

## 조력발전소 가동 후 시화호 내 조간대의 면적 변화

김민규·구분주<sup>†</sup>

한국해양과학기술원 생물연구본부

# The Intertidal Area in Lake Sihwa After Operation of the Tidal Power Plant

Minkyu Kim and Bon Joo Koo<sup>†</sup>

Biological Oceanography & Marine Biology Division, KIOST, Ansan 15627, Korea

### 요 약

본 연구의 목적은 시화호 조력발전소 가동 후에 새롭게 형성된 시화호 조간대의 면적과 시기별 면적변화를 분석하는 것이다. 조간대 면적 분석을 위해 원격탐사기법을 이용하여 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)을 추출하여 14.4 cm의 root mean square (rms) 오차를 갖는 정밀한 수준의 자료를 생산하였다. 시화호 조간대의 면적은 1910년대에는 165.1 km<sup>2</sup>, 방조제 완공 전인 1991년에는 115.2 km<sup>2</sup>, 2010년의 배수갑문 운영시기에는 5.6 km<sup>2</sup>, 조력발전소 가동 후인 2013년에는 20.3 km<sup>2</sup>의 시기별 변화를 보였다. 시화호 조간대는 시화방조제가 완공된 후에 거의 소멸되었으나, 2012년에 조력발전소가 가동되면서 규칙적인 조석환경 형성과 해수 유동량 증가로 인해 그 넓이가 크게 증가되었다. 조력발전소의 가동으로 형성된 시화호 조간대는 유례를 찾기 힘든 조간대 복원의 좋은 예이며, '훼손된 생태계 복원'의 전형적인 사례로서 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** – The intertidal area in Lake Sihwa formed after operation of Sihwa-Lake tidal power plant and the change of the area in Lake Sihwa by period were analyzed. For computation of the intertidal area, remote sensing techniques were applied and high resolution Digital Elevation Model (DEM) was generated with root mean square (rms) error 14.4 cm. The intertidal area was 165.1 km<sup>2</sup> in 1910s, 115.2 km<sup>2</sup> in 1991 before completion of Sihwa dyke, 5.6 km<sup>2</sup> in 2010 during the period on operation of sluice gate, and 20.3 km<sup>2</sup> in 2013 after operation of Sihwa tidal power plant. Intertidal in Lake Sihwa was nearly dissipated after completion of Sihwa dyke, but significantly increased with operation of Sihwa tidal power plant from April 2012 as developing a regular tide environment and increasing of sea water flux. The re-formation of tidal flat of Sihwa Lake is an uncommon case. This study that precisely analyzed on the area of artificially formed Sihwa tidal flat would be applicable for management and making conservation plan.

**Keywords:** Intertidal area(조간대 면적), Remote-sensing(원격탐사), Digital elevation model(수치표고모델), Lake Sihwa(시화호)

### 1. 서 론

과거 군자만으로 불리던 지금의 시화호 유역은 최고 9 m의 큰 조차와 지형적인 특성 때문에 넓은 조간대가 잘 발달되어 있었다. 사리포구, 마산포구, 대부도, 어도, 형도 등을 포함하는 군자만 내해의 주변 조간대에는 다양한 생물이 서식하였으며, 경기만 내에서 수산자원이 가장 풍부한 지역이었다(Statistics Korea[2013]). 그러

나 시화지구 대단위 간척종합개발 사업의 일환으로 진행된 안산신도시 및 안산·시화공단 개발과 시화방조제 건설로 인해 군자만과 그 내부의 조간대는 소실되었다. 시화방조제 건설은 내부 조간대의 소실뿐만 아니라 극심한 수질악화를 유발하였고(KORDI[1999]; Park *et al.*[2003]), 이에 정부는 시화호의 담수화를 포기하고 배수갑문 운영을 통한 해수화를 공식적으로 발표하기에 이른다(Kahng *et al.*[2005]). 그러나 배수갑문의 구조적인 문제와 해수유동량의 부족은 시화호 수질 및 생태계를 크게 개선시키지 못하였고(Jung [2000]), 이를 해결하기 위한 한 방편으로 시화호 조력발전소 건립을

<sup>†</sup>Corresponding author: bjoo@kiost.ac

추진하기에 이른다. 2012년에 시화조력발전소가 완공·가동되면서 시화호 수역에는 규칙적인 조석환경이 조성되었고, 이에 따라 시화호가장자리를 따라 소실되었던 갯벌이 다시 형성되었다.

최근 들어 조간대 복원의 중요성이 크게 대두되면서 일부 선진국에서는 기존 간척지를 역간척하거나(Eertman *et al.*[2002]; Gray *et al.*[2002]; Young and Ishiga[2014]), 인공습지 및 인공조간대를 조성하는 경우도 활발하다(Tong *et al.*[2013]; Wataru *et al.*[2014]). 국내의 경우에는 조간대 훼손 사례에 비해 복원 관련 사례는 크게 부족하며, 순천만 조간대와 장흥의 회진·신상간 매립지, 고창군 심원면 등의 일부지역을 대상으로 시범사업만이 진행되었을 뿐이다. 우리나라 조간대 개발사업은 수 조원의 예산이 투입된 대형 장기국책사업임에도 불구하고 심각한 환경문제가 발생한 경우에도 사업 중지나 취소 등을 결정할 수 있는 과학적 근거가 부족했다(예: 새만금종합개발사업, 영산강지구 대단위 간척종합개발사업 등). 이는 막대한 환경파괴와 경제적 손실로 직결되었다(Kang [2001]).

