

하구둑 준공으로 인한 조간대 하천하구 물리화학적 변화탐지 LandsatTM 기반 원격탐사 모니터링

신언석, 김형무*, 이재봉*, 이홍로*
충북대학교, 군산대학교*

요약

환경오염과 자연재해의 증가추세에 대비한 하천과 해양 수자원의 통합관리시스템에 대한 요구가 증가하고 있으나 기존의 하천수자원관리시스템만으로는 이러한 요구에 부응하지 못하는 실정이다. 위성영상은 관심지역에 대한 광역적 조사와 시계열적 관찰에 효율적인 수단을 제공하므로 하천과 해양수자원의 동시병행 관찰에 유리하다.

본 연구는 위성영상을 이용한 하천 하구변화탐지 모니터링 원격탐사 시스템 구축을 위한 효과적인 영상 획득과 영상보간법을 활용할 시스템 모델을 설계하고 구현한다. 이 위성영상을 이용한 하천 하구 변화탐지 모니터링 시스템을 위한 효과적인 영상획득과 영상보간법의 활용 시스템 모델을 전북과 충남 금강 하구에서의 해수, 담수 혼합수역의 변화와 이동, 그리고 바다면적과 육지면적의 변화와 이동의 관찰에 적용하고 검증한 결과 제안한 하천 하구 변화탐지 모니터링 시스템을 위한 위성영상기반 모델이 기존 그리드정점관측방법에 비해 효과적이라는 결과를 얻었다.

1. 서론

1990년 10월 연간 65억톤의 담수를 서해에 방류하던 금강하구에 총연장 1.8km의 금강하구둑이 준공되어 하구둑 상류에 대한 해수의 영향이 차단되고 담수의 방류는 여름철 홍수기에 주로 인위적으로 실시되고 있다. 하구둑 하류의 수로는 군산항에 대한 선박의 접근을 용이하게 하기위해 직선화 되고 매년 준설되고 있으나 이것은 동시에 매년 하구 해저에 그만큼의 토사 퇴적을 의미하고 있다[1][2][3].

이와 관련된 기존 연구들을 보면 Laballe 등[3]은 Box-jenkins 알고리즘을 이용한 시계열 분석으로 해안선 변화탐지 모델을 제안하였으나 대형하천의 인위적인 담수배출하구 해안선 변화탐지에는 부적합하다는 단점이 있으며, Cova와 Goodchild[2]는 지리객체필드 모델로 연속적인 지리필드의 지리현상과 이

산적인 지리객체의 지리정보시스템 자료형을 통합할 것을 제안하였으나 벡터와 래스터간 표준 전환모델은 제시하지 않았다. Lunetta 등[4]은 시간주기를 기준으로 표준편차를 이용한 간단한 변화벡터를 생성하는 토지피복 변화탐지 모델을 제안하여 10년 장기예측을 시도하였으나 지리현상간 상호작용의 인력과 변화벡터의 지리적 방향성까지 설명하지는 못하였다.

자연하천에 하구둑을 건설하여 담수를 확보하고 하구에서 토사의 퇴적을 방지하려는 목적중 전자가 용이하게 달성된 반면 후자가 달성되지 않는 원인을 분석하는 효과적인 하구변화탐지 기법을 도출하는 것이 이 연구의 목적이다.

연구대상 지역인 (그림 1)의 금강하구를 포함하는 금강은 평균경사 27.56%, 평균고도 184.24미터인

9,914 km²의 유역면적을 갖고 있으며 연간 65억 2300만 m³(ton)의 담수를 서해에 방출한다. 금강하구는 평균조차 6.0m에 달하는 조석간만의 차로 인해 해수가 내륙 수십 킬로미터 지점까지 육상기원 담수를 역류시키는 현상을 보이다가 1990년 10월 31일 준공된 금강하구 뚝에 의해 금강호 담수호가 조석현상 및 염분농도가 높은 해수와 분리되어 현재는 충남, 전북에 걸친 430km²의 경작지에 농업용수를 공급하고 있다. 인근 만경강, 동진강은 금강과 조석의 영향을 같이 받으며 각각 금강의 1/6, 1/9인 연간 10억톤, 7억톤의 담수를 금강과 같은 서해중부 새만금 연안역에 공급하고 있다.

