

다중시기 Landsat TM 영상을 이용한 화옹지구의 간척사업에 따른 갯벌면적의 변화 추정

Estimation of Areal Change in Hwa-ong Tidal Flat due to Sea Dike Construction Project using Multi-temporal Landsat TM Images

김 성 준*, 방 노 성**, 권 형 중***
Kim, Seong-Joon, Bang, Ro-Sung, Kwon, Hyung-Joong

Abstract

The purpose of this study is to suggest a simple estimation method of tidal flat areas using multi-temporal Landsat TM images due to the progress of sea dike construction for tidal land reclamation. As a case study, Hwa-ong project in which dike construction was started in 1991 and ended in 2002 was selected. Three pairs[4 images before and early stage of project (Feb. 8, May 31, Oct. 22 of 1991, Sept. 22 of 1992), 3 images in the middle of project (Feb. 22, April 10 of 1996, June 16 of 1997), and 3 images at the end of project (Jan. 16, May 7 of 2000, June 22 of 1999)] were designed and analysed using the observed tide levels at the time of acquiring Landsat images. Linear logarithmic regression equations were made from the relationships between tide level and tidal flat areas for each selected period, respectively. Based on 5 m of tide level, tidal flat areas inside and outside the dike have been increased to 332.4 ha and 89.3 ha during 10 years, respectively.

I. 서론

우리나라의 갯벌면적은 총 2,393 km²로 추정되고 있다 (해양수산부, 2002). 간척지(tidal flat)는 조간대(inter tidal zone)에서 조류로 운반된 자갈과 모래, 실트, 펄 등이 퇴적되어 만들어진 넓고 평탄한 퇴적지형으로서, 만조 때는 바닷물에 잠기고 간조 때는 노출된다 (조명희 등, 1997). 이러한 간척지의 만입부에 방조제를 축조하여 간척사업을 시행하면 농경지,

수자원 확보를 위한 담수호, 대규모 공단으로 이용될 수 있기 때문에 경지가 부족한 지역에서는 주요한 토지 자원이 된다 (Wagle 등, 1990).

특히, 서해안의 경우는 조위 및 지형특성상 최적의 간척환경을 가지고 있어, 1970년대부터 연안지역 개발을 위한 활발한 간척사업을 추진해 왔다. 이러한 사업들은 초기의 국토 확장, 수자원 확보라는 목적 하에 장기적인 국가 사업으로 진행되어 왔으나, 유역으로부터의 점

* 건국대학교 생명환경과학대학(kimsj@konkuk.ac.kr)

** (주)한국종합기술개발공사 수자원부

*** 건국대학교 생명환경과학대학 대학원

키워드: 원격탐사, Landsat TM, 간척, 갯벌면적

원 및 비점원 오염 처리, 담수호자체의 수질악화, 갯벌의 오염 등의 사회적인 문제로 대두되었다. 이 중에서 간척에 따른 갯벌의 변화는 해당지역의 연안 생태계에 미치는 영향이 크므로, 이를 탐지할 수 있는 과학적인 기법개발에 대한 연구가 필요하다.

현재, 갯벌 변화탐지의 경우 연구대상지역의 환경, 자료의 상태, 변화분석기법 등을 고려한 특정지역에 적용할 수 있는 적절한 간척지 변화탐지기법의 개발이 부족한 상태이다. 미국의 경우, 이용 가능한 원격탐사자료의 확보, 지상 실측 자료의 확보 정도에 따라 미국 내의 연안 지역들을 5-6년에 1번씩 감시하고 있다. 이처럼 국내에서도 계속되어지는 간척사업으로 인한 연안지형의 변화 및 해안선의 변화, 갯벌면적의 변화를 계속적으로 감시할 수 있는 적절한 변화탐지기법이 개발되어야 할 것이다.

