

Landsat 열적외선 위성자료를 이용한 광양제철소 주변 해역 해수표면온도 분석

Sea Surface Temperature Analysis for the Areas near Gwang-Yang Steel Mill using LANDSAT Thermal Data

김상민¹⁾ · 김창재²⁾ · 한수희³⁾ · 허 준⁴⁾

Kim, Sang Min · Kim, Chang Jae · Han, Soo Hee · Heo, Joon

Abstract

Characteristics of sea surface temperature(SST) difference around Gwang-Yang steel Mill where can affect marine ecosystem in Gwang-Yang bay using 25 collected Landsat-7 ETM+ thermal infrared band data from 2000 to 2010. To analyze accuracy of SST from the Landsat-7 ETM+ thermal infrared image, satellite-induced SST was verified by compared Yeosu tide station and Landsat thermal image. As a result, SST from Landsat-7 ETM+ is 1.22°C lower than sea temperature from Yeosu tide station and correlation coefficient resulted in above 0.991 which means that correlation coefficient between Landsat image temperature and field sea temperature is relatively high. Five regions were selected to analyze sea surface temperature between near Gwang-Yang steel mill and the open sea and analyzed time-series of sea surface temperature seasonally and regionally. Moreover, the additional analysis has been carried out by comparing the averaged temperatures of Gwang-Yang and Soon-Cheon bays using the dataset over a year.

Keywords : Landsat-7 ETM+, Sea Surface Temperature, Gwang-Yang Steel Mill, Time-series Analysis

초 록

해양 생태계에 밀접한 영향을 미치는 대규모 광양제철소가 위치한 광양만 주변 해역을 연구지역으로 2000년부터 2010년까지 총 25장의 Landsat-7 ETM+ 열적외선 자료를 활용하여 해수면온도 변화를 분석하였다. Landsat-7 ETM+ 열적외선 영상으로부터 측정된 해수표면 온도의 정확도를 분석하기 위해 Landsat 열적외선 영상으로부터 측정된 해수면온도는 여수 조위관측소에서 측정된 실측 데이터와 비교 검증하였고, 분석한 결과 Landsat-7 ETM+ 영상으로부터 산정된 해수표면 온도가 여수 조위관측소에서 실측된 온도보다 1.22°C 낮게 나타났으며, 상관도를 분석한 결과 $R^2=0.991$ 로서 위성영상으로부터 추정된 온도와 실측 해수온도는 상관도가 높다고 할 수 있다. 광양제철소 인근의 해수표면온도와 외해의 해수표면온도를 비교 분석하기 위해 총 5지역을 선택하였으며, 해수면 온도의 시계열 자료를 계절별, 지역별로 분석하였다. 또한 광양만과 순천만에서 각각 공간적으로 잘 분포된 5개의 지점들을 선택하여 1년에 걸친 온도변화의 추이와 두 만의 평균 해수온도차를 분석하였다.

핵심어 : Landsat-7 ETM+, 해수면 온도, 광양 제철소, 시계열 분석

1. 서 론

해수표면온도는 연안 해수환경의 특성을 결정하는 가장 기본적인 지시사이며, 연안 생태 환경 변화에 결정적

영향을 미친다(Bertram et al., 2001; Jeremy and John, 2004). 따라서 해양 생태 연구의 기본 자료로서 해수표면온도는 중요한 역할을 한다. 이러한 해수표면온도 측정은 주로 피어, 부이, 선박을 이용하여 점이나 선 형태로 실측 자료

1) 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:netgo82@yonsei.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 연세대학교 건설기술연구소 연구교수(E-mail:earth2moon@gmail.com)

3) 정회원 · 연세대학교 건설기술연구소 연구교수(E-mail:scivile@yonsei.ac.kr)

4) 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 부교수(E-mail:jheo@yonsei.ac.kr)

의 결과를 얻는다. 이러한 실측 자료의 취득은 광대한 해양에 대하여 실제 관측을 실시하는 것은 한계가 있으며, 이러한 자료를 기반으로한 데이터 모델링 결과는 신뢰할 수 있는 해수표면온도 정보를 제공하기 힘들다. 실측관측의 한계를 극복하고자 위성영상을 이용한 관측의 연구가 많이 수행되어지고 있다. 위성을 활용하여 온도변화를 탐지할 경우 인공위성의 센서에 감지되는 전자기파 중에는 태양복사 에너지와 지구복사 에너지 모두 존재하게 된다. 하지만 이중 정확한 지구 복사 에너지만 감지할 수 있다면 정확한 표층 해수면의 온도 산정이 가능하게 된다 (Trisakti, 2004). 위성영상 자료를 이용할 경우, 육지는 지구복사 에너지와 태양복사 에너지를 동시에 반사하기 때문에 정확한 온도 산정이 어려우나 물의 경우 열적외선 파장에서 흑체의 성질을 나타내고 태양복사 에너지를 흡수한 후 지구복사 에너지를 방출하기 때문에 열적외선 센서로 수온을 측정할 수 있다. 해수표면온도를 측정하기 위해서 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)와 Landsat 위성을 사용한 연구가 많이 수행되었다(Yokouama et al., 1995; 정종철, 유신재, 1999; 최승필, 2007; 손홍규 외, 2004; 박경애, 2008). MODIS나 NOAA 위성의 경우 공간해상도가 낮은 이유로 해수표면온도 측정시 광대역을 자주 측정하여 위성 영상을 얻을 수 있으나, 해양의 미세한 변화를 감지하기 어려운 문제가 있다. 반면 Landsat 위성과 같은 중해상도 열적외선 자료는 연안의 작은 변화를 감지할 수 있다. Landsat 위성영상의 열적외선 밴드를 이용하여 해수면의 표층 수온을 계산하기 위해서는 위성에서 얻어진 해수면의 DN(Digital Number)값을 온도로 변환할 수 있는 계산식이 필요하며, 주로 NASA방법, RESTEC (Remote Sensing Technology Center of Japan) 방법, Quadratic 방법이 사용되고 있다. 이 세 가지 방법 중에 NASA방법이 비교적 좋은 결과를 보이므로(정종철, 유신재, 1999) 본 연구에서는 NASA 방법을 사용하였다.

