

# Landsat TM 영상에 의한 원자력 발전소로부터의 온배수 확산의 추적조사

## A Tracing Survey of Hot Waste Spread from Nuclear Power Station by Means of Landsat TM Images

최승필\* · 양인태\*\*

Choi, Seung-Pil · Yang, In-Tae

### 요 旨

지금까지는 선박등을 이용하여 표본추출등으로 온배수 확산관측이 이루어져 왔으나 온배수의 확산속도, 위상조건, 비용, 범위설정 및 위치결정등의 여러 방해인자등 때문에 동시성, 광역성 및 경제성등의 문제에 있어서 새로운 탐사방법이 요구되어 왔다. 그러나 인공위성 영상을 이용하여 분석하면 단시간에 해양환경을 감시 및 탐지할 수 있기 때문에 기존의 방법보다 상당히 신속하며 정확하게 수온분포와 확산정도를 감지할 수 있다. 따라서 이 연구는 인공위성 영상에 의하여 수온의 조사, 온배수의 유동 및 확산상태등에 대하여 고찰하였다.

### ABSTRACT

Observation for hot water spread has been carried out by such activities as sampling of water with ship, etc, until now. It was required further to have new probe methodologies in such issues as simultaneity, great-spheric nature, and economics due to many hindering elements such as spread speed of hot waste water, weather conditions, cost and expenses, scope and location determinations. However, it was believed that satellite could be utilized to monitor spread of water temperature and spread level in more quick and correct way than existing one, because it would be possible to supervise and detect marine environment within significantly short period if analyzed by means of satellite images. Therefore, this study is taken into account to flow and spread conditions of hot waste water, survey of water temperature, by means of satellite images.

### 1. 서 론

온수의 이동 및 확산에 대한 연구는 세계적으로 중화학공업이 집중적으로 육성되었던 1960년대 초에 대두되어 1970년대까지는 초기단계로서 온수방출이 주위 환경에 미치는 영향이 심각한 것으로 간주하여 열 오염이란 측면에서 엄격한 환경관리 기준과 더불어 새로운 온수방출이 고안되는 한편, 온수의 이동 및 확산에 대한 물리, 화학, 생물 및 공학적 영향에 대한 광범위한 연구로 수리모형실험 및 관측이 이루어 졌다.<sup>1,4)</sup>

원격탐사에 의하여 해양이나 내수면의 환경조사가 시작된 것은 그리 오래되지 않았다. 항공기를 이용한

원격탐사를 시작으로 근자에 들어서는 위성영상을 이용한 원격탐사가 여러 적용분야에서 활발하게 진행되어지고 있다.<sup>5,6)</sup>

최근에 들어서는 과학기술의 급속한 발전에 수반하여 인간활동의 영역이 넓어짐으로서 자연환경의 파괴나 자원고갈 등의 문제가 전세계적인 문제로 대두되고 있고, 그러한 문제들은 재래식의 방법으로 감시, 분석하는데 한계를 느끼게 되었다. 그러나, 전자공학의 발달로 해상력이 뛰어난 Sensor들이 많이 개발되고 있다.<sup>7,8)</sup> 그러한 이유로 원격탐사 기술을 이용한 위성영상 분석은 보다 광범위하고 동시적이며, 신속하게 지구상의 모든 대상물의 감시 및 분석을 가능하게 할 뿐 아니라 비용 절감 및 미래의 예측까지도 가능하게 되었다.<sup>9,10)</sup>

산업의 급격한 성장에 따른 원자력, 화력발전소, 제

\*관동대학교 이공대학 토목공학과 부교수

\*\*강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

철소등 각종임해공업시설로부터 방출되는 냉각용 온수는 연안 및 해양에서의 환경변화를 가져오고 있다. 이러한 영향은 연안 및 해양에서의 수중온도를 전반적으로 높일 뿐 아니라 가동중단시 갑작스러운 수온의 변화를 야기시켜 해양생물에 많은 피해를 준다.<sup>11)</sup> 이러한 변화를 인간사회와 조화시키기 위해서는 자연계의 성질과 질서를 정성, 정량적으로 파악하는 행위가 요구된다. 그러나 지금까지는 선박이나 Buoy를 이용한 Sampling, 항공 MSS에 의한 감지, IR 카메라에 의한 감지로서 수온 측정 및 온배수 확산관측이 이루어져 왔고, 그러한 방법들은 온배수의 확산속도, 기상조건, 비용, 범위설정 및 위치결정 등의 여러 방해인자들 때문에 동시성, 광역성 및 경제성 등의 문제에 있어서 보다 새로운 탐사방법이 요구되어 왔다.<sup>12,13)</sup> 그러나 위성영상을 이용하여 분석을 했을 때 단시간에 해양환경을 감시 및 탐지 할 수 있기 때문에 기존의 방법보다 상당히 신속하며 정확하게 수온 분포와 확산정도를 감지할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 이 연구는 원자력 발전소에서 유출되는 온배수가 연안환경에 미치는 영향을 분석하고자 하며, 인공위성 영상자료에 의한 표층수온의 조사 기법을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 위성자료