원격탐사를 이용한 최근의 국내 관련연구로 어대수 등(1999)은 방조제 축조 후 연안의 해안지형과 퇴적환경 변화에 대하여 연구하였고, 조명희와 조하룡(1999)은 Landsat TM 영상을 이용하여 줄포만 간척지의 미지형분류와 지형적 특성을 파악한 바 있다. 류주형 등(2000)은 SAR (Synthetic Aperture Radar) 자료를 이용하여 조간대의 DEM (Digital Elevation Model)을 추출한 바 있으며, 조진

훈(2001)은 방조제 축조가 갯벌형성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 현재까지 설치되었거나 진행중인 방조제를 대상으로 해안퇴적에 영향을 미치는 인자들인 지형조건, 해안수리특성, 토사유출 등에 대해서 논의하였다. 박승우(2001)는 다시기 위성영상을 이용하여 아산만과 천수만의 간척지 미지형 분류 및 지형적 특성을 추출하여 시기별 갯벌 면적의 증감을 분석하고 그 결과를 고찰한 바 있다.

본 연구에서는 1990년에 시작하여 2002년에 최종 축조된 경기도 화성군과 용진군에 걸쳐 위치하는 화옹 간척지구를 대상으로, 방조제 축조 전과 축조 중의 Landsat TM 영상들을 이용하여 방조제 축조에 따른 시기별, 조위별 갯벌면적의 변화추이를 분석하였다.

II. 자료 및 방법

1. 연구지역

본 연구의 대상지역인 화옹 간척지구는 수원에서 남서방향으로 약 35 km 떨어진 경기도 화성군과 용진군에 위치하고 있다(Fig. 1). 서해안 특유의 전형적인 리아스식 해안 지형으로 만내 해안선의 굴곡이 심하며, 주위의 산세는 노년기에 접어든 구릉성 산지의 형태를 보이고

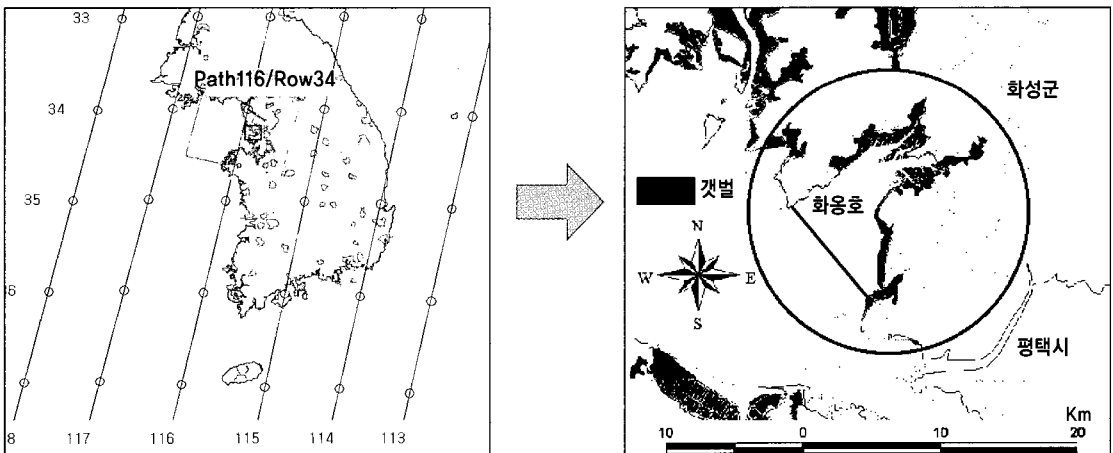


Fig. 1. Landsat-5 TM orbit in study area

있다. 본 지구의 방조제 공사는 1991년 9월에 시작하여 2002년 3월에 끝막이 공사가 완료되었으며, 총 방조제 길이는 9.8 km이다.

2. 조위자료의 수집

Landsat TM 영상의 주사시기에 대한 조위를 파악하기 위하여, 국립해양조사원으로부터 수집된 영상의 관측 일시와 일치하고, 대상지구에서 가까운 인천항에서 1991년 2월부터 2000년 5월 사이에 관측된 조위자료를 사용하였으며, 동 시기의 조위는 Fig. 2에서 볼 수 있다.

