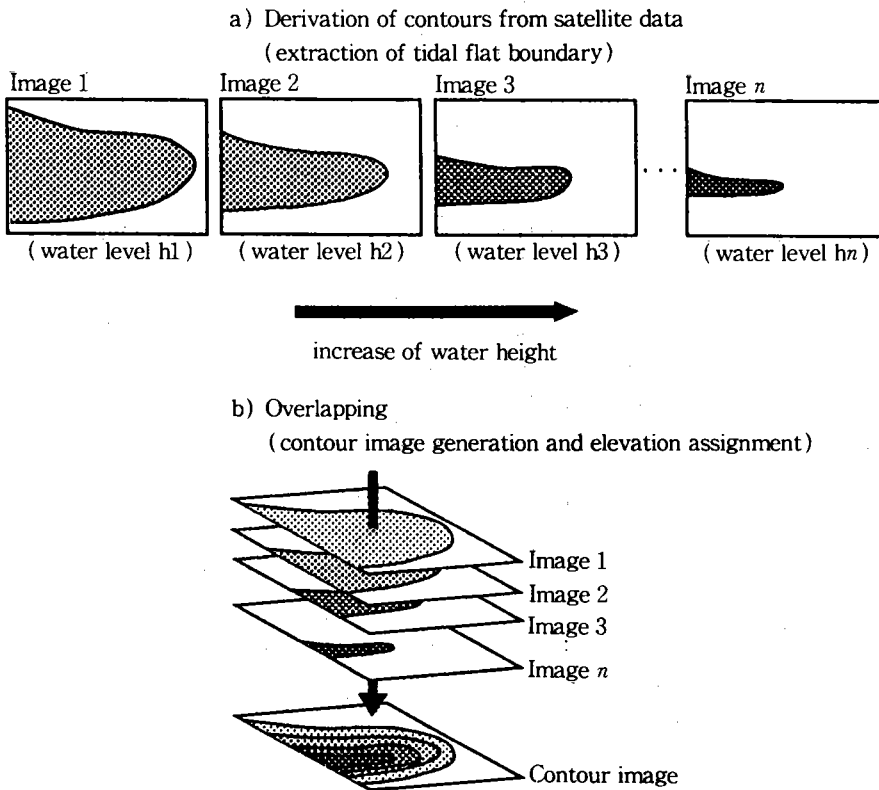


Fig. 2. Graphic outline for the methodology of overlapping techniques.

## 다중영상처리

조위가 다른 여러 위성자료의 다중영상처리를 위해서는 일련의 위성자료에 대한 처리가 요구된다. Fig. 3은 본 연구에서 개발, 사용한 처리과정을 나타낸 흐름도이다.

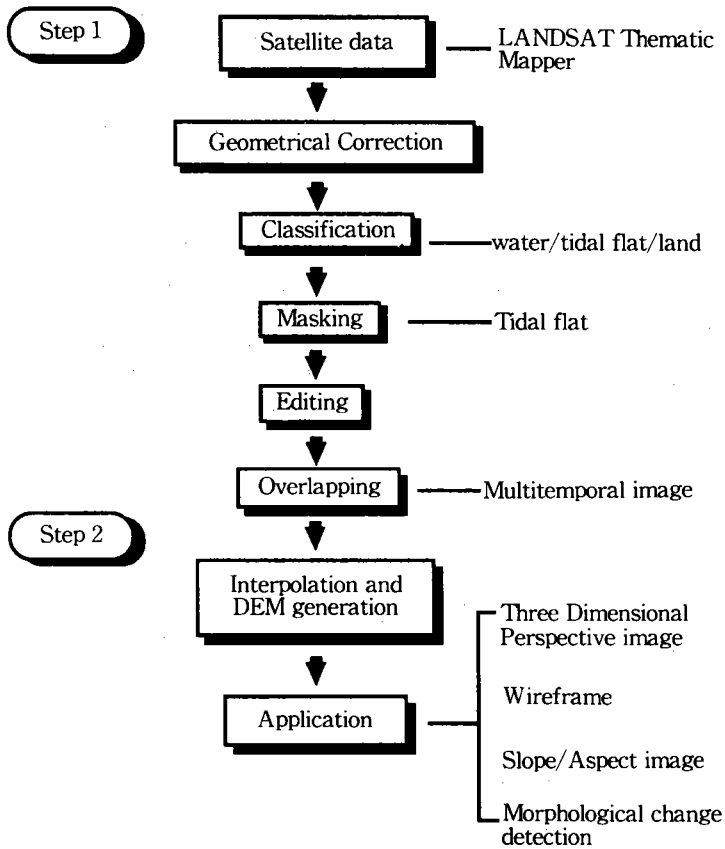


Fig. 3. Flow chart depicting the procedure followed in this study.