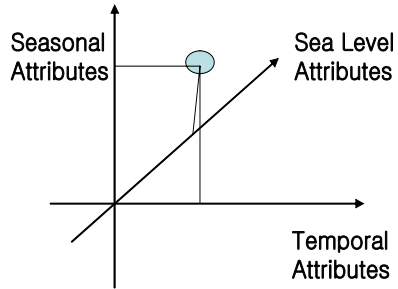


▶▶ 그림 1. 연구대상 지역 영상- 금강하구

2. 연구방법

하천하구의 주요기능은 담수의 외해배재이다. 이 기능은 하구의 수로체적에 의존한다[3]. 금강하구는 해저지형의 고도가 하루 4번 방향이 바뀌는 조석의 영향으로 조류방향이 최소 6시간에도 반대방향으로 바뀌고 있다.

이런 제반 제약사항과 위성영상의 한계를 감안하여 우선 금강하구둑 준공 전과 후의 담수, 해수 혼합 수역의 변화와 이동을 모니터링하고 다음 수로의 표면적을 의미하는 해수면적과 해수면적의 상대개념인 조건대와 인공구조물의 설치에 의한 육지면적의 증감 추이를 다음 (그림 2)의 속성분류기준에 의해 조사하였다.



▶▶ 그림 2. 연구대상 지역 영상의 데이터 속성 분류 기준

수로면적에 대한 조사만으로는 해수와 담수의 영향 정도와 그 지역을 파악할 수 없으므로 해수와 담수의 온도차 분포를 살펴보았다. Landsat7의 밴드6은 열감지 NIR센서에 의한 온도 값을 갖고 있어 이를 NASA모델에 의해 섭씨온도로 전환하고 무감독 ISODATA 군집화 기법으로 분류한 영상에 클래스별로 식별성을 강화한 Pseudo 칼라를 부여하고 이렇게 획득된 영상으로 담수, 해수의 혼합역을 일정한 온도구간별로 가시화 해주었다.

위에서 적용된 무감독 ISODATA 클러스터링 알고리즘을 상술하면 다음 <표 1>과 같다.

[표 1] ISODATA 클러스터링알고리즘

SS distance : 각 픽셀에서 클러스터중심까지의 거리 또는 메러 함이라고 할 때,

$$SS_{distance} = \sum_{x \in C} [x - C(x)]^2$$

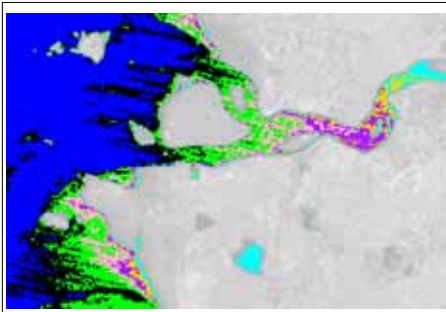
여기서 C(x)는 픽셀 x가 소속한 클러스터의 평균, SS distance를 최소화하는 함수는 cluster간 평균제곱에러인 M S E(Mean Squared Error)를 최소화하는 함수와 대응된다. 즉,

$$MSE = \frac{\sum_{x \in C} [x - C(x)]^2}{(N - c)b} = \frac{SS_{distance}}{(N - c)b}$$

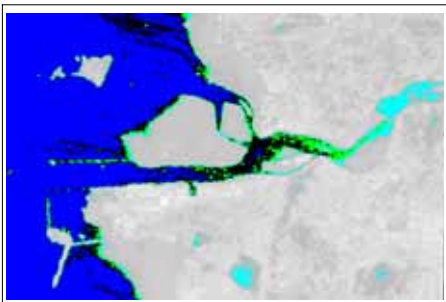
여기서 N은 픽셀 수, c는 클러스터의 수, 그리고 b는 밴드의 수이다.

