

원격탐사를 이용한 새만금 조간대의 지형변화 연구

나 영호*, 류 주형**, 이 윤경, 최 성욱, 원 중선

*연세대학교 지구시스템학과 서울 서대문구 신촌동 134

e-mail) geologist@yonsei.ac.kr

**Remote Sensing Group, Institute for Coastal Research, GKSS Research Centre,

Max-Planck-Strasse, D-21502, Geesthacht, Germany

Estimation of Geomorphologic Change in Saemangum Tidal Flat by Remote Sensing

Young-Ho Na*, Joo-Hyung Ryu**, Yoon-Kyung Lee, Sung-Wook Choi,
Joong-Sun Won

요약

위성영상을 이용한 새만금 지역의 DEM생성을 위하여 waterline method를 사용하였으며, 총 13개의 Landsat thematic mapper (TM) 위성영상 자료를 이용하여 1991년과 2000년 기준의 DEM을 생성하였다. 현장 수준측량 자료를 이용하여 생성된 DEM의 정밀도 검증을 실시하였으며, 2002년 3월에 100m 간격으로 측정된 실측자료를 이용하였다. 해안선 추출은 density slicing 방법을 사용하였으며, 사용된 밴드는 육지의 경계를 구분하는데 많이 쓰이는 밴드 4번, 5번 및 6번 밴드를 선택적으로 사용하였다. 절대고도 값의 대입을 위하여 waterline 추출에 사용된 위성영상의 획득 시간에 대해 해양조사원의 10분 간격 실측 조위를 사용하였으며, 추출된 13개 waterline의 최저 조위는 58cm 이고 최고 조위는 537cm 이다. 추출된 해안선에 수준측량 자료를 이용하여 검증한 결과 RMS 오차 9.91 cm, 표준편차 9.78 cm의 정밀도를 갖는 2000년도 DEM을 생성하였다. 새만금 지역의 waterline 추출 과정에서 만경강과 동진강 하구 지역은 강에 의한 에너지의 유입, 유출로 인한 변화가 심하여 두 지역을 DEM 생성에서 제외하였다.

이렇게 생성된 과거(1991년도)DEM 과 현재(2000년도)DEM을 이용한 지형변화 비교는 두 DEM 차이로 9년간의 새만금 조간대 변화를 계산하였다. 군산공항지역의 지형변화는 거의 없는 것으로 나타났으며, 새만금 방조제가 건설된 이후 개화도 주변지역의 변화가 가장 두드러진 지형적 변화로서 방조제 입·출구 지역은 빠른 유속에 의해서 과거에 비해 침식이 우세하며, 방조제에서 육지로 갈수록 퇴적이 우세한 것으로 관측되었다.

1. 서론

조간대 지역의 환경은 퇴적 작용, 해양 에너지 작용, 지구조적 작용, 해수위의 변동, 인간의 활동과 기후변화 등 다양한 환경 인자에 의해 끊임없이 변화하고 있다. 이러한 조간대 환경을 연구하는데 지형변화의 연구는 필수

적이며, 보다 정량적인 지형변화를 연구하기 위해서는 정밀한 조간대 Digital Elevation Map(DEM)의 생성이 매우 중요하다.

조간대 지형의 발달과 변화에 대한 연구는 물 순환 모델, 양식장 관리, 전자 해도의 갱신, 연안개발 수립, 항로의 효율적 관리 그리고 퇴적 환경학적인 분야 등에서 활용될 수 있

다(류주형, 2000).

본 연구에서는 인공위성영상 자료를 이용하여 가능한 단기간 내에 얻어진 자료들을 과거(1990년대 초반)와 현재(2000년대 초반) 두 시대별로 나누어 조간대 DEM 와 현재의 변화를 비교해 보고자 한다.

2. 연구지역 및 자료

1) 연구지역

새만금 갯벌은 한국 서해안의 중심에 위치하는 만경강 동진강 하구역 일대의 갯벌을 말한다. 새만금 간척사업을 하면서 만경강과 금강, 북으로는 금강하구의 외해역에 해당되는 오식도와 비안도를 잇는 북위 35°58' 부터 남으로는 변산 해수욕장 부근 북위 35°36' 까지와, 동으로는 만경강 동진강 하구의 동경 126°26' 으로부터 서로는 고군산도의 동경 126°44' 까지의 범위에서 간조시 육지처럼 드러나는 지역을 일컫는다. 남북으로 약 35km, 동서로 약 30km 범위 내에 있는 지형이다(고철환, 2001).

