

## 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성

류주형 · 조원진 · 원중선 · 이인태\* · 전승수\* · 서애숙\*\* · 김금란\*\*\*  
연세대학교 지구시스템학과, 전남대학교 지구환경과학부\*, 기상연구원\*\*, 기상청\*\*\*

### Intertidal DEM Generation Using Waterline Extracted from Remotely Sensed Data

Joo-Hyung Ryu, Won-Jin Cho, Joong-Sun Won, In-Tae Lee\*,  
Seung-Soo Chun\*, Ae-Sook Suh\*\* and Keum-Lan Kim\*\*\*

Department of Earth System Sciences, Yonsei University

Faculty of Earth Systems & Environmental Sciences, Chonnam National University\*

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute\*\*

Satellite Division, Meteorological Administration\*\*\*

**Abstract :** An intertidal topography is continuously changed due to morphodynamics processes. Detection and measurement of topographic change for a tidal flat is important to make an integrated coastal area management plan as well as to carry out sedimentologic study. The objective of this study is to generate intertidal DEM using leveling data and waterlines extracted from optical and microwave remotely sensed data in a relatively short period. Waterline is defined as the border line between exposed tidal flat and water body. The contour of the terrain height in tidal flat is equivalent to the waterline. One can utilize satellite images to generate intertidal DEM over large areas.

Extraction of the waterline in a SAR image is a difficult task to perform partly because of the presence of speckle and partly because of similarity between the signal returned from the sea surface and that from the exposed tidal flat surface or land. Waterlines in SAR intensity and coherence map can effectively be extracted with MSP-RoA edge detector. From multiple images obtained over a range of tide elevation, it is possible to build up a set of heighted waterline within intertidal zone, and then a gridded DEM can be interpolated.

We have tested the proposed method over the Gomso Bay, and succeeded in generating intertidal DEM with relatively high accuracy.

**Key Words :** DEM, Tidal Flat, Waterline, SAR, Coherence Map

**요약 :** 조간대의 지형은 연안의 동력학적 작용에 의하여 지속적으로 변화하고 있다. 이와 같은 조간대의 지형적인 변화를 정량적으로 관측하는 것은 퇴적학적 연구뿐만 아니라 연안역 통합관리 측면에서도 매우 중요하다. 이 연구의 목적은 측선을 따라 얻어진 측량자료와 비교적 단기간에 걸쳐

얻어진 광학 및 마이크로파 원격탐사 자료로부터 얻어진 수륙경계선을 이용하여 조간대 DEM을 구하는 것이다. 이 연구에서의 수륙경계선(혹은 해안선)은 해수와 노출된 조간대의 경계선으로 정의된다. 즉 수륙경계선은 특정한 상황의 조간대에서의 등고선을 의미하며, 따라서 이와 같은 방법으로 넓은 지역의 DEM을 구할 수 있다.

SAR 자료의 경우는 스펙클의 영향뿐만 아니라 해수와 노출된 조간대에서 반사된 신호와의 강도가 매우 유사한 관계로 수륙경계선을 구하는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 이 연구에서는 SAR 영상과 더불어 상관관계도(coherence map)에 MSP-RoA 경계면 추출기법을 적용하여 수륙경계선을 추출하였다. 여러 개의 영상자료로부터 얻어진 수륙경계선은 내삽과정을 거쳐 최종적인 DEM을 형성하게 된다. 이 연구에서는 곰소만 지역에 이 방법을 적용하여 정밀도가 비교적 높은 DEM을 얻을 수 있었다.

## 1. 서론

조간대는 평균고조선(mean high water level)과 평균저조선(mean low water level) 사이에 위치하고, 흔히 조류로(tidal channel) 혹은 조류세곡(tidal creek)에 의해 절단되는 환경사 지역으로서 조석에 의한 밀물과 썰물의 운동으로 노출과 침수가 주기적으로 반복되는 지역이다(장진호, 1995). 따라서 에너지와 물질의 순환과정이 끊임없이 반복되기 때문에 표층의 지형변화가 매우 심한 곳이다.

조간대 지형의 발달과 변화에 대한 연구는 물순환 모델, 양식장 관리, 전자해도의 갱신, 연안개발 계획수립, 항로의 효율적 관리 그리고 퇴적환경학적인 분야 등에서 활용될 수 있다. 지금까지는 조간대 지형을 파악하기 위해 수준측량이나 배를 이용한 음파 탐사 등이 이용되어 왔다. 그러나 이러한 현장조사는 넓은 지역, 제한된 시간과 운송수단 이용 등의 어려움으로 인하여 많은 시간과 노동력이 필요하다는 단점뿐만 아니라, 동시적으로 관찰할 수 없는 또 하나의 약점을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 단기간에 조석상태가 다른 가능한 한 많은 원격탐사 자료를 이용하여 추출된 바다-조간대의 경계선(waterline)에 현장에서 측정된 최소의 수준측량 자료를 적용하여 내삽(interpolation)함으로써 조간대 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하고자 한다.

광학자료를 이용한 해안선 추출은 간단한 영상처리에 의해 수행될 수 있으나, 대기조건과 관측

시간에 제약을 받으므로 자료확보에 어려움이 많다. 따라서 본 연구에서는 광학자료는 물론, 광학자료의 단점을 보완할 수 있는 SAR(Synthetic Aperture Radar) 자료를 이용하여 해안선을 추출하는 방법을 함께 수행하고자 한다.

Chen과 Rau(1998)는 광학자료를 이용하여 대만 서해안의 사주의 DEM을 생성하고, 얻어진 DEM으로부터 과거의 조석 상태와 같은 해안선을 유추함으로써 퇴적/침식 작용에 의한 해안선의 변화를 감지한 바 있다. 또한 안충현 등(1989)은 우리나라 금강 하구에 대한 지형을 파악하기 위해 Landsat TM과 MSS 자료를 이용한 바 있다. 그리고 독일 Bight에 쌓이는 퇴적물을 제거하는 비용을 줄이고 퇴적현상을 이해하기 위해 독일 우주항공국 Hoja 등(2000)은 ERS-2 SAR intensity 영상을 이용하여 사주의 DEM을 생성한 바 있다. 그러나 SAR 자료는 고유의 특성인 스펙클 잡음과 표면 기복에 민감한 점으로 인하여 파랑이 높은 바다로부터의 신호와 육지로부터 돌아오는 레이더 신호의 구별이 어렵다. Ganugapati과 Moloney(1995)는 SAR 신호의 이와 같은 특성을 고려하여 SAR 자료에 알맞은 MSP-RoA(Maximum Strength Edge Pruning Ratio of Averages)방법을 제안하였다. 본 연구에서는 이 방법의 예지의 방향을 4방향에서 12방향으로 세분화함으로써 예지 추출 결과를 향상시켜 적용코자 한다. 앞에서 연구된 사주 지역들은 대부분 성분이 모래로 이루어져 있어 비교적 해안선이 뚜렷한데 비해 본 연구지역인 곰소만 조

간대는 다양한 표층퇴적물의 성분으로 이루어져 있어, 간조시에도 부분적으로 표층에 해수가 잔류하여 해안선이 뚜렷하지 않다. 그러므로 영상의 강조 차이가 불분명한 ERS 위성영상의 경우에는 SAR interferogram의 정확도를 정량적으로 평가하기 위한 coherence map을 구하고(홍상훈 외, 1999), 이를 SAR intensity 자료 대신에 MSP-RoA 방법에 적용함으로써 효과적으로 해안선을 추출하고자 한다.

