

연구논문

시계열 Landsat 위성영상을 활용한 울진 원자력발전소 주변 해수온도 분포분석

Analysis of Sea Surface Temperature Distribution Around Uljin Nuclear Power Station Using Time Series Landsat Satellite Images

최승필* · 육운수** · 홍성창*** · 송영선****

Choi, Seung Pil · Yook, Woon Soo · Hong, Sung Chang · Song, Yeong Sun

要 旨

본 연구에서는 핵발전소의 운영을 위해 사용되는 냉각수로 인하여 발생하는 발전소 주변의 해수 온도 변화를 분석하였다. 대상지역으로는 비교적 큰 원자력 발전소에 속하는 울진 원자력 발전소의 근해지역을 연구지역으로 선정하였다. 원자력 발전소 온배수에 대한 환경 문제의 감시는 해안지역이며 비교적 광범위한 지역이므로 현장 감시에 대하여 어려운 점이 많다. 핵발전소 주변의 온도분석을 위해서 비교적 취득이 용이하고 수면온도 변화탐지에 많이 사용되고 있는 Landsat 5위성영상과, Landsat 7 위성영상을 활용하였다. 대상지역의 Landsat 영상에 대하여 기하보정을 수행하고, 방사휘도 및 온도를 산정하였다. 그 결과 핵발전소 주변 인근해 지역과 온배수의 영향을 받지 않는 동쪽으로 3km 떨어진 동일 면적의 지역과 비교 하여 보았을 때 약 2℃ 높은 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : Landsat 위성영상, 수면온도, 원자력 발전소

Abstract

In this study, We analyzed change of sea surface temperature due to cooling water around nuclear power station. Study area is around of Uljin nuclear power station, which is relatively large power station. There are many problems in monitoring environmental change around of nuclear power station, because area is relatively large. We used Landsat 5, 7 Imagery which are useful in temperature analysis and can be easily obtained. After we georeferenced Landsat Imagery, radiance and sea surface temperature were calculated. As a result, As we compared sea surface temperature of surrounding area of nuclear power station with same area located 3 km east, there are 2.049℃ temperature difference.

Keywords : Landsat Satellite Images, Sea Surface Temperature, Nuclear Power Station

1. 서 론

위성을 활용하여 온도변화를 탐지할 경우 인공위성의 센서에 감지되는 전자기와 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). 다시 말하면, 육지의 경우 지구복사 에너지와 태양복사 에너지를 동시에 반사하기 때문에 정확한 온도 산정이 어렵다. 러나 강이나 호수 바다등과 같은 물의 경우 열적외선

그 파장에서 흑체에 가까운 성질을 지니고 있을 뿐 만 아니라 태양복사에너지를 모두 흡수하고 지구 복사에너지를 전부 방출하기 때문에 주간에 열적외선 센서로 취득된 위성영상을 이용하여 수온을 비교적 정확하게 계산할 수 있다.

Landsat 위성영상의 열적외선 파장은 단일 밴드(band6)로서 대기의 영향에 대한 오차를 제거함에 어려운 문제가 있지만 공간해상력은 MODIS와 같은 영상에 비하여 고해상도라는 장점을 가지고 있다. 따라서 비교적 소규모 공간적 범위의 표층 수온 분석을 위해서는 60m(band6)

2007년 7월 26일 접수, 2007년 8월 30일 채택

* 정희원·관동대학교 토목교통공학부 교수 (spchoi@kwandong.ac.kr)

** 정희원·관동대학교 토목교통공학부 교수 (yook@kwandong.ac.kr)

*** 강릉대학교 토목공학과 석사과정 (3138h@hanmail.net)

**** 정희원·(주)KT BIZ컨설팅본부 과장 (point196@kt.co.kr)

의 공간해상력을 가지는 Landsat 위성영상의 적용이 적절하다고 할 수 있다.

연구 사례로 손홍규(2004)는 Landsat 영상을 이용하여 서울시 지표 온도를 산출하였으며 최승필(1997)은 발전소 건립 후 시점에서 Landsat5 위성영상 2매를 이용하여 영광 원자력 발전소 주변의 해수표층수온을 조사하기 위해 다항식과 NASA식을 적용하였다. 본 논문은 Landsat-5 영상 2장과 Landsat-7영상 4장의 다양한 시기별 영상을 통하여 원자력 발전소가 건설되기 전과 후를 비교하였다. 또, 온배수가 어떠한 형태로 확산이 되는지 알아보기 위하여 등온선 지도를 제작하였다.