### Step 1 자료처리 및 영상중첩처리

위성자료는 위성의 고도, 주행속도 및 측정각 등의 여러 요인에 의하여 왜곡되어 있으므로 지형도 또는 서로 다른 영상과의 비교분석을 위하여 기하학적 보정을 한다. 기하학적 보정은 일반적으로 사용되는 GCP보정법을 사용하며 nearest neighbor방법에 의하여 자료를 재배열한다. 또한 조간대의 중첩처리를 위해서는 parallelepiped classification법에 따라 조간대를 추출하였다. Fig. 4는 시험지역인 곰소만에 대해 1988년 9월 27일에 획득된 LANDSAT TM영상으로 band 4에 적색을, 5에 녹색을, 3에 청색을 부여하여 작성한 위색칼라합성영상(false color composite)이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 일부 조간대지역의 경계가 잘 나타나지 않으므로 각 band의 분광특성을 이용하여 해수/조간대/육지의 3개 군집으로 분리, 조간대지역을 추출한 후 경계가 확실하게 나타나지 않은 지역에 대하여 편집, 수정과정을 통하여 최종적인 조간대의 mask 화상을 작성한다(Fig. 5).

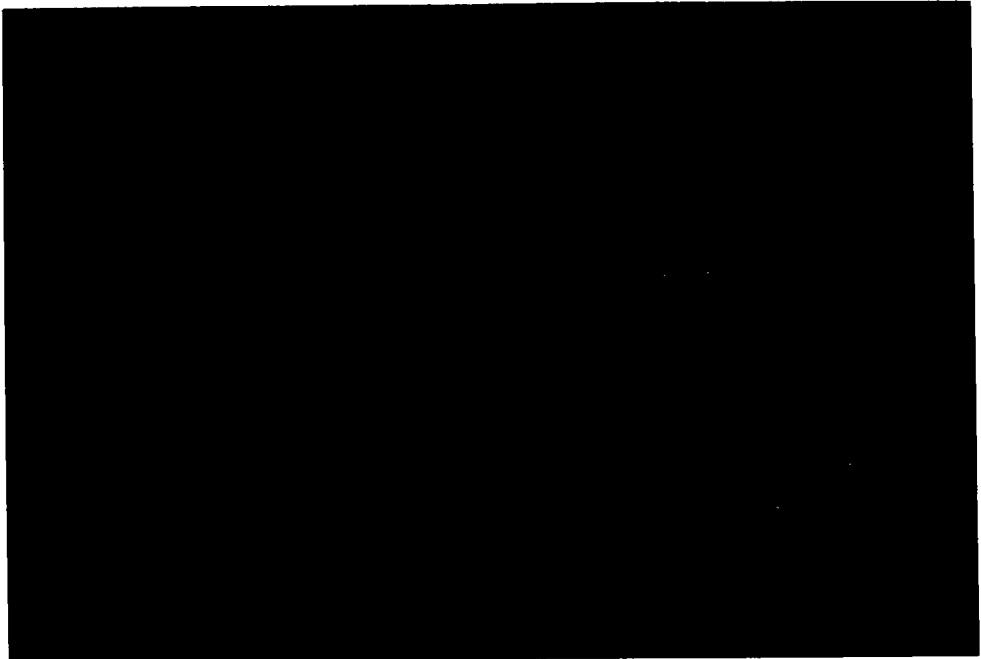


Fig. 4. False color composites of the TM subscene of Komsu bay (TM 3 in blue, TM 5 in green, TM 4 in red) with histogram equalization stretch.