3. Landsat TM 영상자료의 선정 및 처리

방조제의 축조진행에 따른 갯벌면적의 변화를 추정하기 위하여 Table 1과 같이 방조제 시공 전(1991)·중(1996)·후(2000)를 반영한 Landsat TM 영상들을 선정하였으며, 같은시기의 조위를 정리하였다.

Landsat TM 영상처리를 위하여 ERDAS Imagine 8.4(1991)를 사용하였다. 해당지역의 방조제 끝, 도로 교차점, 건물 등 지상기준점(ground control points; GCP) 15개 지점을 선

정하여, 최근린내삽법(nearest neighbor method)으로 기하보정(geometric correction)을 실시하였다. 이때의 RMSE는 0.13 ~ 0.20 pixel로 나타났다.

밴드 구성은 원래의 분광밴드를 Tasseled Cap 변환(Crist and Cicone, 1984)을 통하여 축약하고 여러 연구자들에 의하여 개발된 지수밴드를 도입하여 분류의 정확도를 높이고자 하였다. 원래영상으로부터 Tasseled Cap 변환으로 추출된 3개의 밴드를 바탕으로 광물과 수분을 나타내는 추가적인 지수밴드로부터 주성분 분석과 상관분석에 의하여 얻어진 4개 밴드를 합하여 모두 7개의 새로운 밴드를 구성하여 분류에 사용하였다.

토지피복분류를 위하여 감독분류 기법인 최우도법(Maximum Likelihood Method)를 사용하였으며, 분류항목을 채효석 등(2002)과 같이 식생이 없는 갯벌, 식생으로 덮여있는 감조습지, 육지, 바다의 4 가지 항목으로 결정하였다. 분류정확도의 1차적인 평가로서 위성영상 자료의 분류결과를 객관적이고 정확하게 평가하고자 하는 가장 일반적인 방법 중의 하나인 오차행렬(error matrix)을 이용하여 분류정확도를 추출한 결과 95.1 %에서 98.5 %의 범위를 나타내었다. 분류정확도의 2차적인 평가는 실제 통계자료와

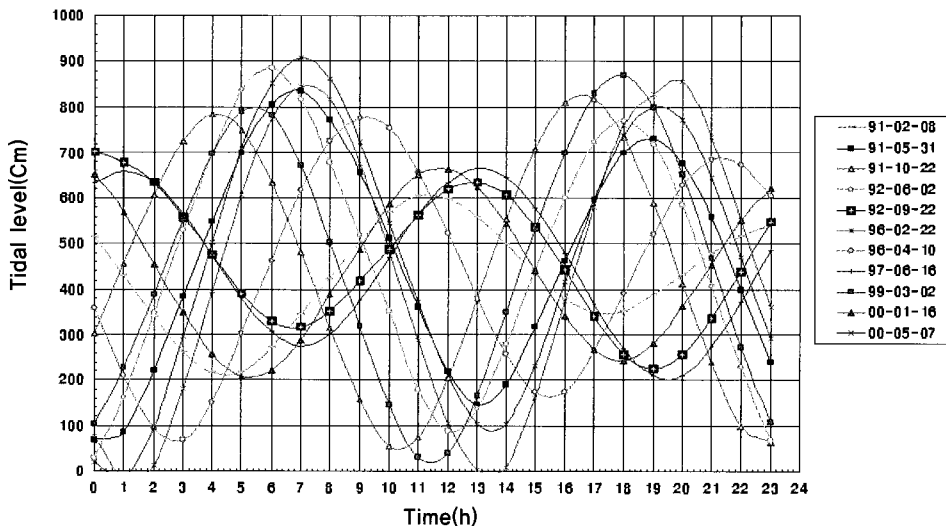
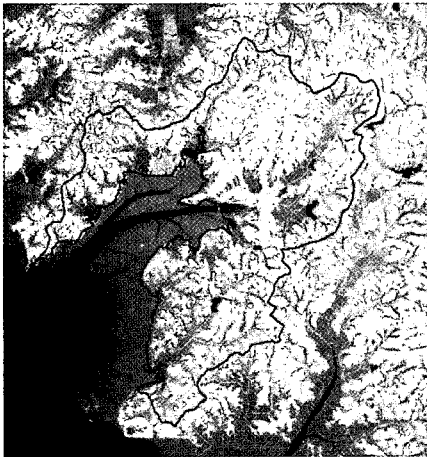


