

위성영상을 이용한 강화도 남단갯벌의 DEM 추출

박성우* · 정종철**

Extraction of DEM in the Southern Tidal Flat of Kanghwa Island using Satellite Image

Sungwoo Park*, Jongchul Jeong **

요 약

위성영상 이미지를 이용한 갯벌의 지형 고찰은 주기적인 자료 획득 등의 측면에서 그 유용성이 입증되어 왔다. 특히, 광학 위성영상의 근적외선 영역은 해역과 육역을 구분하는 데 있어서 유용하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 Landsat-5 위성영상을 이용하여 갯벌의 경계선을 추출하고, 조위 자료를 고도값으로 사용하여 갯벌의 수치표고모형을 작성하였다. 수치표고모형은 갯벌의 입체적인 지형을 고찰할 수 있는 유용한 도구이며 더 나아가 갯벌 지형의 변화 탐지에도 사용될 수 있다. 강화도 남단 갯벌에 대해 90년대에 촬영된 8장의 영상을 1994년 기준으로 두 시기로 나누었고, 각각에 대해 수치표고모형을 작성하였다. 이 과정에서 각 영상 촬영 시기에 해당하는 갯벌의 면적을 계산할 수 있었고, 1994년 이후 조위의 변화에 따라 갯벌의 면적이 감소하였음을 알 수 있었다.

주요어 : 무감독분류, 다중시기 위성자료, 갯벌, 입자분포도

ABSTRACT : The study of geomorphology of tidal flat using remote sensing image has been considered useful because of it's ability to acquire data periodically. Especially, the Near Infrared band of satellite image has been used to divide between land and sea area.

This study extracted a borderline of the tidal flat using Landsat-5 images and generated DEM(Digital elevation model) using tide level data as elevation value. DEM is a useful tool for three-dimensional survey of geomorphology and can be used for survey of tidal flat. This

* (주)지오셋텍

** 남서울대학교 산업환경시스템공학부 지리정보시스템공학전공

study divided 8 images of 1990's into two parts - before 1994 and after 1994 - and generated DEM respectively. In this work, the areas of tidal flats are calculated and it was revealed the area of tidal flat was decreased after 1994.

Keywords : multi-temporary satellite data, tidal flats, DEM

1. 서 론

갯벌에 대한 최근 연구 경향들 중 한가지는 갯벌에 대한 공간 정보를 수집하여 데이터베이스를 축적하고, 이를 통해 통합적인 관리 시스템을 구축하는 것이다. 하지만, 갯벌의 경우 육역과 해역의 접이 지대로서 국가적인 차원에서 제작되는 지형도와 연안해역도 또는 각종 해도의 제작 대상에서 제외되어 있어 공간 자료의 획득이 용이하지 않다. 이와 함께 연약한 지반, 주기적인 조석 현상, 광활한 면적 등의 이유로 접근성이 떨어져 효과적인 연구가 어려운 지역이라 할 수 있다.

특히, 수년간 강화도 남단 갯벌에 영향을 끼친 인위적인 개발사업들은 수도권 개발에 따른 한강종합개발공사, 영종도 신공항 건설, 신공항 연육도로 건설, 제2 강화대교 건설, 송도신도시 주변의 매립에 따른 인공 구조물 설치 등이 있다. 이 중에서 한강종합개발공사는 강화도 인근 해역으로 흘러드는 한강의 수리-물리적 특성에 변화를 일으켜 경기만의 퇴적환경에 영향을 미쳤다(장현도 외, 1991). 또한, 92년 11월에 공사를 시작한 영종도 신공항 건설사업의 경우, 강화도 남단에 위치한 영종도와 용유도 사이를 매립하여 건

설되었기 때문에 인근 해역에서 수리학적 변화가 발생하여 강화도 남단 갯벌의 지형을 크게 변화시킬 것으로 예상된다(한국해양연구소, 1999).

본 연구에서는 이러한 연안개발사업의 영향에 의해 나타나는 갯벌의 지형적 변화를 위성영상자료를 통해 분석하고자 하였다.