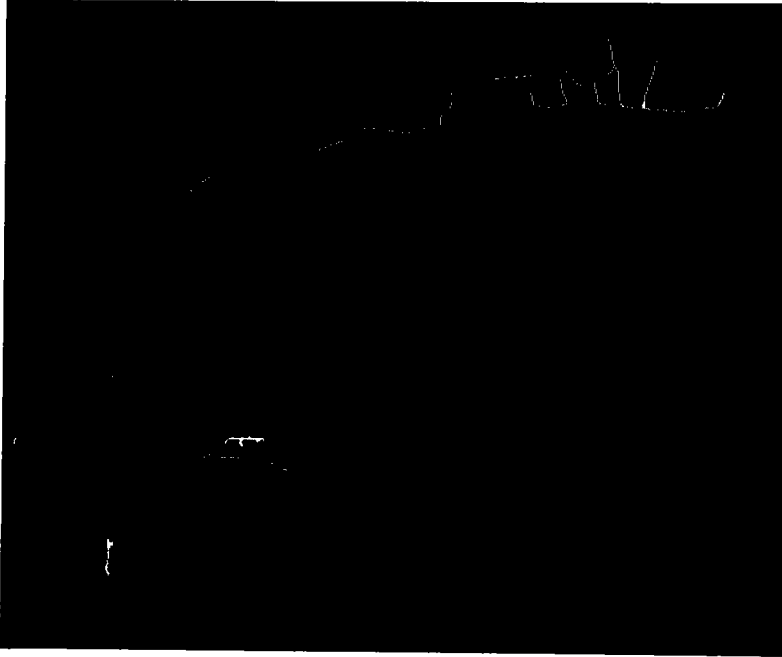


Fig. 5. Mask image results from classification and editing procedure.

이와 같은 편집과정을 통하여 작성된 각각의 조위에 따른 조간대의 mask 화상은 기준이 되는 화상의 좌표에 맞추어 조위의 순으로 컴퓨터의 메모리상에서 중첩시켜 각각의 조위를 갖는 등고선도를 작성한다. 작성된 등고선도는 후에 설명할 격자점으로서의 보간을 통하여 최종적인 조간대 DEM작성을 위한 기본 입력자료로서 사용된다. Fig. 6은 위와 같은 과정을 통하여 최종적으로 작성된 조위에 따른 조간대의 등고선도이다.

### Step 2 보간법에 의한 수치지형모델의 작성

위에서 설명한 바와 같이 작성된 조간대 등고선도로부터 격자형태의 DEM을 작성하기 위해서는 등고선으로부터 격자점으로서의 보간이 필수적이다. 격자형태의 자료를 위한 등고선을 이용한 보간법에 대하여는 많은 연구가 있으나, 본 연구에서는 Yoeli(1986)가 제안한 방법을 이용하여 독자적인 spline곡선을 이용한 보간프로그램을 작성하였다. Fig. 7은 본 연구에서 개발한 등고선으로부터의 격자형태의 DEM작성을 위한 보간법의 원리를 간단히 도시한 것이



Fig. 6 Extracted color coded contour image by overlapping procedure of nine mask images which show different water height.

다. Fig. 7에서 보이는 바와 같이 대상이 되는 등고선도(Fig. 7a)를 4개의 축 방향(Fig. 7b; A-A', B-B', C-C', D-D')에 따라 등고선점을 추출, 그  $x$ ,  $y$ 좌표와 조위를  $z$ 로 하여 run-length coding화 한 새로운 화일을 작성한다(Fig. 7c). 각 방향에서 추출된 등고선점을 직선으로 연결하면 Fig. 7d와 같은 단면을 얻을 수 있다. 이와 같이 등고선점을 직선으로 연결하여 보간을 하는 방법(Oswald and Raetzsch, 1984)도 생각할 수 있으나 실질적인 지형이 두 등고선점 사이에서 직선상에 놓인다고 할 수 없다(Clarke, 1982). 따라서 두 등고선점이 완전한 곡선으로 연결이 되도록 하기 위해 각각의 방향에 따라 새로이 작성된 화일에서 등고선점을 연결하는 spline곡선을 구하였다(Fig. 7e). 구해진 spline곡선을 이용하여 곡선 내부의 격자점에 대한 표고  $H$ 와 표고에 대한 가중치  $P$ 를 등고선점과 격자점과의 거리를 이용하여 계산한다(Yoeli, 1986).