영광 원자력발전소의 해수표층수온을 조사하기 위해 Landsat TM의 7개의 Band중에서 Band 6을 중점적으로 이용하였다. 이 Band는 열적외영역으로 일컬어지는데, 이것은 물체 자체의 내부온도에 의해 방출되는 복사에너지이므로 지상의 물체를 용이하게 파악할 수 있다.<sup>10,14)</sup>

이 연구를 위하여 일본 RESTEC으로부터 영광발전소 인근지역의 위성궤도에 해당하는 지역의 2개 영상을 플로피 디스켓으로 획득하였다.

획득된 해당영상은 원자력 발전소에서 온배수를 방류하는 1993년 10월 27일, 1994년 7월 26일자에 촬영된 데이터이며 획득된 플로피 디스켓은 모두 7개의 Band를 가지고 있는 영상으로 BIL데이터 형태로 주간에 관측되었다. 표 1은 이렇게 획득된 영상의 위성궤도, 데이터 형태와 함께 관측당시의 구름 및 조수의 간만 상태를 나타내고 있다. 그리고 이 영상은 여름과 가을의 차

표 1. 획득한 Landsat-TM 영상

촬영일시	Path-Row	Format	Band	구름	조류
1993년 10월 27일	116-35	BIL	1-7	0%	만조
1994년 7월 26일	116-35	BIL	1-7	0%	간조

이, 만조 및 간조와의 차이를 나타내고 있어 계절에 따라 어떠한 상황으로 변화되는지 추정이 가능하다.

### 2.2 TM Band 6의 영상수치자료와 해수표층수온과의 관계

해수표층 수온의 탐지에는 열적외영역의 파장대를 가지고 있는 TM의 Band 6이 이용된다.

TM Band 6 열적외 영역에서 관측되는 영상수치자료는 시시각각으로 변하는 바다에서 기존 관측방법으로는 동시관측이 거의 불가능한 광범위한 지역의 해수표층수온 분포와 조류등의 기타 환경적 요인에 의한 변화양상에 대해 정확하고도 동시적인 정보를 제공하게 한다. 해수표층수온에 대한 열적외선 자료의 응용은 해수를 사용하여 파장영역내에서 흑체로 간주하고, 해수표층으로부터 방출된 복사에너지에 따른 수치를 이용하여 정량적 또는 정성적 분석을 한다.<sup>15-17)</sup>

해수표층으로부터 방출되는 복사에너지는 수체 자체의 온도와 밀접한 관계가 있으며, 해수 표층막의 존재와 이의 두께, 해수 표면상태등에 의해 영향을 받으며, 해수 표면 상태에 따른 변화 또한 무시할 수 없으나, 기존의 연구문헌에 의하면 부유물질의 종류에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않아 이 연구에서는 부유 퇴적물의 농도 변화에 따른 영향은 고려하지 않았다.<sup>18-20)</sup>

실제로 해수에서 열적외선의 장파장영역은 대기에 의한 투과성이 좋으며, 반사되는 태양의 복사량은 적으나 위성에 의해 측정되기전에 대기중의 압력, 습도, 온도등의 여러요소에 의하여 영향을 받는다. 해수표층수온은 위성에 의해 감지된 휘도와 선형관계를 갖으나, 일반적으로 위성에 의한 온도는 실제온도보다 낮게 나타난다.

