

## LANDSAT 위성사진을 활용한 한강하구 산남습지 인근 하안선 변화 연구

윤석준·이삼희\*·장창환\*\*

한국건설기술연구원, 국토보전연구본부

\*한국건설기술연구원, 국토보전연구본부

\*\*특허청, 건설기술심사과

### Study of Riverline Change around Sannam Wetland in the Hangang River Estuary using LANDSAT Image Processing

Sukzun Youn·Samhee Lee\*·Changhwan Jang\*\*

Department of Land, Water, and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*Department of Land, Water, and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*Construction Technology Examination Division, Korean Intellectual Property Office

(Received : 02 March 2021, Revised : 08 April 2021, Accepted : 26 April 2021)

#### 요약

하구둑 없이 자연적으로 열린 한강하구는 한강, 임진강, 예성강의 흐름과 서해의 조류가 만나는 곳이기 때문에 하도수리적인 '작용(impact)-응답(response)' 구조가 복잡하다. 민간인 통제 구간에서도 군부대 통제 하에 극히 제한된 장소와 시간에 만 접근 조사가 가능하다. 2020년에는 8월 홍수에 유실된 지뢰 발견, 코로나-19 확산에 따른 관계기관 대면 접촉 제약 등의 이유로 현장 조사가 어려움이 있었다. 이러한 상황을 토대로 비대면, 비접촉 하안선 변화 조사 방법의 필요성이 제기되었다. 이의 대응 연구 수단으로써 공간 정보 분석 프로그램인 QGIS를 기반으로 미국 USGS가 운영하는 LANDSAT의 위성 사진을 수집하여 영상처리 후 복잡한 하천지형 변화 양상을 분석하는 방법을 택하였다. 연구대상은 한강하구 산남습지 인근으로 설정하였다. 결과적으로 장기적 관점에서는 산남습지를 기준으로 하류에서는 침식 영향이 큰 것으로 나타났으며, 상류에서는 미미한 퇴적 현상이 나타났다. 위성사진 오차를 고려한다면 하천관리 측면에서는 과거 하천측량 자료를 바탕으로 비교 검토해볼 때 거의 변화가 없는 것으로 평가되면서 이 방법의 유효성이 입증되었다. 산남습지 인근 지역은 포괄적인 시간 관점에서 볼 때 조석 영향이 상류로부터 유입되는 흐름의 영향보다 큰 것으로 나타났다. 즉 조류에 의한 응답(사주의 거동 양상) 구조의 패턴 변화가 한강하구 인근의 하천시설물의 피해 유발에 더 작용하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 향후 이를 감안한 적절한 하천관리 방안이 모색되어야 할 것이다.

핵심용어 : 한강하구, 하도 변화, 하안선 변화, 중규모 하상파, 산남습지, 위성사진, LANDSAT

#### Abstract

The naturally opened Han river estuary is a place where the flows of the Han river, Imjin river, Yaesung river meet with West Sea of Korea, so the hydrodynamic mechanism(Impact-Response) structure of Han river estuary is complex. Continuous observation and measurement due to the morphological characteristics at the estuary are required to maintain the estuary environment and river management facilities. However, the Sannam wetland(the study area) is in the military operation area. Therefore, Sannam wetland has the limited access under the control from military office. In 2020, there had a natural disaster due to flooding in August and COVID-19, and it made a survey hard. The noncontact survey technique, the analysis of LANDSAT images at Sannam wetland, was applied to analyze riverbed fluctuation and morphological transformation around Sannam wetland. LANDSAT images obtained from EarthExplorer, USGS and analyzed by QGIS. The analysis was performed based on the area and the distance near Sannam wetland. As a result, an erosion was happened

\*To whom correspondence should be addressed.

Department of Land, Water, and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

E-mail: samhee.lee@kict.re.kr

- **Sukzun Youn** Department of Land, Water, and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology / Researcher (sukzunyoun@kict.re.kr)
- **Samhee Lee** Department of Land, Water, and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology / Senior Research Fellow (samhee.lee@kict.re.kr)
- **Changhwan Jang** Construction Technology Examination Division, Korean Intellectual Property Office / Senior Examiner (cjang@korea.kr)

on the downstream of the study area, and the upstream of the study area did not have any serious sediment transport. Considering the resolution of LANDSAT images, this noncontact survey technique is applicable to manage the study area. From the analysis of LANDSAT images, it is assumed that the tidal effect is greater than the inflow from the upstream. The pattern change of tidal response causes the damage of the river facilities near the Hangang river estuary.

Key words : Han river estuary, Riverbed fluctuation, Riverline change, Sannam wetland, Satellite image

## 1. 서 론

조수간만의 차가 큰 한강하구는 서해로 개방되어 있으며 한강, 임진강, 예성강의 흐름이 만나는 곳이다. 이에 따라 이곳에서는 지형변화를 유발하는 영력(營力)인 흐름 에너지로 표현되는 작용(impact)과 이에 따라 하도 형태가 반응하는 응답(response)이 상호 관계하고 있어 하도수리적 특성이 복잡하다.

한편 한강하구역을 둘러싸고 수변 개발이 활발하고, 하도 내 부존자원의 가치에 대한 관심이 높아지고 있다. 더욱이 통일대비 지정학적 의미에 대해 재평가되면서 주목받고 있는 곳이 되고 있다. 이러한 가운데 하천시설물의 유실, 하천생태계 왜곡, 홍수통수능력 저하 등 하천관리 상의 현안이 사회적 이슈로 부상하고 있다. 그런데도 한강하구 지형변화에 관한 선행 연구는 부족한 지형변화 관측 자료와 군작전에 따른 접근 제한 탓에 미미한 실정이다(Hwang et al., 2007; Lee et al., 2014; 서울지방국토관리청, 2005; 한강홍수통제소, 2008~2016). 한강하구 영역에는 경작활동과 내수면 어로작업을 위해 민간인이 제한적으로 출입하는 구간에도 군부대 허가 하에 한강하구의 극히 한정된 장소와 시간에만 접근 조사가 가능한 것도 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 최근 한국건설기술연구원에서 한강하구역의 하안선 변화 등 하천지형 동향에 대한 장기 모니터링 사업을 착수하였다(KICT, 2019). 그런데 2020년에는 허가된 조사구간마저 8월 홍수에 유실된 지뢰 발견, 코로나-19 확산에 따른 관계기관 대면 접촉 제한 등의 이유로 현장 조사 그 자체에 어려움이 있었다(KICT, 2020).