시화호 조력발전소가동 후, 시화호 해역에는 조간대가 새롭게 형성되었다. 이는 소실되었던 조간대가 다시 형성된 국내의 첫 사례일 뿐만 아니라 세계적으로도 드문 경우이다. 본 연구의 목적은 새롭게 형성된 시화호 조간대의 면적을 정밀하게 산출하는 것이며, 아울러 시화호 조성에 따른 시기별 조간대의 면적 변화를 산출하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구지역

본 연구의 조사지역은 시화호 내측에 형성된 조간대이며, 경기도 화성시 송산면 일대에 위치한 남측 조간대와 시흥시와 안산시에 걸쳐 건설 중인 시화 MTV (Multi Techno Valley) 앞의 북측 조간대를 포함한다(Fig. 1). 동쪽으로는 안산스피드웨이 지역까지 연구지역으로 설정하였으며, 유입 지천인 반월천, 동화천, 삼화천은 연구지역에 포함하지 않았다. 좌표상으로는 위도 37도 15분 ~ 27도 24분과 경도 126도 35분 ~ 126도 48분의 위경도에 해당하는 지역이다.

1994년에 시화방조제가 완공되면서 시화호 유역은 조석이 없는 호수환경으로 변화하였으며, 그 내측의 조간대는 사라졌다(Fig. 2). 이후 시화호는 극심한 수질악화 문제에 직면하였고, 1998년에 정부는 배수갑문을 통한 해수유통을 결정하면서 시화호의 담수화를 포기하기에 이르렀다. 이로 인해 시화호 내측에는 다시 불규칙한 조석이 만들어 졌으며, 수변부에는 제한적인 조간대가 형성되었다. 2012년부터는 시화호 조력발전소(tidal power plant, 이후 TPP)가 가동되면서 최고 -1.0 m에서 최저 -4.5 m 범위(평균해수면 기준)의 규칙적인 조석이 유지되었고, 시화호 내측에는 넓은 조간대가 새롭게 형성되었다.

### 2.2 조간대 면적 산출

시화호 조간대 면적은 원격탐사기법과 실고도 측량자료를 이용

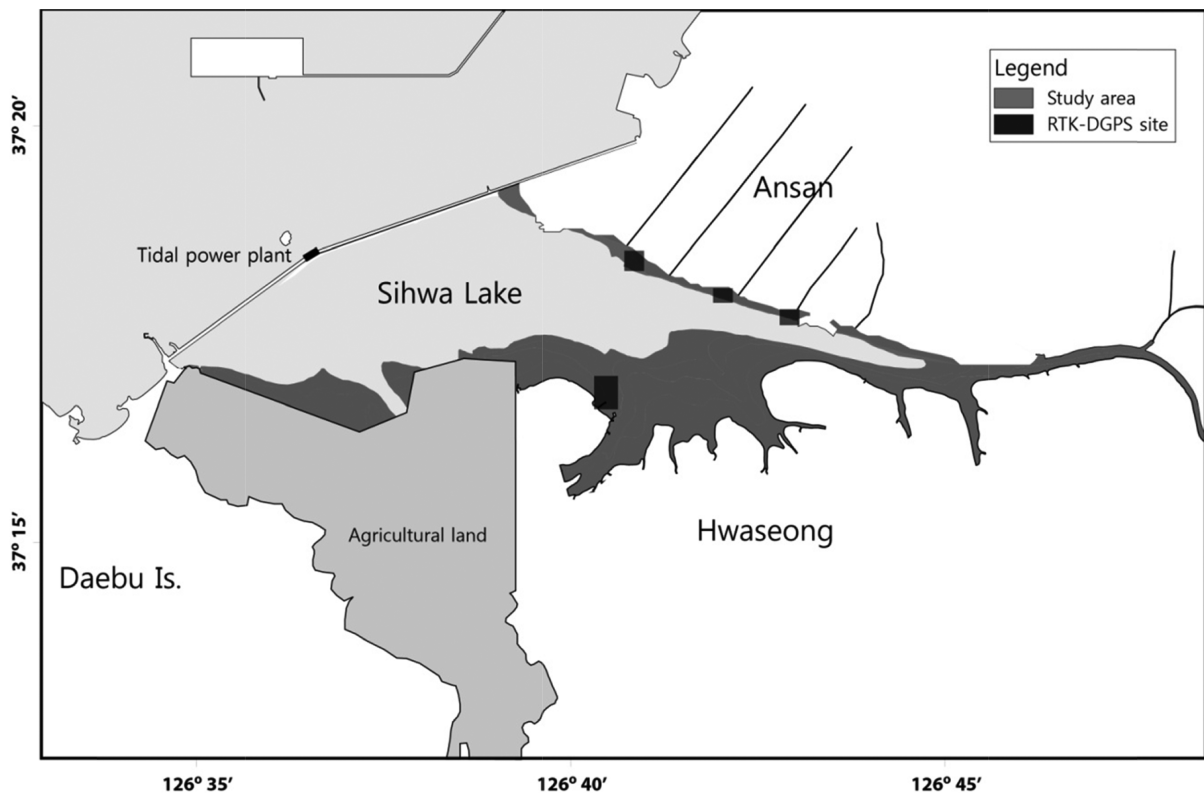


Fig. 1. A study area for analyzing an intertidal area in Lake Sihwa and sites for elevation measurement by RTK-DGPS for a calibration of extracted waterlines.

