

위성사진을 이용한 해양환경분석

The Analysis of water quality using Satellite Remotely Sensed Imagery

신범식*, 김규한**, 편종근***

Bum Shick Shin, Kyu Han Kim, Chong Kun Pyun

요 지

현지관측을 통한 지속적이고 광범위한 지역에 대해 정확하고 정밀하게 조사하여 종합적인 분석과 예측, 결정과정에 있어서, 복잡한 해양의 특성, 여러가지 조사 작업상의 난점, 경제적, 시간적으로 많은 어려움이 따르게 된다. 하지만, 위성원격탐사와 GIS를 이용한 해양환경과악기법은 현지관측에서 얻을 수 있는 제한적인 자료이외의 다량의 자료를 정성 및 정량적으로 데이터베이스화하여 분석함과 동시에 가시화함으로써 해양개발로 인해 불가피하게 초래될 수밖에 없는 환경을 보다 정확하게, 객관적으로 분석하여 장기적으로 예측할 수 있는 고도화된 환경조사 및 평가 기술이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 고해상도 위성자료인 Landsat TM 영상과 NOAA AVHRR 자료를 이용하여 수온 및 클로로필을 추출하였으며, GIS를 이용하여 현지관측자료 및 수치해도를 기초로 공간분포도를 작성함으로써 그 외의 수질환경요소를 산출하였다. 위성영상분석은 현장조사와 같은 시점의 Landsat TM 위성영상을 획득하여, 위성 영상은 지구의 곡률과 자전, 위성체의 자세와 고도 및 속도, 그리고 센서의 기하 특성으로 인하여 실제의 지형에 대하여 기하학적 왜곡을 가지고 있으므로 지형도에서 지상기준점(Ground Control Point, GCP)를 추출하여 ERDAS Imagine으로 UTM좌표체계에 따른 기하보정(Geometric Correction)을 실시하였으며, 동일한 시기의 NOAA AVHRR영상을 데이터로 처리하여 수온자료를 추출하였다. 표층수온과 현장관측에 의한 클로로필을 수치 지도화하기 위하여 열적외선영역인 TM band 6의 분광특성값(Digital Number)과 동일한 위치의 수온자료를 기초로 회귀분석을 실시함으로써 수온추출 알고리즘을 도출하여, 분석데이터의 신뢰도를 검증하였으며, 수온, 클로로필, 투명도 등을 위성원격탐사 자료와 GIS를 이용하여 공간분석을 실시하고, 공간분포도를 작성함으로써 대상해역의 해양환경을 파악하였다. 본 연구결과, 분석된 위성자료가 현장조사에 의한 검증이 이루어지지 않을 경우, 영상자료분석을 통한 표층수온 추출은 대기 중의 수증기와 에어로졸에 의한 계산치의 오차가 반영되기 때문에 실측치 보다 낮게 평가 될 수 있으므로, 반드시 이에 대한 검증이 필요함을 알 수 있었다.

현지관측에 비해 막대한 비용과 시간을 절약할 수 있는 위성영상해석방법을 이용한 방법은 해양수질과악이 가능할 것으로 판단되며, GIS를 이용하여 다양하고 복잡한 자료를 데이터베이스화함으로써 가시화하고, 이를 기초로 공간분석을 실시함으로써 환경요소별 공간분포에 대한 파악을 통해 수치모형실험을 이용한 각종 환경영향의 평가 및 예측을 위한 기초자료로 이용이 가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 인공위성, 영상해석, 수질, 수온, 클로로필, 투명도

1. 서 론

연안환경은 그 변화가 시간적 또는 공간적으로 지속적으로 변화하고 있으므로, 연안개발을 위한 구조물

* 정회원 · 관동대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료 · E-mail : sbs114@kd.ac.kr