하안선 변화는 단기적 변화보다는 장기적 변화를 추적 조사하는 것이 중요한데, 이는 지형 회복력이 고려되어야 하기 때문이다. 단기적 변화는 순간적인 대규모 에너지에 의해 발생하므로

장기적 변화와 비교하면 회복력이 더 빠르게 작용한다. 하지만 장기 변화는 반복적이고 소·중규모의 에너지 교환에 따라 나타나므로 지속적 지형변화를 대변한다고 할 수 있다. 이런 가운데 전 지구적 기후변화로 자연재해 피해가 증가하는 현 상황에서 식물과 상호 작용으로 수역이던 곳이 장기적 지형변화에 따라 육역화 과정을 거쳐 고착화되면 하천 흐름에 영향을 끼쳐 홍수에 따른 재해 잠재성이 높아졌다. 따라서 한강하구역의 지형변화 과정을 이해하고 기후변화에 따른 적절한 대책을 수립하기 위해서는 장기적 지형변화 양상을 분석하는 것이 필요하다(Fig. 1).

하지만 대상지역은 관계기관의 허가 없이는 항공사진 입수, 드론 촬영, 현장 측량, 3D 스캐너 관측 등이 제한된다. 더군다나 주변의 관측 가능 지점에서 과거 자료 부족, 관측 기기 이상이나 유실에 따른 결측 등으로 말미암아 부족한 현장 자료에 의존한 장기 지형변화 양상의 분석은 사실상 어려웠다. 그래서 본 연구에서는 이와 같은 불리한 여건을 극복하기 위하여 비대면, 비접촉 조사 방법으로 공간 정보 자료 활용 가능성에 대해 검토하고 이에 따른 결과를 바탕으로 기존 연구와 비교·분석하였다.

## 2. 한강하구 하안선 변화 연구 동향

한강하구역에서 하천지형 조사를 포함한 하상변동 조사에 대한 필요성은 1999년 경기 북부 대홍수해를 계기로 제기되었다. 이때 홍수해에 대한 항구대책 일환으로 2001년에 이루어진 체계적인 하상변동조사를 통해 임진강을 포함한 한강하류역에서 일방향으로 퇴적이 지배했던 현상이 홍수해의 한 원인이라는 사실이 밝혀졌기 때문이다. 이에 따라 한강하류부 하상변동 조사 사업을 서울지방국토관리청에 이어 한강홍수통제소

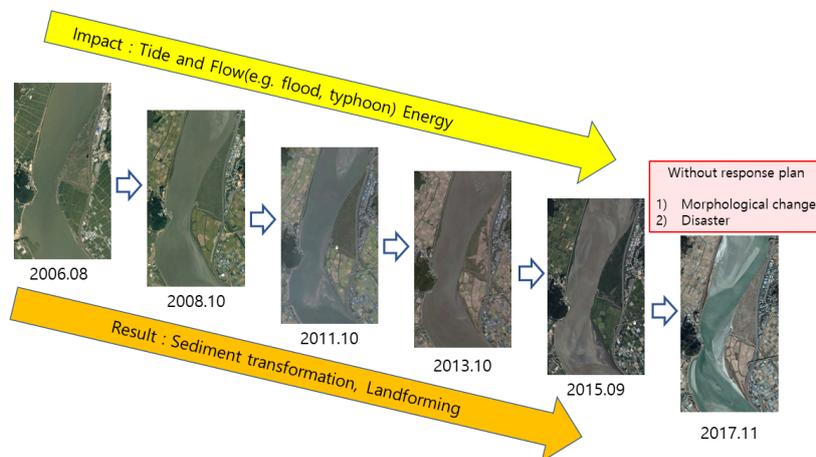


Fig. 1. Images for riverline and riverbed change in Han river estuary by Google earth pro.

에서 2003년에서 2010년까지 실시하였다. 여기서 도출한 성과로 국내에서 한강하구역의 복잡한 하도특성에 대해 주목을 받게 되었고, Hwang et al. (2007)이 홍수와 조석에 따른 한강하구의 특이한 하상변동 영향을 학회에 발표한 바가 있다. 이후 한강하구역을 둘러싼 지형변화를 비롯한 여러 하도변화 조사 사업이 이루어지고 있다. 2011년 재해가 발생한 문발제 보강 대책 일환으로 중규모 하상파와 유사거동에 대한 조사 사업이 이루어졌고, 이때 하중주 발달이 하안선 변화에 크게 영향을 미친다는 연구 결과를 도출하였다(Lee et al., 2014). 한편 국토부 주관으로 전국 국가하천 하천변화 모니터링 및 평가 차원에서 한강하구역에 대한 조사 사업(2015년~2016년), 하천정비 차원에서 이루어지는 한강하구 하천기본계획 사업의 일환인 하상변동 조사 사업에서 하천 측량 중심으로 하천지형 변화를 조사한 바가 있었다. 여기서 한강하구역은 일반 하천과 달리 복잡한 하상변동 현상이 일어나고 있어, 이에 대한 적절한 대책(준설, 수제 등)을 제안하고 있다.