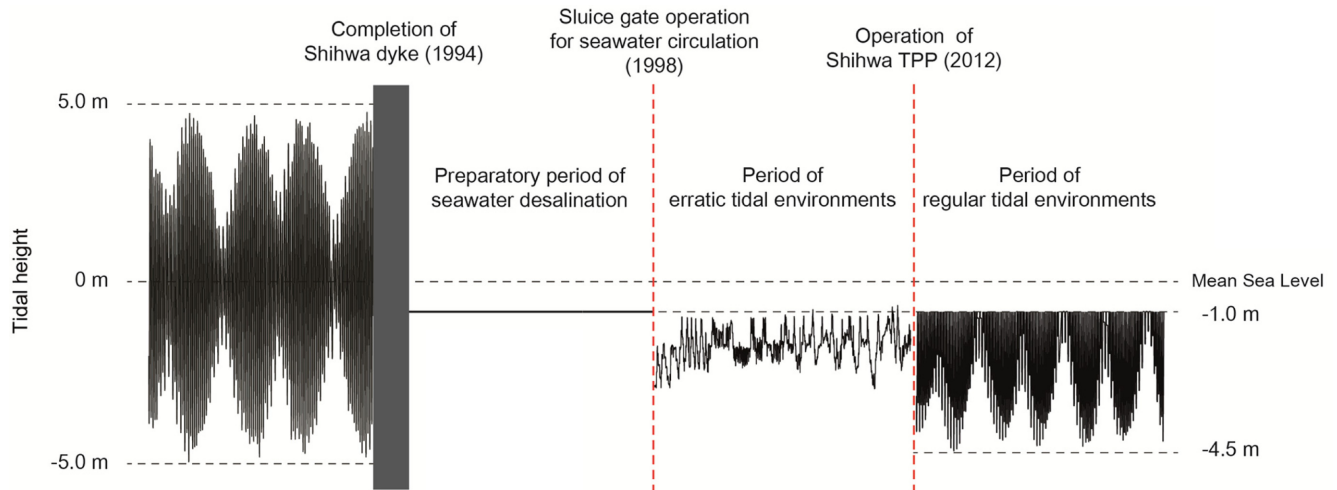


Fig. 2. The Chronological comparison of tidal environments in Lake Sihwa based on actual measurement data of tidal height measured by K-water.

하여 작성된 수치표고모델(digital elevation model, 이후 DEM)을 통해 산출되었다. 각 시기별 조간대 면적 분석을 위해 Landsat 5와 7의 영상이 총 22장 사용되었다. 1910년대 조간대 면적 산출에는 조선총독부 산하 육지측량부에서 실측한 1:50000 축적의 고지도를 이용하였다. 인공위성 영상은 구름에 의한 산란없이 분석이 가능한 구름피복도가 10% 이하인 영상을 미국지질조사소(United States Geological Survey: USGS)로부터 획득하였다. 시화방조제 완공 전인 1991년의 조간대 면적 분석에는 3장의 영상이 이용되었다. 시화방조제 완공 후, 배수갑문 운영시기인 2011년의 조간대 면적 산출에는 각각 6장의 2010년 영상과 5장의 2011년 영상이 이용되었다. 조력발전소 가동 후인 2013년의 조간대 면적 산출에는 4장의 2012년 영상과 4장의 2013년 영상(총 8장) 이 이용되었다(Table 1).

분석을 위해 획득된 모든 영상은 지상기준점(Ground Control Points, GCPs)을 선정하여 동일 좌표로 기하보정을 하였으며, 이 과정에서 발생한 root mean square (rms) 오차는 1.6 cm 이하였다. DEM은 Ryu *et al.*[2002]에서 제안한 waterline법을 이용하여 작성되었다. 기준기하보정이 실시된 영상으로부터 디지털이징(digitizing)을

통해 waterline을 수치화 하였으며, 이 과정에는 상용 프로그램인 ER-Mapper가 이용되었다. 해안선(waterline)의 추출은 density slicing 방법을 이용하였다. 이 방법은 물과 조간대의 경계를 이루는 영상의 digital number(DN) 값을 찾아내어 이를 경계로 두 지역을 구분하는 것으로 매우 간단하고 빠르게 해안선을 추출할 수 있는 방법이다. 특히, 상용 프로그램에서 막대도표(histogram)를 조절한 후 영상자료(raster)의 경계를 빠르게 분리(vectorize)할 수 있으므로 본 연구와 같이 많은 자료를 사용할 경우 편리하게 사용할 수 있다. 조간대지형에서 물과 조간대의 경계가 가장 뚜렷하게 나타나는 위성영상의 4번 밴드를 해안선 추출에 이용하였다(Ryu[2001]). Waterline 방법에 의해 생성되는 DEM의 정밀도는 waterline 추출의 정확도와 추출된 해안선에 얼마나 정밀한 절대고도 값을 대입할 수 있는지에 의해 결정된다(Choi *et al.*[2011]). 추출된 waterline에 실고도 측량값을 대입하여 좁으로써 조위가 측정된 조위관측소와 연구지역 간의 시·공간적 조위 오차값을 보완하고 DEM의 정밀도를 높일 수 있다(Koo and Kim[2013]). 실고도 측량은 국토지리정보원의 안양 458, 459 삼각점을 기준점으로 설정하여 실시하였다. 실고도 측량에 사용된 Leica Geosystems사의 RTK-DGPS는 X, Y 좌표 오차가 약 1 cm 이내이며 고도 오차(Z 좌표)는 약 2 cm 이내이다. 시화호 남측 및 북측조간대의 138개 정점에서 측량을 실시하였으며(Fig. 1), 측정된 고도자료는 조위 자료와 동일하게 평균해수면(Mean Sea level) 기준 고도로 환산한 후 해안선에 대입하여 정밀하게 보정하였다. 보정을 마친 해안선들을 최소곡률법(minimum curvature)을 통해 내·외삽하여 DEM을 생성하였다.