Landsat 위성영상의 열적외선 밴드를 이용하여 해수면의 표층 수온을 계산하기 위해서는 위성에서 얻어진 해수면의 DN값을 온도로 변환할 수 있는 계산식이 필요하며, 주로 NASA방법, RESTEC(Remote Sensing Technology Center of Japan)방법, Quadratic방법이 사용되고 있다. 이 세 가지 방법 중에 NASA방법이 비교적 좋은 결과를 보이므로(정중철, 1999) 본 연구에서는 NASA 방법을 중심으로 사용하였으며 부수적인 방법으로 영상에서의 DN값과 실측데이터 비교를 통한 영상온도의 알아보기 위하여 Quadratic방법을 적용하였다. 본 논문은 영상의 기하보정 후 위의 두 식을 통하여 온도를 산출하였으며 산출된 온도의 상관성 분석 및 온배수 확산에 대하여 분석하였다. 연구에 사용된 소프트웨어로는 ERDAS IMAGINE 8.6과 ARCGIS 9.0이 사용되었으며 산출된 표층수온 자료를 근거로 하여 주변지역의 실측데이터와 비교 분석, 울진 원자력 발전소의 온배수에 대한 분포와 수온의 상승을 알아보고 평가하였다.

2. 국내 원자력 발전소 현황 및 연구 대상지역

현재 국내의 원자력 발전소는 1978년 고리 원자력 발전소 4호기를 시작으로 월성원자력 4호기, 영광원자력 6호기, 울진원자력 6호기 총 4곳에서 20호기의 발전소가 가동 중에 있으며 원자력 발전은 2005년 기준 국내 총 전력생산의 38.7%라는 높은 비중을 차지하고 있다. 이중 울진 원자력 발전소는 마지막으로 가동을 시작한 발전소로서 발전량은 연간 500억 KWh의 실적을 올리고 있으며, 처음으로 가동된 1, 2호기의 경우 1988년 건설된 이후 1996년까지 1,000억 KWh를 생산하였는데 이는 유류 사용 대비 경제적 이익으로는 경우 8,700만 배럴 원화 2조 1천억원의 이익이 발생하였다. 국내 원자력 발전소중 비교적 큰 규모에 속하는 울진 원자력 발전소에서 온배수의 배출이 많을 것으로 예상되므로 연구 대상지역으로 선정하였다.

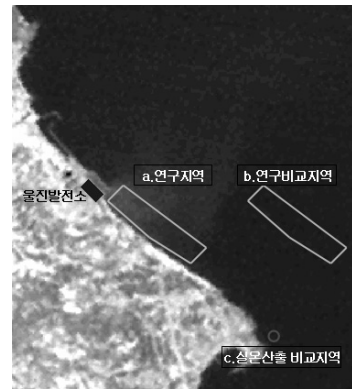


그림 1. 연구 대상지역 및 Landsat 위성영상

세부 연구지역으로는 울진 원자력 발전소 근해인 그림 1의 a지역(면적 $1,451,749m^2$)을 중심으로 하였으며, 중심 연구지역과 비교하기 위하여 동으로 $3km$ 떨어진 그림 1의 b지역(a지역과 동일면적)에 대하여도 조사를 하였다. 또, 영상의 실제 온도를 산정하기 위하여 해양수산정보센터(NFRDI)에서 고시한 죽변항 주변 중심 경도 129.433° 위도 37.058° 의 현지 온도자료(실측자료)를 이용하여 동일 지점인 그림 1의 c지역의 영상온도와 비교 분석 하였다. 연구지역이 온배수가 분포하고 있는 지역보다 작은 이유는 해류의 영향을 고려하여 볼 때 모든 영상에 대하여 온배수의 영향을 받는 지역을 선정하기 위함이다.