그러나 앞에서 언급한 바와 같은 현장 조사와 수치모형에 의한 한강하구의 연구 사례는 있지만, 하천지형 변화를 장기적 관점에서 분석해 비접촉, 비대면 관점에서 예측하는 연구는 충분하게 이루어지지 못한 실정이다. 이러한 배경에는 위성 관측 시작 시점과 장비의 연구 개발이 다른 선진국에 비하여 뒤쳐져서 장기 하안선 변화를 연구하기 위한 위성사진의 부족이 그 원인인 것으로 판단된다. 인공위성은 1957년 소련의 인공위성을 시작으로 현재 전 세계적으로 다양한 용도의 위성들이 개발되어 운용되고 있고, 국내에서는 1992년 우리별 1호를 시작으로 현재 아리랑 5호까지 운용되고 있다. 그런데 국내에서 위성사진은 대부분 토지 피복도 분석(환경부, 2002), 대기질 변화 연구(Kim, 2018), 생태계와 식생 분석(Kim et al., 2019) 등의 용도로 활용되고 있다. 해외의 경우 중규모의 장기 지형변화를 저해상도(공간 해상도 최소 100 m 이내)의 위성자료를 활용하여 연구를 수행하고 있다. 대표적인 사례로 Fig. 2.에서와 같이, Spada et al.(2018)의 Seman 강 하안선 변화 연구가 있고, Fuller et al.(2012), Scott et al.(2014)의 LANDSAT 위성사진을 활용한 해안 지형변화 연구 등이 있다. 여기서 30년 이상의 장기간에 걸쳐 지속적으로 관측된

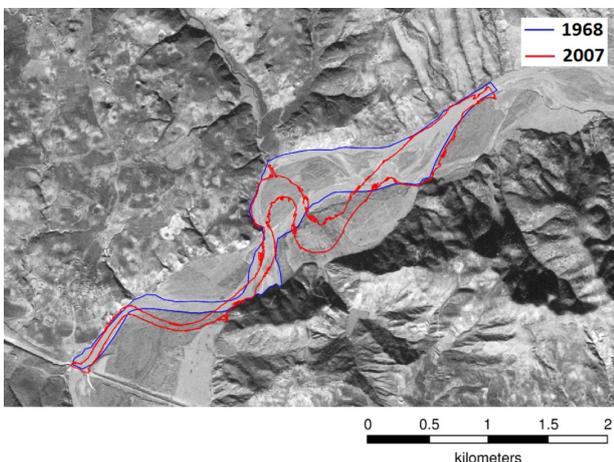


Fig. 2. Riverline change at Seman river for 1968 and 2007 (Spada et al., 2018).

위성사진 자료의 부재, 저해상도의 과거 위성사진, 구름으로 인한 위성사진의 판독 가능성 여부 등의 문제가 해석에 어려움과 한계로 지적되어 왔다. 이렇듯 지형변화 연구에서는 수치지도의 보정을 위한 참고 자료가 미흡하고 자료 도식화 이외의 용도로 활용되는 사례는 지조한 실정이다.

### 3. LANDSAT 위성사진 개요와 적합도 분석

U.S. Geological Survey(USGS)의 LANDSAT 위성사진은 NASA에서 운영하는 LANDSAT 위성으로부터 촬영된 이미지로써 1972년 LANDSAT 1을 시작으로 현재 LANDSAT 7과 8이 운영되고 있다. NASA에서 제공하는 LANDSAT 7과 8에 대한 설명에 따르면 위성은 지상으로부터 705 km의 높이에서 북극과 남극 상공을 가로지르는 궤도를 따라 회전하고 있다. 하루에 지구를 14바퀴 돌면서 16일 간 지구 전역을 관측한다. 촬영된 위성사진은 지상으로 송출되어 이미지 보정과 분석 처리 후 사용자에게 제공된다. LANDSAT 7과 8의 위성사진 해상도는 픽셀사이즈 30 m의 해상도를 가진다. 본 연구에서 LANDSAT 위성사진은 USGS에서 운영하는 EarthExplorer에서 수집하여 사용하였다(Fig. 3).

본 연구에서는 한강하구역 산남습지 인근의 장기 지형변화를 파악하기 위하여 국토지리정보원과 USGS가 보유하고 있는 1970년도부터 2020년 사이의 수치지도와 위성사진을 활용하였다. 여기서 USGS의 LANDSAT 위성사진을 기준으로 하고, 국토지리정보원의 2004년부터 2019년까지 수치지도와 정사영상은 LANDSAT 위성사진의 보정에 활용되었다. EarthExplorer로부터 수집 가능한 위성사진 중 운량(雲量)이 전체 위성사진의 50% 이상을 초과하여 판독이 불가능한 위성사진은 배제하였다. 분석이 불가능한 위성사진을 제외한 결과, 1972년 10월 31일부터 2020년 10월 05일 사이 총 302개의 위성사진이 수집되었다. 수집된 위성사진의 촬영시간을 인근 수위관측소와 조위관측소의 수위 자료를 기반으로 정리하여 지형과 하안선이 가장 많이 나타나는 저수위의 위성사진을 선별하였다.

연구 영역은 Fig 4에 붉은색 실선으로 표기된 구역으로 산남습지 협착부에 따른 흐름 변화가 발생하는 구역을 대상으로 선정하였다. 상류부는 만곡부의 시작점을 기준으로 하였으며 하류부는 문발IC 인근까지로 설정하였다. 연구 대상인 산남습지역 부근 하안선 분석에 필요한 수위와 조위 자료는 근접한 관측소로부터 수집되어야 한다. 전류리(대상지역으로부터 1 km 이내), 행주대교(대상지역으로부터 약 15 km), 강화대교(대상지역으로부터 약 27 km), 한강대교(대상지역으로부터 약 32 km), 비룡대교(대상지역으로부터 약 54 km) 순서로 수위 관측소가 존재한다(Fig. 4).