위성에 의하여 관측된 자료는 대기중의 불안정한 전달, 대기의 불확실한 수직적 압력, 습도분포, 대기와 해수표면과의 온도 불연속성, 해수표면층과 전체층과의 온도차이, 해수표면에서의 반사량이나 복사량이 무시되는 요인등에 의해 추정되는 오차에도 불구하고 현장

자료와 대비시켜 얻어진 실험식이나 이론적 모델식에 적용하면 쉽게 해수표층수온을 추정할 수 있다. Landsat TM Band 6의 경우 몇몇 학자들과 NASA에 의해서 수치적 자료를 조도온도로 바꾸는 절대보정방정식이 개발되었고, 그 모델식들은 다음과 같다.<sup>21)</sup>

1차원 모델식은  

$$\text{Temp(K)}=219.972+0.526 \times \text{TM 6} \quad (2-1)$$

2차원 모델식은  

$$\text{Temp(K)}=209.831+0.834 \times \text{TM 6}-0.00137 \times \text{TM 6}^2 \quad (2-2)$$

이며,

3차원 모델식은  

$$\text{Temp(K)}=206.127+1.0545 \times \text{TM 6}-0.00371 \times \text{TM 6}^2+6.606 \times 10^{-6} \times \text{TM 6}^3 \quad (2-3)$$

이다.

특히, NASA의 Markham과 Barker는 밴드 6의 방사도를 이용하여 위성에서 측정된 온도를 알아낼 수 있는 모델식을 다음과 같이 제시하였으며 여기에 사용된 상수는 표 2와 같다.<sup>22,23)</sup>

NASA Model  

$$\text{Temp(K)}=K_2/L_n(K_1/L+1) \quad (2-4)$$

$$L : \text{Band 6의 방사도}(mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$$

$$K_1, K_2 : \text{보정상수}$$

위에 있는 3개의 모델식은 영상수치자료를 그대로 사용할 수 있으나, NASA 모델식은 이 영상수치자료를 방사도로 변환시켜야 하는데 그 변환식은 다음과 같다.

$$L = \left( \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{Q_{CALMAX}} \right) Q_{CAL} + L_{MIN} \quad (2-5)$$

$Q_{CAL}$ : 영상수치값  
 $Q_{CALMAX}$ : 최대영상수치값(255)  
 $L_{MAX}$ :  $Q_{CAL}=MAX$ 에서 분광반사휘도  
 $L_{MIN}$ :  $Q_{CAL}=0$ 에서 분광반사휘도

표 3은 NASA에서 계산된 Landsat와 TM의 지상치

표 2. TM Band 6의 보정상수

	$K_1$	$K_2$
인공위성		
Landsat-5	60.776	1260.56

표 3. TM에서  $L_{MAX}$ 와  $L_{MIN}$ 의 분광반사휘도

Band	$L_{MIN}$	$L_{MAX}$
TM1	-0.15	15.21
TM2	-0.28	29.68
TM3	-0.12	20.43
TM4	-0.15	20.62
TM5	-0.037	2.719
TM6	0.1238	1.560
TM7	-0.015	1.438

리 분광반사휘도이다.

이 모델들의 계산결과로서 얻어지는 온도는 절대온도이며, 실제온도로 환산하면 해수표층수온이 손쉽게 구하여 진다.

### 3. 적용 및 조사분석

#### 3.1 해수표층 수온조사

정밀한 조사분석을 위해서는 인공위성 Landsat가 촬영하는 시각과 동시에 측정되는 현장 측정자료가 필요하나, 특히 온배수가 방출되는 시간에 측정하는 것이 거의 불가능하다. 따라서 이 연구에서는 영광 원자력발전소 인접 연안인 영광군 홍농읍 칠곡리 연안 앞바다의 동일한 지점(경도 126°24' 54", 위도 35°22' 18")에서 표면해수를 채취해 봉상온도계로 측정되는 표층수온을 기준으로 삼았다.

표 4는 인공위성 Landsat가 촬영한 동일 날짜에 측정된 것과 그때의 관측된 기온을 나타낸 것이다.

#### 3.2 적용결과

##### 3.2.1 TM Band 6 영상 수치자료

일본 RESTEC에서 입수한 플로피 디스켓으로부터 DRAGON 소프트웨어를 이용하여 Landsat TM Band 6의 수치영상자료를 판독하였다. 영광 원자력발전소의 연안해역의 수치영상자료는 촬영일에 따라 각각 다른 범위의 수치가 나타나는데 1993년 10월 27일은 107~135 범위의 수치로, 1994년 7월 26일은 147~189로 각

표 4. 측정된 해수표층수온과 기온

날짜	해수표면수온	기온
1993년 10월 27일	17.5°C	11.7°C
1994년 7월 26일	28.0°C	33.0°C

각 나타났다.

이러한 범위의 수치중에서 해수로 판명되는 범위는 1993년 10월 27일은 111~126, 1994년 7월 26일은 147~168로 각각 나타났다.