3. Landsat 위성영상 기반 수온 산정 방법

지구에서 방출되는 열복사 에너지는 $10\mu m$ 부근에서 최대값을 가진다. 따라서, $10\sim 12\mu m$ 파장대를 관측하면 수면에서 방출되는 복사에너지를 측정할 수 있고 이를 통해 수면의 온도를 추정할 수 있다(Honjo, 2005). Landsat 위성영상의 경우 band6이 이에 해당한다고 할 수 있으며, $10.4\sim 12.5\mu m$ 의 파장에서 얻어지는 열복사량에 의해 표층 수온을 추출할 수 있다. 방사휘도를 통하여 표층수온을 추출함에 있어 크게 3가지 방법이 연구사례로 발표되었는데 NASA방법, RESTEC방법, Quadratic방법이다. 본 연구에서는 시계열 Landsat 5 위성영상과 Landsat 7 위성영상에 대하여 NASA경험식을 적용하여 시공간적 온도를 산정하고 온도 변화를 분석하였다.

Landsat TM, ETM+의 열적외선 밴드의 DN값을 먼저 방사휘도 값으로 변환하고, 이를 다시 온도로 변환해야 한다. 위성영상의 DN값으로부터 방사휘도(L_λ)로 변환하는 NASA 경험식은 아래 식 (1)과 같다.

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCLAMAX - QCALMIN)) \times QCAL + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

다음과 같다.

$$^{\circ}c = Temp(K) - 273.16 \quad (3)$$

QCAL: 영상의 DN값(band6 영상수치자료)

QCLAMAX: 최대 DN값

QCALMIN: 최소 DN값

LMAX_λ: DN값의 최대 방사휘도

LMIN_λ: DN값의 최소 방사휘도

식 (1)로부터 계산된 방사휘도를 아래 식 (2)를 적용하여 절대온도 Temp(K)로 변환할 수 있다.

$$Temp(K) = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) \quad (2)$$

K₂: 보정계수2($mW / (cm^{-2}ster^{-1}\mu m^{-1})$)

K₁: 보정계수1(K)

L_λ: Band6의 방사휘도

절대온도 Temp(K)를 섭씨온도(°C)로 변환하는 식은

표 1과 표 2는 각각 TM과 ETM+의 LMAX_λ와 LMIN_λ의 지상처리 분광반사휘도이다. Landsat 7 ETM+의 경우에는 열적외선 밴드가 High gain과 Low gain의 두 가지로 구성되어 있어 서로 다른 값을 사용하여 온도를 산출할 수 있다. 그러나 두 밴드를 사용하여 추출한 온도의 차이는 평균 0.5°C 이하로 나타나며, 수온오차 범위에 비하여 미미하기 때문에 어느 밴드를 사용하도 무방한 것으로 판단된다(이훈열, 1999).

Quadratic 방법은 Landsat 영상의 DN값과 실측온도와의 관계를 2차 다항식으로 표현하는 경험식이다. 본 연구에서는 Landsat 7 영상 4장을 이용하여 실측온도 취득 지점의 평균 DN값을 추출하고 식 (4)와 같이 계수를 결정하였다. 그러나 이방법의 경우 여러 지점의 다양한 시기별 실측온도 자료가 취득 되어야만, 그 정확성과 활용성

표 1. Landsat 5 TM의 LMAX_λ와 LMIN_λ의 지상처리 분광반사휘도(m²*ster*μm)

Band Number	1984년 3월 1일 ~ 2003년 5월 4일		2003년 5월 5일 ~	
	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX
TM1	-1.52	152.10	-1.52	193.0
TM2	-2.84	296.81	-2.84	365.0
TM3	-1.17	204.30	-1.17	264.0
TM4	-1.51	206.20	-1.51	221.0
TM5	-0.37	27.19	-0.37	30.2
TM6	1.2378	15.303	1.2378	15.303
TM7	0.15	14.38	-0.15	16.5

표 2. Landsat 7 ETM+의 LMAX_λ와 LMIN_λ의 지상처리 분광반사휘도(m²*ster*μm)