염하수로의 강화대교와 임진강의 비룡대교에서의 수위관측소 자료는 각각 1998년과 2000년부터 관측을 시작하였으므로 위성사진 선정에 적용하지 못했다. 따라서 위성사진을 선별하기 위해 강화대교의 수위와 조위 자료, 한강의 전류리와 행주대교의 수위 자료를 기반으로 조사하였다. 전류리 수위 자료는 관측지점 위치, 관측 시작 시기 등 관측소 정보를 분석한 결과, 위성사진 선정에 활용하기에는 적절하지만 1970년대부터 1990년 사이 결

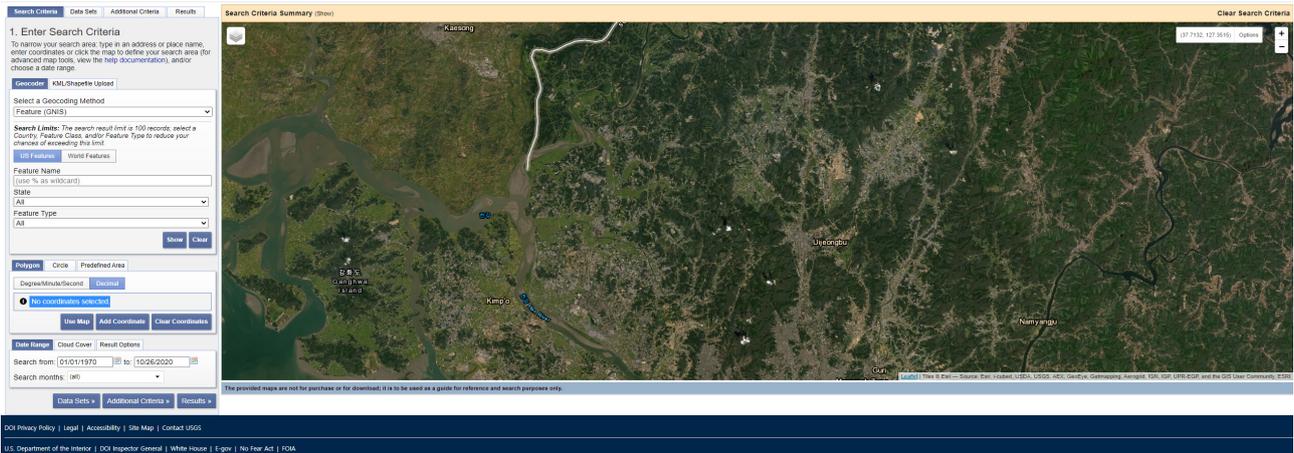


Fig. 3. EarthExplorer(USGS).



Fig. 4. Locations of tide and water level stations by Google earth pro.

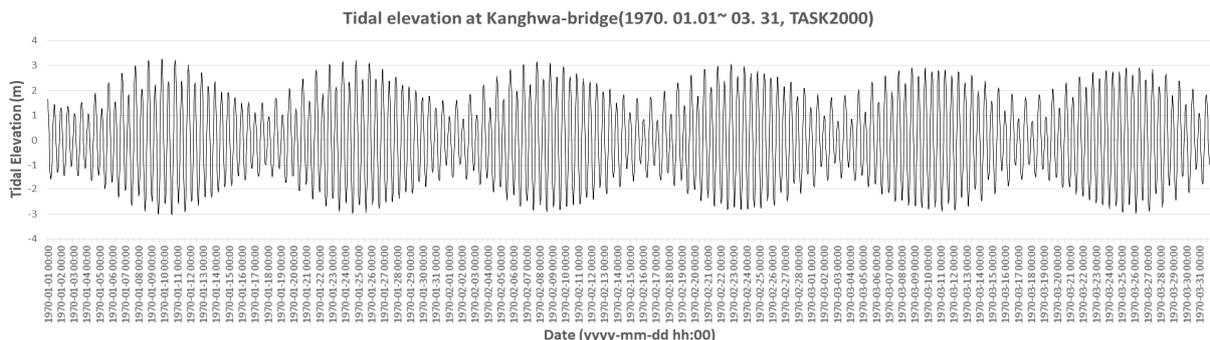


Fig. 5. Example of tidal elevation at Kanghwa-bridge(from 1970.01.01. to 03.31).

측 구간이 빈번하여 위성사진 촬영시간에 관측된 자료 부족으로 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 행주대교 관측 자료도 전류리와 마찬가지로 1990년 이전에 결국 구간이 빈번하고 신곡수중보 건설 이후에는 조석 영향이 감소하여 위성사진 선정에 활용하기에는 적합하지 않았다. 수위관측소 자료로 위성사진 촬영 시각의 수위 변화 양상을 판단하는 것은 불가능하여 강화대교 지점의 조위 자료를 활용하여 조위 곡선을 생성하고, 이를 바탕으로 지

형변화를 분석하기에 적합한 위성사진을 선정하였다. 강화대교 기본 수준점의 4대 분조(M2, S2, K1, O1)를 National Oceanography Centre(NOC)의 TASK-2000에 적용하여 1970년부터 2020년까지 30분 간격의 조위 곡선을 산출하고 이를 활용하여 적합한 위성사진을 선정하였다(Fig. 5).