Fig. 2. Tidal levels during study period (1991~2000)

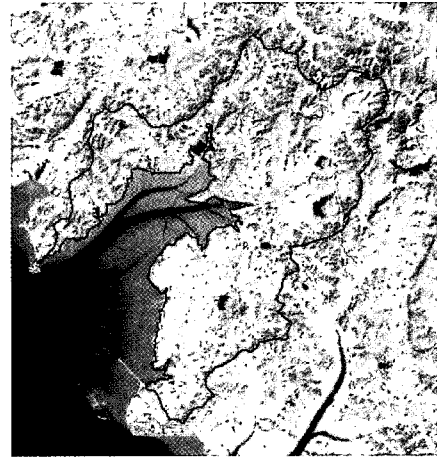
Table 1. Tidal levels at the time of acquiring Landsat TM images

Sea dike construction		Tide Level (cm)		Landsat TM		Sea dike length(km)
		Time	L. W. /H. W.	Acquired Time	Tide Level (cm)	
Before	1991/02/09	04:00/11:00	216/604	10:37	592	0.0
	1991/05/31	07:00/14:00	190/834	10:33	430	
	1991/10/22	10:00/17:00	54/819	10:34	48	
	1992/09/22	06:50/13:00	320/630	10:32	535	
Mid	1996/02/22	07:00/13:00	2/844	10:36	375	4.4
	1996/04/10	09:00/16:00	176/775	10:35	710	
	1997/06/16	07:00/13:00	274/666	10:35	535	
After	1999/06/22	06:00/13:00	117/690	10:29	550	8.3
	2000/01/16	05:00/12:00	208/663	10:35	628	
	2000/05/07	07:00/14:00	103/908	10:32	455	

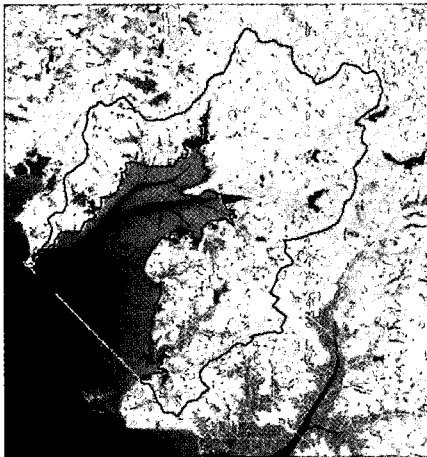
* L.W: Low Water Level, H.W: High Water Level



(a) 1991/05/31



(b) 1996/02/22



(c) 2000/05/07

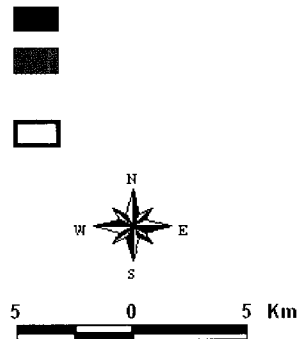


Fig. 3. Landsat TM Band 4 images

같은 레퍼런스 자료와의 비교를 수행하여야 하지만, 본 대상지역의 갯벌 면적에 대한 레퍼런스 자료의 획득이 곤란하였고, 본 연구의 목적은 같은 분류기법으로 분류된 년도별 갯벌 면적의 변화를 추정하는 것이므로 2차적인 정확도 평가는 수행하지 않았다.