위성 영상을 이용하여 지형을 분석하는 방법 중의 대표적인 방법은 대상 지역의 고도에 대한 정보를 알아내어 수치고도모델(DEM, Digital Elevation Model)을 작성하는 것이다. 수치고도모델은 지표면의 고도 특성을 수치화하여 격자형 데이터로 나타낸 것으로 각종 분석에 이용되고 있다. 이 수치고도모델을 이용해서 할 수 있는 분석으로는 가시권 분석, 수리-수문 해석, 수치 모델링, 3차원 입체 지형도 제작, 위성영상의 정사보정 등이 있다.

수치고도모델을 작성하기 위해서는 필수적으로 해당 지형에 대한 고도 자료가 필요하다. 그러나 갯벌 지역은 주기적인 침수로 인해 측량이 어려울 뿐만 아니라, 그 지형이 쉽게 변하기 때문에 일반적인 지형도로 표현하기가 어렵다.

이러한 갯벌에서 고도 자료를 추출할 수 있는 방법은 위성 영상을 통해 특정 시기의 해안선을 추출하고, 조위 자료로

부터 해당 시기의 조위값을 얻어 이를 고도값으로 활용하는 것이다. 하지만, 조위자료의 경우 지역적인 편차가 커서 검조소가 위치한 지역에서만 비교적 정확한 자료를 얻을 수 있어 원하는 지역에 대한 정확한 조위 자료를 얻기가 어렵다. 또한, 갯벌과 해양의 경계선 역시 대부분 해수와 갯벌 흙이 섞인 혼탁류를 이루고 있어 정확한 경계선을 설정하기에 어려움이 있다.

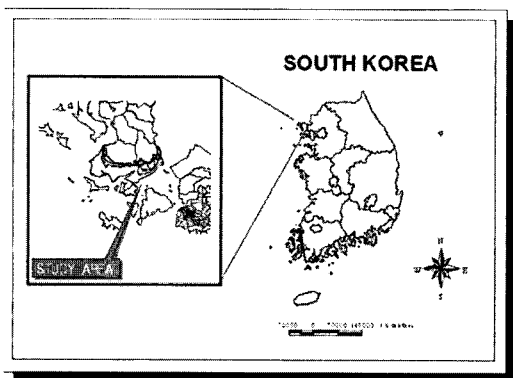
이러한 어려움에도 불구하고 수치모델링의 활용과 영상을 통한 갯벌 경계선의 추출 기술이 계속 발전하고 있어 영상을 통한 갯벌의 수치고도모델 작성은 지속적으로 그 정확성을 높여가고 있으며, 본 연구에서는 강화도 남단 갯벌의 조석 현상과 위성자료를 바탕으로 수치고도모델을 추출하는데 연구의 목적이 있다.

강화도 전체 갯벌의 면적은 최저 저조면 시 약 105km²에 달하며, 여차리-동막리-동검리를 잇는 남부지역 즉, 강화만의 갯벌은 육지로부터 최대 거리 약 6km, 면적 약 90km²로 강화도 갯벌 면적의 약 86%를 차지하고 있다(한국해양연구소, 1998a).

현재 강화도 남단 지역의 육역에 대한 수치지형도는 제작되어 있지 않다. 따라서 국립지리원에서 발행한 지형도(1:25,000)를 기본 입력자료로 사용하였다. 지형도에서 본 연구에 필요한 해안선, 갯벌 경계선 등을 스캐닝과 벡터라이징의 과정을 통해 추출하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 지형도 목록은 <표 1>과 같다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 강화도 남단 갯벌이다([그림 1]).



[그림 1] 연구지역의 공간적 범위

<표 1> 본 연구에 사용된 지형도의 목록

축척	도명	도엽번호	편집년도
1:25,000	석모	NJ 52-9-09-1	1975
	강화	NJ 52-9-09-2	1986
	장봉	NJ 52-9-09-3	1991
	신도	NJ 52-9-09-4	1986
	통진	NJ 52-9-10-1	1986
	영종	NJ 52-9-10-3	1986
1:50,000	강화	NJ 52-9-09	1986

본 연구의 수행방법은 다음과 같다. 먼저 지형도를 비롯한 기존 지리 정보들로부터 연구 대상지역의 적절한 공간적인

범위를 설정하고 기본도(base map)를 작성하였다. 여러 시기의 위성 영상들은 기하보정을 거친 후에 갯벌과 해수의 경계선을 추출하였다. 여기에서 추출된 여러 시기의 경계선에 해당 시기의 조위값을 고도값으로 입력하여 중첩시키고 보간법을 사용하여 갯벌의 수치고도모형을 생성하였다.