지형변화 분석에 적합한 위성사진의 선정은 분석 기간에서 평균해수면을 기준으로 저조위 값인 -3.14 m에서 30분 단위로

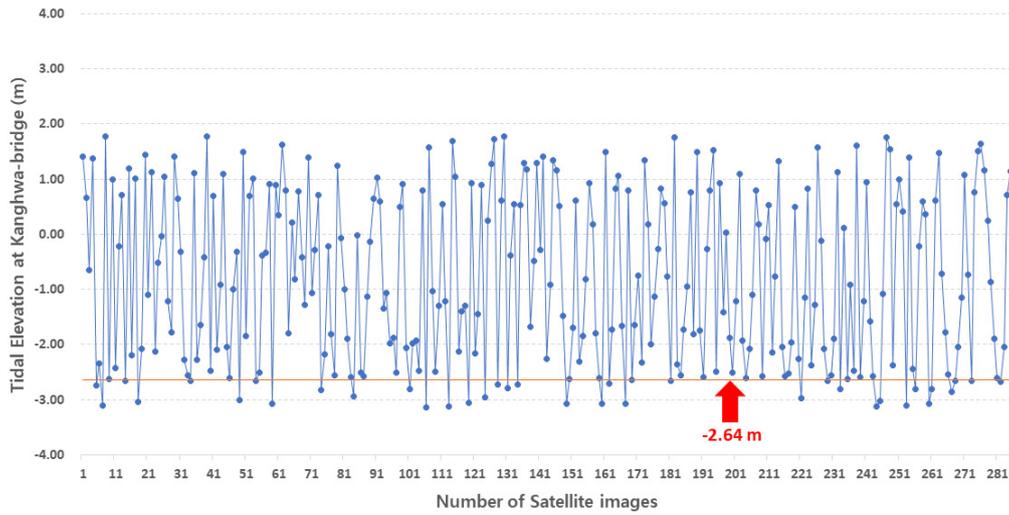


Fig. 6. Tidal elevation on the scan time of satellite image.

Table 1. Scan times orbits, tidal elevations about satellite images

No.	Scan date	Scan time	Satellite orbit		tidal elevation (m)
			Path (degree)	Low (degree)	
1	1978-05-09	01:33	125	33	-3.11
2	1981-12-13	01:33	125	34	-2.65
3	1984-07-30	01:40	116	34	-3.01
4	1985-05-22	01:36	116	34	-3.08
5	1987-03-17	01:33	116	34	-2.82
6	1988-04-04	01:41	116	34	-2.94
7	1990-04-26	01:31	116	34	-2.81
8	1991-05-31	01:33	116	34	-3.14
9	1992-06-18	01:34	116	34	-3.12
10	1993-07-07	01:33	116	34	-3.05
11	1994-07-26	01:29	116	34	-2.96
12	1995-02-03	01:23	116	34	-2.73
13	1996-02-22	01:17	116	34	-2.79
14	1996-09-01	01:28	116	34	-2.72
15	2000-05-07	01:46	116	34	-3.08
16	2000-10-30	01:50	116	34	-2.70
17	2001-11-18	01:50	116	34	-2.64
18	2002-02-14	02:00	116	34	-2.66
19	2002-09-10	01:59	116	34	-2.80
20	2003-06-01	01:46	116	34	-2.65
21	2011-04-20	02:00	116	34	-2.97
22	2014-06-15	02:11	116	34	-3.12
23	2014-07-01	02:11	116	34	-3.03
24	2015-07-04	02:10	116	34	-3.11
25	2016-01-12	02:11	116	34	-2.80
26	2016-08-07	02:11	116	34	-2.80
27	2017-01-30	02:11	116	34	-2.85
28	2017-02-15	02:11	116	34	-2.66
29	2017-08-26	02:11	116	34	-2.65
30	2018-03-06	02:10	116	34	-2.68
31	2019-02-21	02:11	116	34	-2.67
32	2020-03-11	02:11	116	34	-2.73
33	2020-09-19	02:11	116	34	-2.69
34	2020-10-05	02:11	116	34	-2.70

생성한 조위 값의 오차 범위인 0.5 m를 감안한 -2.64 m를 기준값으로 설정하고 위성사진 적합도를 판단하였다. 위성사진의 촬영시간과 조위 상관관계를 Fig. 6에 나타내었다.

조위 기준 적용 결과, 전체 302개 위성사진 중에서 34개 위성사진(1978년~2020년)을 선정하였다. 선정된 위성사진 촬영 일시, 궤도, 조위를 Table 1에 나타내었다.

#### 4. 산남습지 인근 지형변화 분석

선정된 위성사진은 Quantum GIS(QGIS) 3.10.10 버전을 활용하여 분석하였다. 공간 정보 분석이 가능한 프로그램은 Digital Shoreline Analysis System(DSAS), BeachTools, Analyzing Moving Boundaries Using R(AMBUR), AUTOCAD MAP 3D, QGIS 등이 있다. 이 중에서 지형변화의 원인과 변화 양상의 파악, 추가적인 분석 방법을 추가하기 위한 모듈의 개발 가능성, 사용자 중심 인터페이스에 대한 장점이 있는 QGIS를 활용하였다. QGIS는 오픈소스 기반의 GIS 플랫폼(platform)으로 사용자에게 용이한 Graphical User Interface(GUI)를 제공하며 오픈소스를 활용하여 다양한 모듈의 제작이 가능하다. 더욱이 전 세계적으로 대표되는 GIS 프로그램인 ArcGIS의 기능을 대부분 지니고 있어 다양한 현상에 대한 구성과 분석이 가능하다.

LANDSAT 위성사진은 QGIS에서 위성사진을 불러온 후 래스터(Raster : 픽셀(pixel) 단위로 구성된 이미지 파일) 분석의 '추출' 기능 중에서 '등고선 생성(Contour)'를 활용하여 등고선 벡터(Vector : 점과 점으로 구성된 이미지 파일로 좌표에 따라 구성됨)를 생성한 후 국토지리정보원의 공간 정보자료(수치지도, 정사영상 등), 국토정보플랫폼에서 제공하고 있는 구(舊)

지도를 참고(Referencing)로 하여 보정하였다. 또한 보정된 자료를 하천기본계획(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020)의 하상 관측 자료와 비교하여 검증하였다.

보정된 자료로부터 위성사진별로 하안선을 추출하여 산남습지 인근의 하안선 거리 확장 여부와 면적 변화를 비교하였다. 기준선으로부터 하안선까지 거리 측정을 위해 적용한 지점을 Fig. 7에, 연도별 대표 하안선 변화도는 Fig. 8에 나타내었다.

먼저 산남습지 남단 끝을 기준선(Universal Transverse Mercator(UTM) 기준 297,300 E)으로 설정하고 산남습지 하안까지 거리를 측정하여 하안선의 확장 여부를 분석하였다. 하안선을 기준으로 폐합 곡선을 생성하여 산남습지 인근의 면적 변화도 비교·분석하였다.