최종적으로 조간대 면적의 산출을 위해 약최저저조위(Lowest Low Water, 이후 LLW)와 해안선에 해당하는 waterline을 시기별로 생성된 DEM을 이용하여 추출한 후, 이 두 조위 사이의 범위를 조간대 면적으로 산출하였다. 예외적으로 1910년대의 조간대 면적 산출은 인공위성영상(reference image)을 이용하여 좌표체계를 입력하는 과정과 기하보정을 통해 수행되었다. 시화방조제 완공 후의

Table 1. The informations on Landsat image acquisition from USGS (United States Geological Survey)

Date	Tidal height (m)	Date	Tidal height (m)
1983-09-22	-3.4	2011-04-12	-1.5
1988-09-27	-4.1	2011-05-14	-1.3
1991-10-22	-3.9	2011-06-15	-2.2
2010-01-03	-1.2	2012-04-30	-1.6
2010-02-04	-1.6	2012-06-01	-2.4
2010-02-20	-2.0	2012-06-17	-2.0
2010-04-09	-2.2	2012-10-07	-1.0
2010-04-25	-2.3	2013-04-17	-1.1
2010-10-18	-1.4	2013-05-11	-2.5
2011-01-06	-2.0	2013-06-04	-1.9
2011-03-11	-1.7	2013-07-02	-1.5

조간대 면적 분석은 시화호 내측 최저운영조위를 약최저저조위로 설정하여 수행하였다. 조력발전소 가동 후인 2013년에는 시화호 최저목표조위인 -4.5 m까지의 범위를 조간대로 설정하여 면적을 산출하였다.

### 3. 결 과

시화호 조간대의 면적변화와 조력발전소 가동 후 형성된 조간대 면적을 파악하기 위하여 DEM을 생성하였으며(Fig. 3), 이를 통해 산출된 조간대의 면적을 비교하였다(Table 2, Fig. 4). 고지도 분석을 통해 산출된 1910년대의 조간대 면적은 약 165.1 km<sup>2</sup>이었다. 이 시기의 조간대 면적은 2013년의 경기도 전체 조간대 면적인 165.9 km<sup>2</sup>에 육박하는 넓이었다(e-나라지표[2013]). 시화방조제 완공 전인 1991년의 조간대 면적은 약 115.2 km<sup>2</sup>으로 산출되었다. 이 시기에는 안산 신도시 개발 사업과 시화지구 1단계 개발사업의 일환인 시화공업단지 조성사업과 시화방조제 건설공사 등으로 인하여 시화호 유역 내 조간대지역의 매립이 진행되었고, 이로 인해 1910년대의 조간대 면적에 비해 약 50.0 km<sup>2</sup>가 축소되었다.

담수화를 포기한 후부터 조력발전소 시험가동이 시작되기 전까지는 시화방조제 서측 끝에 위치한 배수갑문이 운영되었다. 배수갑문 운영을 통해 해수를 유입 및 유출함에 따라 불규칙하기는 하나 인공적인 해수면의 승강운동이 생겨났으며, 이로 인해 시화호 남단을 따라 높은 고도의 지역이 노출되며 조간대가 형성되었다(Figs. 2 and 4). 2010년의 조간대는 당시의 시화호 조위운영범위인 최고 -1.0 m, 최소 -2.0 m의 사이에 위치한 지역이다. 해당지역을 면적

화하여 산출된 조간대 면적은 약 5.6 km<sup>2</sup>이었으며, 이는 1910년대 조간대 면적을 기준으로 약 3% 수준이며, 시화방조제 완공 전(1991년)의 약 5% 수준이었다. 2011년에는 배수갑문 운영이 이전에 비해 상대적으로 규칙적이었으며, 조위운영범위가 최고 -1.0 m, 최저 -3.1 m로 증가되었다. 조력발전소 시험가동을 위한 고낙차 시험운영이 진행된 2011년 8월 전까지의 조간대 면적은 약최저저조위를 -3.1 m로 기준으로 설정하여 분석하였을 때 약 10.1 km<sup>2</sup>으로 산출되었다. 이 시기의 조간대 면적은 1910년대 조간대 면적 기준으로 약 6% 수준이며, 시화방조제 완공 전인 1991년의 조간대 면적의 약 10% 수준이었다.