Fig. 8은 이를 자세하게 도시한 것이다. 예를 들어 A-A' 방향에 대하여 설명하면 격자점 R의 표고  $H$ 를 계산할 경우 A-A' 방향에서 spline곡선을 이용하여 표고  $H_1$ 를 계산한다. 동시에  $H_1$ 에 대한 가중치  $p_1$ 은 등고선  $h_3$ 과 직선 A-A'와의 교점  $q$ 간의 거리  $Wa_1$ , 등고선  $h_4$ 과

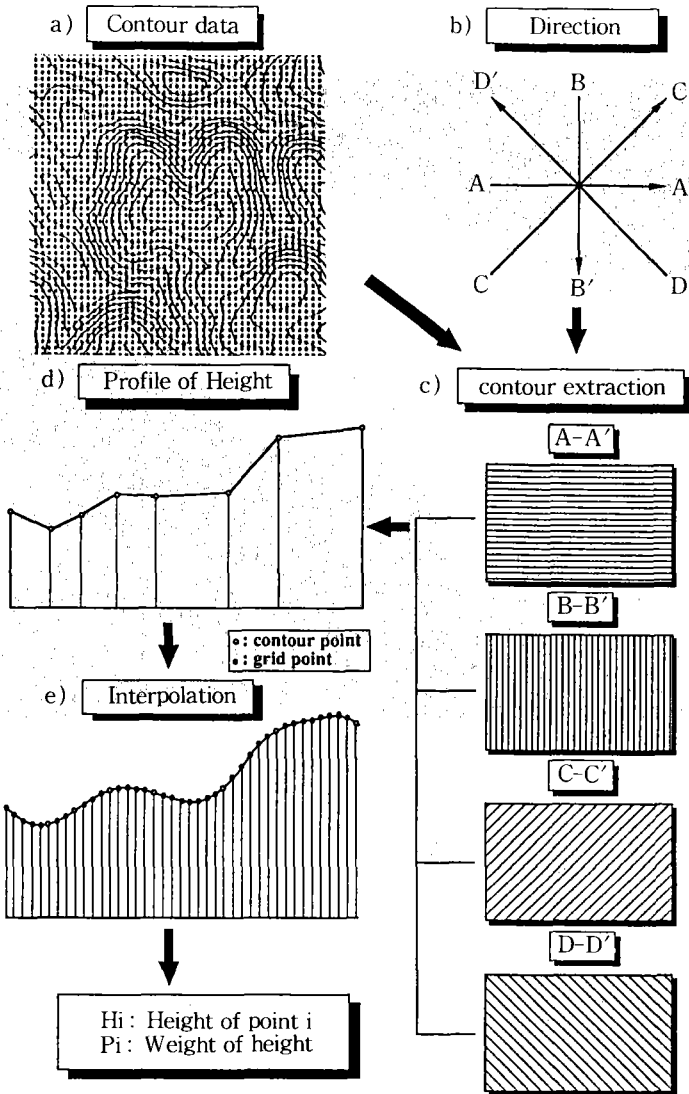


Fig. 7. Graphic overview of surface interpolation procedure from contour data

직선 A-A'와의 교점 o간의 거리  $Wa_2$ 를 거리에 반비례하는 함수로 하여 계산한다. 이와 같은 과정을 각각의 방향에 따라 적용함으로써 각 격자점은 Table 2와 같은 4개의 표고치와 가중치를 갖게 된다. 따라서 각 격자점에서의 최종적인 표고는 식 1)에 따른 가중치평균법 (Yoeli, 1986)을 이용하여 계산된다.



$$\text{Height} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i P_i}{\sum_{i=1}^4 P_i} \dots\dots\dots 1)$$

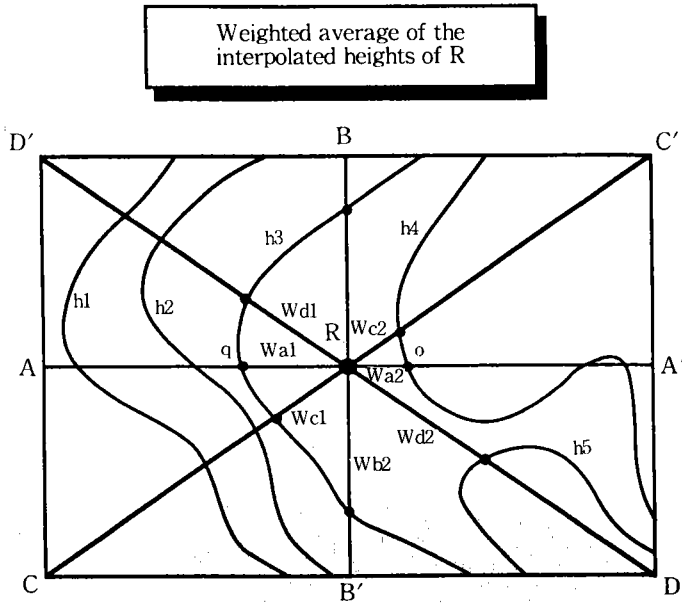


Fig. 8. The weighted average of the interpolated height of a DEM point.