측정한 거리를 분석한 결과, 1978년에서 2020년까지 산남습지의 중심을 기준으로 하류(문발IC부터 상류로 4 km 이내)에서는 하안선이 약 100~300 m 범위에서 침식(후퇴)과 퇴적(진진) 현상이 반복적으로 나타나고 있다. 하류에서 1978년을 기준으로 2020년의 하안선과 비교한 결과, 약 300 m 정도가 침식된 것으로 나타났다. 상류(문발IC에서 상류로 4~6 km 구간)에서는 약 100 m 이내의 침식과 퇴적 현상이 발생하였다. LANDSAT 위성사진의 해상도(30~60 m)에 따른 오차를 감안하면 하류에서는 침식이 상류에서는 변화가 미미한 것으로 판단된다(Fig. 9). 이를 바탕으로 선형분석을 수행하여 하안선 거리 변화에 대한 추세선을 분석하였다. 분석 결과 자연재해가 없다는 가정 하에 산남습지 하류에서는 지속적인 침식이 발생할 것이고, 상류에서는 변화가 미미할 것으로 판단된다.

특이한 사항은 1978년과 1988년 사이 문발IC에서 상류로 4 km 떨어진 지점에서 약 540 m의 하안선 침식과 퇴적이 발생한 것과 2015년과 2016년에 문발IC에서 상류로 6 km 떨어진 지



Fig. 7. Baselines for distance analysis



Fig. 8. Riverline change by specific year

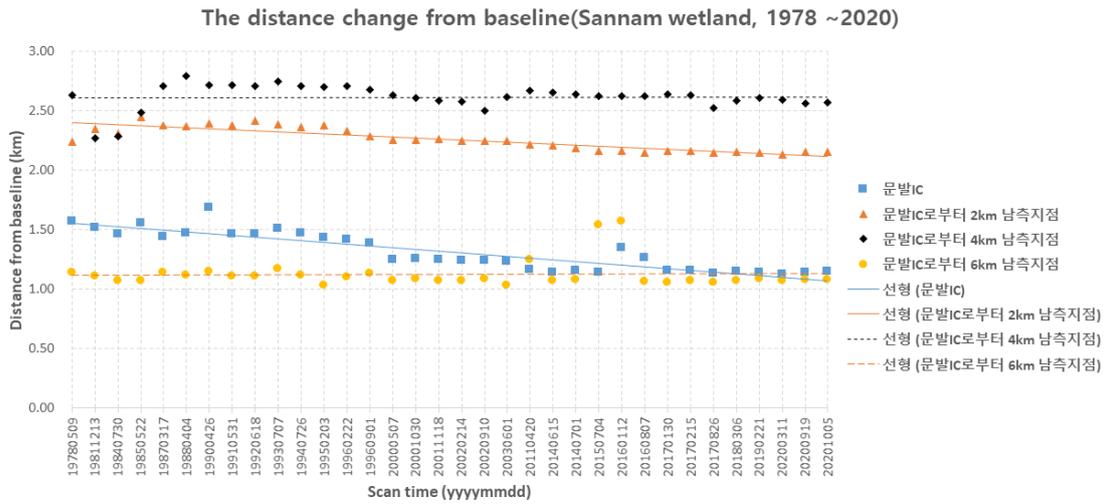


Fig. 9. Time series of riverline distance change from baselines (1978~2020).

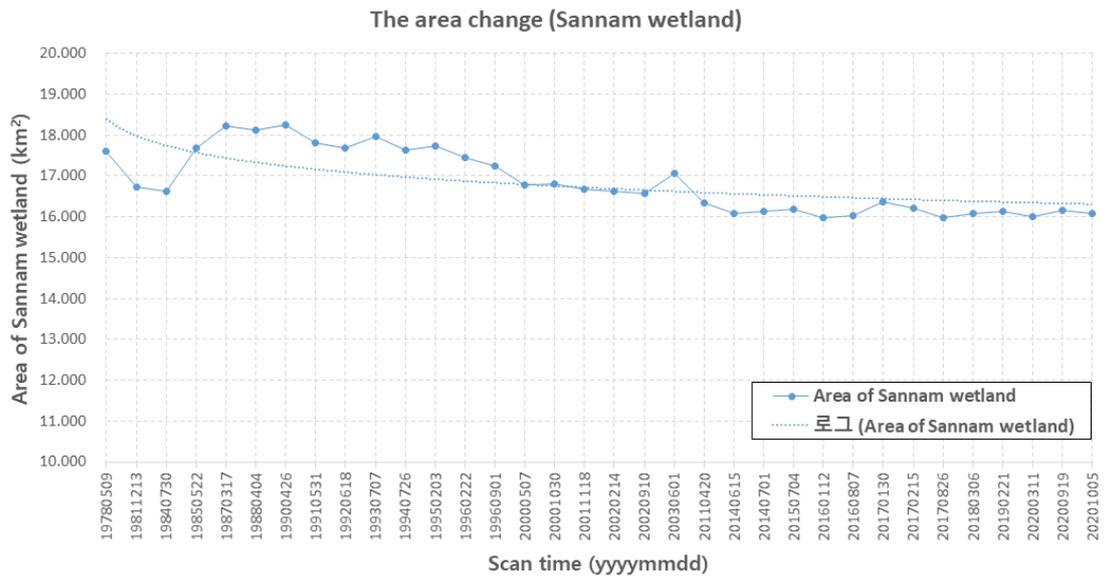


Fig. 10. Time series of the area change of Sannam wetland.