새만금 조간대는 반일주조를 보이는 지역으로 세계적으로 보아 간만의 차가 심한지역에 속하며 평균조차는 4.3m에 달하는 대조차환경이다(Lee & Kim, 1987). 대조 평균조차는 6m, 소조 평균조차는 3m로서 서해의 다른 지역에 비하면 큰 편은 아니다(고철환, 2001). 소규모의 수로가 산재해 있지만 대체로 완만한 경사의 지역들이 주를 이루며, 바다 쪽 조간대의 끝부분에서는 경사가 커지는 경향을 보인다.

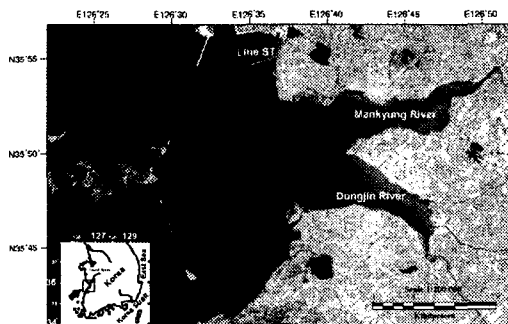


Fig. 1. study area(TM 2002.3).

2) 위성영상자료 및 현장조사

인공위성영상을 이용하여 조간대의 DEM을 생성하기 위해서는 비교적 단기간에 다양한 조석 상태의 위성자료를 다수 획득하는 것이 가장 좋은 방법이다. 본 연구에서는 총20개의 Landsat TM 자료 중 과거(1990년대 초반)자료는 8개 중 6개, 현재(2000년대 초반)자료는 12개 중 7개를 이용하여 새만금 조간대 DEM을 생성하였다. Table 1은 DEM생성에 사용된 위성과 사용된 밴드, 고도 값을 나타내며, 위성자료가 획득된 시각의 조위자료는 해양조사원의 실측자료가 이용되었다. 참고로 조위(조고)기준면은 상기 지점에서 조석관측(1980년 3월 1일 ~ 1982년 4월 4일)을 한 기간 중 최저조로 내려간 면(약최저저조면)을 가상으로(0 cm)한 기준면이며, 기준면에서의 평균해면은 下362cm이다.

새만금 지역의 현장조사는 2002년 3월 말에 전남대학교 퇴적학연구실과 공동으로 수행되었으며, 전남 대학교에서 실시한 수준측량은 총 4개(Line SD-신당, SG-신금, SK-신광, ST-산동)의 측선을 설정하고 100m 간격의 말뚝을 설치한 후, 각 측점에 대한 상대적인 수준측량으로 수행되었다. 기준점 고도는 국립지리원의 삼각점으로부터 수준측량에 의해 유도되었으며, 각 측점들의 고도는 출발점으로부터 수준의와 표척에 의해 유도되었다.

3. 연구방법

waterline 방법은 비교적 단기간에 다양한 조석 상태의 위성자료를 다수 획득하여 조간대와 물의 경계면을 추출한 후, 이들에 절대고도를 대입하고 내삽함으로써 조간대 DEM을 생성하는 것이다. waterline 방법으로 생성되는 조간대 DEM의 정밀도는 해안선 추출이 얼마나 정밀한지 그리고 추출된 해안선에 얼마나 정밀한 절대 고도 자료를 대입할 수 있는지에 의해 결정된다.

광학 위성영상으로부터 정밀한 해안선 추출을 위해서는 파장별 밴드의 특성을 정확하게 파악하여야 한다. 본 연구에서는 새만금과 인

Table 1. Summary of data sets.

Satellite	Date	Absolute elevation of waterline (cm)	Condition	Used band
Landsat TM	Mar. 9, 1990	216	flood	4
Landsat TM	Mar. 12, 1991	396	flood	5
Landsat TM	May 31, 1991	198	ebb	6
Landsat TM	Aug. 19, 1991	468	ebb	5
Landsat TM	Jun. 2, 1992	126	ebb	6
Landsat TM	Nov. 25, 1992	58	ebb	4
Landsat TM	Nov. 26, 1998	294	ebb	4
Landsat TM	Dec. 28, 1998	537	flood	4
Landsat TM	May. 21, 1999	413	ebb	6
Landsat TM	Nov. 13, 1999	160	ebb	4
Landsat TM	Dec. 31, 1999	498	ebb	4
Landsat TM	Mar. 20, 2000	67	flood	6
Landsat TM	May. 7, 2000	155	ebb	6

