

확산의 모니터링

Monitoring of hot waste water spread from coastal power station by the Landsat TM images

최 승 필 *
Chol, Seung Pii

양 인 태 **
Yang, In Tae

이 기 부 ***
Lee, Kee Boo

要 旨

임해발전소로부터의 온배수의 확산은 해양환경이나 수산업측면에서 문제가 되고 있다. 온배수의 분포조사는 넓은지역에 대하여 동시에 이루어져야 하므로 실측조사가 매우 어렵다. Landsat의 센서들 중에는 열적외선파장영역이 있어서 수온의 확산과 분포를 추출해 낼 수 있다.

이 연구에서는 수온분포의 형태를 보다 정확하게 할 목적으로 DN을 스트레칭 한 후 GIS기법을 적용하였다. 따라서 수온 분포의 패턴을 광범위한 지역에 대하여 보다 세밀하게 표현할 수 있었으며 경제적으로 온배수의 확산 및 분포를 분석할 수 있었다.

Abstract

The spreading of hot waste water discharged from the coastal power station is a new problem to marine circumstances and the fishery. Because the survey of hot waste water discharges should be performed simultaneously across wide areas, it is very difficult.

Some sensors of the Landsat can draw the spread and distribution of water temperature from wavelength range of thermal infrared.

The present study applied the GIS after stretching DN for the purpose of drawing a more accurate distribution of water temperature. Accordingly, the pattern of water temperature distribution could be expressed more precisely for a broad area, and the spread and distribution of hot waste water could be analyzed economically.

1. 서 론

최근에 들어서 과학기술의 급속한 발전에 힘입어 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.^{5,12)} 이러한 이유로 원격탐사 기술을 이용한 위성영상 분석은 보다 광범위하고 동

시적이며, 신속하게 지구상의 모든 대상물의 감시 및 분석을 가능하게 할 뿐 아니라 비용절감 및 미래의 예측까지도 가능하게 되었다.^{3,8,10)}

산업의 급격한 성장에 따른 임해발전소, 제철소 등 각종 임해공업시설로 부터 방출되는 냉각용 온배수는 연안 및 해양에서의 환경변화를 가져오고 있다. 이러한 영향은 연안 및 해양에서의 수중온도를 전반적으로 일 뿐 아니라 가동중단시 갑작스러운 수온의 변화를 야기시켜 해양생물에 많은 피해를 준다.^{1,2,6,13)} 이러한 변화를 인간사회와 조화시키기 위해서는 자연계의

* 관동대학교 토목공학과 교수
*** 영남이공대학 토목과 교수

**강원대학교 토목공학과 교수

성질과 질서를 정성, 정량적으로 파악하는 행위가 요구된다. 지금까지는 선박이나 buoy를 이용한 sampling, 항공 MSS에 의한 감지, IR camera에 의한 감지로서 수온측정 및 온배수 확산 관측이 이루어져 왔다. 이러한 방법들은 온배수의 확산속도, 기상조건, 비용, 범위설정 및 위치결정 등의 여러 방해인자들 때문에 동시성, 광역성 및 경제성 등의 문제에 있어서 보다 새로운 탐사방법을 요구하여 왔다.^{7,8)} 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.

특히 온배수는 해양조건에 따라 그 확산범위가 크게 변화되기 때문에 선박이나 buoy에 의한 관측으로는 그 실태파악이 극히 곤란하며 정확도도 떨어진다. 사진방식의 원격탐사는 가시광선을 이용하기 때문에 조류의 유동방향은 확인되어도 확산방향은 감지되지 않는다.

그러나 열영상(Thermal image)은 해면으로부터의 적외선 에너지를 그대로 나타내기 때문에 온배수의 확산상황을 한 눈에 파악할 수 있다.^{4,14,15)} 바로 이러한 관점에서 위성영상자료를 이용하여 임해발전소 주변의 온배수확산에 따른 영향을 분석하면 상당히 좋은 효과를 가져올 수 있다.