본 연구에 사용된 TM 영상은 표 2와 같으며, 기하보정된 99년 5월 21일 영상을 기준으로 나머지 영상들도 영상 대 영상 방식으로 기하보정을 하였다. 위성 영상의 처리는 ER-Mapper 6.0이 사용되었고, 지리정보시스템 작업에는 ESRI사의 ArcView GIS 3.2와 Arc/Info 8.0이 사용되었다.

위성자료에 의한 연안의 갯벌 경계선을 추출하는 방법은 Yun & Lee(2000)에 의한 실험적 방법과 윤여상(2001)처럼 CDA 기법을 적용한 해안선의 추출 등이 최근에 발표되었고, 안충현 등(1992)은 여러 시기의 Landsat TM 영상을 이용하여 갯벌의 지형변화를 관측하였다. 또한, Won et al.(1999)은 4개의 SAR 영상을 포함한 8개의 영상 자료를 사용하여 낙동강 하구의 연안 지형변화를 고찰하였다. Ryu et al.(2000)는 갯벌 지형의 변화를 고찰하기 위해 IRS-1C, Landsat-5 TM, ERS-1/2 등 여러 종류의 영상 자료를 사용하였으며, Chen et al.(1998)은 조간대의 해안선 변화를 살피기 위해 여러 시기의 SPOT 영상을 사용하였다.

Toll(1985)은 Canonical 변환을 TM과 MSS 영상 자료에 적용시켜 해안선을 추출하였다.

<표 2> 연구에 사용된 Landsat TM 자료

위성/센서 (Path/Row)	촬영시기	
	촬영일	촬영시간
Landsat-5 TM (116/34)	99-05-21	10:49:23
	99-03-02	10:50:15
	97-10-06	10:44:03
	96-09-01	10:27:58
	94-09-12	10:27:40
	93-05-20	10:33:31
	92-09-22	10:33:00
	92-03-30	10:35:07

본 연구에서는 해안과 갯벌의 경계선 추출을 위해 위의 선행연구를 바탕으로 먼저 TM Band 5만을 이용하여 해안선을 추출하고 이를 보정하였다. 96년, 97년, 99년의 서로 다른 4개 시점의 해안선 변화는 [그림 7]에서 확인할 수 있다.

3. 수치고도모델의 생성

본 연구에서 획득한 조위 측정값은 인천 검조소의 자료이므로 강화도 남단의 조위값과는 엄밀히 차이가 있다. 따라서 조석표에 나와 있는 개정수(조시차와 조고비)를 이용하여 강화도 남단 인근 지역의 조위값으로 계산을 하여 사용할 필요가 있다(조석표, 2000). 또한 조석 측정값은 매시간 별로 측정된 자료이기 때문에 보간법을 사용하여 실제 영상 촬영시간에 해당하는 조위값으로 변환하였다.

1) 강화도 인근 지역의 조위값 변환

표준항의 조시와 조고를 기준으로 인근 지역의 조시, 조고를 계산하는 식은 다음과 같다.

인천과 강화도 남단 인근의 지역으로 개정수와 비조화상수가 계산되어 있는 외포리, 영종도에 대한 개정수 및 비조화상수 값은 <표 3>과 같다.

① 영종도 지역의 조시 계산식: 영종도의 조시 = 표준항(인천항)의 조시 ± 영종도의 조시차

<표 3> 영종도와 외포리의 개정수와 비조화상수(국립해양조사원, 2000)

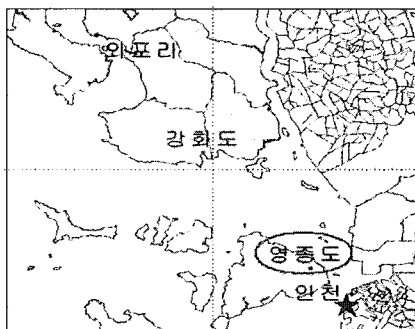
지명	위치(Position)		표준항	개정수(Corr.)		평균 고조간격	평균 저조간격	대조승 (Sp.R.)	소조승 (Np.R.)	평균해면 M.S.L. (Zo)
	위도 (Lat.)	경도 (Long.)		조시차 (Diff.)	조고비 (Ratio)					
	N	E		h m		h m	h m	cm	cm	cm
인천	37 28	126 36	인천	0 00	1.00	4 28	...	860	640	464
영종도	37 30	126 34	인천	+0 10	1.02	4 37	...	880	660	477
외포리	37 42	126 22	„	+0 40	0.96	4 58	...	840	640	457