접한 금소만 지역에서 해수-조간대의 경계를 파악했던 연구(Ryu et al., 류주형, 2002)에 기초해서 해안선을 추출하였으며, density slicing 방법을 이용하였다. 위성자료를 이용한 density slicing 방법은 물과 조간대의 경계를 이루는 DN 값을 찾아내어 이를 경계로 나누어주는 것으로 매우 간단하고 빠르게 해안선을 추출할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 상용소프트웨어에서 히스토그램을 조절한 후, 래스터 자료의 경계를 빠르게 벡터화할 수 있으므로 많은 자료를 다룰 경우 매우 편리하게 적용할 수 있다. 그러나 단일밴드를 이용하게 되므로 알맞은 밴드 선정이 중요하고 또한 복합적인 자연현상에 의해 나타나는 조간대의 특성상 구분하기 어려운 경우도 있다. 본 연구에서는 획득된 Landsat TM 영상에 대해 일반적으로 물과 육지의 경계를 구분하는데 많이 쓰이는 밴드 4와 5 그리고 밴드 6에 대해 density slicing 방법을 적용하여 waterline을 추출하였다. 밴드 선정은 조간대와 바다의 경계를 뚜렷하게 구분이 가능한 밴드를 우선적으로 선정하였다. 밴드 4는 부유퇴적물에 영향을 받을 수 있다. 밴드 5는 썰물 시 잔존하는 해수에 영향을 받을 수 있으며, 밴드 6은 120m의 낮은 공간해상도를 갖고 있다. 열적외선 파장영역인 밴드 6을 참고하여 조간대의 조석상태나 부유퇴적물의 정도, 표층퇴적물의

분포, 조류로나 조류 세곡의 유무, 지형에 따라 밴드 4와 5 중 선별하여 사용하였으며, 보다 뚜렷한 양상을 보였던 밴드 4를 주로 사용하였다.

위와 같은 과정에 의해 추출된 해안선에 절대고도 값을 대입하기 위하여 새만금 조간대

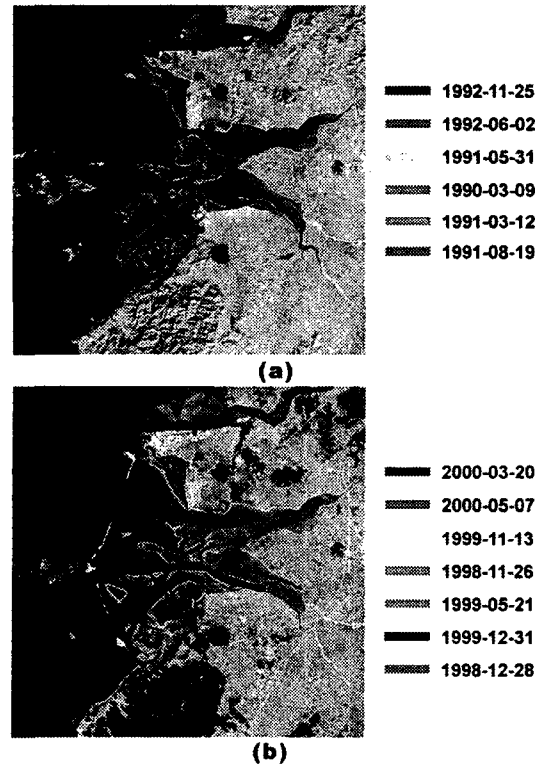


Fig. 2. Extracted waterline of Landsat TM Image.

지역과 가장 인접한 국립해양조사원의 군산외항 검조소(북위 35°58'06", 동경 126°37'36")에서 10분 간격으로 얻어진 실측 조위 자료를 이용하였다.

4. 결과

1) waterline 추출

Fig. 2의 (a)는 1986년부터 1993년까지의 영상 중 단기간에 많은 자료가 확보 가능한 1990년부터 1992년까지의 자료 중 6개의 영상에 대해 해안선을 추출하였고, (b)는 1998년부터 2000년까지의 자료 중 7개의 영상에 대해 해안선을 추출한 것이다. (a)의 최저조위는 58cm이고 (b)의 최저조위는 67cm이다.

이렇게 추출된 해안선들은 같은 고도 값을 갖게 되고, 각 시기별 조위 고도 값을 minimum curvature 방법으로 내삽 후에 새만금 조간대 DEM(Digital Elevation Map)을 생성하였다.