이와 같이 각 위성에서 추출된 해안선은 같은 고도 값을 갖는 것으로 가정할 수 있다. 즉, 관측된 시간에 해수와 노출된 조간대와의 경계선을 일정고도를 표현한다고 가정할 수 있다. 따라서 다른 시기에 얻어진 다양한 위성자료로부터 추출된 해안선은 자료획득 시간간의 지형 변화가 매우 작다면 조간대의 조위별 등고선을 나타낸다. 그러므로 다양한 조석시기에 얻어진 해안선에 수준측량에 의한 고도 값을 주어 내삽함으로써 조간대의 DEM을 생성할 수 있다.

## 2. 연구지역 및 자료

### 1) 연구지역 및 현장조사

한국 서해안은 대조차 환경으로서 외해와 직접 연결되는 넓은 조간대가 형성되어 있다. 서해안의 중남부에 위치한 곰소만은 서쪽으로 열린 반폐쇄적 만(폭: 7~9 km, 길이: 약 20 km)으로서 만의 북쪽 40 km 지점의 해안으로 금강이 유입하며, 만의 남측 해안 중앙부로는 소규모 준용하천인 주진천이 유입한다(Fig. 1).

곰소만의 조석은 일조부등이 거의 없는 일일 2회 조로서 평균조차는 4338 cm이고, 최대조차는 7174 cm에 달한다. 조류의 유속은 곰소만 내의 주조류로에서 창조류가 115 cm/sec, 낙조류 150 cm/sec로서 낙조류가 우세한 편이다(국립지리원, 1981).

곰소만 조간대의 지형은 약 0.01° - 0.1° 범위의 기울기를 가지고 바다 방향으로 4~5 km 범위까지 연장된다. 중부조간대(middle flat)와 하부조간대(lower flat)에는 다수의 조간대사주(intertidal sand shoal)가 발달하고, 주진천을 경계로 하여 만

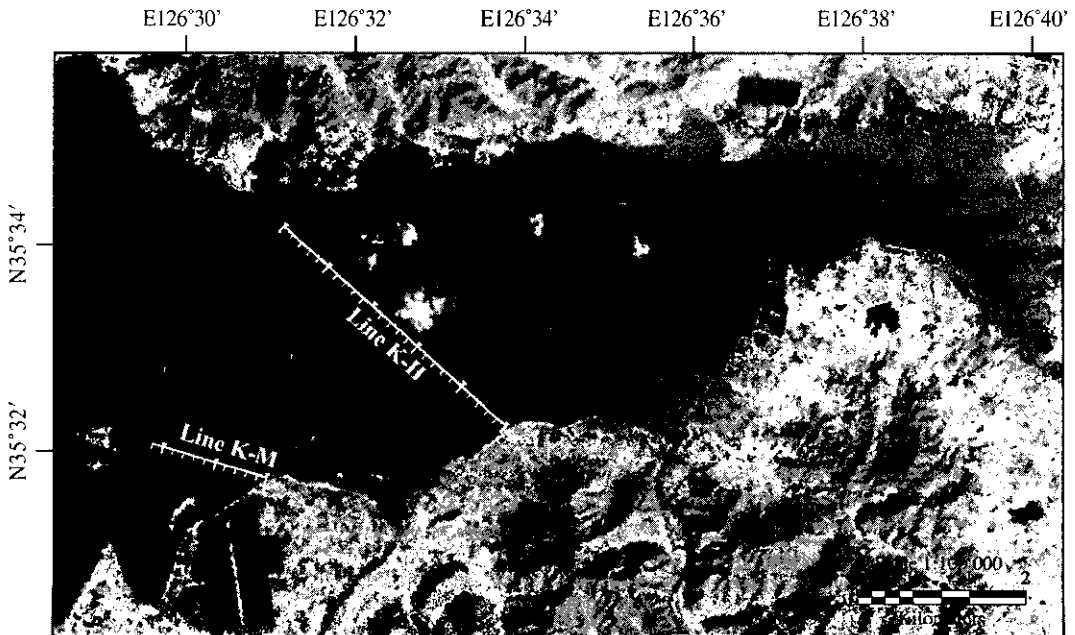


Fig. 1. Landsat TM band 4 image over the study area. , in-situ Leveling has conducted along Line K-H and K-M at regular intervals(100m).

안쪽 부분은 조류세곡이 발달하고 만 바깥쪽은 조류세곡의 발달이 미약하다. 또한 곰소만 조간대의 퇴적상은 조립사(coarse sand)에서 세립니(silt and clay)까지 다양한 입도의 퇴적상들이 분포되어 있다(장진호, 1995).

곰소만에서의 현장조사는 전남대학교 지구환경과학부 퇴적학연구실에서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 조간대를 대표할 수 있는 두 측선을 설정하여 출발 기준점에 표석을 설치하였다. 측선 K-H는 하전리에서 출발하여 모항 방향으로 100 m 간격으로 50개의 말뚝을 설치한 다음, 말뚝이 설치된 각 지점들에 대해 수준측량을 실시하였고, 측선 K-M은 만돌리에서 대죽을 향하여 21점의 2.1 km에 대하여 2000년 3월 측정하였다. 측선 K-H 기준점의 고도는 국립지리원의 삼각점으로부터 수준측량에 의해 유도되었고, 말뚝이 설치된 측점들의 고도는 출발 기준점의 고도로부터 수준의와 표척에 의해 유도되었다. Fig. 2는 측선 K-H에 대하여 1999년 12월에 실시된 수준측량 자료로서 조간대의 평균 기울기는 약 0.12°이다. 또한 약 3.5

km에서 4.8 km 사이에 약 1~2 m 높이의 사주가 발달하고 있다.