** 정회원 · 관동대학교 공과대학 토목공학부 교수 · E-mail : khhkim@kd.ac.kr

*** 정회원 · 명지대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : ckpyun@mju.ac.kr

건설, 간척과 매립 등을 효과적으로 실시하기 위해서는 해양환경을 종합적으로 조사 및 분석하여 대상지역의 해양환경을 파악하고, 개발에 따른 영향을 예측하고 완화시키는 것이 필수적이다. 이러한 복잡한 연안의 특성, 현장조사의 경제적, 시간적 어려움이 있으나, 위성원격탐사와 GIS를 이용한 해양환경 분석기법은 현지관측에서 얻을 수 있는 제한적인 자료이외의 다량의 자료를 정성 및 정량적으로 데이터베이스화하여 분석함과 동시에 가시화함으로써 해양개발로 인해 불가피하게 초래될 수밖에 없는 환경을 보다 정확하게, 객관적으로 분석하여 장기적으로 예측할 수 있는 고도화된 환경조사 및 평가 기술이라고 할 수 있다. 영상자료를 이용한 해양환경을 파악한 국내 연구로는 Landsat TM을 활용하여 천수만의 염록소, 부유사, 투명도의 공간적인 분포를 추출하고, 천수만의 부영양화를 5 단계의 부영양화 단계에 의해 공간적으로 구분하여 제시하였다(정, 1999). Jeong and Yoo (1998)는 TM 센서에 의해 국내 남해안의 적조 확산범위를 파악하였다.

Gower (1994)는 AVHRR에 의한 적조관측 알고리즘을 제시하였고, Tassan (1993)은 Mucilage (White Tide)의 급격한 증식을 AVHRR 자료를 이용하여 해양의 확산범위를 밝혀내었다. 또한, Brown and Podesta(1997)는 CZCS 자료에 의해 대서양 남서해양의 Coccolithophore 대증식을 연도별 공간적인 확산과 분포범위로 분석하였다. 또한, Stumpf and Tyler (1988)은 AVHRR에 의한 Red band 알고리즘을 이용하여 연안해역에서 식물색소량 (pigments)의 분포와 대증식을 관측하였다.

본 연구에서는 고해상도 위성자료인 LANDSAT TM 영상은 지형도에서 지상기준점(Ground Control Point, GCP)을 추출하여 ERDAS Imagine으로 UTM 좌표체계에 따른 기하보정(Geometric Correction)을 실시하였으며, 동일한 시기의 NOAA AVHRR 영상을 데이터로 처리하여 표층수온과 현장관측에 의한 클로로필을 수치 지도화하기 위하여 열적외선영역인 TM band 6의 분광특성값(Digital Number)과 동일한 위치의 수온자료를 기초로 회귀분석을 실시함으로써 수온추출 알고리즘을 도출하여, 분석데이터의 신뢰도를 검증하여, 수온, 클로로필, 투명도 등을 위성원격탐사 자료와 GIS를 이용하여 공간분석을 실시하고, 공간분포도를 작성함으로써 대상해역의 해양환경을 파악하였다. 연구결과를 이용하여, 현지관측과 비교해서 보다 경제적으로 해양환경이 가능할 것으로 판단되며, GIS를 이용하여 다양하고 복잡한 자료를 데이터베이스화하고, 환경요소별 공간분포에 대한 파악을 통해 수치모형실험을 이용한 각종 환경영향의 평가 및 예측을 위한 기초자료로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구방법

인공위성자료를 이용해서 환경요소를 파악하기 위해서는 광역적이고 정량적인 자료를 제공하는 위성영상과 주변 연안해역의 자료를 레이어별 및 가시화가 가능한 GIS(Geographic information system)의 응용이 필수적이다. 나아가 현재의 위성원격탐사자료는 수온과 클로로필과 같은 환경인자를 실측하지 않고 신속하고, 효율적으로 파악하는데 유용하게 활용되고 있다. 일반적인 연안해역의 환경분석은 평균공간 분해능이 1.1km인 NOAA(AVHRR)과 Orbview-2(SeaWiFs)를 이용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 연안해역의 공간데이터를 미세한 부분까지 획득하기 위해 공간분해능이 30m인 LANDSAT TM을 적용하였다. 본 연구의 수행 절차는 Fig. 1.과 같다. 위성원격탐사 자료로서는 Landsat TM 영상과 『한국 해양 환경 조사자료』를 이용하여 수온, 클로로필을 추출하였으며, GIS를 이용하여 현지관측자료 및 해도를 기초로 공간분포도를 작성함으로써 그 외의 어장환경요소를 DB화하였다. Landsat TM 위성영상을 1/50,000척도의 지형도에서 지상기준점