2) 과거와 현재 DEM 제작

1990년 3월부터 1992년 11월까지 얻어진 6개의 영상과 1998년 11월부터 2000년 5월까지 얻어진 7개의 영상을 이용하여 각각 1991년 기준과 2000년 기준의 새만금 갯벌의 지형고도모델인 과거DEM과 최근DEM을 계산하여 만들었다. Fig. 3은 최종적으로 얻어진 DEM을 나타낸 것이다. 그림에서 색은 지형고도로서 붉은 색은 높은 지형을 나타내고 파란색으로 갈수록 낮은 지형을 의미한다. 이를 기초로 하여 방조제가 건설되기 이전인 1990년대 초와 1호 방조제의 건설 이후 새만금 갯벌에서 발생한 지형변화를 분석하는데 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

다만 만경강과 동진강 하구의 갯벌에서는 강에서 유입되는 퇴적량이 많아 (하구언 독이 막힌 시기 이후에는 강에서의 유입은 없을 것임) 강에서 유입되는 퇴적량이 많아 변화가 매우 심하였다. 특히 만경강 하구에서는 홍수

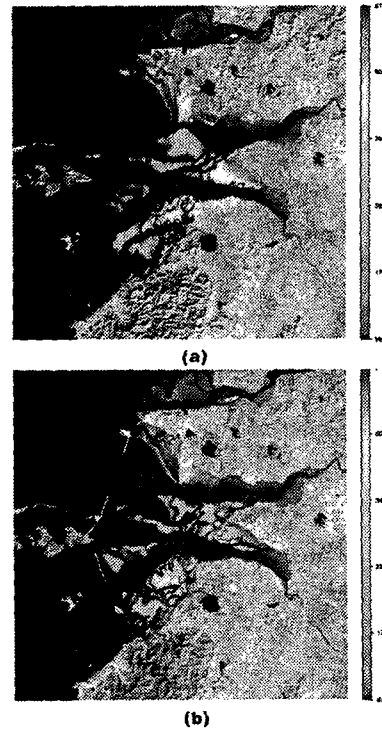


Fig. 3. Generated DEM of DEM'91 and DEM'2000.

등의 발생시 강 하구에서의 지형변화가 단기간에 매우 심하게 나타나고 있다. 이에 따라 이번 연구에서는 에너지의 유입, 유출량이 큰 만경강과 동진강 하구에서의 DEM 생성에는 waterline 방법을 적용하여 신뢰할 수 있는 결과를 얻는데 어려움이 따른다. 이에 따라 강의 하구에 노출되는 부분을 제외한 지역에서 지형고도모델을 생성하였다

3) DEM 정밀도 검증

총 7개의 Landsat TM 영상 자료를 이용하여 계산된 2000년도 지형고도 모델의 정밀도를 검증하기 위해 2002년 3월에 전남대학교에서 100m 간격으로 수준측량을 실시한 실측 자료를 이용하였다. 즉, 절대고도 내삽 방법으로 waterline 추출에 사용된 조위 자료는 해양조사원의 10분 간격 실측 조위 값을 사용하여 DEM'2000을 생성하였고, 얻어진 결과의 정밀도 계산은 이와는 완전히 독립된 방법으로 현장에서 얻어진 수준 측량 실측치를 이용하였다. 따라서 검증 결과는 높은 신

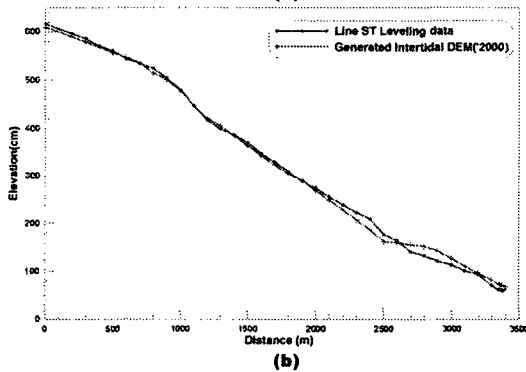


Fig. 4. Comparison of Levelling data and Elevation profile (R.M.S error: 9.91 cm, Standard Deviation: 9.78 cm).

회도를 갖고 있다

그림 4 (a)는 새만금 갯벌 북부지역인 군산공항 부근의 수준측량 축선인 Line ST와 지형고도모델 생성에 이용된 7개의 waterline을 나타낸다. 그림에서와 같이 얻어진 waterline은 고도에 따라 일정한 간격으로 얻지는 못하였으며 불규칙적이다. 따라서 waterline이 없는 고도에서 오차가 보다 클 것으로 예상된다. 생성된 DEM'2000과 수준측량 자료에 대한 정량적 비교는 최소자승법을 이용하여 계산하였다. 두 자료간의 기준은 실측된 수준측량 자료를 해양조사원의 조위 기준으로 맞추어 환산 후 비교하였다. Fig. 4 (b)는 축선에서 실측된 수준측량 값과 DEM'2000 두 자료간의 정밀도를 계산한 최종 결과이다. 여기서 R.M.S 오차는 9.91 cm, 표준편차는 9.78 cm, 최대오차는 23.57 cm로 나타났다. 오차의 발생분포를 보면 상부조간대에서는 매우 잘 일치하는 반면 하부조간대에서는 비교적 큰 오차를 보이고 있다. 이