## 2) 위성자료

조간대 DEM 생성을 위해서는 조간대에서의 지형의 변화가 최소가 되도록 짧은 기간에 다양한 조석 시간별로 많은 위성자료를 획득하는 것이 중요하다. 그러므로 가능한 모든 광학위성자료와 또한 대기의 영향이나 관측시간에 영향을 받지 않는 SAR 자료를 이용하고자 한다. 본 연구에서 사용된 위성자료의 획득된 날짜와 획득시의 해안선의 고도 값은 Table 1에 정리되어 있고, Fig. 3은 사용된 영상이다. 해안선 추출을 위하여 ERS-1/2 Tandem 자료는 coherence map을 이용하고 RADARSAT fine beam 자료는 intensity 자료를 이용하였으며 IRS-1C 자료 외의 다른 광학자료는 물과 육지의 구분이 가장 뚜렷한 근적외선 영역의 파장대를 이용하였다. 다만 IRS-1C의 panchromatic 자료 경우는 가시광선 영역의 자료를 이용하였다.

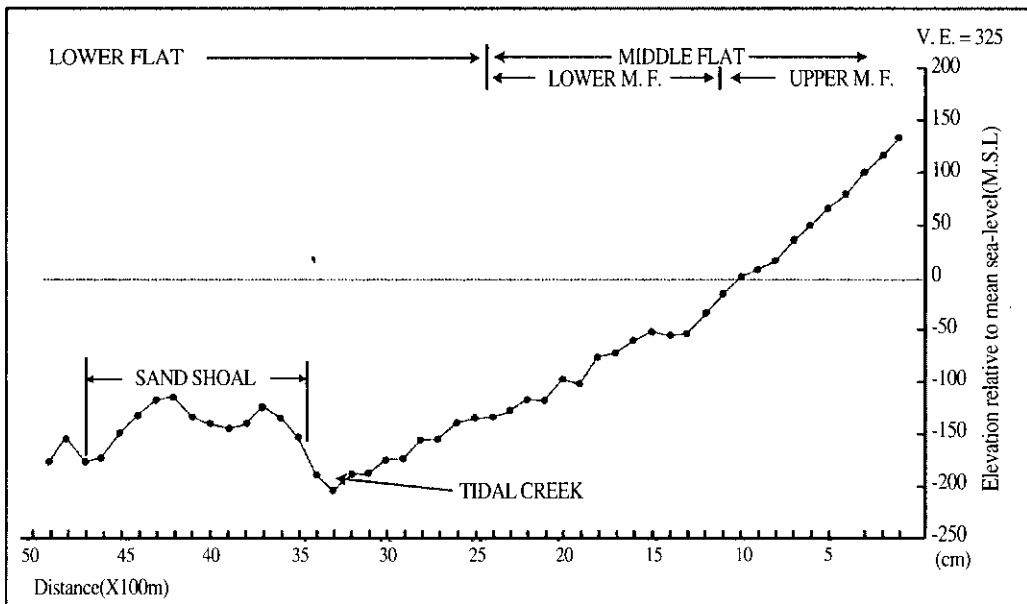


Fig. 2. Elevation of the K-H line measured on December 1999.

Table 1. Summary of data sets.

Satellite/Sensor	Acquired Date	Sea-level (cm)	Wavelength	Remarks
ERS-1	Mar. 16 1996	122	C-band	coherence map
ERS-2	Mar. 17 1996			
RADARSAT	Nov. 8 1997	-95	C-band	intensity image
Landsat TM	Mar. 15 1998	-278	NIR	band 4
Landsat TM	Nov. 10 1998	-149	NIR	band 4
Landsat TM	May 21 1999	-46	NIR	band 4
SPOT XS	Sep. 27 1999	-248	NIR	band 3
IRS-1C	Feb. 29 2000	35	Visible	panchromatic

### 3. 연구방법

본 연구의 전체적인 흐름은 Fig. 4와 같다. 첫 번째로 조간대 지형의 변화가 생기지 않을 정도의 시기 내에 다양한 조석상태를 갖는 가능한 한 많은 위성자료를 얻어야 한다. Hoja 등(2000)은 독일 Bight에서의 DEM 생성연구에서 약 1년 6개월 정도의 기간에 얻은 자료를 이용한 바 있다. 본 연구에서는 Table 1에서 보는 바와 같이 1996년부터 2000년 자료를 이용하였으나, 1996년 ERS Tandem 자료로부터 추출된 해안선은 시간적으로는 오래되었지만 만조 때 얻어져 중부조간대 상부 지역을 나타내며 이 부분의 지형 변화가 크지 않아 해안선으로 사용하였다. 나머지 자료는 약 2년 3개월 기간에 얻어진 자료이다.

두 번째 과정은 얻어진 위성자료의 특성에 알맞은 경계선 추출 기법을 적용하여 해안선을 추출하는 것이다. Landsat TM band 4와 SPOT XS band 3과 같은 근적외선 파장대의 밴드를 포함하는 광학자료의 경우는 히스토그램에서 물과 조간대의 경계가 뚜렷이 나타나므로 간단한 창값(threshold) 방법에 의해서 히스토그램을 조절한 후, 상용소프트웨어인 ErMapper에서 벡터화하였다. 그러나 IRS-1C panchromatic 영상은 가시광선 영역대의 자료이므로 부유퇴적물이 우세한 경우는 해안선 추출이 어려우므로, 부유퇴적물이 적어 비교적 해안선이 뚜렷이 나타나는 자료만을 이용하여 위와 같은 방법으로 해안선을 추출하였다.

SAR 자료의 경우는 바람이 세거나 파랑이 높

을 때 바다로부터 돌아오는 레이더의 신호는 육지와 구별이 어렵고 또한 스펙클 잡음이 심하다. 이에 따라 SAR 자료를 이용한 해안선 추출은 광학 자료에서 사용하는 간단한 방법으로 좋은 결과를 얻을 수 없다. 스펙클 잡음을 포함하는 영상의 에지 감지에 이용되는 MSP-RoA 방법은 영상 내 하나의 픽셀에 대해 이 픽셀을 중심으로 이웃하는 두 보조 원도우의 평균값을 구하고, 이들 사이의 비가 최대가 되는 값을 찾는 것이다(Robert, 1997). Fig. 5는 Ganugapati와 Moloney(1995)에 의해 제안된 MSP-RoA 방법의 전체적인 흐름도이다. 이 연구에서는 Ganugapati와 Moloney(1995)에 의해 제안한 4 방향 대신 에지 추출 결과를 높이기 위하여 12 방향에 대해 경계선 추출 방법을 적용하였다. 즉, 하나의 픽셀에 대해 Fig. 6(a)와 같이 약 15° 간격으로 12방향의 에지 형태를 설정하고, Fig. 6(b)에서처럼 각각에 대해 두 개의 보조원도우 평균의 비를 아래의 식(1)과 같이 구한다.