점에서 약 550 m의 침식과 퇴적 현상이 발생한 것이다. 이는 사주의 종-횡적 이동으로 발생한 것으로 한강하구에서 중규모 파상파인 사주 거동과 하안 개발에 따른 영향의 증거이다. 따라서 하안선 거리 분석만으로는 산남습지 인근의 침식과 퇴적 경향을 분석하는 것은 합리적이지 않다. 그러므로 산남습지 면적과 산남습지 인근 하도 내 사주와 좌안을 포함하는 면적 변화 양상을 분석하는 것이 필요하다.

먼저 산남습지의 면적 변화를 살펴보면 1987년의 최대 면적 약 18.2 km<sup>2</sup>에서 2017년의 약 16.0 km<sup>2</sup>까지 점차적으로 감소하는 양상을 나타내었다(Fig. 10). 산남습지 인근의 하도 내 사주와 좌안의 하안 면적 변화를 고려한 결과, 2003년에서 2017년 사이에는 약 1.0 km<sup>2</sup>의 차이가 나타났다. 그런데 전체 기간에서는 산남습지 하안선 거리의 변화 분석 결과와 마찬가지로 서서히 면적이 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 11). 면적의 변화는 로그분석으로부터 추세선을 작성하여 분석하였다. 분

석 결과, 산남습지 인근의 면적은 감소하는 경향을 나타내고는 있지만, 대규모 자연재해가 있지 않다면 변화는 미미할 것으로 예상된다.

기존에 수행된 ‘한강하구역 사주거동과 시설물안전성에 관한 조사연구(한국건설기술연구원 2019)’의 결과와 비교해 보면 한강하구의 퇴적 지배 영향으로 산남습지 인근에 대규모·중규모 하상파가 형성되어 문발IC에서 산남습지로 이어지는 하안선에서는 침식이 발생하는 것으로 나타났다. ‘한강 하류 부 하상변동 조사 연구보고서(한강홍수통제소 2010)’에 수록된 2004년에서 2010년까지의 한강 하류의 누적 하상변동량 조사 결과 또한 일산대교 기준으로 상류의 하상변동폭은 작고 하류의 변동폭은 큰 것으로 나타났다(Fig. 12). 기존의 현장 조사 결과와 본 연구에서 제시한 분석 결과는 산남습지 인근에서의 지형변화 양상을 분석함에 있어 일치하는 경향을 나타내었다.

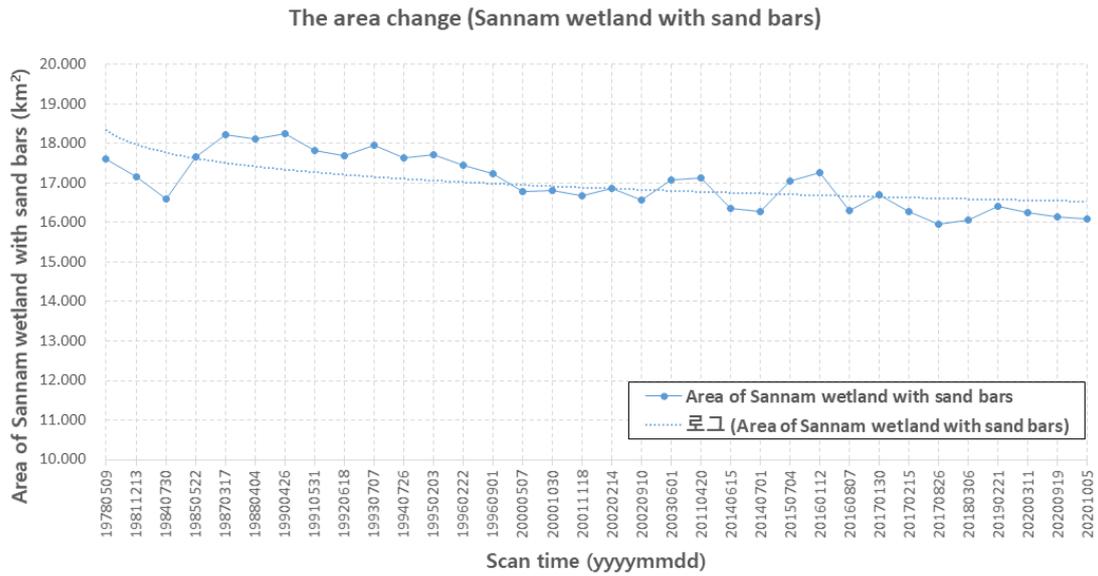


Fig. 11. Time series of the area change of Sannam wetland with sand bars.

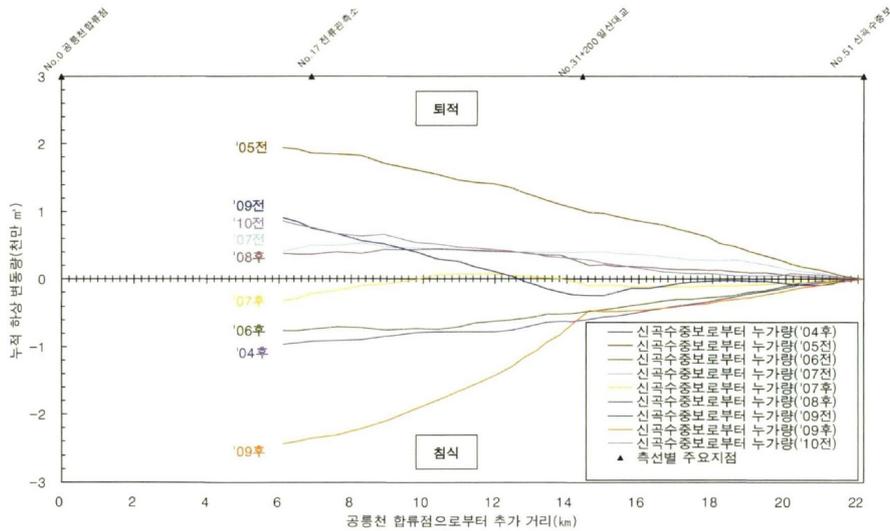


Fig. 12. Cumulated riverbed fluctuation on the Han river estuary by Han River Flood Control Office.