### 3.2.2 온배수 분포분석

TM Band 6의 영상수치자료에 의하여 해수표층수온을 찾아내는 방법은 1993년 10월 27일자와 1994년 7월 26일자에 촬영된 영상에서 DN을 구하여 1차원모델식, 2차원모델식, 3차원모델식, NASA 모델식을 이용하여 구하였다.

이 모델식은 모두 미국과 캐나다 지역을 대상으로 실측온도를 사용하여 실제값에 가까운 결과를 얻어 입증된 모델식들이다. 이 모델식 중에서 가장 적합한 모델식을 선정하기 위해서 영광군 흥농읍 칠곡리 연안 앞바다의 동일한 지점(경도 126°24' 54", 위도 35°22' 18")에서 표면해수를 채취해 봉상온도계로 측정하여 해수표층수온과 그 수치가 가장 유사하게 나오는 모델식을 결정하였다. 이 결과 1993년 10월 27일에 촬영된 영상은 3차원모델식이 잘 맞았고, 1994년 7월 26일 촬영된 영상은 1차원모델식이 잘 맞았다.

표 5는 1993년 10월 27일 촬영된 TM Band 6 영상중에서 해수표층면으로 판독된 영상수치자료와 영상수치자료를 조도온도로 바꾼 절대보정방정식에서 계산된 온도를 나타낸 것이며, 표 6은 1994년 7월 26일 촬영된 TM Band 6 영상에서 위와 같은 방법으로 계산된 온도를 나타낸 것이다.

표 5. 영상수치값(DN)과 해수표층수온비교

촬영일자	모델식	DN	°C
		111	13.5
		112	14.0
		113	14.4
		114	14.9
		115	15.4
		116	15.8
		117	16.3
1993년 10월 27일	3차원	118	16.8
		119	17.2
		120	17.7
		121	18.1
		122	18.6
		123	19.0
		124	19.4
		125	19.9
		126	20.3

표 6. 영상수치값(DN)과 해수표층수온비교

촬영일자	모델식	DN	°C
		147	24.3
		148	24.8
		149	25.3
		150	25.9
		151	26.4
		152	26.9
		153	27.5
		154	28.0
		155	28.5
		156	29.0
1994년 7월 26일	NASA	157	29.6
		158	30.1
		159	30.6
		160	31.1
		161	31.7
		162	32.2
		163	32.7
		164	33.2
		165	33.8
		166	34.3
		167	34.8
		168	35.3

를 나타낸 것이다.

사진 1과 2는 각 관측일자별 온배수 분포도를 보여 주는데 해수면의 온도는 각 촬영일자별로 1993년 10월 27일은 13.5~20.3°C, 1994년 7월 26일은 24.3~35.3°C로 각각 나타났다.

사진 1은 1993년 10월 27일 해수표층의 수온을 온배수가 확산되는 모습을 중심으로 보여주고 있다. 온배수의 영향을 받지 않은 외해의 해수표면 온도는 약 13.5~17.2°C로 나타났고, 온배수가 미치는 범위는 약 18.1~20.3°C로 나타났는데 이 온배수에 해당하는 지역만 고온에서 저온의 순서로 분홍색, 연분홍색, 연갈색, 갈색의 순서로 나타내었다. 1993년 10월 27일의 온배수는 북쪽으로 약 6.87 Km정도 확산되었고, 확산 면적은 약 5.78 Km<sup>2</sup>이다.

사진 2는 1994년 7월 26일 해수표층 수온분포를 보여 주는데, 온배수의 영향을 받지 않은 외해의 해수면 온도는 24.3~28.0°C로 나타났으며, 온배수의 범위는 약 30.1~35.3°C로 나타났다. 온배수는 남남서쪽으로 약 8.95 km정도까지 확산되었는데 확산면적은 약 7.34 km<sup>2</sup>이다. 사진 2에서는 온배수의 영향을 받지 않는지만 간조시에 노출된 갯벌, 하천변 습지 등의 대륙 표면을 나타낸 것이다.



사진 1. TM영상에 의한 온배수 분포도(1993년 10월 27일)



사진 2. TM영상에 의한 온배수 분포도(1994년 7월 26일)

이 태양에 의해 가열되어 있는 상황에서 냉각되지 않은 상태의 온도 상승지역이 원전 남북 연안과 인근 하천을 따라 하늘색 계통의 색으로 보여지고 있다. 이러한 수온상승효과는 자연적인 현상이며, 이런 현상은 지면온도가 높은 하절기에 크게 나타난다.