Landsat의 센서들 중에는 열의 분포와 확산을 감지하는 적외선파장(Infrared Band)영역이 있어서 수온의 확산과 분포를 정확하게 확인해 낼 수 있는데 그 영상을 칼라로 표현하거나 GIS를 이용하여 등온도선으로 표시하는 것이 가능하다.⁹⁾

따라서 본연구는 기존 실측자료의 분석, Landsat TM영상의 분석, 실측자료와 Landsat TM영상자료를 비교분석하여 Landsat TM영상에 의하여 온배수의 유동 및 확산상태, 수온을 측정할 수 있는 기법 및 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 위성자료

원자력발전소의 해수표층수온을 조사하기 위해 Landsat TM의 7개의 band중에서 band 6을 중점적으로 이용하였다. 이 band는 열적외영역으로 일컬어지는데, 이것은 물체 자체의 내부온도에 의해 방출되는 방사에너지이므로 지상의 물체를 용이하게 파악할 수 있다.^{3,16)}

본 연구를 위하여 일본 RESTEC으로부터 영광원자력발전소 인근지역의 위성궤도에 해당하는 지역의 이미지를 플로피 디스켓으로 획득하였다.

획득된 이미지는 영광원자력 발전소에서 온배수를 방류한 날자에 촬영된 데이터이다. 획득된 플로피 디스켓은 7개의 band를 가지고 있는 영상으로 BSQ 및 BIL 데이터 형태로 주간에 관측되었다. 표 2.1 은 이렇게 획득된 영상의 위성궤도, 경위도, 데이터 형태와 함께 관측당시의 구름 및 조류상태를 나타내고 있다.

2.2 영상해석과정

본 연구에서 하고자 하는 Landsat TM 영상의 해석 과정은 다음과 같다.^{4,12)}

표 2.1 Landsat-TM 영상 자료

촬영 일시	Path-Row	위도	경도	Format	band	구름	조류
1992년 6월 2일	116-35	35° 2' 5" 00"	126° 25' 00"	BSQ	1-7	0%	만조
1993년 10월 27일	116-35	35° 2' 5" 00"	126° 25' 00"	BIL	1-7	0%	간조
1994년 7월 26일	116-35	35° 2' 5" 00"	126° 25' 00"	BIL	1-7	0%	간조

(1) 기하보정

센서에 의해 취득한 영상데이터의 기하학적인 변형을 보정하는데 지도등을 이용하여 규정된 영상으로 변환하는 처리를 기하보정이라 한다.

본 조사에 이용한 TM데이터는 개략보정이 끝난 것을 사용했으므로, 대상영역에 대한 더욱 정밀한 보정을 행할 필요가 없다고 판단되어 실시하지 않

았다.

(2) Masking 처리

TM band 6은 지구표면온도 정보를 영상화 한 것이기 때문에 육지와 바다가 같은 온도이면 양쪽을 식별하는 것은 어렵다. 또, 공간분해능이 다른 band보다 나쁜 120m이기 때문에 발전소와 방파제 따위의 해안구조물이 명확하게 확인되기 어렵다. 이 때문에 거리분해능이 28m로 높고 육지와 바다의 식별이 7개의 band 중에서 가장 명확한 band 4의 영상을 band 6의 영상에 겹쳐서 이용하는 경우가 많다. 이렇게 겹치게 하는 처리가 Masking 처리이다. 따라서 본 연구에서도 band4의 영상에 band6의 영상을 겹쳐서 온배수 분포를 나타내었다.

(3) Noise 제거처리

band 6의 영상 중에 포함된 노이즈 성분을 찾아서 제거하는 처리이다. TM band 6은 4개의 열적의 감지기를 가지고 있으며 위성의 진행방향에 직각으로 거울을 스캔하여 1회 조사에서 4라인으로 나눈 영상 데이터를 얻도록 설계 되어 있다. 그러나 검출기 감도의 얼룩이 영상데이터로 나타내기 때문에 원영상은 가로 줄늬가 눈에 띄는 것도 있다. 이 가로 줄무늬는 스캔라인 노이즈라 부르기도 한다. 이 외에도 영상 위에는 점상태의 노이즈 성분 등이 존재하는데 이런 노이즈 성분을 정확하게 제거하는 것이 중요하다. 본 해석에서는 band6영상에 대해서 1라인마다 샘플링된 예상정보를 작성해서 7라인×3픽셀의 영역에 대한 라인 노이즈 제거 필터를 고정시켰다.

이 영상에 대해서 3×3화소의 평활화처리를 하여 작은점의 노이즈를 제거시켰다.

(4) 영상에서 DN 추출

TM의 DN과 해상관측에서 얻어진 해표면 수온과의 회귀분석을 행하기 위해서 해상관측점에 해당하는 band 6의 영상에서 DN을 추출한다. 추출방법은 1화소의 값을 추출하는 경우와 3×3화소 혹은 5×5화소의 평균값을 추출하는 경우등, DN의 표준편차와 해상관측 데이터의 오차등을 고려해서 결정한다. 본 해석에서는 GPS 방법에 의하여 수평위치를 관측할 경우 1초에 해당하는 오차는 30m로 보고 GPS

에서 발생하는 오차는 90m로 이것은 1화소의 크기에 해당한다.따라서 ±1화소의 오차를 고려하여 3×3화소에서 평균값을 추출하였다.