기존의 위성영상을 이용한 해수면온도 측정은 중해상도 위성을 활용한 원자력발전소 주변의 해수온도를 모델링하는 연구가 있었으나(최승필, 2007), 본 연구에서는 하동화력, 포스코 및 여천산업단지가 위치한 광양만 해역의 광양제철소로부터 배출되는 공업용수 및 온배수 분포를 관측하기 위해 30m/60m 공간해상도를 갖고 있는 Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+)의 열적외선밴드를 이용함으로써 2000년부터 2010년까지 광양제철소 부근 해역의 시계열 해수표면온도 변화를 파악

하고자 한다.

2. 대상지역 선정 및 연구자료

2.1 연구 지역

연구 지역은 광양만에 위치하고 있는 광양제철소로서, 광양제철소는 1985년 1기 설비 착공을 시작하여 1987년 조강연산 1,180만 톤의 1기 설비 준공, 1988년 2기 설비 준공, 1990년 3기 설비 준공, 1992년 종합 준공, 1999년 조강연산 2,800만 톤의 5고로를 준공 하였다. 연구해역인 광양만은 넓이가 약 200km²이고 동서 간 길이가 27km, 남북 폭은 약 15km로서 광양, 하동, 남해 및 여수 등의 폐쇄성내만이다. 만의 동북부에는 노랑수도를 통하여 진주만과 이어지고 남동부에는 폭 약 2마일의 여수수도를 통하여 외해와 연결되어 있다. 만의 중앙 및 북부에는 모도, 태인도 등 작은 섬들이 산재하며, 하동화력, 포스코 및 여천산업단지가 위치하여 온배수 등을 유출하고 있다(김종규 외, 2005). 광양 제철소가 건설됨에 따라 광양 지역은 1980년대 이후 지역의 변화와 발전을 선도하는 역할을 하고 있으며, 단일 규모로 세계 최대를 자랑하는 광양제철소는 광양 지역의 산업화, 도시화를 비롯한 여러 측면에서 지역 변화를 주도해 왔다(김민정, 2008). 반면에, 광양제철소는 대규모 장치 산업으로 많은 자원과 에너지를 사용하여 생산과정에서 수질오염과 대기오염 등 환경문제를 유발하고 있어, 해양생태계와 밀접한 관계가 있는 해수표면온도를 모니터링하기 위해 본 연구에서는 광양제철소 인근의 해수표면을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구대상지는 위치는 경도 127° 25' E ~ 128° 05' E, 위도 34° 27' N ~ 34° 51' N에 존재하며, 대상지의 범위는 가로 72km × 세로 43km이다.

2.2 연구 자료

본 연구에서는 2000부터 2010까지 총 25개의 Landsat-7 위성영상 자료를 이용하였으며, 표 1은 Landsat 위성의 분광밴드 영역과 공간해상도를 나타낸다. Landsat의 각 영상으로부터 분석된 해수표면온도 자료의 검증은 위하여 광양만에 위치하고, 국립해양조사원에서 관리하는 여수 조위관측소의 해수면 온도 자료와 비교하였다. 여수 조위관측소는 북위 34도 44분 39초, 동경 127도 46분 05초에 위치하며, 검조의 종류는 OTT형 원격검조의이다. 해수면의 온도를 측정하기 위해 평균해면 181cm의 표층의 바닷물을 채수하여 관측한다.

표 1. Landsat-7 ETM+ 위성의 분광밴드 및 공간해상도

Landsat-7 ETM+			
Band	Spectral range (μm)	Spatial resolution (m)	Temporal resolution (day)
1	0.45-0.51	30	16
2	0.525-0.605	30	16
3	0.63-0.69	30	16
4	0.75-0.90	30	16
5	1.55-1.75	30	16
6	10.4-12.5	60	16
7	2.09-2.35	30	16

3. 이론적 배경

3.1 Landsat 위성영상의 특성

지구에서 방출되는 열복사 에너지는 $10\mu\text{m}$ 부근에서 최대값을 갖으므로, $10\sim 12\mu\text{m}$ 파장대를 관측하면 수면에서 방출되는 복사에너지를 측정할 수 있고 이를 통해 해수면의 온도를 추정할 수 있다(Honjo, 2005). Landsat-7 ETM+ 위성의 열적외선 밴드의 경우 band 6이 이에 해당하며, 이 밴드의 특성은 $10.4\sim 12.5\mu\text{m}$ 파장대에서 얻어지는 열복사량에 의해 표층 수온을 추출할 수 있다. 방사휘도를 통하여 표층수온을 추출하는 방법으로는 대표적으로 NASA 방법, RESTEC방법, Quadratic방법이 있다. 본 연구에서는 시계열 Landsat-7 위성 영상에 대해 NASA 경험식을 적용하여 해수표면온도를 시공간적으로 산정하고, 온도변화를 분석하였다. Landsat-7 ETM+의 경우 한 번에 열적외선 밴드에서 High gain과 Low gain의 두 가지로 구성되어 있어서 서로 다른 값을 사용하여 온도를 산출할 수 있다. 두 밴드를 사용하여 추출한 온도의 차이는 평균 0.5°C 이하로 나타나며, 수온오차 범위에 비해 미미하기 때문에 어느 밴드를 사용하여도 무방한 것으로 판단된다(이훈열, 한향선 2005).