정확히 강화도 남단 지역에 해당하는 개정수와 비조화상수 값이 제공되지 않고 있으므로, 강화도 남단 지역과 지리적으로 가장 가까운 영종도 지역의 값으로 계산하여 사용한다. 위의 표에 나온 지역의 좌표 값을 토대로 개정수가 적용될 영종도 지역의 위치는 [그림 2]과 같다.

② 영종도 지역의 조고 계산식: 영종도의 조고 = [표준항(인천항)의 조고 - 표준항(인천항)의 평균해면(Zo)] × 영종도의 조고비 + 영종도의 평균해면(Zo)

따라서, 인천 검조소에서 얻은 조위 실측자료에 조시차 +10분, 조고비 1.02, 평균해수면(Zo) 477cm를 적용하여 인천 검조소의 조위 실측치를 강화도 남단 지역에 가까운 값으로 변환한다. 예를 들어, 99년 5월 21일 인천항에서 오전 10시경 조위 실측값이 775cm인 경우, 영종도 지역의 경우는 조시가 10시 10분(10h + 10m)이 되고, 이 시간의 조고는 794.22cm((775 - 464) × 1.02 + 477)의 값을 가지게 된다.

이런 방식으로 영상 촬영일의 조위값을 강화도 인근의 조위값과 최대한 유사한 값으로 변환한 후, 이 값들을 보간하여



[그림 2] 인천 검조소와 개정수를 적용한 영종도 지역의 위치

최종적으로 정확한 영상 촬영 시기의 조위값을 산출해낸다.

2) 영상 촬영시간의 조위값 산출

경기만 지역의 조석이 일조부등의 모습을 보이는 점을 감안하여, 영상 촬영일에 실측된 시간별 조위 자료 중 Landsat-5 TM 영상 촬영시간(10시 30분경)을 전후로 각각 4시간, 6시간, 8시간, 10시간, 12시간 동안의 자료에 대해 각각 해당일의 조위 변화를 대표할 수 있는 추세선과 R2값을 계산하여 보았다. 다음은 99년 5월 21일의 조위 자료에 대해 이와 같은 작업을 수행한 결과이다. <표 4>는 99년 5월 21일의 조위 자료에 대해 이와 같은 작업을 수행한 결과이다.

<표 4> 각각 다른 시간폭의 조위 자료에 대한 조위값의 변화를 나타내는 R2(99년 5월 21일 자료)

시간 폭(h)	4	6	8	10	12
R2	1	1	0.9997	0.9992	0.9983

추세선을 계산해본 결과 6시간 이하의 자료를 사용할 경우에는 매일의 조위 변동을 대표하기에는 추세선이 너무 단순하다. 따라서, 일정하지 않은 조위값의 변동을 비교적 잘 드러내면서 R2값이 가장 나은 8시간 동안의 자료를 사용하여 영상 촬영 시간의 조위값을 보간하는 것이 가장 나은 것으로 판단된다.

보간법을 통해 조위 곡선식을 구하기 위해, Lagrange Interpolation을 사용하였다.

C 언어로 된 Lagrange Interpolation 코드를 작성하고, 이를 Visual C++ 프로그램에서 컴파일 및 실행시켰다. 실행시킨 프로그램에 영상 촬영일의 강화도 남단 해역 조위값으로 계산된 8시간 동안의 자료를 입력하여 회귀다항식을 구한 후, 이 식을 통해 영상 촬영 시간에 해당하는 조위값을 계산해내었다<표 5>.

최종적으로 위 표에서 계산된 조위값을 각 영상에서 추출한 갯벌 경계선의 고도값으로 사용하였다.

각각의 영상에서 추출된 갯벌 경계선에 조위값을 고도 정보로 입력하고, 이를 사용하여 수치고도모델을 작성하였다.