조력발전소 가동 후에는 시화호 내측 기준조위가 -3.1 m에서 -4.5 m로 하강되었고, 이로 인한 해수유통량의 확대와 1일 2회의 배수 및 유입을 통한 규칙적인 조석환경의 형성으로 조력발전소 가동 전에 비해 조간대 면적이 크게 증가되었다(Table 2, Fig. 4). 2013년의 조간대 면적은 총 20.3 km<sup>2</sup>로 산출되었다(Fig. 5). 조위별 조간대 면적은 -1.0 m ~ -2.0 m 지역은 5.6 km<sup>2</sup>, -2.0 m ~ -3.0 m 지역은 4.4 km<sup>2</sup>, -3.0 m ~ -4.0 m 지역은 5.9 km<sup>2</sup>, -4.0 m ~ -4.5 m 지역은 4.4 km<sup>2</sup>의 범위를 보였다(Fig. 5). 멀티테크노밸리(Multi Techno Valley, MTV)가 위치한 시화호 북측조간대의 면적은 3.3 km<sup>2</sup>로 분석되었다. MTV와 맞닿은 해안선은 -3.5 m 조위에 형성되었으며, 따라서 -3.5 m ~ -4.5 m 조고 사이가 조간대로 형성되었다. 한편, 방아머리에서 우음도에 걸쳐 형성된 시화호 남측조간대를 따라서는 시화호 최고 관리조위인 -1.0 m 조위에 해안선이 형성되었으며, -1.0 m ~ -4.5 m의 조위에 해당하는 면적은 17.0 km<sup>2</sup>이었다.

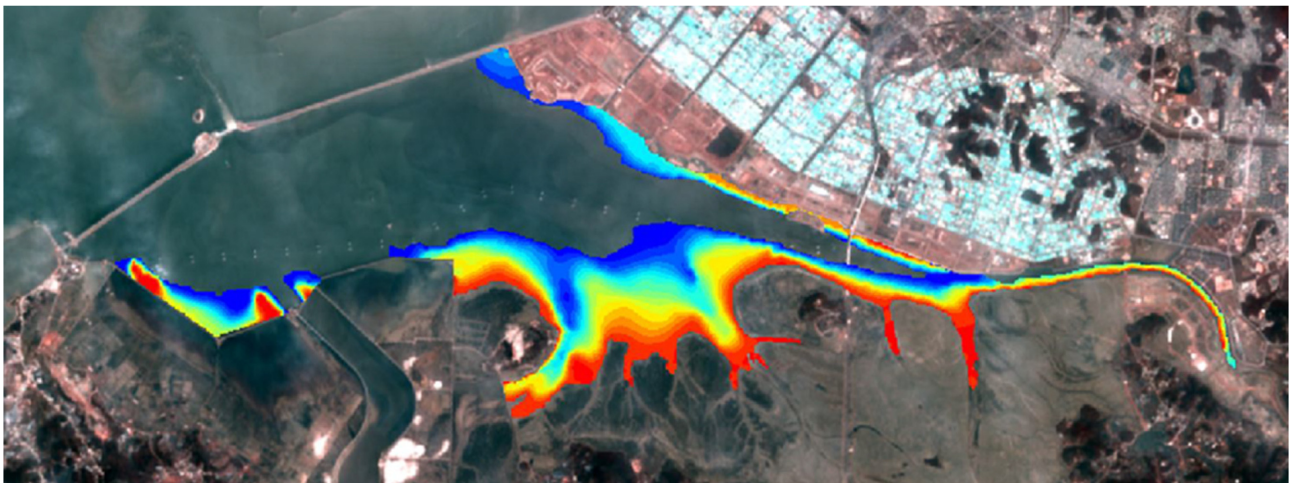
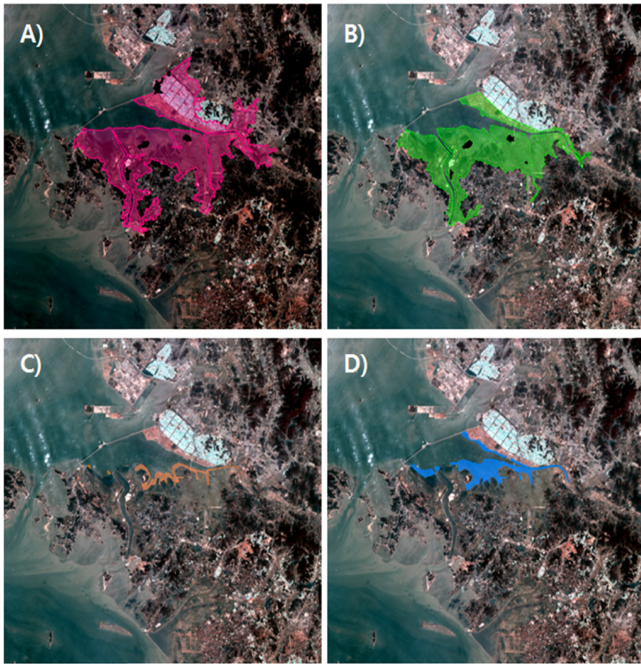


Fig. 3. DEM of intertidal in Lake Sihwa on 2013 generated by using remote-sensing techniques.