3. 연구결과

3.1 금강 하구둑 준공으로 인한 해수, 담수 혼합 수역의 변화와 이동방향



(a)
GumRiver-19870418-Spring(조차:302-215-147-금강 하구둑 준공전) 금강하구 담수-해수 혼합 지역(좌)



(b)
GumRiver-20000507-Spring(조차:224-127-80-금강 하구둑 준공후) 금강하구 담수-해수 혼합 지역(우)

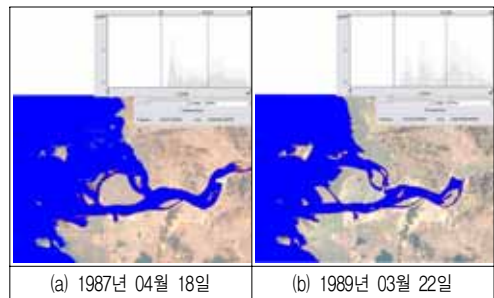
▶▶ 그림 3. 금강하구 담수-해수 혼합 수역의 변화와 이동

위 (그림 3)에서 하구둑 준공 전 상시 유출되는 금강담수는 (a)에서와 같이 수로중심선에 수직 직교하는 구획선과 평행한 성층을 이루며 상대적으로 낮은 온도인 심해에 이를 때 까지 부채 살 모양으로 표층 온도가 변화해가는 모습을 보였고 하구둑 준공 후, 유출량이 하구둑 배수갑문 정점에 집중된 금강담수는 (b)에서처럼 상대적으로 우세한 유량의 해수를 만나 강변을 따라 분리되다가 직선화된 수로로 다 빠져 나가기 전 바다온도에 흡수되는 모습을 보였다 이는 하구둑 준공 후 인위적으로 통제된 담수는 준공 전과

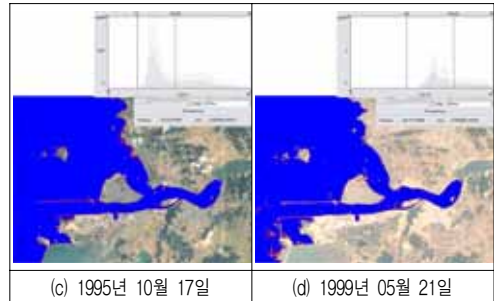
같이 긴 성층대를 만들 에너지를 잃어버리고 균산향수로 북쪽수역에서 이미 담수의 특정 온도특성을 상실함을 의미한다고 할 수 있다. 이것은 또한 장항 쪽 수로가 군장산업단지 장항구역 조성공사로 점점 좁아져가는 것을 감안할 때 서쪽 외항밖 심해에서 기원하는 표층온도대가 균산내항 부근까지 진출해있는 것을 말하고 촬영시기가 썰물 때인 것을 감안하면 외해가 같은 표층온도를 갖는 수역을 지나 만조 때는 더욱 하구둑을 향해 접근한다는 것도 알 수 있게 한다.

금강 하구둑의 준공으로 바다의 영향을 담수의 영향보다 강하게 받는 해수영향우세 온도대는 동쪽 금강 상류 지역으로 이동하였음을 알 수 있고 이는 동시에 금강 방출수의 이 지역 연안역 표층 온도대에 미치는 영향이 상류 쪽으로 후퇴하였다.