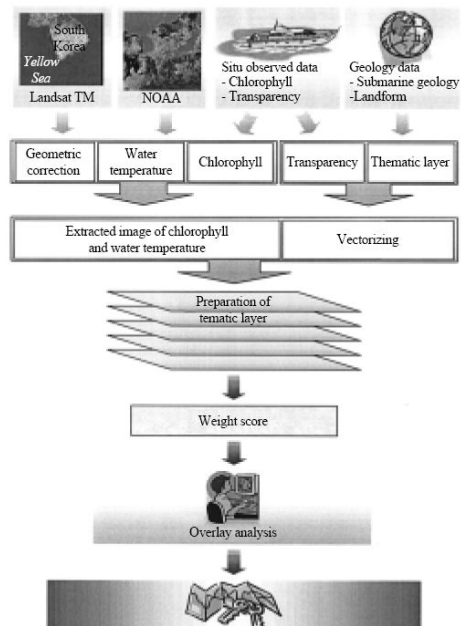


Fig.1. Flow Chart

(Ground Control Point, GCP)을 추출하여 Windows ERDAS Imagine Ver. 8.6으로 UTM좌표체계에 따른 기하보정(Geometric Correction)을 실시하였으며, 아울러 동일한 시기의 NOAA AVHRR영상을 TeraScan System으로 처리하여 수온자료를 추출하였다. 표층수온과 현장관측에 의한 클로로필을 수치 지도화 하기 위하여 열적외선영역인 TM band 6의 분광특성값(Digital Number)과 동일한 위치(Fig.3)에 총 18개의 수온 및 해양환경인자를 기초로 회귀분석을 실시함으로써 환경인자의 추출 알고리즘을 도출하여, 위성자료를 이용한 환경인자의 공간분포를 작성한다.

2.1 대상해역

본 연구는 1994년 방조제가 만들어진 이후 우리 사회에서 가장 심각한 환경문제의 대표적인 사례로 알려져 있는 우리나라 서해안에 위치한 시화호 주변해역을 대상해역으로 하였다.

시화호는 방조제를 건설하고 해수를 빼낸 뒤 담수호로 만들어 인근 간척지에 농업용수를 공급할 목적으로 개발되었으나, 처음의 의도와는 다르게 공사 이후부터 주변 공장의 하수 및 생활하수가 유입되면서 심각한 수질오염 문제를 발생시켰다.

이와 같이 환경오염이 가중되자 수질개선 노력의 한 방법으로 시화방조제 배수갑문을 개방하는 방법을 시도하였으나, 바닷물을 유입한 이래 1998년부터 매년 여름 간척지와 호수 접촉면의 해양생물이 폐죽음을 당하는 등 수질오염으로 인한 각종 피해가 발생하였다.

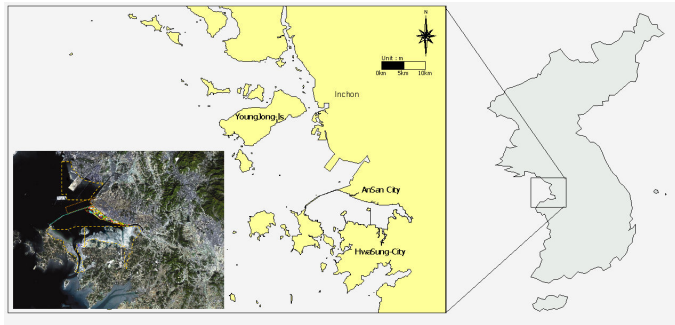


Fig.2. Study Area

2.2 현장자료 분석

대상해역에 대한 위성사진을 이용한 환경분석결과의 검증 및 위성자료와의 비교를 수행하고자 해양수질 문헌조사를 수행하였다. 문헌자료는 Fig. 3과 Table 1.의 조사정점에서 수행된 『한국 해양 환경 조사자료』 중 대상해역 주변의 1992년에서 2005년 사이의 정점별 조사결과를 정리하였다.



Fig.3. Field Observation Points

표 1. Observation Points

No.	latitude	longitude	No.	latitude	longitude
1	37° 17'08"	126° 46'30"	10	37° 22'00"	126° 31'40"
2	37° 16'55"	126° 42'01"	11	37° 17'40"	126° 32'25"
3	37° 17'29"	126° 36'11"	12	37° 20'30"	126° 28'30"
4	37° 27'30"	126° 35'35"	13	37° 19'35"	126° 21'12"
5	37° 25'00"	126° 34'00"	14	37° 17'48"	126° 17'00"
6	37° 22'30"	126° 06'05"	15	37° 16'36"	126° 24'12"
7	37° 20'30"	126° 39'40"	16	37° 19'50"	126° 37'57"
8	37° 19'15"	126° 38'00"	17	37° 19'57"	126° 37'22"
9	37° 20'20"	126° 34'20"	18	37° 19'10"	126° 27'52"

기간 중 수온의 분포는 2월의 경우 표층에서는 3.3℃, 저층은 3.2℃, 5월의 경우 표층은 13.1℃, 저층은 12.5℃의 범위로 나타났다. 8월에는 표층은 23.7℃, 저층은 23.4℃, 11월의 경우 평균 11.3℃, 저층에서는 11.3℃의 범위로 지점별, 계절별로 수온 차이가 크게 나타났다.