3.2 Landsat-7 위성의 해수표면온도 분석 방법

Landsat TM, ETM+의 열적외선 밴드를 이용하여 해수표면온도를 측정하였으며, 이를 위한 위성영상의 처리 과정은 아래 그림 1과 같다. Landsat TM, ETM+의 열적외선 밴드의 DN값을 먼저 방사휘도 값으로 변환하고, 방사휘도를 다시 Kelvin 온도로 변환한 뒤 Celsius 온도로 변환을

한다. 영상으로 기록된 DN값은 아래의 NASA 경험식(1)을 이용하여 해수의 표층으로부터 방출된 복사에너지 값으로 변환되었다.

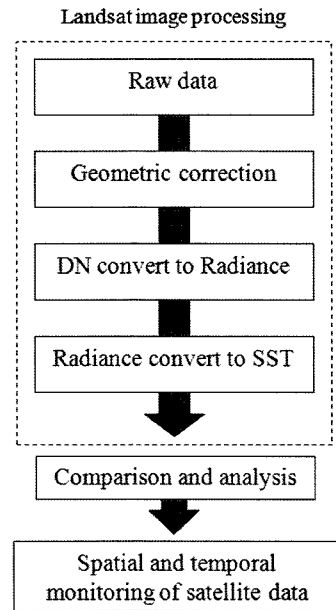


그림 1. Landsat 영상 처리과정

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right) (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + L_{MIN} \quad (1)$$

- L_{λ} (절대방사휘도): 분광방사량 $W/(m^2sr\mu\text{m})$
- L_{MIN} (최소방사휘도): $Q_{CAL} = 0$ 일 때, 분광복사 에너지 $W/(m^2sr\mu\text{m})$
- L_{MAX} (최대방사휘도): $Q_{CAL} = Q_{CALMAX}$ 일 때 복사 에너지 $W/(m^2sr\mu\text{m})$
- Q_{CALMIN} : DN단위로 정량화된 최소복사에너지 (0 or 1)
- Q_{CALMAX} : DN단위로 정량화된 최대복사에너지 (255)
- Q_{CAL} : Digital Number

아래의 표2는 NASA에서 제공하는 gain 값을 나타내며, 식(1)로부터 계산된 방사휘도를 아래 식(2)를 적용하여 절대온도 T(K)로 변환할 수 있다. 또한 식(3)을 통해 절대온도 T(K)를 섭씨 온도 ($^{\circ}\text{C}$)로 변환이 가능하다 (Landsat-7 Handbook).

표 2. Landsat TM/ETM+ 분광반사휘도 값

구 분	L_{MIN}	L_{MAX}
Landsat TM	1.24	15.30
Landsat ETM+(Lowgain)	0.0	17.04

$$T(K) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

- T : Kelvin 단위의 온도
 - K_2 : 보정계수2
 - K_1 : 보정계수1
 - L_λ (절대반사휘도): 측정된 분광반사량 $W/(m^2sr\mu m)$
- $$^{\circ}C = T(K) - 273.16 \quad (3)$$

K_1 과 K_2 는 온도식에 사용되는 보정 계수 값으로 아래 표3은 Landsat-5/7영상에 각각 다른 계수 값이 사용됨을 나타내준다.

표 3. Landsat-5/7의 온도 보정 계수

Constant	$K_1(W/(m^2sr\mu m))$	$K_2(Kelvin)$
Landsat-5 TM	606.76	1260.56
Landsat-7 ETM+	666.09	1282.71

4. 연구 결과

4.1 위성자료의 검정

Landsat-7 ETM+ 위성영상으로부터 측정된 해수표면 온도의 정확도를 분석하기 위해 여수 조위관측소에서 측정된 해수면온도와 비교 분석하였다. 위성자료의 검정을 위해서 아래 표4와 같이 본 연구를 위해 2000년 2월부터 2010년 5월까지 총 25의 시계열 Landsat-7 ETM+ 위성영상을 이용하였으며, 25개의 위성영상과 비교 가능한 여수 조위관측소에서 취득된 시간별 표층수온 관측 자료는 총 17개의 실측온도 자료를 제공하였다. Landsat-7 ETM+ 위성영상의 여수조위관측소 지역 DN값을 NASA의 경험식에 활용하여 온도로 변환하였으며, 표4는 영상온도(NASA), 조위관측소 실측온도와 편차를 설명한다. 광양만 인근지역에 대하여 국립해양조사원에서 고시한 여수 조위관측소 현장자료와 위성영상으로부터 측정된 온도의 평균차이를 분석한 결과 위성영상으로부터 측정된 해수면온도가 여수 조위관측소에서 실측된 온도보다 1.22°C 낮게 나타났으며, 이것으로 볼 때 해수면온도 관측 대상

지역인 광양만 지역 및 그 외 지역에서도 위성영상으로부터 산정된 온도가 실측온도 보다 평균 약 1.22°C 가량 낮을 것으로 예상할 수 있다. 광양만 지역에 대해서 NASA 방법을 이용하여 Landsat 위성영상으로부터 측정된 영상온도와 여수 조위관측소에서 측정된 온도의 상관도를 분석한 결과 $R^2=0.991$ 로서 위성영상으로부터 추정된 온도와 실측지의 상관도는 높다고 할 수 있다. 그림 2는 영상온도와 실측온도의 상관도를 설명한 그림이다.