Table 2. Height and weight values for each point of the DEM according to each directions.

Direction	Height	Weight of Height
A-A'	H1	$P1 = 1/Wa1 + 1/Wa2$
B-B'	H2	$P2 = 1/Wb1 + 1/Wb2$
C-C'	H3	$P3 = 1/Wc1 + 1/Wc2$
D-D'	H4	$P4 = 1/Wd1 + 1/Wd2$

\* W is distance between grid point P and contour point.

작성된 수치지형모델의 오차추정

Fig. 9는 위와 같은 보간법에 의하여 작성된 DEM으로부터 입력에 사용된 등고선과 동일한 표고(조위)를 추출한 것이다. Spline곡선과 가중치평균법에 의하여 작성된 DEM의 오차계산을 위하여는 실제 현지에서 관측된 자료를 이용하는 것이 이상적이나 현 단계로서는 현장자료가 미비하기 때문에 오차계산을 위해서 동일 좌표에서의 입력에 사용된 표고치와 보간에 의하여 작성된 DEM으로부터의 표고치를 추출하여 두 표고치의 절대값 E(i, j)과 평균값을 식 2), 3)(Fukue *et al.* 1990)에 따라 계산하였다(Table 3).

$$E(i, j) = |Z_0(i, j) - Z_1(i, j)| \dots\dots\dots 2)$$

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m E(i, j) \dots\dots\dots 3)$$



Fig. 9. Extracted color coded contour image by interpolation procedure.

Table 3. Mean of estimated interpolation error corresponding each water height

Height( in m)	Mean error( in m)
0.31	0.01
0.84	0.11
1.39	0.20
1.90	0.16
2.36	0.17
3.12	0.28
3.97	0.30
4.32	0.23
4.66	0.20

여기서  $Z_0$ 는 입력된 표고,  $Z_i$ 는 보간법에 의하여 계산된 표고를 나타내며  $N$ 은 오차추정에 사용된 격자점의 수를 나타낸다. 작성된 모델의 전체적이 평균오차는 약  $\pm 0.1\text{m}$  정도로 나타났다. 조위 간격이 큰 3.12~3.97m 사이에서 다른 조위에서보다 보간 오차가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 지형의 경사가 완만하여 등고선이 서로 잘 분리되어 있는 지역에 대하여 같은 조위에 대한 평균 오차는 0.14m 정도로 나타나는 것으로 미루어 볼 때 오차가 크게 나타난 이유로는 지형의 경사가 큰 지역에서 일부 등고선이 겹쳐 있기 때문인 것으로 여겨진다. 실제로 조위가 거의 겹쳐져 있는 지역에서 두 조위에서의 보간 오차가 크게 나타나고 있으며 이 오차가 전체 평균오차를 크게 하고 있다. 이는 등고선이 겹쳐져 있는 지역을 처리함에 따라 전체적인 보간 오차를 낮출 수 있을 것으로 생각된다. 위성자료를 이용하여 조간대 수치지형모델을 작성할 경우 추출된 등고선을 잘 편집할 필요가 있으며, 특히 경사도가 크고 조수위가 잘 발달된 지역에서는 등고선이 겹쳐지는 경우가 많기 때문에 이를 고려할 필요가 있다.

### 수치지형모델을 이용한 조간대의 3차원 입체영상의 작성

작성된 DEM은 지리정보시스템의 기본자료층으로 사용될 수 있으며, 지형의 분석을 위해 경사도, 경사방위도 등의 지형특성을 나타내는 요소들의 계산이 가능해진다. 또한 현장조사로부터 얻어진 퇴적물의 여러 특성들과 지형과의 분석이 가능하다. DEM을 이용하여 얻을 수 있는 가장 시각적인 효과는 위성자료와 결합하여 시선방향 및 고도에 따라 나타나는 조간대의 3차원 입체영상을 작성할 수 있게 되는 점이다. 입체영상을 작성하는 데 있어 가장 큰 문

제점은 방대한 양의 자료처리와 적당한 해상도를 갖는 영상을 작성하기 위한 처리시간, 지형을 잘 나타나게 하기 위해 적당한 시선방향 및 고도 등의 파라미터의 결정이 어려운 점이다 (Welch, 1989). 이러한 문제를 해결하기 위하여 사용자가 거친 간격의 와이어프레임(wire-frame)을 작성하여 파라미터를 조절할 수 있도록 하였다. 최종적으로 파라미터가 결정되면 위성자료와 결합시켜 3차원 입체영상을 작성함으로써 처리시간을 단축하였다.