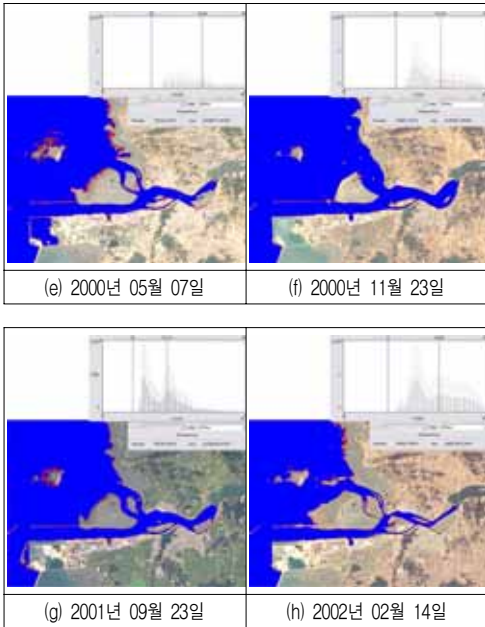
3.2 금강 하구둑 준공으로 인한 육지, 조간대 면적의 변화와 이동방향



(a) 1987년 04월 18일 (b) 1989년 03월 22일



(c) 1995년 10월 17일 (d) 1999년 05월 21일



▶▶ 그림 4. 금강 하구둑 준공으로 인한 육지, 조간대 면적의 이동과 변화

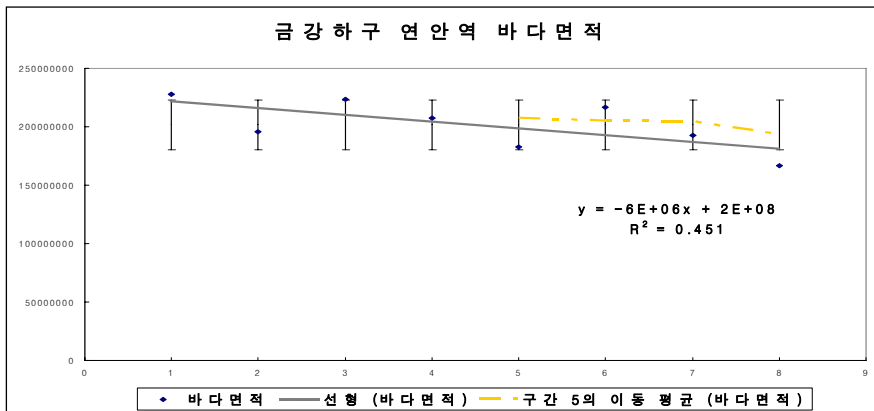
(그림 4)는 1987년 4월부터 2002년 2월까지 15년간 촬영된 8개의 영상에서 만조 3개, 간조3개, 중간조차 2개인 조차속성을 그대로 두고 바다면적을 전체면적에서 배제함으로써 육지와 조간대 면적의 이동과 변화를 추출한 것이다.

3.3 검증

[표 2] Landsat 위성영상분석에 의한 바다면적 속성데이터 현황

	촬영일자	바다면적(km ²)
1	1987.04.18	228081075.7
2	1989.03.22	195457783
3	1995.10.17	223506564
4	1999.05.21	207303175.2
5	2000.05.07	182504638.9
6	2000.11.23	216955722.2
7	2001.09.23	192471888.2
8	2002.02.24	166865196.6

아래 (그림 5)는 조차속성을 그대로 두고 15년간 바다면적 추세 시계열을 선형모형화한 것으로 관측값은 촬영순간만의 조차특성을 반영하고 있으므로 평균조차 값으로 치환하여 일반적인 모형을 추론해야 할 것이나 본 연구에서는 조차특성 변수를 표준편차 구간에 대입시켜 장기 시계열 추이만을 도출하였다. 이렇게 함으로써 금강하구둑 준공전인 1987년과 같은 바다면적 최대값은 그 이후 한번도 관측되지 않았고 2002년에는 표준편차구간을 하회하는 극값이 관찰되는 추이로서 금강하구 수로면적은 감소추세에 있음과 그 주요원인이 군장산업단지 군산지구, 동 장항지구 수로직선화공사와 새만금 간척개발이 진행된 하구 서쪽 대형 인공 구조물의 증가임을 확인 하였다.



▶▶ 그림 5. 바다면적 추세의 선형모형 분석

3.4 장기간 하천 하구 변화탐지

금강하구 연안역과 지형변화탐지를 위한 위성영상에 대한 실험과 통계를 통해 해수면적, 해안선길이 모두 서서히 감소하고 있다는 결과를 얻었다. 이는 동시에 육지면적, 갯벌면적, 인공해안선길이의 점진적 상대적 증가를 의미한다고 할 수 있고 주요 변화인 육지 인공구조물에 의한 육지와 갯벌 면적의 증가 방향은 서쪽이다.