3. 수질환경평가를 위한 위성자료 분석

위성영상자료를 처리하는 방법으로는 3차원의 대상체를 2차원의 평면으로 투영하여 표현할 때 발생하는 기하학적 왜곡을 수정하고, 원본 영상에 좌표를 부여하기 위해 기하보정(Geometric Correction)을 수행하였다. 영상에서 식별할 수 있는 동시에 실 좌표를 알고 있는 지상기준점을 대상지역에 균일하게 지정하였고, 1차변환식인 부등각사상변환식(Affine Transform)을 적용하였다.

좌표변환식의 정확도를 점검하는 방법으로 이 식에 의해 변환된 각각의 지상기준점이 갖게 되는 제곱근오차(RMSE ; Root Mean Square Error)를 이용하였으며, 오차범위가 일반적으로 1 pixel이내가 되도록 반복, 수정하여 신뢰성을 확보하였다. 화소의 재배열 기법으로는 원본 영상 화소값의 전환을 최소화하기 위하여 가장 가까운 화소값으로 결정되는 최근접내삽법(nearest neighbor Method)을 적용하였다.

3.1 수온의 공간분포

현재 해수면의 온도의 추정 정밀도는 지구 전역에 있어서 0.5℃정도(J. T. Houghton 외,1984)이며, 지역을 한정하는 경우에는 ± 0.3℃ 정도(小池, 1990)로 알려져 있으며 보다 정확한 추정을 위한 연구가 진행되고 있다. 따라서 수온 공간분포도는 현장관측자료를 사용하지 않고 영상자료로부터 획득된 표층수온 자료를 기초로 Landsat TM band 6과의 회귀분석을 실시함으로써 식 (1)의 알고리즘을 도출하여, 수온 영상을 추출하였고, Landsat TM(SSTTM)에서 추출한 표층수온영상의 검증을 위하여 NOAA(SSTAVHRR)에서 추출한 표층수온 자료와의 상관분석을 실시한 결과 $R^2 = 0.9027$ 의 높은 상관성을 보였다.

$$SST_{TM} = 0.3023 \cdot DN_{TM6} - 19.853 \quad (1)$$

SST_{TM} :LANDSAT TM에서 추출한 표층수온

DN_{TM6} :LANDSAT TM Band 6에서 추출한 Digital Number Value

3.2 클로로필의 공간분포

기존 연구에서 클로로필과 관련된 자료의 추출에는 현재 작동되고 있는 위성 중에서는 오직 LANDSAT TM의 가시과장이 해수에서 퇴적물, 클로로필, 황색물질농도를 정량화하는데 가장 적합한 것으로 나타나고 있다(Tassan, 1987).

수질변동의 정량화의 신뢰성을 높이기 위하여 알려진 알고리즘을 이용하여 TM 자료로부터 부유퇴적물(Tassan,1987), 클로로필(Ekstrand,1992)을 구하였고, Band 1 자료를 이용하여 작성하였으며, 그 알고리즘은 식 (2)와 같다.

클로로필 공간분포도는 해양환경조사 자료를 기초로 Landsat TM band 3과의 회귀분석을 실시함으로써 클로로필추출의 알고리즘을 도출하여 클로로필 영상을 추출하였고, Landsat TM(CHTM)에서 추출한 클로로필영상의 검증을 위하여 현장관측자료(CHOB)와의 상관분석을 실시한 결과 $R^2 = 0.902$ 의 높은 상관성을 보였다.

$$Ch(mg/l) = 116.78 - 31.19 \cdot (TM1 / \log TM3 + 1), r^2 = -0.830 \quad (2)$$

4. 결론

원격탐측과 해양지리정보시스템기법을 적용함으로써 도출되는 대 축척 성과물에 대한 이용의 다양성과 시,공간적인 분석이 가능함으로서 현지관측에 비해 막대한 비용과 시간을 절약할 수 있는 위성영상해석방

법을 이용한 방법은 현지관측과 비교해서 보다 경제적으로 해양환경이 가능할 것으로 판단되며, GIS를 이용하여 다양하고 복잡한 자료를 데이터베이스화함으로써 가시화하고, 이를 기초로 공간분석을 실시함으로써 환경요소별 공간분포에 대한 파악을 통해 수치모형실험을 이용한 각종 환경영향의 평가 및 예측을 위한 기초자료로 이용이 가능할 것으로 사료된다.