에 대한 원인은 몇 가지를 생각할 수 있다. 첫째는 하부조간대의 지형변화가 큰 반면 충분한 개수의 waterline을 얻지 못했다는 점이다. 이는 자료 획득의 한계로서 향후 더 많은 자료의 획득이 요구된다. 둘째는 실측된 결과는 2002년 3월에 획득된 자료이다. 반면 위성자료의 경우 1년 내에 5-6개의 자료를 획득하지 못한 관계로 1998년도 12월 28일 자료부터 사용을 하였으며, 이 기간 동안 갯벌 지형의 변화에 의한 오차를 생각할 수 있다.

4) 지형변화 분석

Fig. 5는 Fig. 3에서 보여주는 현재와 과거의 지형고도모델의 차이를 이용하여 계산된 지형변화를 나타낸 그림이다. 여기서 현재의 DEM'2000 (청색)에서 과거의 DEM'99(적색)를 뺀 값을 색으로 표현하였다. 따라서 약 9년간의 침식과 퇴적에 의한 변화결과는 붉은색 쪽은 퇴적, 푸른색 쪽은 침식의 경향을 보여준다. 또한 붉은색 선은 과거해안선에서 추출된 최저 조위이고, 파란색 선은 최근 해안선에서 추출된 최저 조위를 나타낸다. 즉 이 두개의 선이 교차하게 되면 침식 또는 퇴적이 일어난 것을 알 수 있으며, 특히 남단에서 침식이 심하게 발생하였으며, 만경강 하구역에서는 오히려 퇴적이 우세한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 현재의 결과만으로는 결론을 내리기는 어려우나, 1990년대에 이뤄진 새만금 1호 방조제 건설공사에 따른 이 지역에서의 유속의 변화가 큰 영향을 주었을 것으로 사료된다. 이에 대해서는 향후 좀 더 다양한 자료를 이용한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

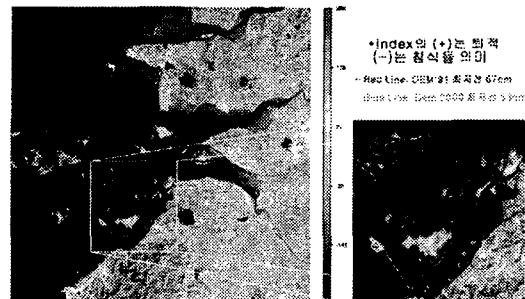


Fig. 5. Geomorphologic Change

5. 결론

본 연구에서는 서해 새만금 조간대 지역의 과거(1990년대 초반)와 최근(2000년대 초반)의 위성영상에 대해 waterline을 추출하고 조위자료를 내삽함으로써, 조간대 DEM을 제작하였다.

생성된 DEM('2000)과 현장 수준측량 자료와의 검증은 두 자료간에 독립적 수행되었으며, 그 결과는 R.M.S 오차 9.91 cm, 표준편차 9.78 cm로 나타났다.

1990년대 초의 자료를 이용하여 얻어진 지형고도모델은 새만금 방조제가 세워지기 전의 지형을 반영하는 배경자료로서 방조제가 세워진 후 지형이 어떻게 변했는지를 파악하는데 가장 기초가 되는 자료로 활용될 수 있다. 또한 이 자료는 앞으로 방조제 내부의 일부지역에서 매립을 통한 인공적인 지형변화가 발생하는 경우 미래에 이 지역에 대한 원래의 자연지형에 대한 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Joo-Hyung Ryu, Joong-Sun Won, Kyung Duck Min, 2002, waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat A case study in Gomso Bay, Korea, Remote Sensing of Environment 83: 442-456.
- 류주형, 조원진, 원중선, 이인태, 전승수, 서애숙, 김금란, 2000, 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대DEM 생성, 대한원격탐사학회지, 16(3).
- Joo-Hyung Ryu, Joong-Sun Won, In-Tae Lee, Seung-Soo Chun, Kang-Min Yoo, Kyung Duck Min, Choong-Hyun Ahn, and Saro Lee, 2002, Geomorphology (in review).
- Lee, C. B. and Kim, T. I. (1987), Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum Estuary, west coast of Korea, The Journal of the Oceanological Society of Korea 9: 293-307.
- 고철환, 2001. 한국의 갯벌. 서울대학교 출판부, 347-349.