<표 5> Lagrange interpolation에 의해 계산된 조위값

영상 촬영일	촬영 시간	계산된 조위값
99-05-21	10.82	685.60
99-03-02	10.84	67.30
97-10-06	10.73	481.11
96-09-01	10.47	515.53
94-09-12	10.46	741.73
93-05-20	10.57	89.56
92-09-22	10.55	529.72
92-03-30	10.59	308.92

영상에서 추출된 갯벌의 경계선을 기본도 위에 중첩시킨 후, 각각의 영상 시기 별로 계산을 통해 나온 조위값을 입력하면 고도 정보를 가지는 등고선을 추출해

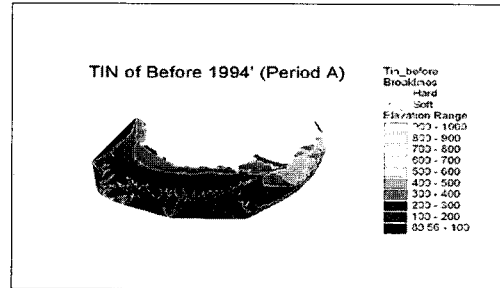
낼 수 있다. 이렇게 생성시킨 등고선들을 영종도 신공항 공사의 방조제가 완공된 1994년 말 이전(A 시기)과 이후(B 시기)로 나누어 작업을 진행하였다. 이는 신공항 공사가 강화도 남단 갯벌이 지형에 나름대로 큰 영향을 주었을 것이라고 판단되었기 때문이다. 각 영상에서 추출한 갯벌의 등고선들은 다음과 같이 두 시기로 나뉜다<표 6>.

<표 6> 영종도 신공항 개발 시기에 따른 위성영상 자료 분류 목록

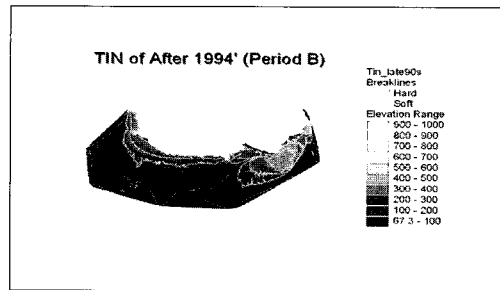
A 시기	B 시기
92-03-30	96-09-01
92-09-22	97-10-06
93-05-20	99-03-02
94-09-12	99-05-21

먼저 각 시기에 해당하는 갯벌의 등고선들과 해안선을 모아 하나의 레이어를 생성하였다. 여기에서 해안선은 지형도에서 추출한 것으로 고도값은 90년대 인천 지역의 조위자료의 극고조 값을 고려하여 1,000cm의 값을 부여하였다. 이에 대해 TIN(Triangulated irregular network)을 생성시키고, 이 TIN을 통해서 강화도 남단 갯벌의 등고선을 추출하였다.

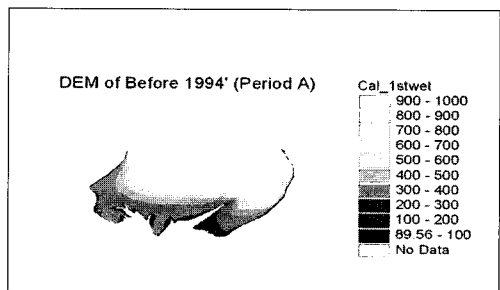
그리고 다시 TIN을 통해 셀 크기가 30m인 수치고도모델을 생성하였다. 이 과정을 통해 생성된 TIN[그림 3, 4]과 수치고도모델[그림 5, 6]은 다음과 같다.



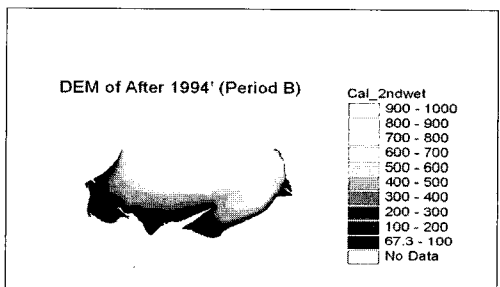
[그림 3] 1994년 이전의 TIN



[그림 4] 1994년 이후의 TIN



[그림 5] 1994년 이전의 DEM



[그림 6] 1994년 이후의 DEM

4. 결과 및 고찰

수치고도모델의 작성에 있어서 중요한 작업들은 영상으로부터 갯벌 경계선을 추출하는 것과 각각의 시기에 맞는 조위값을 계산하는 것이었다. 결국 갯벌 지역에 대한 수치고도모델을 정확하게 작성하기 위해서는 먼저 갯벌 경계선 추출과 조위값 계산의 정확도가 보장되어야 한다.