Band Number	2000년 7월 1일 이전				2000년 7월 1일 이후			
	Low Gain		High Gain		Low Gain		High Gain	
	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX
ETM+1	-6.2	297.5	-6.2	194.3	-6.2	293.7	-6.2	191.6
ETM+2	-6.0	303.4	-6.0	202.4	-6.4	300.9	-6.4	196.5
ETM+3	-4.5	235.5	-4.5	158.6	-5.0	234.4	-5.0	152.9
ETM+4	-4.5	235.5	-4.5	157.5	-5.1	241.1	-5.1	157.4
ETM+5	-1.0	47.70	-1.0	31.76	-1.0	47.57	-1.0	31.06
ETM+6	0.0	17.04	3.2	12.65	0.0	17.04	3.2	12.65
ETM+7	-0.35	16.60	-0.35	10.932	-0.35	16.54	-0.35	10.80
ETM+8	-5.0	244.00	-5.0	158.40	-4.7	243.1	-4.7	158.3

이 확보될 수 있다.

$$Temp(^{\circ}C) = -0.0330909DN^2 + 8.5761454DN - 539.73912 \quad (4)$$

4. 실험 및 분석

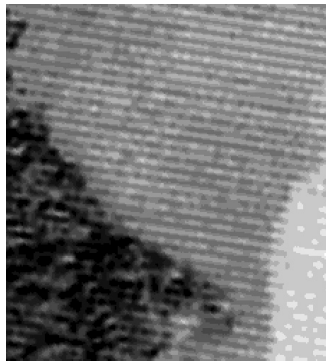
표 3과 같이 1984년~2002년까지 6장의 시계열 Landsat 5 및 Landsat 7 위성영상에 대하여 올진 원자력발전소 인근 해수면 온도 자료를 산정하고 온도분포를 분석하였으

며, 해당하는 영상은 그림 2와 같다.

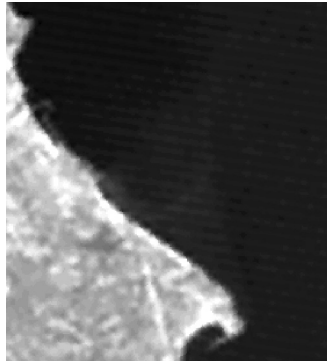
a지역과 b지역의 경우 Landsat 단일 열적외선 밴드에서 얻어지는 DN값을 NASA의 경험식에 활용하여 온도로 변환하였으며, 표 4는 NASA방법을 통한 영상온도와 실측 온도의 차이를 나타낸다. 죽변항 인근지역(c지역)에 대하여 해양수산정보센터(NFRDI)에서 고시한 현장자료와 위성영상에서 산정된 온도의 평균 차이를 분석한 결과 위성영상으로부터 산정된 온도가 실측온도보다 2.263℃ 낮게 나타났으며, 이것으로 미루어 볼 때 대상지역인 a지역 및

표 3. 사용된 시계열 Landsat 위성영상

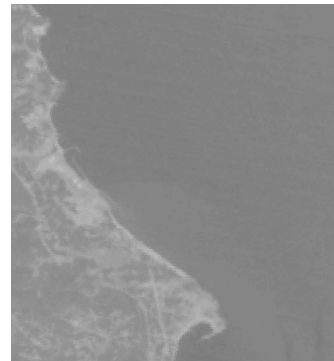
No	취득된 날짜	종류		해상도(band6)
1	84년 12월 7일	Landsat 5	TM	120m
2	99년 5월 7일	Landsat 5	TM	120m
3	00년 6월 18일	Landsat 7	ETM+	60m
4	00년 11월 9일	Landsat 7	ETM+	60m
5	01년 4월 18일	Landsat 7	ETM+	60m
6	02년 4월 5일	Landsat 7	ETM+	60m



84년 12월 7일



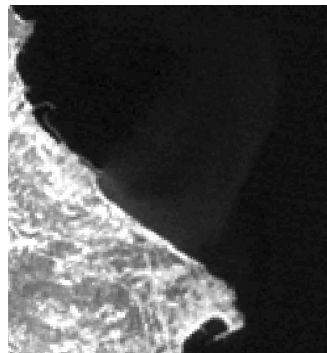
99년 5월 7일



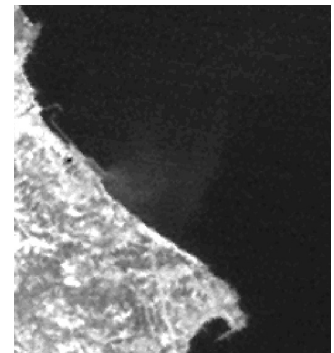
00년 6월 18일



00년 11월 9일



01년 4월 18일



02년 4월 5일

그림 2. 연구에 사용된 위성영상(band6)의 발전소 중심으로 확대한 영상

b지역에서도 위성영상으로부터 산정된 온도가 실측온도보다 평균 약 2.3°C 가량 낮을 것으로 예상할 수 있다.