Table 2. Comparison of the area of Sihwa intertidal with time

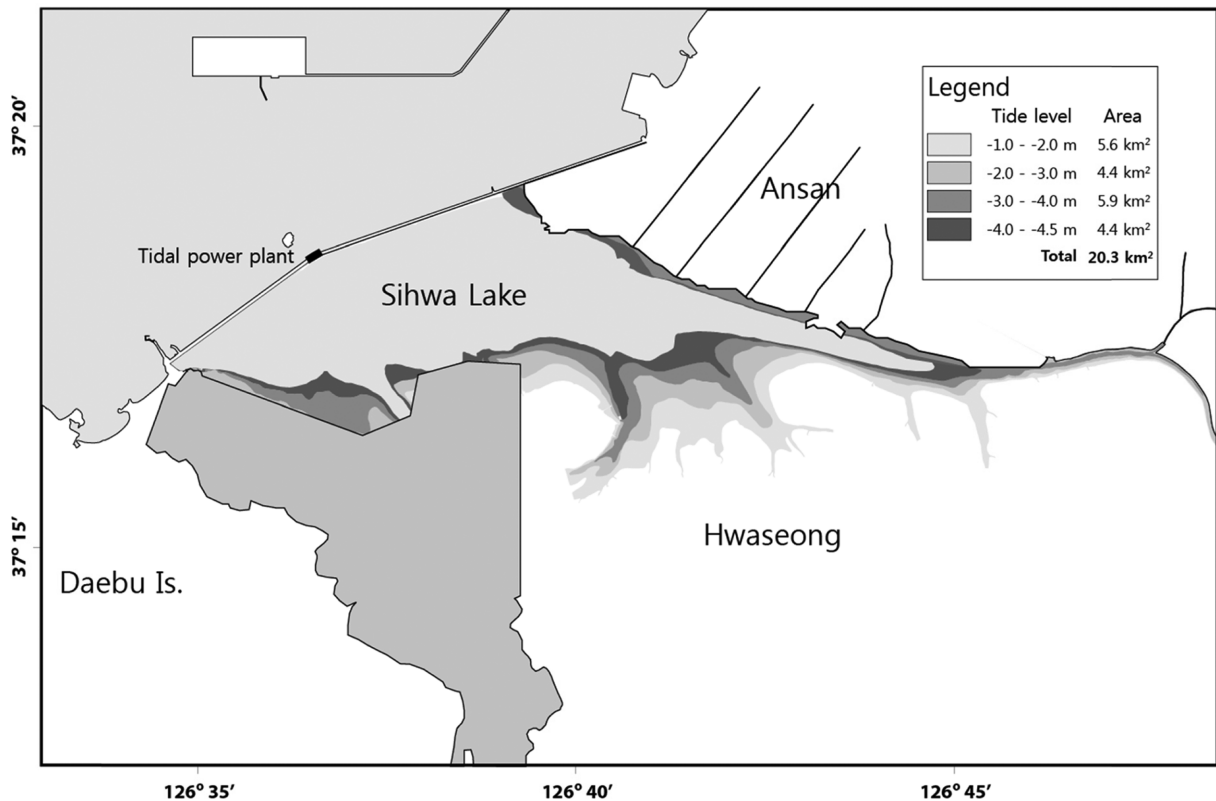
Year	Area of intertidal (km <sup>2</sup> )	Remark
1910'	165.1	Before 1 century
1991	115.2	3 years before the completion of construction for Sihwa dyke
2010	5.6	Period on operation of sluice gate
2013	20.3	After operation of Sihwa tidal power plant



**Fig. 4.** Temporal changes in intertidal area in Lake Sihwa. The areas were covered on Landsat 7 satellite image in 2014. A) 1910' (area computation with antique map of Geonggi Bay mapped by Japan), B) 1991 (before the construction of Sihwa dyke), 2010 (period on operation of sluice gate), D) 2013 (current area after operation of Sihwa tidal power plant).

### 4. 고 찰

원격탐사를 이용하여 조간대 DEM을 생성하는 방법에는 Radar Interferometry(InSAR)를 이용하는 방법, LIDAR(Light Detection and Ranging) 자료를 이용하는 방법과 위성영상자료로부터 waterline을 추출하는 방법 등이 있다(Greidanus[1999]; Chen and Rau[1998]; Ahn *et al.*[1992]; Ryu[2001]). 비행기를 이용한 InSAR와 LIDAR 방법은 정밀하고 효과적으로 조간대 지형을 파악할 수 있으나, 센서가 탑재된 비행기를 보유하고 있지 않은 나라에서는 자료를 획득하는데 여러 가지 제약이 있다. 그러나 본 연구에서 사용된 waterline 방법은 인공위성 영상자료를 사용하기 때문에 경제적이고 획득이 용이할 뿐만 아니라, 정밀한 수준의 연안지역 DEM을 생성할 수 있다. 본 연구에서 생성된 DEM의 root mean square (rms) 오차는 14.4 cm, 표준편차 2.0 cm의 정밀도를 나타냈다. 시흥조간대 DEM의 root mean rms 오차 9.4±4.4 cm (Koo and Kim[2013]), 곰소만 조간대 DEM의 rms 오차 10.9±7.3 cm (Ryu[2001])와 새만금 조간대 DEM의 rms 오차 9.9±9.8 cm (Na[2003])와 비교하였을 때, 본 연구에서 생성된 DEM은 다른 연구와 유사한 수준의 정밀도를 나타냈다. 그러나 본 연구를 통해 분석된 조간대 면적 산출 방법은 기술적으로 두 가지 한계를 갖는다. 첫 번째는 사용된 인공위성 영상의 공간해상도로 인해 발생한다. 분석에 사용된 Landsat 7위성영상은 30 m의 공간해상도를 가진다. 이는 조간대 면적 산출 과정 중 waterline 추



**Fig. 5.** Distribution map of intertidal area reproducing from DEM on 2013 with 4 tidal levels in Sihwa Lake after operation of the tidal power plant.