표 4. 광양만 부근 여수조위관측소의 위성영상 측정온도와 실측온도 비교

날 짜	실측온도 ($^{\circ}C$)	영상온도 ($^{\circ}C$)	편 차 ($^{\circ}C$)
01월 06일 2002년	6.4	5.6	0.8
01월 07일 2008년	7.4	6.7	0.7
01월 14일 2005년	5.5	4.4	1.1
01월 20일 2007년	6.7	5.0	1.7
01월 28일 2010년	5.8	4.4	1.4
02월 05일 2007년	6.0	5.6	0.4
02월 07일 2002년	6.9	6.7	0.2
02월 18일 2000년	6.3	4.4	1.9
02월 24일 2008년	5.8	5.0	0.8
02월 26일 2009년	8.2	6.8	1.4
03월 17일 2010년	8.2	6.7	1.5
03월 27일 2002년	11.5	10.8	0.7
04월 28일 2008년	13.4	12.5	1.0
07월 27일 2000년	21.7	21.6	0.1
10월 24일 2009년	19.8	17.4	2.4
11월 09일 2009년	17.9	15.7	2.2
12월 27일 2009년	9.0	6.7	2.3

상관도 분석

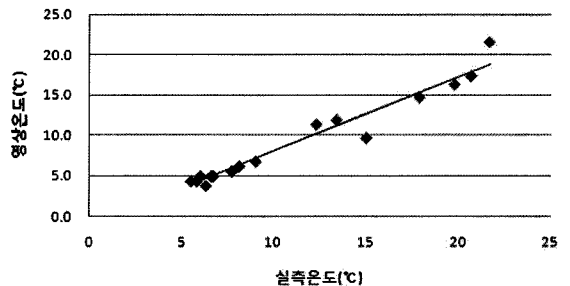


그림 2. 위성영상으로 측정된 온도와 실측온도의 상관성 분석

4.2 Landsat 위성영상을 이용한 해수표면 온도 분석

Landsat-7 위성영상 자료를 이용하여 광양만에 위치하고 있는 광양제철소의 영향으로 제철소 인근의 해수표면 온도와 외해의 해수표면온도를 측정하기위해 광양 제철소(St.1), 남해군 해역(St.2), 여수 조위관측소 (St.3), 남측 외해역(St.4, St.5)를 지정하여 광양 제철소 해역 해수면 온도의 시계열 자료를 계절별, 지역별로 비교·분석하였다. 그림 3에 노란색으로 표시된 5개의 스테이션들 (St.1 ~ St.5)은 해수면 온도를 영상으로부터 취득한 위치이다. 또한, 순천만과 광양만의 상대적인 시계열 온도변화를 살펴 보기 위하여 각각의 만에서 5개의 지점들 (순천만 - 녹색 지점, 광양만 - 빨간색지점)을 선정하여 해수면 온도를 취득/활용하였다. 보통 연안이나 해양에서의 계절은 일반적으로 육상에 비해 한 달씩 온도 변화가 늦게 나타난다

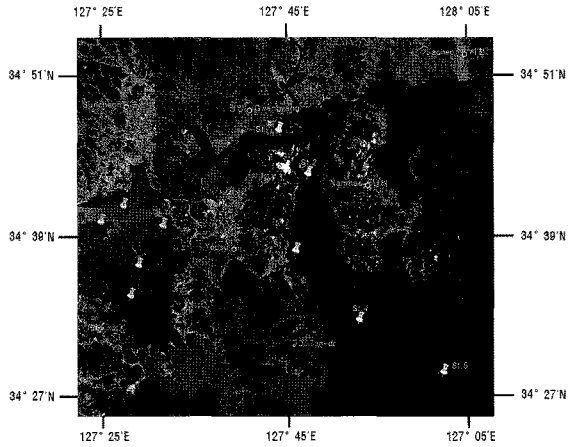


그림 3. Landsat 영상 해수면 온도 취득 위치 및 광양만과 순천만 해수면 온도 취득 위치

표 5. 계절별·위치별 위성영상으로부터 취득된 해수표면온도

영상취득 날짜	온도(°C)				
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
01월 06일 2002년	5.56	6.15	5.56	7.32	9.06
01월 07일 2008년	9.06	6.74	6.74	7.32	10.2
01월 14일 2005년	4.96	5.56	4.36	8.49	10.77
01월 20일 2007년	7.32	6.15	4.96	7.91	9.6
01월 28일 2010년	7.32	5.56	4.36	7.32	8.49
02월 05일 2007년	6.74	6.15	5.56	8.49	9.06
02월 07일 2002년	9.06	6.74	6.74	7.32	9.06
02월 18일 2000년	6.15	4.36	4.36	6.15	7.91
02월 20일 2001년	8.49	6.15	5.56	7.31	9.06
02월 24일 2008년	6.15	6.15	4.96	7.91	9.06
03월 17일 2010년	9.63	6.74	6.74	6.74	7.32
03월 27일 2002년	11.89	10.2	10.77	10.77	10.77
04월 06일 2000년	11.89	10.2	10.2	9.06	10.2
04월 15일 2003년	14.11	11.89	11.89	11.33	11.89
04월 28일 2008년	14.11	13.01	12.45	11.89	11.89
05월 04일 2010년	15.74	13.56	13.01	12.45	14.11
07월 27일 2000년	23.05	22.05	22.05	21.54	20.51
09월 03일 2002년	23.58	23.07	23.58	23.58	24.08
09월 16일 2001년	24.08	23.58	23.07	23.07	22.56
10월 15일 2000년	19.46	17.88	17.88	17.88	18.41
10월 18일 2001년	19.46	19.46	18.41	18.94	18.94
10월 24일 2009년	18.94	17.88	17.35	16.82	16.82
11월 06일 2002년	13.01	13.01	12.45	13.01	13.56
11월 09일 2009년	17.35	16.28	15.74	15.74	15.74
12월 27일 2009년	10.2	6.74	6.74	8.49	10.2