$$R_1 = \max\left(\frac{MNR1}{MNR2}, \frac{MNR2}{MNR1}\right) \quad (1)$$

여기서, MNR(mean pixel value)는 보조원도우의 평균값을 의미한다. 위의 식을 12방향에 대해 모두 적용하여 식(2)와 같이 최대 값에 해당하는 에지의 강도와 방향을 구하게 된다.

$$R = \max(R_1, R_2, R_3, \dots, R_{12}) \quad (2)$$

이 방법은 에지가 한 픽셀 이상으로 추출되므로, 이를 한 픽셀단위의 선으로 추출하고 또한 스펙클 잡음에 의한 작은 에지 조각을 제거하기 위

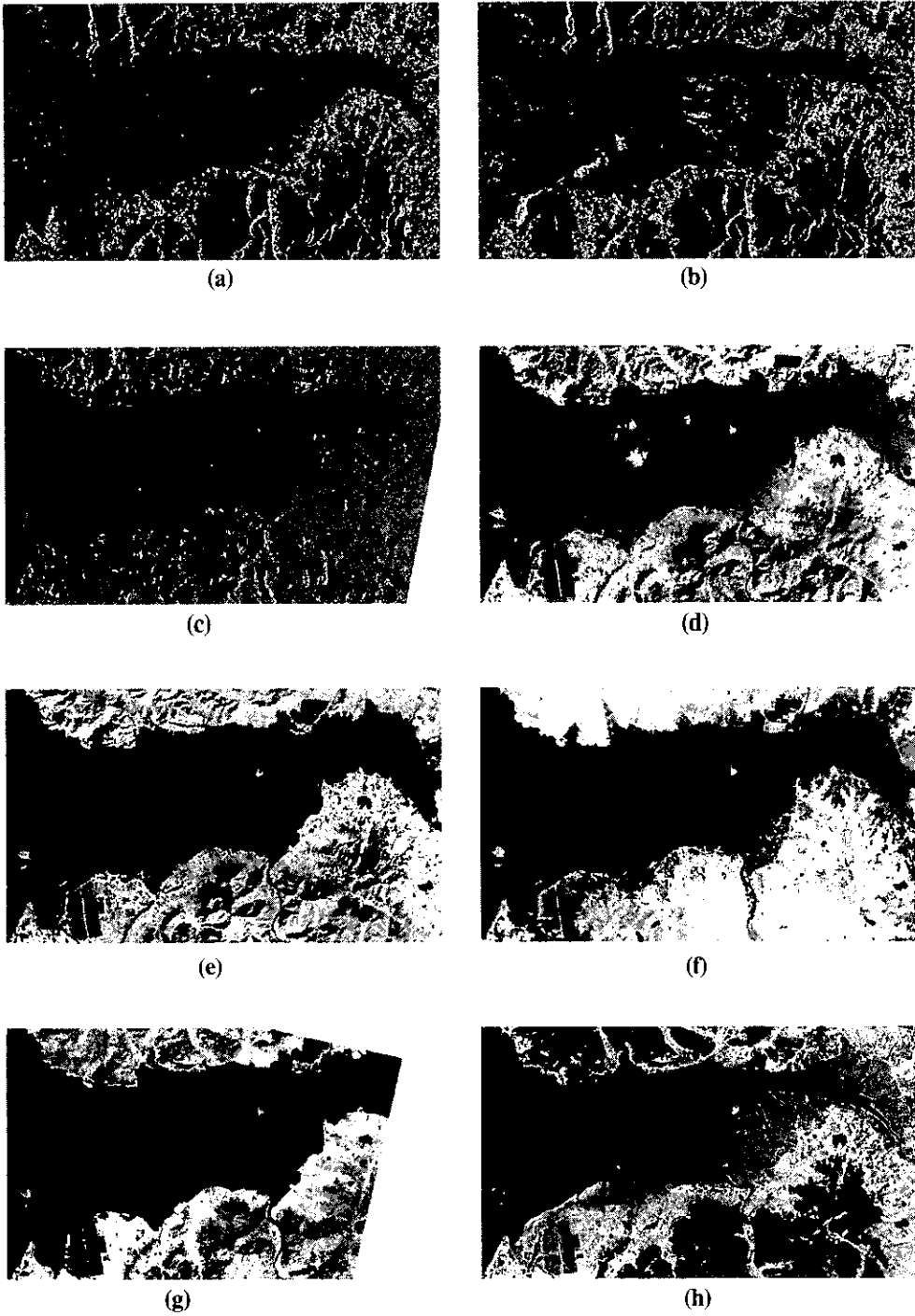


Fig. 3. Remotely sensed data used in this study : ERS-1/2 tandem images acquired in (a) Mar. 16, 1996 and (b) Mar. 17, 1996, (c) RADARSAT image acquired in Nov. 8, 1997, band 4 images of Landsat TM acquired in (d) Mar. 15, 1998, (e) Nov. 10, 1998 and (f) May 21, 1999, (g) band 3 image of SPOT XS acquired in Sep. 27, 1999 and (h) panchromatic image of IRS-1C acquired in Feb. 29, 2000.

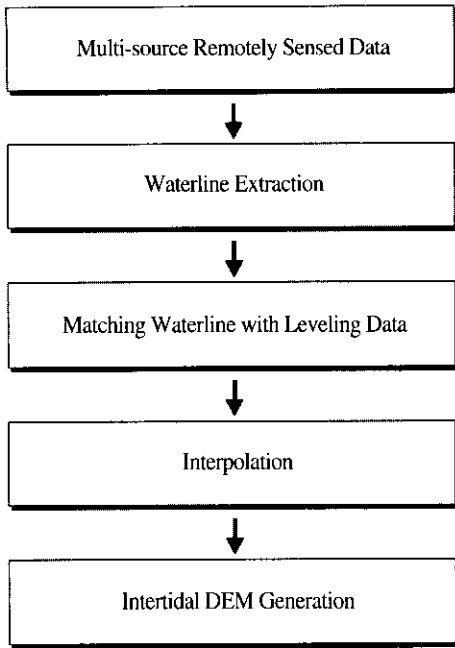


Fig. 4. Flowchart of intertidal DEM generation by waterline method.