III. 결과 및 고찰

1. 동일조위에 대한 갯벌 면적의 비교

Landsat TM 영상을 이용하여 다른 시기의 갯벌면적을 비교하기 위해서는 영상을 촬영한 시점의 조위가 동일하여야 한다. 따라서 10개의 영상 중에서 535 cm로 조위가 동일한 1992년 9월 22일과 1997년 6월 16일의 영상을 이용하여 비교하였다. 두 영상을 중첩시켜 비교한 결과는 Fig. 4와 같으며, 두 영상에 의한 갯벌면적의 변화는 Table 2와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 방조제 축조가 진행 중인 지역의 방조제 내측과 외측 모두 갯벌이 증가하였다. 방조제 공사 시작후 약 5년간 방조제 내측의 총 갯벌증가량은 179.9 ha로, 이 기간 동안의 연평균 증가량은 35.9 ha로 나타났다. 또한 방조제 외측에는 총 62.0 ha 증가하여 연 평균 12.4 ha의 증가량을 보였다.

방조제가 없는 만 내의 좌안측은 갯벌면적의 변화가 거의 없었다. 방조제 축조가 진행중인 우안측의 변화가 두드러지게 나타나는데, 그 이유는 다음과 같이 세 가지로 추정할 수 있다.

첫째, 방조제 공사 중 부유 토사가 조류에 의해 운반 퇴적되어 간석지 형성에 영향을 가져 왔으며, 대부분 홍수시 상류유역의 유실토양이 꾸준히 운반 퇴적된 것으로 보여진다.

둘째, 방조제 축조공사가 진행중인 지역의 내측 해안은 직접적인 파랑작용이 완화되어 방조제가 없는 쪽에서의 조류에 의해 운반된 토사 중 점토와 미립물질이 멀리까지 이동되어 하구에서 먼 후미진 해안에 퇴적되고, 모래와 같은 조립물질은 비교적 하구 가까운 곳에 퇴적된다.

셋째, Yakubovich 등(2001)에 의하면 해수면이 저조위에서 고조위로 상승하는 시간이 그 반대의 경우보다 짧은 것이 보통이므로 만조시의 조류유속이 간조시의 조류 유속보다 약 3배 빠르다. 따라서 간석지로 운반, 퇴적되는 물질의 양이 침식 제거되는 양보다 많기 때문에 갯벌이 증가한 것이라 볼 수 있다.

2. 조위별 갯벌 면적의 추정

조위에 따른 갯벌면적의 면적을 추정하기 위

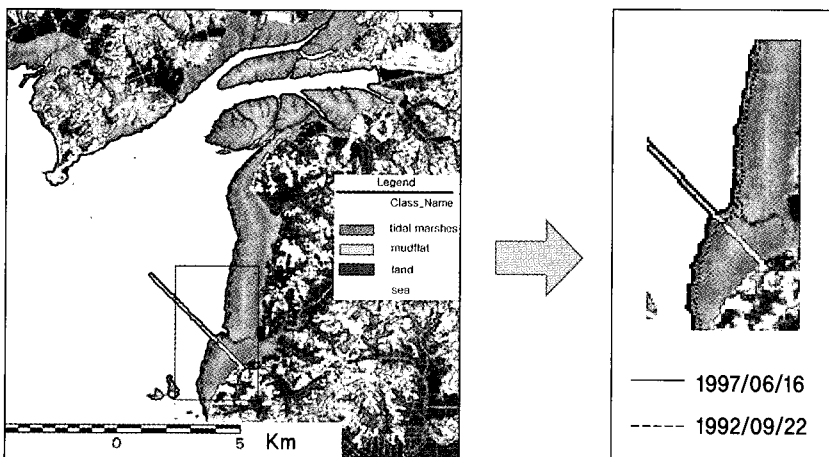


Fig. 4. Increasing tidal flat area by overlaying two Landsat TM Images of 1992 and 1997 of the equal tidal level