(George and William, 1982). 따라서 본 연구에서는 Landsat 영상을 이용한 계절별 시계열 분석을 위하여 3월 말에서 6월에 얻어진 자료를 봄철자료로 구분하였으며, 여름, 가을과 겨울 영상은 각각 7-9, 10-12 중순까지, 12월 말-3월 중순까지 표5와 같이 구분하여 분석하였다. 2000년부터 2010년 사이의 3월부터 5월까지 총 5개의 위성영상을 활용하여 봄철 해수면온도를 측정하였으며, 봄철의 위성영상들은 그림 4와 같다. 봄철 영상들의 온도 분포는 9.06~15.74°C이며, 평균온도는 11.97로 나타났다. 봄철 St.1의 평균해수면온도는 13.55°C, St.2의 평균해수면온도는 11.77°C, St.3의 평균해수면온도는 11.66°C, St.4의 평균해수면온도는 11.10°C, St.5의 평균해수면온도는 11.77°C로 나타났다. 여름철 위성영상들은 그림 5와 같고, 2000년부터 2002년 사이의 7월부터 9월까지의 총 3장의 위성영상을 활용하여 여름철 해수면온도를 측정하였다. 이는 우리나라의 여름철 기후 특성상 태풍 및 장마의 영향으로 위성영상 취득이 어렵기 때문이다. 여름철 영상들의 온도 분포는 20.51~24.08°C로 나타났다. 여름철 St.1의 평균해수면온도는 23.57°C, St.2의 평균해수면온도는 22.90°C, St.3의 평균해수면온도는 22.90°C, St.4의 평균해수면온도는 22.73°C, St.5의 평균해수면온도는 22.38°C로 나타났다. 가을철은 그림 6과 같이 2000년부터 2009년 사이의 10월부터 12월까지 총 5개의 위성영상을 활용하여 가을철 해수면온도를 측정을 하였다. 가을철 영상들의 온도 분포는 12.45~19.46°C로 온도차가 나타났다. 가을철 St.1의 평균해수면온도는 17.64°C, St.2의 평균해수면온도는 16.90°C, St.3의 평균해수면온도는 16.37°C, St.4의 평균해수면온도는 16.48°C, St.5의 평균해수면온도는 16.69°C로 나타났다. 겨울철은 그림 7과 같이 2000년부터 2010년 사이의 사실상의 겨울인 12월 말 영상부터 3월 중순까지 총 12장의 위성영상을 활용하여 겨울철 해수면온도를 측정하였으며, 영상들의 온도분포는 4.96~10.77°C의 온도 분포를 나타냈다. 겨울철 St.1의 평균해수면온도는 7.64°C, St.2의 평균해수면온도는 6.10°C, St.3의 평균해수면온도는 5.55°C, St.4의 평균해수면온도는 7.56°C, St.5의 평균해수면온도는 9.15°C로 나타났다.

계절별 · 시계열별 해수표면온도의 변화를 한눈에 보기 위하여 Landsat 위성영상으로부터 측정된 온도를 그림 8과 같이 그래프로 도식하였다. 그림 8의 봄 그래프는 광양제철소와 가장 가까운 관측위치인 St.1(광양제철남부)의 해수면온도가 가장 높은 것을 확인 할 수 있으며, 봄철에는 외협으로 갈수록 해수표면온도가 낮아지는 경향을

보였다. St.1의 해수표면온도가 St.1에서 가장 멀리 떨어져 있는 St.5 보다 약 1.6~2.7°C 높은 것으로 나타났다. 여름 그래프는 2002년 9월 3일 영상을 제외한 영상 또한 다른 계절과 같이 St.1의 온도가 가장 높은 경향을 보였다. St.1의 해수표면온도가 St.1에서 가장 멀리 떨어져 있는 St.5 Station을 제외한 다른 Station 보다 해수표면온도가 약 0.5~2.5°C 정도 높은 것으로 나타났다. 가을 그래프는 해수면 온도 변화를 분석해 본 결과 가을철 해수면온도 또한 St.1이 높은 온도를 나타냈으나 가을철의 해수면 온도는 취득된 영상의 5개 Station 별 해수표면온도 변화가 4계절 중 약 0.5~1.5°C로서 가장 작은 것으로 나타났다. 겨울 그래프는 2000년 2월부터 2010년 3월까지 총 12장의 위성영상을 이용하여 각 Station 별로 해수표면온도를 분석하였다. 겨울철의 해수표면온도는 St.5 지역이 St.1의 지역보다 0.5~2.9°C 높은 것으로 나타났으며, 이는 4계절 중 유일하게 광양제철소의 근해보다 외해의 해수표면온도가 높게 측정되었다. 위성영상으로 부터 취득된 겨울철 해수표면 온도 중 2005년 1월 14일 영상은 St.1과 St.5의 온도가 약 5°C의 차이를 보이는 것으로 보아 우리나라 겨울철의 남해에 영향을 끼치는 적도지방에서 북상하는 따뜻한 쿠루시오 해류의 영향을 받아 남측 외해역으로 갈수록 수온이 높아진 것으로 추정된다. 겨울철에는 차가운 육지의 영향으로 St.1이 다른 지역보다 낮은 온도를 유지해야하는데 광양만 지역에서는 오히려 높은 현상을 보였다.