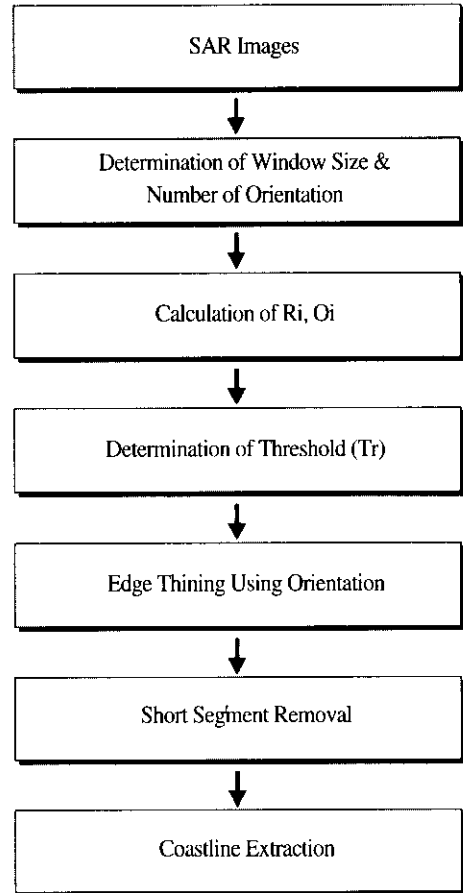


Fig. 5. Flowchart of MSP-RoA Edge Detector.

해서는 창값으로 설정된 값 이하는 버린 후, 에지 thinning 과정을 거쳐야 한다. 여러 가지 에지 thinning 방법들 중, 본 연구에서 사용하는 MSP-RoA 방법은 중심픽셀과 구해진 에지의 방향에 수직인 주변 픽셀의 값을 비교하여 중심픽셀의 값이 클 때만 에지로 인식함으로써 에지의 주변픽셀이 나 불필요한 작은 에지 조각을 제거하게 된다.

본 연구지역의 RADARSAT 자료는 intensity에

MSP-RoA 방법을 적용하였으나, ERS-1/2 자료는 조간대와 바다의 intensity 차이가 뚜렷하지 않으므로 육안으로도 해안선의 위치를 파악하기 어렵

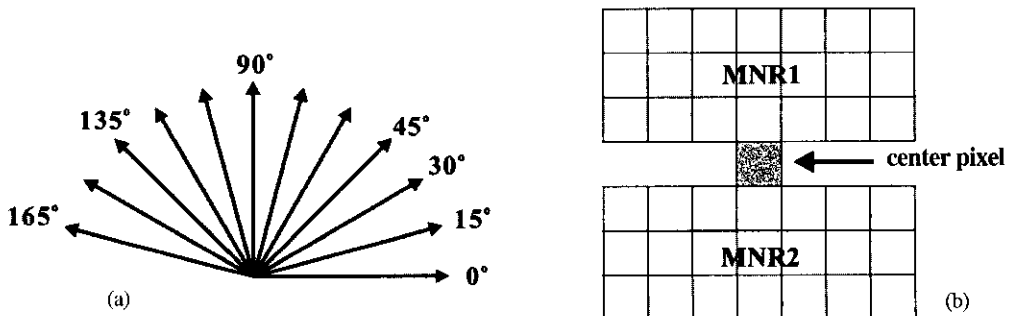


Fig. 6. (a) Orientation of 12 different edge to be estimated. (b) An example of the sub-windows of 0° direction.

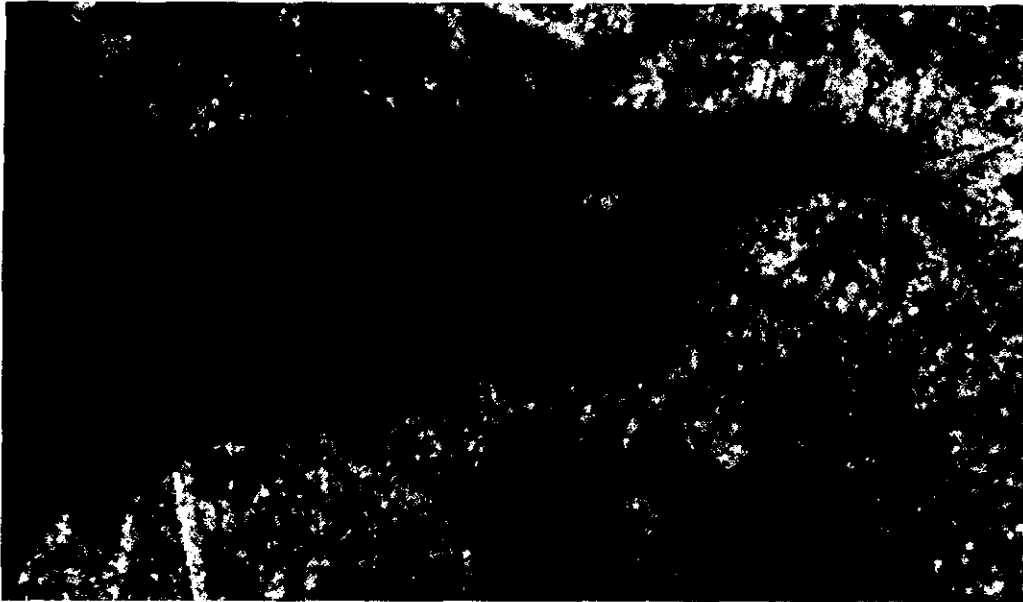


Fig. 7. Coherence map of ERS-1/2 tandem pair.

다. 따라서, 이러한 지역에 대하여 SAR interferogram의 정확도를 정량적으로 평가하기 위한 coherence map을 구하여 MSP-RoA 방법에 적용함으로써 효과적으로 해안선을 추출할 수 있다.

이미 토지이용분류나 산림과 비산림 지역의 구분 등에 성공적으로 사용되어졌던 coherence map은 바다나 산림처럼 거친 파도나 식물의 성장 등에 의해 temporal decorrelation이 높은 지역은 repeat-

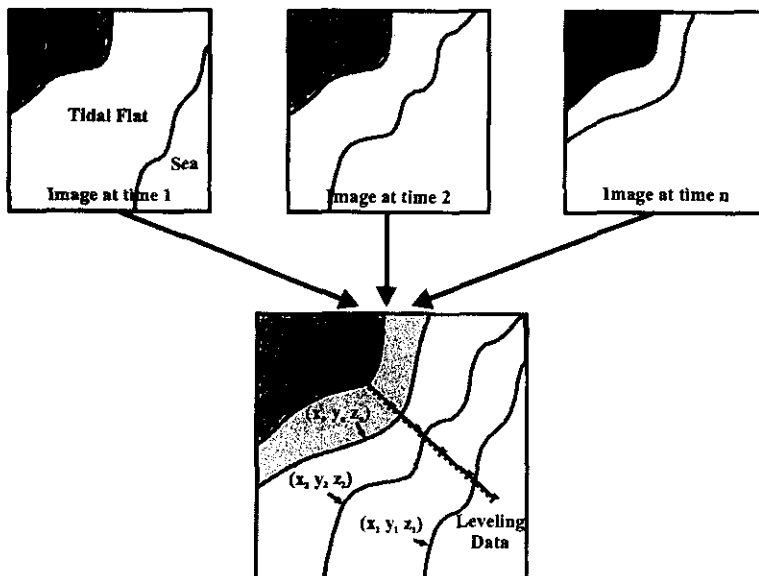


Fig. 8. Schematic diagram for DEM generation from waterlines.