Table 2. Estimation of tidal flat area change by sea dike construction

Year	Mudflat (ha)	Increased Tidal flat Area(ha)				Watershed area (ha)
		Total		Yearly mean		
		Inside dike	Outside dike	Inside dike	Outside dike	
1992/09/22	3,487.5	0.0	0.0	0.0	0.0	23,448.8
1997/06/16	3,667.4	179.9	62.0	35.9	12.4	

하여, 영상으로 분류된 갯벌면적과 동일시각 조위간의 관계를 나타내고 있는 Fig 5는 (a) 방조제 시공 전의 3개 영상(1991/10/22, 1991/05/31, 1991/02/08), (b) 중기의 3개 영상(1996/02/22, 1996/04/10, 1997/06/16), (c) 후기의 3개 영상(1999/06/22, 2000/01/16, 2000/05/07)을 이용하여 추정된 조위와 갯벌면적 간의 관계를 도식한 것이다.

관계식을 이용하여 조위가 5m 일 때 방조제 축조에 따른 10년(1991-2000) 동안의 갯벌면적 변화를 추정한 결과 table 3과 같은 결과를 얻었다. 방조제 축조길이가 4.4 km (44.9 %) 진행되었던 1991년부터 1996년 사이의 갯벌면적은 방조제 내측에 총 145.6 ha증가하여 매년 29.1 ha가 증가한 것으로 나타났으며, 방조제 외측은 46.5 ha 증가하여 매년 9.3 ha 증가하였다. 방조제 축조 길이가 8.3 km (84.7 %)까지 진행된 1996년부터 2000년 사이에는 방조제 내측에 총 186.8 ha증가하여 매년 49.7 ha로 증가하였고 방조제 외측은 42.8 ha로 증가하여 매년 10.7 ha로 크게 증가한 것으로 나타났다. 이는 간척사업이 착수된 전반기 5년 동안 갯벌증가율 보다 후반기 4년 동안 갯벌증가율이 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 방조제가 전진함에 따라 방조제 공사중의 토사 퇴적과 더불어 파랑작용의 저감 그리고 외해로부터 유입되는 퇴적작용이 가속화된 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 경기도 화성군과 용진군에 걸쳐 위치하는 화옹 간척지구를 대상으로, 간척사업에 따른 방조제 축조 전과 축조 말기까지 Landsat TM 영상들을 이용하여 방조제 축조에 따른 시

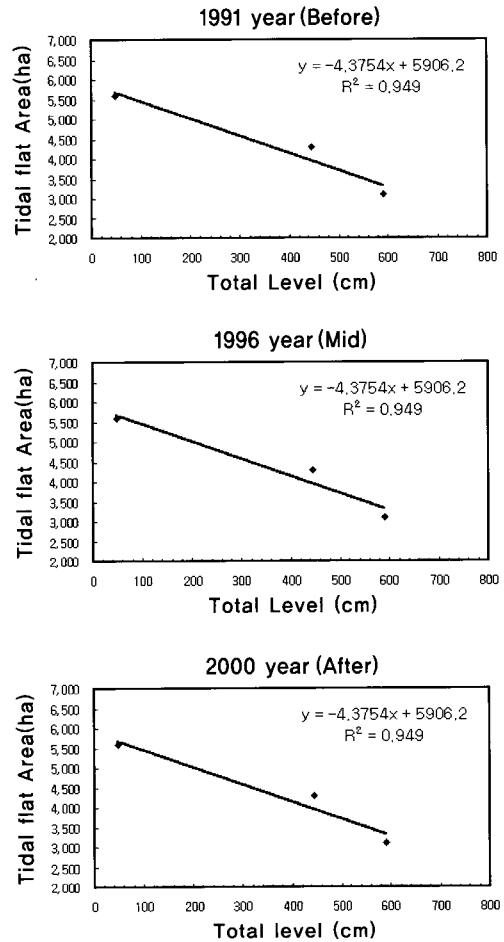


Fig. 5. Relationship between tidal level and tidal flat area

기별, 조위별 갯벌면적의 변화를 추정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조위가 535 cm로 동일했던 1992년 9월 22일과 1997년 6월 16일에 관측된 두 Landsat TM 위성영상을 분석한 결과, 간