출의 정밀도에 영향을 주며, 면적 산출의 정확도에 영향을 미칠 수 있다. 두 번째는 위성영상이 획득된 시점에 의해 결정되는 시화호 내 조위 값의 다양성 부재이다. DEM을 생성하기 위해서는 조위별 waterline을 추출하는 것이 중요하다. 그러나 촬영시간이 오전 11시 시로 한정된 Landsat 위성영상으로는 다양한 조위 값을 확보하기에 어려움이 있었다. 제한적으로 얻어진 조위 값으로 생성된 DEM과 이를 이용한 조간대 면적 산출은 그 정확도에 있어 한계를 가지며, 앞서 언급한 두 가지 기술적인 한계를 고려하여 보다 정밀한 시화호 조간대 면적산출이 차후에 필요하다고 판단되었다.

시화호 사업은 한국의 간척역사에서 가장 심각한 환경계앙으로 인식된다(Koh *et al.*[2010]). 시화호는 우리 사회에 환경과 자연에 대해 새로운 시각을 제공한 일종의 분기점이 된 주제였다. 리우회담의 결과로 지구 자연환경에 대한 인식이 바뀌고 있을 무렵인 1994년의 시화호 수질 악화는 환경에 대한 평소의 우려를 한꺼번에 분출시킨 계기가 되었다. 이것은 습지, 특히 갯벌 보전운동이 확산되는 기폭 작용을 하였고, 1998년부터 본격적으로 시작된 새만금 간척사업의 중지와 반대의 모델 그리고 습지보전법 제정의 밑거름이 되기도 하였다(Koh *et al.*[2010]). 오염과 환경문제의 대명사로 여겨졌던 시화호는 2012년 조력발전소가 가동되면서 새로운 국면을 맞이하게 된다. 조력발전소가 가동되면서 시화호 수변부를 따라 넓은 조간대가 새롭게 형성된 것이다.

수문복원을 통한 해수유통은 조간대의 구조와 생태계에 영향을 미치는 주요 에너지이며, 조간대 면적의 증가는 조간대의 복원에서 본질적인 필요조건이다(Eertman *et al.*[2002]; Neckles *et al.*[2002]). 시화호 조간대는 형성된 지 얼마 지나지 않았지만 환경 및 생태계의 뚜렷한 회복이 감지되고 있다. 그 예로, 조력발전소 가동 이후에 여름철 수질악화 현상이 크게 개선되면서 조간대 퇴적물 내 유기물 함량이 자연상태의 토양이 갖는 범위로 감소되었다(MOF [2013], 본문 내 p.185). 물리적 환경요인의 개선은 시화호 조간대의 저서 생태계 개선에도 크게 기여하였다. 조력발전소 가동 후 시화호 조간대는 출현종수, 종다양도지수 등과 같은 저서동물군집의 제반지수가 꾸준히 증가하는 등 저서생태계의 안정화가 진행되었다(MOF[2013], 본문 내 pp.184-188).

방조제 건설을 통한 조간대 및 연안을 매립하는 간척사업은 지난 수십 년 동안 우리나라 곳곳에서 진행되었다. 하지만 간척으로 사라졌던 조간대가 조력발전소 가동을 통해 복원된 경우는 세계적으로도 그 유례가 극히 드물 정도로 독특한 사례이다. 본 연구의 결과는 향후 시화호 조간대 생태계 모니터링 및 복원을 위한 연구 등에 기반자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

1910년대 시화호 해역의 조간대 면적은 약 165.1 km<sup>2</sup>이었으나, 시화지구 대단위 간척종합개발 사업으로 1991년도에는 면적이 115.2 km<sup>2</sup>로 크게 축소되었다. 시화방조제가 완공되고 담수화가 진행된 시기에는 시화호 조간대는 거의 소실되었다. 정부가 담수화를

포기하고 배수갑문을 통한 해수유통을 시작한 후에 시화호 수변부를 따라 일부조간대가 형성되었으나, 그 면적은 2010년을 기준으로 5.6 km<sup>2</sup>로 1991년의 시화방조제 건설 전의 면적에 비해 5%에 불과하였다. 조력발전소를 본격 가동하면서 2013년에는 조간대 면적이 20.3 km<sup>2</sup>로 크게 증가되었다. 조력발전소의 운영에 의한 해수유통량의 증가는 시화호 조간대의 면적 증가뿐만 아니라, 물리환경 및 생태계의 개선을 촉진시킨 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 정부수탁사업(PG49022)과 한국해양과학기술원 기관고유사업(PE99298)의 일환으로 수행되었다.