위성 영상을 활용하여 수치고도모델을 작성하는 과정에서 각 조위값에 해당하는 갯벌의 면적을 구할 수 있었다<표 7>.

이 표를 통해 조위에 따른 갯벌 면적의 변화를 살펴볼 때 1994년 이후인 B 시기

의 영상에서 추출한 갯벌 경계선으로 생성되었다. 이는 Landsat 위성의 재방문 주기가 16일로 긴 편이고, 갯벌의 경우 조위가 수시로 변하기 때문에 시간 해상도가 좋은 영상 자료를 확보하지 못한 데에서 기인한 결과이다. 앞서도 언급했듯, 갯벌의 모습은 인근 해역의 수리·수문에 의해서 수시로 변한다. 따라서 4, 5년 정도의 긴 기간 동안 수집한 영상 자료로 생성시킨 수치고도모델이 그 시기의 갯벌 지형을 대표한다고 하기엔 무리가 많을 것으로 여겨진다. 다만, 본 연구에서는 광학 위성 영상이 가지는 장점을 활용하고 확보한 자료들을 최대한 활용하여 갯벌의 지형 변화를 보여주기 위해 노력하였다.

<표 7> 영종도 신공항 개발 시기의 갯벌 면적

A 시기				B 시기			
조위값 (cm)	영상 촬영일	Polygon별 면적(km ²)	면적 (km ²)	조위값 (cm)	영상 촬영일	Polygon별 면적(km ²)	면적 (km ²)
741.73	94-09-12	6.43	6.43	685.60	99-05-21	4.60	4.60
529.72	92-09-22	16.42	22.85	515.53	96-09-01	13.16	17.76
308.92	92-03-30	43.94	66.79	481.11	97-10-06	13.56	31.32
89.56	93-05-20	13.07	79.86	67.30	99-03-02	57.72	89.04

에는 조위에 따른 갯벌의 면적이 대체적으로 감소했음을 알 수 있었다(그림 7, 8).

이는 강화도 인근의 인위적인 환경 변화가 갯벌에 유의미한 영향을 미쳤음을 의미한다. 다만, 변화 탐지의 측면에서 두 시기의 면적 변화를 정량적으로 비교할 수 있는 방법을 모색해야 할 것으로 여겨진다.

본 연구에서 작성한 강화도 남단 갯벌의 수치고도모델의 경우, 한 시기당 단지 4개

갯벌 조건대는 육역과 해역 사이에 존재하는 접이지대(transition zone)로서 지형과 수분 함량, 조위 등 그 환경의 변화가 시간, 기후, 계절에 따라 매우 심하다. 따라서, 갯벌의 경계를 정확하게 추출해내는 작업은 무척 어려운 일이다. 본 연구의 경우, 광학위성 영상의 중적외선 영역의 단일 밴드를 사용하여 화소값의 차이를 통해 갯벌 경계선을 추출한 것이다.

그런데, 실제 갯벌에서는 조석류와 얇은 해저면과의 마찰로 인해 혼탁류가 발생하여 명확한 경계선 설정에 큰 어려움이 발생한다.

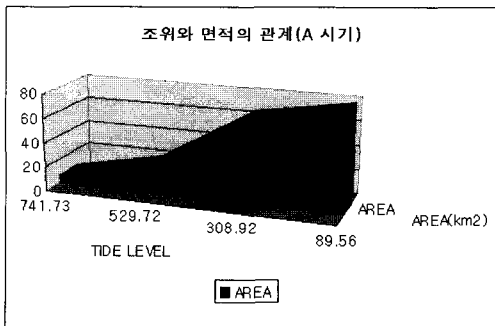
이를 개선하기 위해서는 먼저 연구 대상이 되는 특정 지역에서의 분광반사특성 실측이 필요하다. 그 지역의 다양한 환경(수심, 기상상태)에서의 분광반사특성을 조사하고, 또한 영상 촬영 시기와 시기적으로 정확히 일치하는 실측 자료를 확보하는 일이 중요하다. 이를 통해 영상에서의 갯벌 경계선 추출의 정확성을 높이는 방안을 고려해야 한다.