3.5 통계해석

위 두 가지 실험결과를 비교평가 하면 금강하구에 서 신생 갯벌과 인공구조물에 의해 지난 15년간 육지와 갯벌의 면적은 서서히 증가하며 서쪽으로 확장되어 가는 동시에 이 연안역에서 바다온도대의 우세한 영향을 받는 해수, 담수 혼합수역은 금강 하구둑 준공으로 동쪽으로 이동하였다는 것으로서 하구둑으로 담수의 방출을 인위적으로 감소시키는 경우 해수의 영향이 가장 감소되는 간조시에도 염해수는 기존 담수-해수 혼합수역을 지나 상류로 역류하여 하구둑에 접근하는 현상을 보인다는 것이다. 이러한 사실은 육상기원 토사의 퇴적을 방지하기 위해 하구둑을 건설한 후 토사의 퇴적이 감소하지 않거나 오히려 증가하는 현상의 원인이 하구둑을 향해 역류하는 우세한 해수의 영향이라는 가설을 입증하는 증거가 될 수 있다.

4. 결론 및 토의

담수-해수 혼합 수역의 역류이동은 하구둑의 준공이 일시에 완성된 변화라는 점에서 일시에 이루어졌을 것이고 하구둑 방출량 변수에 따라 다양한 지점에서 에너지의 교환이 이루어지고 있었으나 위성영상과 같이 광역을 같은 시각에 전수조사 하는 방법을 적용함으로써 비로소 검증할 수 있게 되었다.

금강하구의 육지와 갯벌 면적의 증가, 즉 15년에 걸친 점진적인 퇴적우세는 간척과 같은 인공구조물에

의한 해수의 배제와 금강 하구둑의 완공으로 인한 담수방출량의 인위적 조절과 담수량의 평균적인 감소가 원인이며 이 두 가지 원인으로 발생한 물리화학적 에너지의 격차가 혼합되어 균형을 이루는 수역에서 이 연안역의 특징을 결정하고 있다.

본 연구는 금강 하구둑의 준공 후 담수의 인위적 방류로 인해 수로 면적이 점감하며 장항 쪽 수로가 약화 되면서는 외해와 같은 표층온도대의 해수가 상류로 역류하고 담수는 이 외해 수괴의 좌우 강변을 따라 바다로 향하는 현상을 발견하였으나 담수 해수의 표층 온도만을 갖고는 해저 퇴적물의 기원과 해저 표층아래의 온도 대에 대한 설명을 할 수는 없다는 한계를 갖는다.

영산강, 낙동강 하구에서의 동일한 연구를 통해 담수 해수 혼합대의 상류방향으로의 역류를 객관적으로 분석하고 이를 정량화하여 조수간만의 차가 있는 조건대 하천 하구의 물리 화학적 거동을 설명하는 일반이론을 설계하는 것을 향후 연구과제로 제시한다.

■ 참고문헌 ■

- [1] 대한민국토,도시계획학회, 토지이용계획론 Land use planning, 보성각, 2000, pp.243-245.
- [2] Cova, Thomas J., Goodchild, Michael F., "Extending geographical representation to include fields of spatial objects," IJGIS, Vol.16, No.6, pp.509-532, 2002.
- [3] LaValle, P.D., et. al., Space-time series modelling of beach and shoreline data, Environmental Modelling & Software 16, 2001, pp.299-307.
- [4] Lunetta, Ross S, .et. al., Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring, Remote Sensing of Environment 89, 2004 pp.444-454.
- [5] Myung-Hee Jo, Yun-Won Jo et.al., Developing urban pavement and light stand information management system using web based GIS, Map Asia 2004 Proceedings, 202, 2004.
- [6] Myung-Hee Jo, et.al., Developing the tidal flat information system using satellite images and

GIS, Proceedings of the 24th Asian Conference on Remote Sensing, 2003.

- [7] Myung-Hee Jo, Yun-Won Jo et.al., The management development of campus facility information using web-based GIS, Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing, 2000, pp.341-345.