pass interferogram에서 상관성이 낮게 나타나 coherence 값이 낮고, 육지부분은 이에 비해 상당히 높은 상관관계를 보인다(Schwabisch *et al.*, 1997). Fig. 7은 ERS-1/2 tandem 자료를 이용하여 얻어진 coherence map으로 어두운 부분은 두 SAR 자료 사이에 상관관계가 낮음을 나타내고 밝은 부분은 상관관계가 높은 지역임을 나타낸다. 두 개의 SAR 영상  $v_1(n,m)$ 과  $v_2(n,m)$  사이의 coherence ( $\gamma$ )는 이론적으로 아래의 식(3)과 같다.

$$\gamma = \frac{|E[v_1 \cdot v_2]|}{\sqrt{E[v_1^2]E[v_2^2]}} \quad (3)$$

여기서 E는 ensemble average이다.

세 번째는 위와 같은 방법에 의해 추출된 해안선은 등고선으로 가정할 수 있으므로, 1999년 12월 측선 K-H(Fig. 2)에서 얻어진 수준측량 자료와 교차하는 해안선에 각각 고도 값을 일치시킨다. 이들 값을 minimum curvature 방법을 이용하여 내삽함으로써 조간대에서의 DEM을 구하게 된다. Fig. 8은 이들 과정에 대한 모식도를 나타낸 것이다.

#### 4. 결과 및 토의

본 연구에서 사용된 8개의 위성자료로부터 추출된 해안선은 Fig. 9와 같다. 파란색과 보라색으로 나타낸 해안선은 각각 Landsat TM 1998년 3월과 SPOT XS 1999년 9월 영상으로 거의 최저조시의 해안선이다. 하늘색으로 나타내어진 1998년 11월 영상으로부터 추출된 해안선으로 GPS를 이용하여 조간대 사주의 위치를 측정된 결과와 매우 잘 일치하였다. 이 결과는 기존의 연안해역기본도(국립지리원, 1981)에는 나타나지 않는 구조로서 이 방법으로 조간대 지형변화를 정량적으로 관측할 수 있음을 보여준다. 이 지역은 주변보다 1~2 m 높은 지형을 나타내며 95% 이상 중간모래로 구성되어 있다. 고지형을 나타내는 사주는 지금까지 우리나라에서 보고되지 않은 barrier의 역할을 대신하는 것으로 추측되어 전남대학교 연구팀에

서 그 성인과 퇴적학적 의미에 대해 계속적으로 연구가 진행중이다(Lee *et al.*, 2000). 녹색은 RADARSAT 1997년 11월 영상으로 intensity의 차이에 의해 해안선이 구분이 가능하였으므로 MSP-RoA 방법의 에지 추출 알고리즘을 이용해서 추출된 해안선이다. 노란색은 Landsat TM 1999년 5월 영상이며 주황색은 2000년 2월의 IRS-1C 영상으로 부유퇴적물의 영향이 적어서 해안선 추출에 이용될 수 있었다. 그리고 흰색선은 ERS-1/2 tandem pair의 coherence map 영상으로 영상 강조로 구분할 수 없었던 해안선을 위상을 이용함으로써 성공적으로 추출할 수 있었다. 그러나 coherence map은 두 위성자료간에 만조시의 위성을 기준으로 해안선을 추출해내므로 두 영상 모두가 간조시에 촬영하기 어려워 주로 상부조간대 지역의 해안선만을 추출하게 된다. 추출된 다양한 위성자료의 해안선에 수준측량 자료를 입력한 후, 내삽함으로써 Fig. 10과 같이 60 m 등간격의 조간대 DEM과 20 cm 간격의 등고선을 생성하였다. 이때 수준측량 자료는 Fig. 2에 도시된 측선 K-H의 자료만을 사용하였다. Fig. 1에 도시된 또 다른 수준측량 측선 K-M의 자료는 내삽에는 사용하지 않고 대신 결과를 정량적으로 검증하는데 사용하였다.

본 연구에서 생성된 곰소만 지역의 조간대 DEM의 전체적인 경향은 조간대의 가운데 부분을 가로지르고 있는 주진천을 경계로 뚜렷이 구별되는 지형 특징을 보이고 있다. 만 안쪽에 해당하는 주진천 동부 지역은 퇴적상이 주로 니질로 이루어져 있어, 조류로나 조류세곡 등이 발달되어 있어 복잡한 지형기록을 보인다. 이에 비해 주진천 서부 지역은 사질이 우세한 지역으로 조류로나 조류세곡의 발달이 미약하며 Fig. 9와 10에서 보는 바와 같이 하부조간대에는 조간대 사주가 발달되어 있다. 즉, 이와 같은 수로의 발달 상황과 같은 지형적인 특성은 퇴적물의 분포를 분석하는데 유용하게 활용될 수 있다.

획득된 조간대 DEM의 정확도를 정량적으로 분석하기 위하여 내삽에 사용되지 않은 곰소만의 또

다른 측선 K-M의 수준측량 값과 얻어진 DEM 값을 비교하였다. Fig. 11에서 파란색 점은 2000년 3월에 측정된 수준측량 값이고 빨간색 점은 본 연구에서 얻어진 DEM 값이며 검정색 점은 국립지

리원에서 발간한 1981년 연안해역기본도의 고도 값이다.