영상을 통해 좀더 정확한 갯벌의 수치고도모델을 제작하기 위해서는 먼저 짧은 기간 동안에 집중적으로 획득한 많은 영상자료를 확보해야 한다. 즉, 영상의 시간 해상도를 최대한 높여야 한다. 이는 곧, 다양한 조위에서 촬영된 영상 자료의 확보를 의미하기도 한다. 그리고 이와 더불어 기상의 제약을 적게 받는 마이크로웨이브 영상과 공간해상력이 좀더 나은 고해상도 영상 등 다양한 영상(multi-source)을 같이 사용하여 분석하는 방법론을 더욱 발전시켜야 할 것이다. 이를 통해 각각의 센서가 가지는 단점을 보완하면서

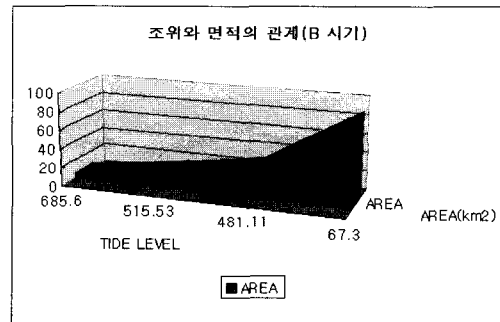
동시에 분석에 사용될 수 있는 자료의 양을 늘릴 수 있을 것이다.

본 연구에서 위성 영상과 조위 자료를 활용하여 갯벌 지형의 변화를 분석할 수 있는 방법을 모색해보았다. 갯벌 지형의 분석을 위해서는 면적과 고도 등 지리적인 요소들에 대한 분석과 더불어 퇴적상 분포 등 지질학적인 요소들을 같이 고려해야 한다. 이러한 측면에서 볼 때, 위성 영상 자료 외에 이를 보완할 수 있는 자료들을 같이 활용하는 방안이 필요하다고 판단된다. 따라서 퇴적상 실측 자료, 조위 자료 등을 같이 활용한 본 연구는 갯벌 지형 분석에 있어서 유의미한 방법론을 제시했다고 여겨진다.

앞으로 위성 영상 자료의 시간 해상력 향상, 광학 영상 외에 다른 종류의 영상 자료를 활용한 연구, 수치모델링을 이용한 조위 자료의 분석 등을 통해 좀더 정확한 갯벌 지형 분석 방법을 모색하고 이를 표준화시킬 필요가 있다. 이러한 연구들은 앞으로 갯벌 관리 단위의 설정과 갯벌 생물 서식 적합지 설정, 그리고 갯벌 관리 시스템 구축 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 7] 조위와 갯벌의 관계(A 시기)



[그림 8] 조위와 갯벌의 관계(B 시기)

참고문헌

- Chen, L.C. & J.Y. Rau, 1998, Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images, *International journal of remote sensing*, 19(17): 3383-3397.
- Ryu, J.H., W.J. Cho & J.S. Won, 2000, A Study on the Geomorphological Change in Tidal-flat using Multisource Remotely Sensed Data: A Case Study in the Gomso Bay, Korea, *Proc. IGARSS '2000*.
- Toll, D.L., 1985, *Landsat-4 Thematic Mapper Scene Characteristics of a Suburban and Rural Area*, *PE & RS*, 51(9): 1471-1482.
- Yun, Y.S & K.S. Lee, 2000, Extraction of Waterline on the Tidal Flat in Kyong-gi Bay using Optical Remote Sensor Data, *Proc. ISRS '2000*.
- Won, J.S., H.Y. Kim & J.H. Ryu, 1999, Coastal Geomorphologic Change Detection using SAR and Optical Remote Sensing Data at the Nakdong River Estuary, Korea, *Proc. IGARSS '99*.
- 국립해양조사원, 2000, 『조석표』 2000.
- 안충현, 이용국, 유홍룡, 오재경, 1989, 위성자료의 한국 급강 하구부근 조간대 지형 연구에 대한 응용, *대한원격탐사학회지*, 5(1): 1-12.
- 장현도, 오재경, 1991, 한강종합개발 이후 한강하구 및 경기만의 퇴적환경, *한국해양학회지*, 26(1): 13-23.
- 한국해양연구소, 1999, 『갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구』 (3차년도 연차보고서), 1998a, 『갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구』 (2차년도 연차보고서).