Table 3. Tidal flat area change by sea dike construction using Landsat TM Multi-Images under 5 m tidal level

Year	Mudflat (ha)	Increased tidal flat area (ha)				Watershed Area (ha)
		Total		Yearly mean		
		Inside dike	Outside dike	Inside dike	Outside dike	
1991	3,692.3	-	-	-	-	23,448.8
1996	3,837.9	145.6	46.5	29.1	9.3	
2000	4,170.3	186.8	42.8	49.7	10.7	
Total (Average)		332.4	89.3	(36.9)	(9.9)	

척사업이 시작된 1991년부터 방조제 길이가 4.5 km 진행된 1997년까지 5개년 동안 방조제 내측에 총 179.9 ha의 갯벌이 증가하여 연 평균 35.9 ha 증가한 것으로 나타났으며, 방조제 외측에는 총 82 ha가 증가하여 연 평균 16.4 ha 증가한 것으로 나타났다.

2. 간척전후에 따른 갯벌면적 변화의 정량적 추정을 위하여 간척전 1991년(방조제 체절전), 간척 중기 1996년(방조제길이 4.4 km), 간척 후기 2000년(방조제길이 8.3 km)에 대하여 각각 3 scene의 Landsat TM 영상을 분석하여 조위-갯벌면적의 상관 관계식을 도출한 후, 5m 조위를 기준으로 이 기간동안의 갯벌면적 변화를 추정 한 결과, 간척사업 시작 후 10년 동안 방조제 내측의 갯벌면적은 총 332.4 ha 증가하여 연평균 36.9 ha 증가하였고, 방조제 외측은 89.3 ha 증가하여 연평균 9.9 ha 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 류주형, 조원진, 원중선, 이인태, 2000, 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성, 대한원격탐사학회지, 16(3), pp. 221-233.
- 박승우, 2001, 방조제 축조후 갯벌 형성에 관한 연구, 서울대학교 농업개발연구소, 연구보고서, pp. 133-190.
- 어대수, 최강원, 1999, 방조제 축조 후 연안의 해안지형과 퇴적환경 변화 연구, 농업기반공사 농
- 어촌연구원, 연구개발사업보고서, pp. 134-139.
- 조진훈, 2001, 해안방조제 설치와 갯벌형성에 관한 고찰, 농어촌과 환경, 71, pp. 26-37.
- 조명희, 조하룡, 1999, 위성영상을 이용한 줄포만 간척지의 미지형분류와 지형적 특성, 대한원격탐사학회지, 15(3), pp. 217-225.
- 채효석, 김성준, 김광은, 조명희, 이규성, 조기성, 김영섭, 2002, 환경원격탐사, Σ 시그마프레스, pp. 552-553.
- 해양수산부, 2002, 해양정책·R&D 동향, pp. 28.
- Crist, E. P, and R. C. Cicone., 1984. Comparisons of the dimensionality and features of simulated Landsat-4 MSS and TM data. Remote sensing of environment, 14, pp. 235-246
- ERDAS Inc. 1991, ERDAS Field Guide. Atlanta, Georgia, USA.
- Kauth, R. J., and G. S. Thomas., 1976, The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat. Proceedings, Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, IN: Laboratory for the Applications of Remote Sensing. pp. 41-51.
- Wagle, B. G., and N. H. Hashimi., 1990, Costal geomorphology of mahe island, Sey-chelles. International Journal of Remote Sensing. 11(2), pp. 281-188.
- Yakubovich, E. I., and D. A. Zenkovich., 2001. Matrix approach to Lagrangian fluid dynamics. J. Fluid Mech. 443, pp. 167-196.