Table 2는 얻어진 조간대 DEM과 측선 K-M의 수준측량 자료와의 오차의 통계값으로 최대오차

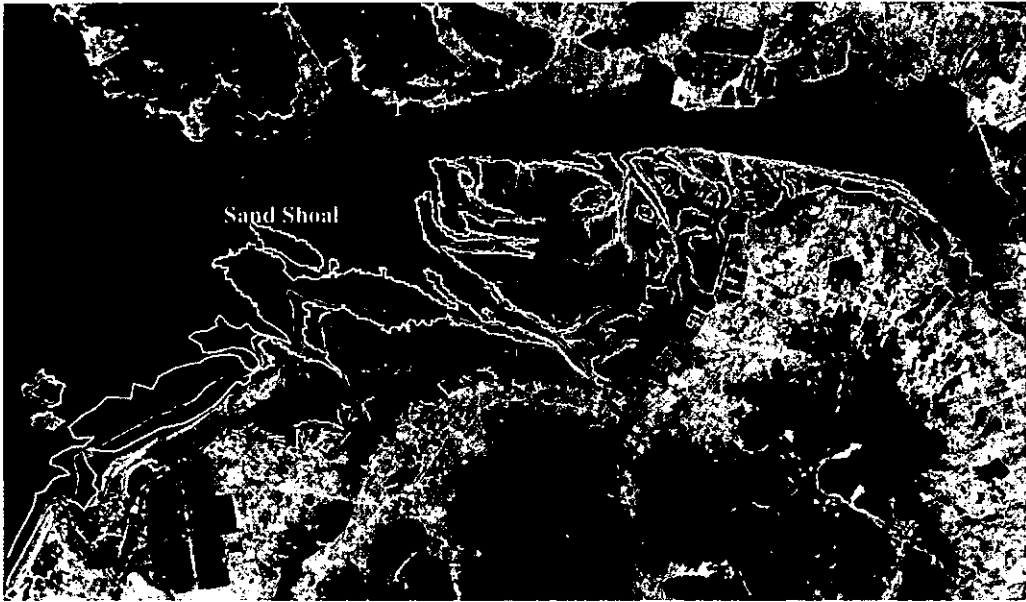


Fig. 9. Seven waterlines extracted in this study.

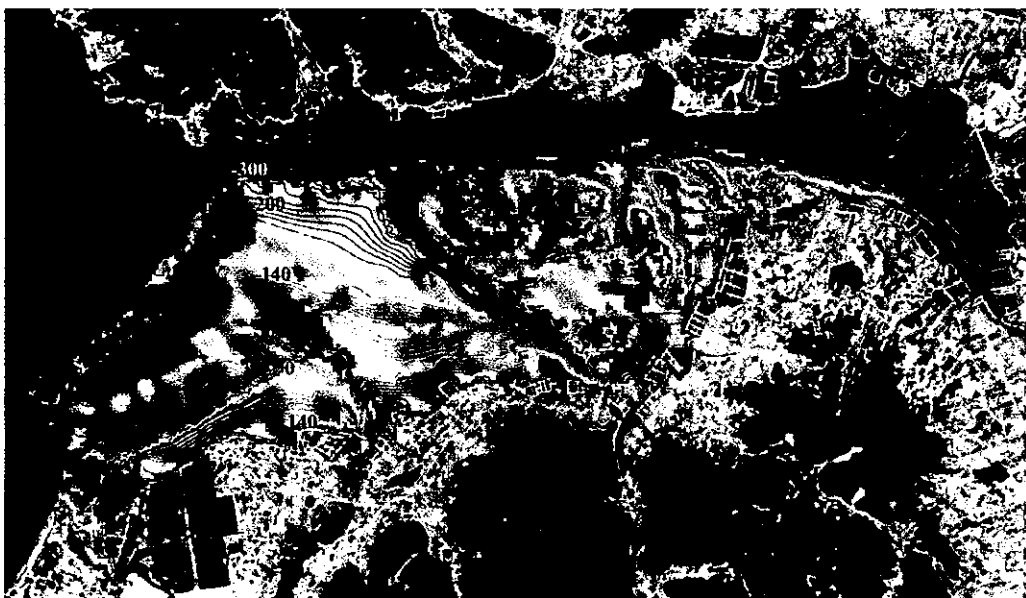


Fig. 10. Final intertidal DEM after interpolation of waterlines.

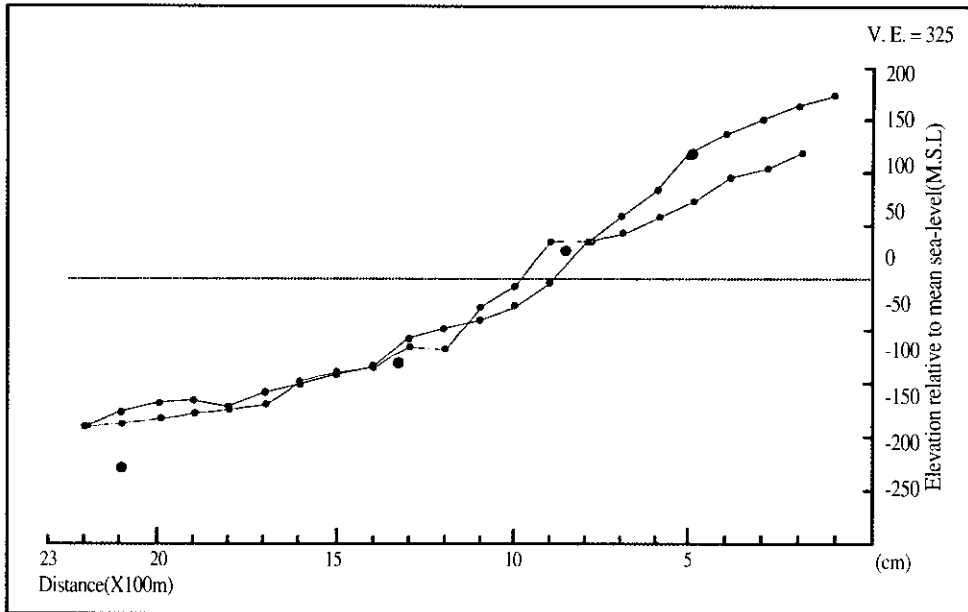


Fig. 11. Comparison of intertidal DEM with in situ-leveling data along K-M line. Blue dots are elevation of the K-M line measured in March 2000. Red dots are intertidal DEM extracted from multi-source remotely sensed data and K-H line leveling data. Black dots are 1m-interval contour acquired by Nearshore Base map.

Table 2. Error statistics of intertidal DEM and in situ-leveling data.