Fig. 10은 DEM을 기본으로 하여 작성된 와이어프레임으로 투영법과 시선방향을 바꾸어 나타내었으며 Fig. 11은 DEM과 1989년 9월 27일의 TM band 4, 5, 3을 각각 적색, 녹색, 청색으로 하여 작성한 3차원 위색칼라합성영상이다. 동일한 위색칼라합성영상인 Fig. 4와 비교하여 볼 때 조간대의 반사특성이 지형과 잘 관련되어 나타난다. 특히 전반적으로 위성자료에서 반사도가 낮은 만 입구부의 심원면에 연한 조간대에서 주위보다 높은 반사도를 갖는 지역이 등고선을 따라 잘 발달하고 있음을 알 수 있다.

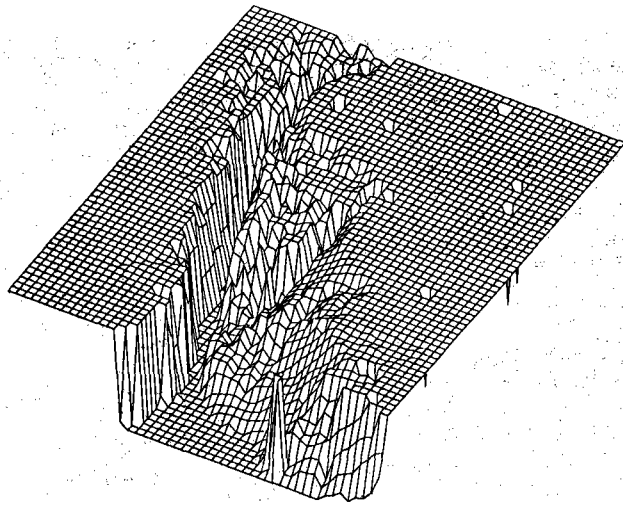
## 결 론

위성자료의 중첩처리와 spline곡선에 의한 보간 및 가중치평균법에 의해 조간대의 수치지형모델을 작성하였다. 비록 그 정확도가 위성자료의 해상도 및 사용된 자료의 수에 의존하기는 하지만 9개의 LANDSAT TM자료를 사용하여 구한 결과 평균오차가  $\pm 0.1m$  정도인 수치지형모델을 작성할 수 있었다. 오차는 비교적 조위 간격이 크며 서로 겹쳐져 있는 지역에서 다른 조위에서보다 크게 나타났다. 차후 서로 겹쳐져 있는 지역에 대한 등고선의 편집 및 두 조위간격을 좁힐 수 있는 자료를 이용한다면 정확도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

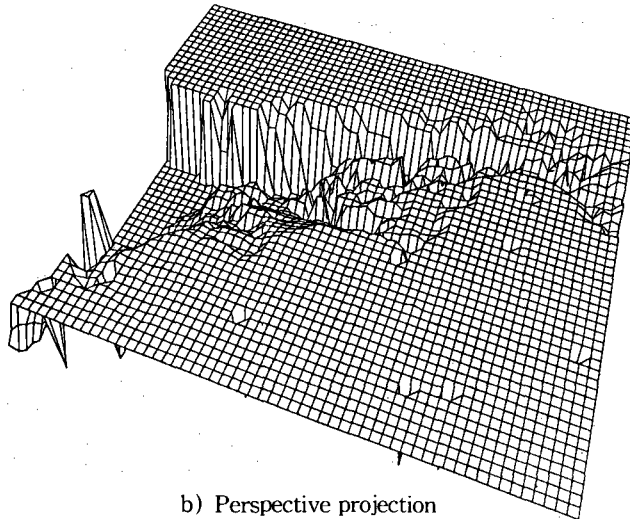
작성된 수치지형모델은 현장조사 결과자료와 함께 조산대 지형에 따른 제반요소들을 분석할 수 있으며 이전까지 불가능하였던 3차원 입체영상을 작성할 수 있게 됨에 따라 LANDSAT, SPOT위성자료뿐만 아니라 ERS-1, JERS-1 등에 탑재되어 있는 Radar자료의 이용으로 조간대 지형에 대한 입체적인 분석이 가능하며 퇴적물의 물성 분포 등의 현장자료를 사용한 지형-위성자료-현장자료의 종합적인 분석처리가 가능해진다. 또한 임의의 조위에 대한 조간대 분포도를 작성할 수 있게 됨에 따라 조간대지형의 변천에 대한 분석도 가능하다.