### 5. 결 론

한강하구역에서 하상변동이 활발히 전개되고 있다. 이런 가운데 접측 조사에 여러 가지 제약이 뒤따르는 한강하구역에 위치한 산남습지 중심을 기준으로 장기 하안선과 면적 변화를 위성사진과 항공사진을 기반으로 하는 비대면, 비접측 방법으로 하안선 변화에 대해 평가하였다. 연구 결과, 산남습지 하류에서는 침식이 발생하였으며, 상류에서는 약간의 퇴적 현상이 나타났다. 장기적인 관점에서 포괄적으로 살펴보면 산남습지 하류 지역은 조석의 영향이 하천 상류로부터 유입되는 흐름의 영향보다 큰 것으로 볼 수 있다. 이는 장기적인 총량 에너지 수지 측면에서 유출 흐름에너지에 비하여 유입 흐름에너지가 크다고 볼 수 있다. 이는 과거 하천조사 결과를 바탕으로 그 유효성이 입증되었다고 판단한다.

이처럼 위성사진을 활용하여 한강하구역의 하안선 변화 연

구의 정밀도를 더 높이기 위해서는 고해상도의 위성사진(예: 아리랑 3A호(KOMPSAT-3A)의 공간 해상도 0.50 m급 위성사진)을 활용해 공간 정보의 분석 오차를 감소시켜야하고 정기적인 하구역 지형과 생태환경 변화에 대한 현장 조사와 동시에 지속적인 수위 관측 자료가 요구된다. 앞으로 비대면 하안변화 조사 방법의 정밀도가 향상되면 한강하구역에서 기후 변화에 따른 해수면 상승 영향, 대조기나 소조기 시 홍수와 같은 대규모 자연재해 영향, 재해로 접근이 어려운 하안 제방과 주변 시설물 인근 피해를 조사하고 연구하는 데 유효하게 활용될 것으로 판단한다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부와 한국건설기술연구원의 주요사업(장기조사연구)에서 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Kim E.S., Lee B.R., and Lim J.H. (2019) Forest Damage Detection Using Daily Normal Vegetation Index based on Time Series LANDSAT Images, *Special Issue on Forest Management Research using Optical Sensors and Remote Sensing Technologies*, (35), pp. 1133–1149 [Korean Literature] (<https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.2.9>)
- Kim J.H., Park S.H., and Chang Y.Y. (2018) A Study on Prediction Conformity of Line Source in Urban Area, *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, (18), pp. 511–521 [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(서울지방국토관리청) (2005) 한강하류부 하상변동조사 연구보고서, Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2020) 한강(팔당댐~하구) 하천기본계획(변경) 보고서, Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Korean Literature]
- Lee S.H., Han, H.J., and Choo J.H. (2014) Mechanism for Bank Erosion and Local Scouring in Estuary of the Hangang River, *Journal of Wetland Research*, (16), pp. 453–462 [Korean Literature] (<https://doi.org/10.17663/JWR.2014.16.4.453>)
- Han River Flood Control Office(한강홍수통제소) (2008) (2006–2008) 한강하류부 하상변동조사 연구보고서, Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Korean Literature]
- Han River Flood Control Office (2009) : 한강하류부 하상변동조사 연구보고서, Han River Flood Control Office [Korean Literature]
- Han River Flood Control Office (2010) : 한강하류부 하상변동조사 연구보고서, Han River Flood Control Office [Korean Literature]
- Han River Flood Control Office (2015) : 하천변화 모니터링 및 평가 연구(장기계속 1차) (하도변화) 보고서, Han River Flood Control Office [Korean Literature]
- Han River Flood Control Office (2016) : 하천변화 모니터링 및 평가 연구(하도변화) 보고서, Han River Flood Control Office [Korean Literature]
- Office [Korean Literature]
- Korea Institute of Civil engineering and building Technology (KICT) (한국건설기술연구원) (2001) : 임진강·문산천 하상변동조사 보고서, Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Korean Literature]
- KICT (2002) : 한강 수계 하천정비 기본계획(보완) 용역중 한강하류부 하상변동분석 연구, Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Korean Literature]
- KICT (2019) : Study on the Growth of High-berm and Stability of Management Facility in the Hangang River estuary(1/3), KICT [Korean Literature]
- KICT (2020) : Study on the Growth of High-berm and Stability of Management Facility in the Hangang River estuary(2/3), KICT [Korean Literature]
- Ministry of Environment(환경부) (2002) : 인공위성 영상 자료를 이용한 토지피복 지도 구축, Ministry of Environment [Korean Literature]
- Hwang S.Y., Lee S.H., and Park, J.M. (2007) Influence of Floods and Tides on the Bed Changes in the Han River Estuary. *Korean Society of Civil Engineers Convention*, pp. 4149–4152 [Korean Literature]
- Spada D., Molinari P., Bertoldi M., Vitti A., and Zolezzi G. (2018) Multi-Temporal Image Analysis for Fluvial Morphological Characterization with Application to Albanian Rivers, *International Journal of Geo-Information*, (7) ([doi:10.3390/ijgi7080314](https://doi.org/10.3390/ijgi7080314))
- Scott D., Petropoulos G., Moxley J., and Malcolm H. (2014) Quantifying the Physical Composition of Urban Morphology throughout Wales Based on the Time Series(1989–2011) Analysis of LANDSAT TM/ETM+ Images and Supporting GIS Data, *Remote Sensing*, (6), pp. 11731–11752 ([doi:10.3390/rs61211731](https://doi.org/10.3390/rs61211731))
- QGIS Development Team (2020) QGIS 3.10 User Guide, QGIS Project
- Fuller R., Clemens R., Phinn S., Murray N., and Roelfsema C. (2012) Continental Scale Mapping of Tidal Flats across East Asia Using the LANDSAT Archive, *Remote Sensing*, (11), pp. 3417–3426 (<https://doi.org/10.3390/rs4113417>)