그림 4는 울진 원자력 발전소 지역(a지역)과 대한 비교지역(b지역)의 평균온도 비교 그래프이며, 표 5는 울진 원자력 발전소 지역(a지역)과 비교지역(b지역)에 대하여

영상으로부터 산출한 세부온도 자료이다.

울진 원자력 발전소가 88년부터 가동되었다는 것에 대하여 주목하였을 경우 84년과 다른 조사년도를 비교하였을 때 NASA식을 통한 분석결과 84년의 경우 인근해지역(a지역)이나 비교지역(b지역)의 평균온도의 차이는 0.05°C 미만으로, 3km 밖의 비교지역(b지역) 온도와 발전소위치의 온도에서 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 84년을 제외한 영상들을 보았을 때 두 지역이 멀지 않음에도 불구하고 동일 면적의 대하여 평균 약 2°C의 차이가 발생 하였다는 것은 비교적 큰 차이라고 할 수 있다. 또한, 울진 원자력발전소지역(a지역)의 최대, 최소온도의 평균 차이는 4.11°C 인 반면 비교지역(b지역)의 최대, 최소온도의 평균 차이는 1.135°C 로서 울진발전소 지역보다 비교지역의 평균 온도 차이가 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 울진발전소 인근해지역(a지역)은 원자력 발전소에서 배출하는 온배수에 대하여 밀접한 관계를 가지고 있으며 영향을 받고 있는 지역이라고 할 수 있다.

표 4. 죽변지역(c지역) 위성영상으로부터 산정된 온도(NASA)와 현장조사온도의 비교(°C)

	영상온도(NASA)	NFRDI 온도	편차
84년 12월 7일	10.277	12.90	2.623
99년 5월 7일	13.856	15.60	1.744
00년 6월 18일	15.371	16	0.629
00년 11월 9일	14.000	15.80	1.800
01년 4월 18일	11.341	14	2.659
02년 4월 5일	9.377	11.50	2.123

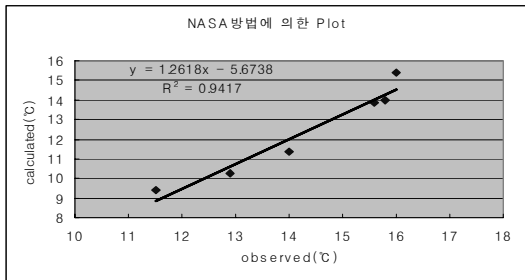


그림 3. 위성영상으로부터 산정된 온도(NASA)와 실측온도와의 상관성 분석

또한, 죽변항 지역에 대해서 NASA방법을 이용하여 Landsat 위성영상으로부터 계산된 온도와 실측치와 상관도를 분석한 결과는 $R^2 = 0.9417$ 으로서 위성영상으로부터 추정된 온도와 실측치의 상관관계는 높다고 할 수 있다.

그림 5와 그림 6은 2002년 위성영상을 이용하여 연구대상지역을 온도맵으로 표현한 그림으로서 그림 6은 등온선을 통하여 온배수가 확산되는 양상을 보여주고 있다.

표 5. 울진 인근해(a지역)와 비교지역(b지역) 온도(NASA)분포(°C)

	위치	최소	최대	편차	평균	온도차 (울진발전소-비교지점)
84년 12월 7일	울진발전소	9.257	11.186	1.929	10.254	-0.047
	비교지역	9.257	11.341	2.084	10.301	
99년 5월 7일	울진발전소	12.142	19.048	6.901	14.338	1.613
	비교지역	12.141	13.456	1.315	12.775	
00년 6월 18일	울진발전소	15.747	19.517	3.77	17.001	2.539
	비교지역	13.564	15.205	1.641	14.462	
00년 11월 9일	울진발전소	12.947	16.077	3.13	13.846	1.741
	비교지역	11.711	12.439	0.728	12.105	
01년 4월 18일	울진발전소	11.711	15.679	3.968	12.908	2.166
	비교지역	10.440	11.785	1.345	10.742	
02년 4월 5일	울진발전소	9.514	12.301	2.787	10.536	1.829
	비교지역	8.555	9.201	0.646	8.707	