## 4. 결 론

최근 해양에서 환경인자 분석을 위한 인공위성 영상 자료의 이용이 증대되고 있고 그에 따른 연구의 일환으로 영광원자력 발전소에서 배출되는 온배수의 확산에 관하여 조사를 하여본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Landsat TM Band 6을 이용하여 영광원자력 발전소 주변의 해수표층수온 분포를 모델식을 이용하여 정량화 한 후 실측결과와 비교할 수 있었으며, 가을에는 3차원 모델식, 여름에는 1차원모델식이 잘 적합하였다.

2. 영광원자력 발전소 주변의 수온은 전체적으로 여름이 가을보다 약 11°C가량 높았으며, 외해지역에서는 가을에 3.7°C의 수평분포차를 보여 여름의 3.7°C와 거의 같았고 온배수 영역에서는 여름에 4.3°C의 수평분포차를 보여 가을의 2.2°C보다 크게 변화하였다.

3. 인공위성 화상에 나타난 확산 상태를 조사하여 볼 때 약 2~7°C정도의 수온 상승지역이 모두 양호하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

4. 매우 한정된 양의 인공위성 영상자료와 실측자료 사이의 비교분석에 의한 것이므로 앞으로 더 많은 자료에 의하여 정밀분석을 한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 논문은 1997학년도 관동대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 본 연구를 수행할 수 있도록 후원해준 데 대하여 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Kiyoshi Horikawa, Coastal Engineering, 청문각
2. 落合弘明, 温排水, 科學, 1973
3. 根本和奉, 環境, 環境技術 研究會, 1980
4. 이주호, 가로흐름 수역으로 방출되는 2차 원 표면 온배수 수치모형 비교연구, 한국 해안·해양공학회지, 1994
5. Clapp. J. L, Application of Remote Sensing to Water Resources Problems, NASA Annual Report of Remote Sensing, Section 46-1, 1972
6. 電力中央研究所, 温排水 モニタリングへのLANDSAT 衛星の適用性, 電力中央研究所報告, 1991

7. Paul M. Master, Computer Processing of Remotely Sensed Images, John Wiely & Sons
8. 이석우, 물리해양학 특론, 집문당, 1983
9. R. Yokoyama, S, Tanba, International Journal of Remote Sensing, 1991
10. 유복모, 원격탐측, 개문사, 1995
11. 강인준, 인공위성 측량에 의한 해양오염 물질의 확산 검정 기법, 한국측지학회 지, 1992
12. Hudson. R. D, Infrared System Engineering, John Wiely & Sons, 1969
13. Rafael C. Gonzalez, Paul Wints, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1987
14. 日本寫眞測量學會, 熱赤外 リモトセンシングの技術と實際
15. 양인태, 김옥남, 이권중, 수문계획 모델 에 있어서 Landsat 영상의 응용(1), 대한토목학회 논문집, 제12권, 제1호, pp.159~166, 1992
16. Byungdug, Jun., Keinosuke, Gotoh., Intae, Yang, Investigation of the coastal zone environment using Remote Sensing data acquired from Landsat-5 TM, Proceedings of The sixth international symposium on river and lake environment, 1992
17. 양인태, 항공사진에 있어서 해안의 효율 적이용 관리방안에 관한 연구, 강원대학교 보고서, 1985
18. 藤村貞夫, 花泉 弘, 熱赤外 リモトセンシングによる溫度推定, 計測と制御 Vol. 21, No. 11, 1982
19. 藤村貞夫, 花泉 弘, 熱赤外 リモトセンシングによる溫度推定, 計測と制御 Vol.21, No.11, pp.14~19, 1982
20. 水鳥雅文, 坂井伸一, 仲敷憲和海, Landsat 衛星による溫排水モニタリングの實用性, 海岸工學論文集, 第38卷, 1991
21. 김홍규, 내수면 환경인자 추출을 위한 LANDSAT TM DATA의 이용에 관한 연구, 강원대학교 석사논문, pp.47~48, 1994
22. Brian L. Markham, Hohn L. Barker, Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures, EOSAT Technical Notes, I, pp.3~8, 1986
23. 김태근, 김광은, 조기성, 김환기, LANDSAT TM 영상자료를 이용한 호수수질 관측, 한국지형공간정보학회, 지형 공간정보, 제4권, 제2호, pp.23~33, 1996