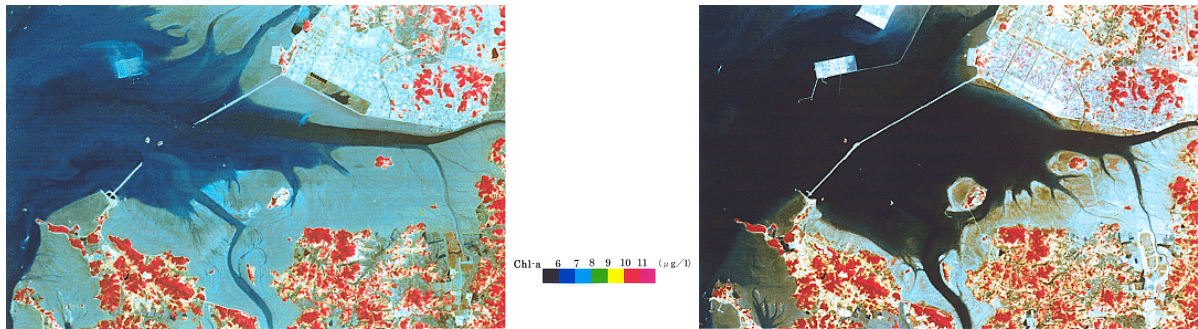


Fig. 4. Change of Chlorophyll (Before and after)

그러나, 인공위성 영상과 같은 수치 영상을 이용한 분류 및 분석은 각 밴드의 픽셀값에 의존하여 행해지기 때문에 보다 정확한 분류와 분석을 위해서는 사용 목적에 맞는 처리 방법을 선정하여 오차를 제거해야 한다. 특히 위성 센서에 의하여 취득된 인공위성 영상은 센서 자체의 기계적인 응답 특성, 태양의 고도각, 대기의 산란(흡수)효과 및 지형의 기복 등 자료획득 당시의 여러 조건에 따라 왜곡될 수 있다. 따라서, LADNSAT/TM 위성의 일정한 회귀주기과 기상에 의해 발생일 현재의 목적지 탐측이 이뤄지지 않을 때가 있어 SeaWiFS 위성자료와 시간대별로 조정 처리해야하는 등의 문제가 발생하였으며, 구체적인 환경인자에 대한 결정을 위해서는 지속적인 연구가 필요하다.

감 사 의 글

본 연구의 일부는 지역혁신인력양성사업과 지역협력연구센터의 지원이 있었으며, 이에 감사드립니다

참 고 문 헌

1. Tassan, S.,(1987). Evaluation of the potential of the Thematic Mapper for Marine Application, International Journal of Remote Sensing 8(10), pp 1455-1478.
2. Jeong and Yoo,(1998), Detection of red tide patches using PCA, proceeding the 8th Pacific congress on marine science and technology.
3. Ekstrand, S.,(1992). LANDSAT TM Based Quantification of Chlorophyll-a During Algae Blooms in Coastal Waters., International Journal of Remote Sensing, 13(10): pp.1913-1926.
4. Jensen, J.R.,(2000), Remote Sensing of the Environment : Prentice-Hall, pp.544
5. 양인태, 김홍규(1994), “리모트센싱 기법을 이용한 호소수질 관리방안: 북한강 수계의 환경인자 추출을 중심으로”, 대한토목학회 논문집, 제14권, 제1호, pp.161-170.
6. 정종철(1999), “원격탐사를 이용한 연안해역과 시화호의 수질평가기법”, 서울대학교 박사학위논문, pp.62-86.
7. 김혜영, 정대섭, 김종국(2000).“GIS를 이용한 새만금 유역의 수질관리 시스템 구축을 위한 연구”, 대한환경 공학회지 , Vol.22, No.8, pp.1503-1512.
8. 임정호, 박종화, 손홍규(2005), 원격탐사와 디지털 영상처리