사계절 모두에 있어서 광양제철소 인근 해수면 온도가 최저 해수표면온도를 보이는 지역과 약 0.5~5°C 정도 높음을 나타냈으며, 이는 광양제철소에서 발생하는 공업용수 및 기타 영향으로 광양제철소 인근의 해수면 온도를 상승시키는 요인을 배출하고 있는 것을 추정할 수 있다.

추가적인 실험으로 광양제철소 부근의 평균온도와 광양만 바로 좌측의 순천만의 평균 온도가 일년주기에 있어 어떤 변화추이를 보이는지를 분석하였다. 이를 위해 각 월을 대표하는 9개의 영상데이터를 이용하였으며, 두 개의 만에서 각각 골고루 분포된 5지역을 선정하였고 이들의 온도를 계산하였다(그림 3 참조). 이들 평균을 광양만과 순천만 각각의 월별 평균온도로 산정하였으며 이를 아래의 그림 9에서와 같이 도시하였다. 또한 두 만의 월별 평균 온도의 차이 또한 이 그림에 도시되었다. 그림에서 보는 바와 같이 광양만과 순천만의 온도차이가 12월과 1월에 약 2~2.5°C 정도로 극대화되고 여름에 가까워질수록 감소된다. 이는 광양 제철소에서 방출되는 공업용수와 해수의 온도 차이가 여름철보다는 겨울철에 상대적으로 차이가 많이

나므로 이와 같은 현상이 발생한다고 사료된다. 즉, 순천만과 유사해야 할 광양만의 해수의 온도를 광양제철소에서 방출되는 공업용수가 상승시킨다는 분석이 가능하다. 일부 4월과 7월에서 영에 가까운 마이너스의 값을 가지기도

하는데 이는 해양과 대기 등 다양한 요인에 의한 일부 노이즈의 영향과 여름철 25°C에 육박하는 해수보다 방출되는 공업용수의 온도가 상대적으로 낮을 경우 미비하나마 해수의 온도를 낮추는 역할도 가능하다고 분석된다.