## References

- [1] Ahn, C.H., Kajiwar, K., Tateishi, R., Yoo, H.R., 1992, "The Generation of a Digital Elevation Model in Tidal Flat Using Multitemporal Sateelite Data", Korean J. Remote Sens., Vol.8, No.2, 131-145.
- [2] Chen, L.C., Rau, J.Y., 1998, "Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images", Int. J. Remote Sens, Vol.19, No.17, 3383-3397.
- [3] Choi, J.K., Oh, H.J., Koo, B.J., Ryu, J.H., Lee, S., 2011, "Crustacean habitat potential mapping in a intertidal using remote sensing and GIS", Ecol Model, Vol.222, 1522-1533.
- [4] Eertman, R.H.M., Kornman, B.A., Stikvoork, E., Verbeek, H., 2002, "Restoration of the Sieperda Tidal Marsh in the Scheldt Estuary, the Netherlands", Restoration Ecol., Vol.10, No.3, 438-449.
- [5] Gray, A., Simentstad, C.A., Bottom, D.L., Cornwell, T.J., 2002, "Contrasting Functional Performance of Juvenile Salmon Habitat in Recovering Wetlands of the Salmon River Estuary, Oregon, U.S.A.", Restoration Ecol. Vol.10, No.3, 514-526.
- [6] Greidanus, H., Huising, E.J., Platschorre, Y., Van Bree, R.J.P., Halsema, D. Van, Vaessen, E.M.J., 1999, "Coastal DEMs with Cross-Track Interferometry", Proceedings of IGARSS 1999, Hamburg, Germany, CD-ROM version.
- [7] Jung, J.C., 2000, "The Effect Analysis of Water Quality Enhancement Using the Water Gate Control in Lake Sihwa", J. Korean Soc. Water Qual., Vol.16, No.1, 1-8.
- [8] Kang, D., 2001, "Energy Evaluation of the Kanghwa Intertidal", J. Korean Soc. Oceanography, Vol.36, No.2, 51-58.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries, 2000, "Studies for Sustainable Use of Intertidal in Korea", Korea Institute of Ocean Science and Technology, BSPM00072-00-1308-3, 1203 p.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries, 2003, "Studies for Sustainable Use of Intertidal in Korea", Korea Institute of Ocean Science and Technology, BSPM221-00-1610-3, 1130 p.
- [11] Na, Y.H., 2003, "study on surface change and optical reflectance of the Saemangeum intertidal by remote sensing", Master's thesis,

- Department of Earth System Sciences, Yonsei University, pp. 118.
- [12] Neckles, H.A., Dionne, M., Burdick, D.M., Roman, C.T., Buchsbaum, R., Hutchins, E., 2002, "A Monitoring Protocol to Assess Tidal Restoration of Salt Marshes on Local and Regional Scales", *Restoration Ecol.* Vol.10, No.3, 556-563.
- [13] Kahng, S.H., Kim, E.H., Koo, B.J., 2005, "Sustainable Development of Reclaimed Area in Lake Shihwa by Integrated Coastal Management", *J. Korean Wetlands Society.* Vol.7, No.1, 93-106.
- [14] Koh, C.H., Ryu, J., Khim, J.S., 2010, "The Saemangeum: History and Controversy", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng.*, Vol.13, No.4, 327-334.
- [15] Koo, B.J., Kim, M., 2013, "Analysis on Topography and Exposure Duration of Siheung Intertidal Using Remote Sensing Techniques", *Ocean and Polar Res.*, Vol.35, No.4, 291-298.
- [16] KORDI, 1999, "Report on study of environmental changes and establishment of conservation countermeasure for Lakes Shihwa", KORDI, 363 p.
- [17] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2013, "Annual report of project to improve the marine environments of the Shihwa Lake", Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST), 145-189.
- [18] Park, J.K., Kim, E.S., Cho, S.R., Kim, K.T., Park, Y.C., 2003 "Annual variation of water qualities in the Shihwa Lake", *Ocean and Polar Res.*, Vol.25, No.4, 459-468.
- [19] Ryu, J.H., 2001, "Quantitative estimation of geomorphologic change and analysis of sediment characterization in Gomso Bay intertidal by remote sensing", Doctoral thesis, Department of Earth System Sciences, Yonsei University, pp. 127.
- [20] Ryu, J.H., Won, J.S., Min, K.D., 2002, "Waterline extraction from Landsat TM in a intertidal: A case study in Gomso Bay, Korea", *Remote Sens. Environ.*, Vol.83, 443-457.
- [21] Statistics Korea, 2013, Statistical Data of Census of Fisheries, <http://www.kosta.go.kr/>. Accessed 13 Mar 2014.
- [22] Statistics Korea, 2013, Statistical data of intertidal change, <http://www.kosta.go.kr/>. Accessed 1 Aug 2014.
- [23] Tong, C., Baustian, J.J., Graham, S.A., Mendelssohn, I.A., 2013 "Salt marsh restoration with sediment-slurry application: Effects on benthic macroinvertebrates and associated soil-plant variables", *Ecol. Eng.*, Vol.51, 151-160.
- [24] U.S. Geological Survey, 2014, Image data of Landsat 5, 7, <http://glovis.usgs.gov/>, Accessed 13 Mar 2014.
- [25] Wataru, N., Yoichi, N., Satoshi, N., Tetsuji, O., Tsuyoshi, I., Mitsumasa, O., 2014 "Macrobenthic succession and characteristics of a man-made intertidal sandflat constructed in the diversion channel of the Ohta River Estuary", *Mar. Pollut. Bull.*, Vol.82, No.1-2, 101-108.
- [26] Young, S.M., Ishiga, H., 2014 "Environmental change of the fluvial-estuary system in relation to Arase Dam removal of the Yatsushiro intertidal, SW Kyushu, Japan", *Environmental Earth Sciences*, 1-14.

---

Received 13 July 2015

Revised 13 August 2015

Accepted 21 August 2015