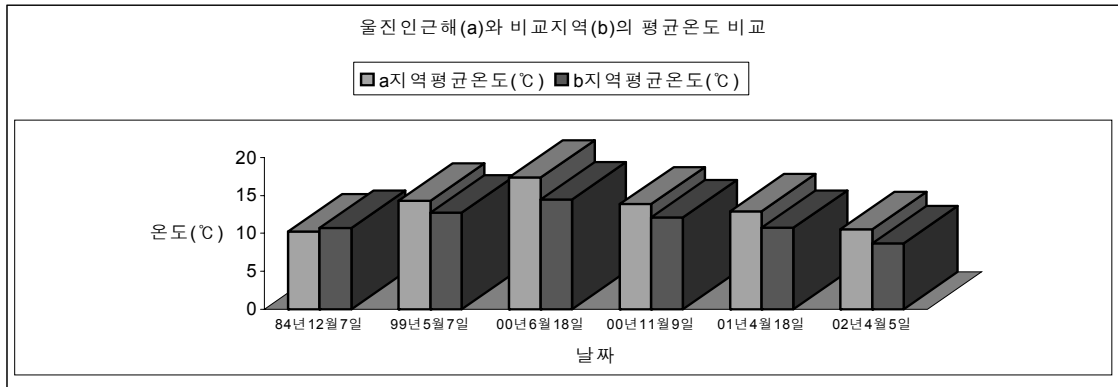


그림 4. 울진인근해(a)와 비교지역(b)의 평균온도 비교



그림 5. 표층수온 분포 맵

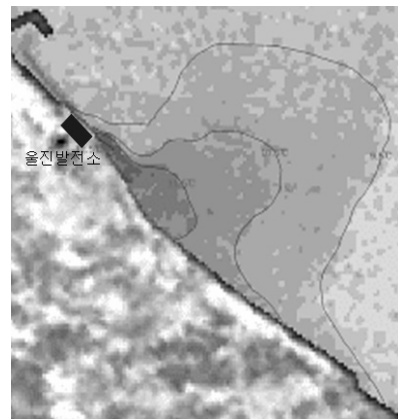


그림 6. 표층수온 등온선

5. 결 론

본 연구는 원자력 발전소 인근해역의 온배수 피해범위를 산정하거나, 온배수의 확산 동향과 유출 경로 및 영향에 대하여 빠른 대책을 세우기 위한 기초연구이다. 이를 위하여 시계열 인공위성의 자료와 현장자료를 이용하여 발전소 인근 해역의 표면 온도 분포를 추출하고 타 지역과 비교하였다.

1984년에서 2002년까지 동일 지역 6장의 시계열 Landsat 5, 7 위성영상에 대하여 분석하였다. 울진 원자력 발전소 인근해역의 경우 비교지역과 비교했을 때 온배수의 영향을 받고 있음이 확연히 검증되었다(울진원자력 발전소 인근해역이 주변지역보다 약 2°C 높음). 위성영상으로부터 추출된 온도의 정확도를 검증하기 위하여 죽변항 지역의 현장 실측 자료와 비교한 결과 평균 2.3°C 가량의

차이가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 관동대학교 첨단해양공간 개발연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 손흥규, 곽은주, 방수남, 박완용, 2004, "Landsat 영상을 이용한 도시 확장과 지표온도 변화 탐지", *한국측량학회 2004 추계학술 발표회 논문집*, pp. 161-166.
2. 이훈열, 한향선, 2005, "Landsat 시계열 영상을 이용한 한강 수계 호수 수온과 계절적 성층현상 분석", *대한원격탐사 학회지*, 21권 4호, pp. 253-271.
3. 정종철, 유신재, 1999, "Landsat TM을 이용한 표층수온 분석" (중략)

- 차”, 대한원격탐사 학회지, 15권 1호, pp. 1-8.
4. 최승필, 양인태, 1997, “Landsat TM 영상에 의한 원자력 발전소로부터의 온배수 확산의 추적조사”, *한국측량학회지*, 제15권 2호, pp. 231-236.
 5. 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.
 6. 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.