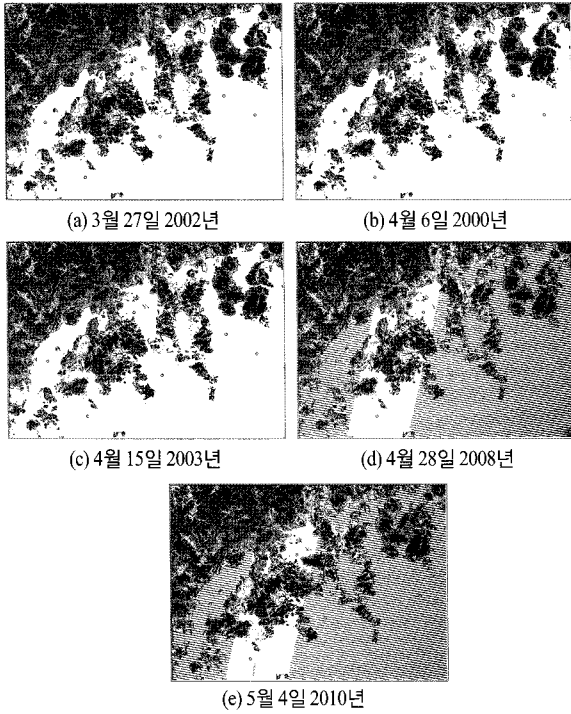


그림 4. Landsat-7을 이용한 봄의 해수표면온도 분포

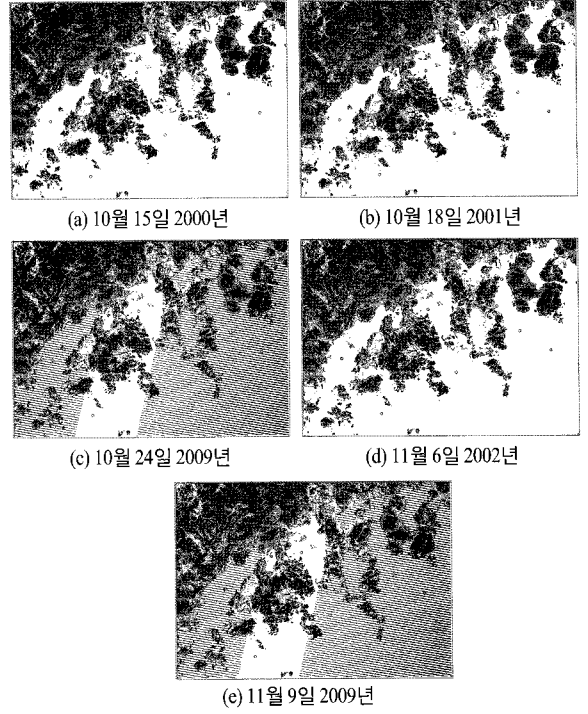


그림 6. Landsat-7을 이용한 가을의 해수표면온도 분포

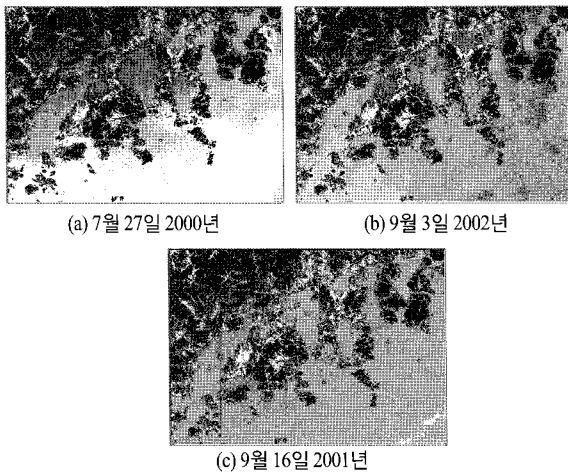


그림 5. Landsat-7을 이용한 여름의 해수표면온도 분포

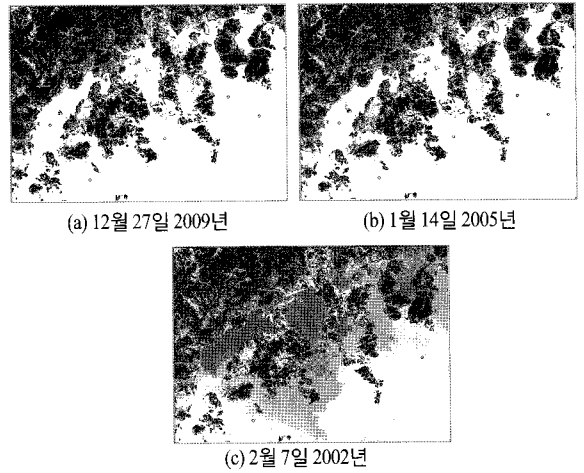


그림 7. Landsat-7을 이용한 겨울의 해수표면온도 분포

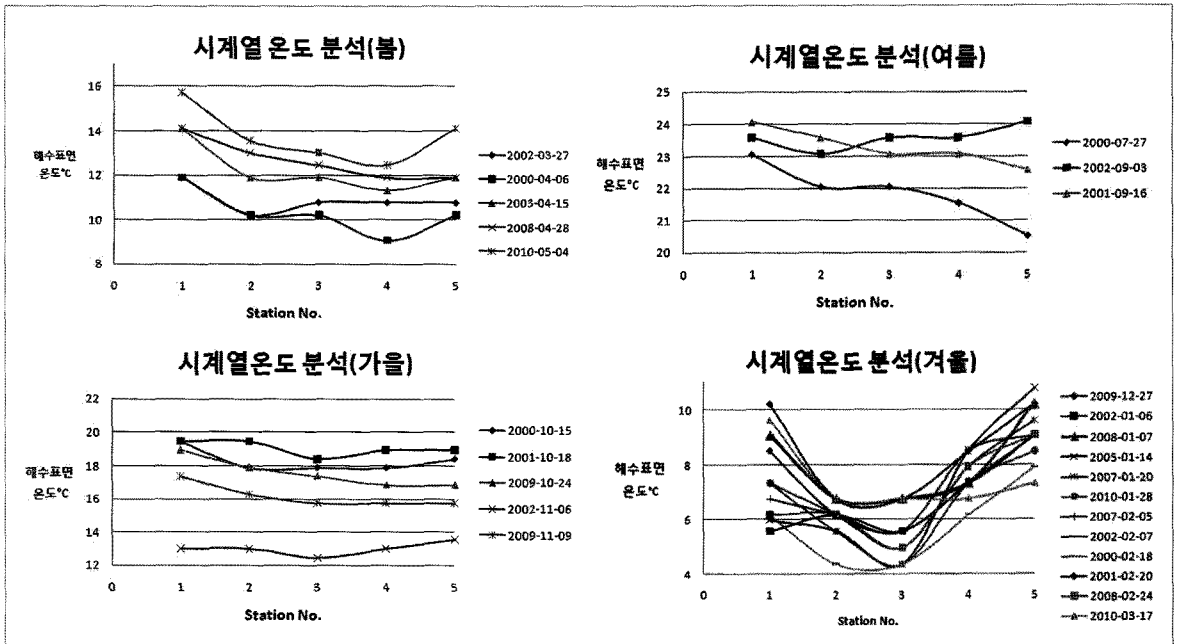


그림 8. 계절별 · 시계열별 해수면 온도 분포도

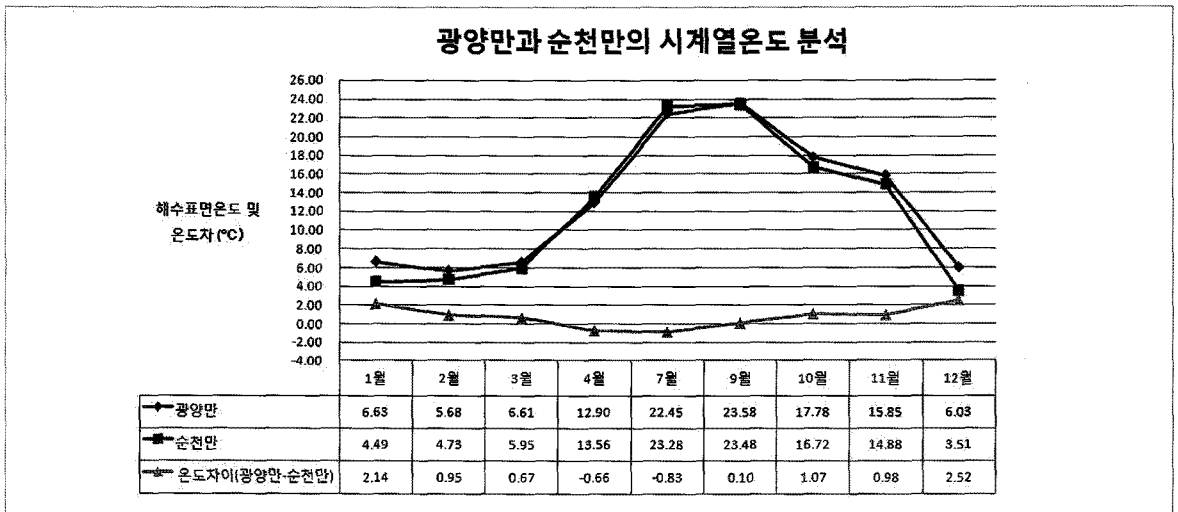


그림 9. 광양만과 순천만의 시계열온도 분석

5. 결론 및 고찰

본 연구는 연안생태환경에 영향을 미치는 해수표면온도를 모니터링하기 위한 연구로서 광양만에 위치하고 있는 광양제철소를 연구 대상지로 하였다. 대상지 부근의 해수표면온도를 파악하기 위해 비교적 높은 공간해상도