## 요 약

개인용 컴퓨터와 영상처리 S/W를 이용하여 다시기에 걸쳐 획득된 LANDSAT TM영상으로부터 조간대의 수치지형모델의 작성과 서해안의 곰소만 조간대의 3차원 입체영상을 작성



a) Parallel projection

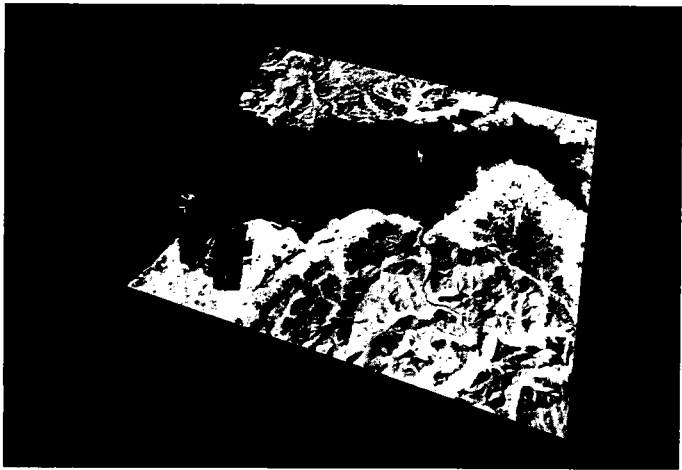


b) Perspective projection

**Fig. 10.** The perspective wireframe display of the extracted Komso bay DEM. a) Parallel projection from SW direction. b) Perspective projection from SE direction.



a) Parallel projection



b) Perspective projection

**Fig. 11.** False color composite(TM 3 in blue, TM 5 in green, TM 4 in red) of LANDSAT TM on 27 Sep. 1988 draped on wireframe perspective in Fig. 10. a) Parallel projection from SW direction. b) Perspective projection from SE direction.

하였다. 조간대 수치지형모델을 작성하기 위해서 영상의 중첩처리와 보간법을 이용한 조간대 수치지형모델의 작성방법이 연구되었다. 서로 다른 조위를 갖는 다시기 영상으로부터 추출된 조간대의 경계영상을 자료획득 당시의 조위를 표고로 하여  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 의 3차공간좌표를 구성한 후 spline곡선을 이용한 보간법을 이용하여 수치지형모델을 작성하기 위한 입력 등고선자료로써 사용하였다. 본 연구에서 작성된 수치지형모델의 오차는 약  $\pm 0.1\text{m}$  정도로 계산되었다. 작성된 조간대의 수치지형모델은 지형의 특성분석, 지형의 변천에 대한 연구에 응용할 수 있으며 조석에 따른 조간대의 침수의 시뮬레이션 또는 기본적인 자료로서 조간대에 대한 제 분야의 연구에 사용될 수 있다.

### 참고문헌

- Clarke, A., Gruen, L., Loon, A. 1982. A Contour-Specific Interpolation Algorithm for DEM Generation. P. 68~81. *In Proc. Symp. on Mathematical Models, Accuracy Aspects and Quality Control*. Helsinki, Finland.
- Fukue, K., Kuroda, Y., Shimode, H., Sakata, T. 1990. Simple DEM Generation Method from a Contour Image. P. 347~355. *In Proc. Symp. on Cartographic and Data Base Applications of Photogrammetry and Remote Sensing*. Commission IV, 28(4). Tsukuba, Japan.
- Yoeli, P. 1986. Computer Executed Production of a Regular Grid of Height Points from Digital Contours. *The American Cartographer* 13(3): 219~229.
- Yoo, H. R. 1986. Three-dimensional study of the tidal flat geomorphology in the Kum river estuary by multirate image analysis. *J. of the Korean Society of Remote Sensing*, 2(2): 95~105.
- Welch, P. 1989. Desktop Mapping with Personal Computers. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55(11): 1651~1662.