Satellite/Sensor	Acquired Date	Sea-level (cm)	Wavelength	Remarks
Total	24.0	46.5	1.2	16.2
Point 1 -10	37.5	46.5	3.14	15.9
Point 11 - 21	8.9	17.2	1.2	7.3

와 최소오차는 각각 46.5 cm와 1.2 cm 였고, 전체 RMS 에러는 24.0 cm 표준편차는 16.2 였으며 측정 1번부터 10번까지의 RMS 에러는 37.5 cm 표준편차는 15.9 였고, 측정 11번부터 21번 까지의 RMS 에러는 8.9 cm 표준편차는 7.3으로 나타났다. 즉, 육지 쪽의 10개의 측정에서는 실측자료와 획득된 고도 값 사이의 차이가 크게 나타나는 반면, 평균해수면 이하에서는 오차가 매우 줄어드는 경향을 보인다. 이는 Fig. 3의 위성영상에서 보는 바와 같이 측선 K-M 부근의 해안선이 선명하지 않아 정확한 해안선의 추출이 어려웠고, Table 1에서 보는 바와 같이 평균해수면 이하의 해안선 자료는 5개인데 반해 평균해수면 이상의 해안선이 2개 뿐으로 내삽의 특성상 자료가 충분치 못한 것

이 원인인 것으로 생각된다. 또한 Fig. 11에서 검은 점은 1981년 발간된 연안해역기본도 1 m 간격의 등고선 자료로부터 얻어진 값으로 수준측량 값과 연안해역기본도의 평균해수면을 맞추기 위하여 81.8 cm 하향 보정한 값이다. 이 자료의 전체적 경향이 수준측량 자료 및 얻어진 DEM과 유사하고 에너지가 강한 바다 쪽으로 갈수록 수준측량 값과 큰 차이가 나는데, 이는 약 20년 간의 퇴적량의 변화로 유추할 수 있고 또한 금소만 지역이 퇴적 우세한 환경이라는 설명과 일치하고 있다 (Lee *et al.*, 2000).

본 연구에서 얻어진 DEM은 연안해역기본도와 전체적인 경향이 일치하며 다른 측선의 수준측량 자료와 평균 18.1 cm 정도의 오차를 갖으며, 위성

자료가 많은 평균해수면 이하 부분에서는 10 cm 이내의 오차 범위를 갖는다. 또한 조간대 사주 등의 조간대 퇴적구조는 물론 퇴적상 및 지형의 특징을 잘 반영해주고 있다. 추후 보다 정밀한 조간대 DEM 생성을 위하여 PACRIM 사업의 TOPSAR 및 SRTM(Shuttle Radar Topographic Mission) X-SAR 자료를 이용한 interferometry 기법을 적용할 계획이다. 또한 선진국에서는 Lidar 및 Laser 등의 자료를 이용한 연안지형연구가 수행되고 있는데, 이들 자료와 광학 및 레이더 위성 자료를 복합적으로 이용한다면 현장조사를 최소로 하면서 정밀한 조간대 지형도를 작성할 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 조간대 지형연구와 함께 조간대 표층퇴적물 분포 연구가 수행된다면 종합적인 퇴적환경의 이해는 물론, 연안 퇴적물의 침식/퇴적량의 계산도 가능할 것이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 서해 곰소만 지역에 대해 3년 사이에 얻어진 광학 및 SAR 자료로부터 추출된 해안선과 1999년 12월 측정된 수준측량 자료를 이용하여 내삽함으로써, 60 m 등간격 20 cm 등고의 조간대 DEM을 생성하였다.

빠르게 변화하는 조간대 DEM의 정밀도를 높이기 위해서는 첫째, 단기간에 다양한 조석 상태를 갖는 다량의 위성자료를 확보하여야 한다. 이를 위하여 광학자료는 물론, SAR intensity 및 SAR 위성정보 등의 얻어질 수 있는 모든 위성자료로부터 해안선을 추출하였다. 둘째, 얻어진 위성자료에 알맞은 해안선 추출 방법을 이용하여 정확한 해안선을 추출하여야 한다. 본 연구에서는 광학자료는 히스토그램으로부터 창값을 적용하고 상용소프트웨어를 이용하여 해안선을 손쉽게 정확하게 추출하였고, SAR의 intensity 자료와 coherence map 등에는 스펙클에 영향을 고려한 MSP-RoA 방법을 이용하여 해안선을 성공적으로 추출하였다. 셋째, 얻어진 해안선은 등고선으로 가정되므로 정확한

고도값을 입력한 후, 내삽하여야 한다. 본 연구에서는 곰소만 지역에 대한 정확한 조석측정 자료를 구할 수 없어 수준측량 자료를 이용함으로써 DEM의 정밀도를 높이고자 하였다.

이와 같이 얻어진 DEM의 정밀도를 검증하기 위하여 내삽에 사용되지 않은 다른 측선의 수준측량 값과 비교해본 결과, RMS 에러가 전체적으로는 24 cm, 부분적으로는 10 cm 미만의 높은 정밀도를 보였다.

### 사 사

본 연구는 해양수산부의 위성영상을 이용한 연안변화탐지 기술개발 영역의 지원으로 이루어졌음을 밝히며 이에 감사 드립니다. 또한 곰소만 현장조사 자료를 얻는데 많은 도움을 주신 전남대학교 지구환경과학과 퇴적학연구실의 손창수 군에게도 고마움을 표합니다.

### 참고문헌

국립지리원, 1981. 연안해역 기본조사 보고서(석포지구), 56.

안충현, 이용국, 유홍룡, 오재경, 1989. 위성자료의 한국 금강 하구부근 조간대 지형 연구에 대한 응용, 대한원격탐사학회지, 5(1):1-14.

장진호, 1995. 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용. 박사학위논문, 서울대학교, 192.

홍상훈, 김상완, 원중선, 1999. Radarsat SAR 자료의 Interferogram 작성 기법 연구, Proceedings of the 1999 KSRS Spring Meeting, 148-153.

Danielle H., S. Lehner, A. Niedermeier, and E. Romaneessen, 2000. DEM Generation from ERS SAR Shorelines Compared to Airborne Crosstrack InSAR DEMs in the German Bight, Proc. IGARSS'2000.

David, C.M. and I.J. Davenport, 1996. Accurate and

- Efficient Determination of the Shoreline in ERS-1 SAR Images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34:(5) 1234-1253.
- Ganugapati, S.S., and C.R. Moloney, 1995, A Ratio Edge Detector for Speckled Images Based on Maximum Strength Edge Pruning, *International Conference on Image Processing*, 2: 165-168.
- Chen, L.C. and J.Y. Rau, 1998, Detection of Shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images, *INT. J. Remote Sensing*, 19(17): 3383-3397.
- Lee, I.T., S.S. Chun, C.S. Sohn, J.H. Ryu and J.S. Won, 2000, Role of sand-shoal migration for the sedimentation in the Gomso Bay intertidal flat, southeastern KOREA, *Proc. 5th International Conference on Tidal Environment-TIDALITE 2000*, 88-91.
- Robert K., 1997, Automated Edge Detection For RADARSAT Image, *Proc. Geomatics in the Era of RADARSAT Symposium*.
- Schwabisch M., S. Lehner and N. Winkel, 1997, Coastline Extraction using ERS SAR Interferometry, *Proc. Third ERS Symposium*, Florence, Italy, 1049-1060.
- Won, J.S., H.Y. Kim and J.H. Ryu, 1999, Coastal geomorphologic change detection using SAR and optical remote sensing data at the Nakdong river estuary, KOREA, *Proc. IGARSS '99*.