의 Landsat-7 열적외선 영상으로 시계열 분석을 수행하기 위해서 2000년부터 2010년까지 총 25장의 위성영상에 대하여 분석하였다. 위성영상을 이용한 해수표면온도는 실제 해양관측수온에 대하여 일반적으로 0.5~0.9°C의 RMS 오차를 가지고 있는 것으로 보고되고 있으나(Mclain, 1985; Walton, 1998) 위성영상은 해양과 대기 등 다양한 요인에 의해 해수표면온도차의 범위가 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 실측자료가 해수면으로부터 181cm 아래에서 취득되었으므로, 위성영상으로부터 결정된 해수면 온도를 검증하기 위해 광양만 부근의 여수 조위관측소의 실측자료와 비교결과 평균 약 1.22°C 가량의 온도 차이가 있는 것으로 나타났다. 총 25장의 Landsat-7 위성영상으로부터 측정된 계절별·시계열별 온도 분포를 분석해 본 결과 광양제철소 인근의 해수면 온도가 다른 외해역 해수면 온도보다 약 0.5~5°C 정도 높음을 나타남을 확인했다. 또한 광양만과 순천만의 평균온도를 비교하는 실험에서도 광양만의 온도가 순천만의 온도에 비해 겨울철에 최대 2°C 이상 높게 나타남을 확인했다.

향후 연구의 진행방향은 열적외선 위성영상으로부터 취득된 해수면온도 데이터와 해양의 물리적, 화학적, 생물학적 변화 데이터를 연계하여 해수면온도의 변화가 해양생태계에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

참고문헌

- 국립해양조사원 홈페이지 (<http://www.nori.go.kr>)
- 김민정 (2008), 포스코 광양제철소 인근 지역의 환경문제와 주민들의 환경권, 사회과학연구, 서강대학교 사회과학연구소, 제16권 1호, pp. 496-532
- 김종규, 조성훈, 박일흠 (2005), 실시간 수온모니터링 및 위성영상에 의한 광양만 표층수온 분포특성, 2005년도 추계학술대회 논문집, 한국해양환경공학회.
- 박경애, Sakaida, F., Kawamura, H. (2008), 인공위성 관측 해수면온도와 현장관측 수온의 비교를 통해 본 해양 피층-표층 수온의 차이, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 24(4), pp. 273-287.
- 손홍규, 곽은주, 방수남, 박완용 (2004), Landsat 영상을 이용한 도시 확장과 지표온도 변화 탐지, 추계학술 발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 161-166.
- 이훈열, 한향선 (2005), Landsat 시계열 영상을 이용한 한강 수계호수 수온과 계절적 층층현상 분석, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 21권 4호, pp. 253-271.
- 정종철, 유신재 (1999), Landsat TM을 이용한 표층수온 분석오차, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 15권 1호, pp. 1-8.
- 최승필, 육운수, 홍성창, 송영선 (2007), 시계열 Landsat 위성영상을 활용한 울진 원자력발전소 주변 해수온도 분포분석, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제15권, 제3호, pp. 51-57.
- 최승필, 양인태 (1997), Landsat TM 영상에 의한 원자력 발전소로부터의 온배수 확산의 추적조사, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제15권 2호, pp. 231-236.
- Bertram, D. F., Mackas, D. L., McKinnell, S. M. (2001), The seasonal cycle revisited: Interannual variation and ecosystem consequences. *progress in Oceanography*, 49, pp. 283-307.
- George L. P. and J. E. William (1982) Descriptive physical oceanography, An Introduction, Elsevier Science Ltd, New York, USA.
- Honjo, T., Ueda, H., Nagatani, Y., Lim, E. and K. Umeki (2005), Analysis of Surface Temperature in Urban Green Spaces by Using Landsat TM and ETM+ Ddata, *The 11th CERES International Symposium on Remote Sensing*.
- Jeremy I. Fisher, John F. Mustard (2004), High spatial resolution sea surface climatology from Landsat thermal infrared data, *Remote Sensing of Environment*, 90, pp. 293-307.
- Landsat project Science office, 2006. Landsat 7 Science Data User's Handbook.
- McClain E.P., W. G. Pichel, and C. C. Walton (1985), Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 90, pp. 3655-3661.
- Trisakti, B., Sulma, S. and S. Budhiman. (2004), Study of Sea Surface Temperature (SST) using Landsat-7 ETM (In Comparison with Sea Surface Temperature of NOAA-12 AVHRR), *The Thirteenth Workshop of OMISAR Project in Bali Indonesia*, pp. 181-185.
- Walton, C. C., W. G. Pichel, J. F. Sapper, and D. A. May (1998), The development and operational application of non-linear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with NOAA polar-orbiting environment satellites. *Journal of Geophysical Research*, 103 (12), pp. 27999-28012
- Yokoyama (1995), Seasurface effects on the surface temperature estimation by remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 16 (2), pp. 227-238.