(5) 회귀분석

추출한 TM band 6의 DN과 해상 관측에서 얻어진 해수표층수온 값과의 회귀분석을 행하여 DN을 수온값으로 변환한다.즉 온배수가 방출되는 1994년 8월8일 해상34개 지점에서 표층수온을 관측한 자료와 1994년 7월26일 획득된 TM band6의 DN을 수온값으로 변환하여 상관관계를 구하여 직선회귀식을 구하였다.

(6) 해수면 수온분포 영상작성

회귀분석에서 얻어진 분석 결과에 기초해서 Landsat TM 영상데이터에 의한 해수면 수온분포 영상을 작성하였다.

이상의 것을 요약하여 나타낸 영상해석 처리방법의 개략도는 그림 2.1 과 같다.

2.3 TM band6의 영상수치 자료와 표층수온과의 관계

인공위성 영상을 이용한 해수표층 수온의 탐지에는

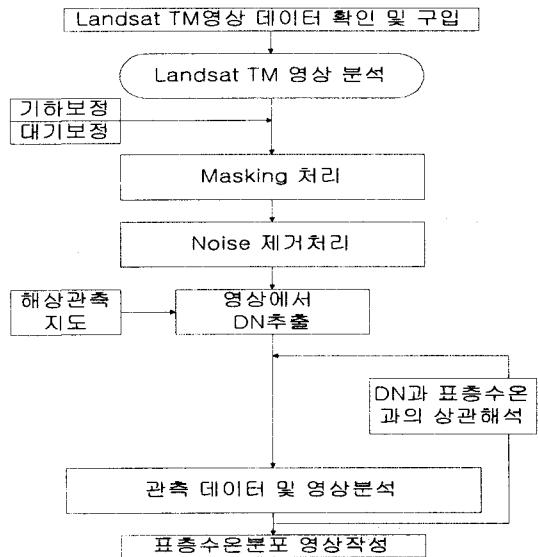


그림 2.1 Landsat TM영상의 해석처리 흐름도그림

열적외영역의 파장대를 가지고 있는 TM의 제 6band 영상이 이용된다.

TM의 제 6band인 열적외 영역에서 관측되는 영상 수치자료는 시시각각으로 변하는 바다에서 기존 관측 방법으로는 동시관측이 거의 불가능한 광범위한 지역의 해수표층수는 분포등의 환경적 요인에 의한 변화 양상에 대해 정확하고도 동시적인 정보를 제공한다. 해수표층수에 대한 열적외선 자료는 이 연구에서 사용하는 TM의 제 6band에 해당하는 파장이 긴 영역(10.4~12.5 μ m)에서 해수를 흑체로 간주하고, 해수표층으로부터 방출된 방사에너지에 따른 수치를 이용하여 정량적 또는 정성적 분석을 한다.⁹⁾

해수표층으로부터 방출되는 방사에너지는 수체 자체의 온도와 밀접한 관계가 있으므로, 해수 표층막의 존재와 이의 두께, 해수 표면상태등에 의해 영향을 받으며, 해수 표면 상태에 따른 변화 또한 무시할 수 없다. 그러나 기존의 연구문헌에 의하면 부유물질의 종류에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 보고 되어 있으므로 본 연구에서는 부유 퇴적물의 농도 변화에 따른 영향은 고려하지 않았다.¹¹⁾

실제로 해수에서 열적외선 파장영역은 대기에 의한 투과성이 비교적 작고, 반사되는 태양의 방사량은 적으나 위성에 의해 측정되기전에 대기중의 압력, 습도, 온도등의 여러요소에 의하여 영향을 받는다. 해수표층수온은 위성에 의해 감지된 휘도와 선형관계를 갖는다.

위성에 의하여 관측된 자료는 대기중의 불안정한 전달, 대기의 불확실한 수직적 압력, 습도분포, 대기와 해수표면과의 온도 불연속성, 해수표면층과 전체층과의 온도차이 및 해수표면에서의 반사량이나 방사량이 무시되는 요인등에 의해 오차를 포함하고 있으나 현장관측자료와 대비시켜 얻어진 실험식이나 이론적 모델식을 적용하면 쉽게 해수표층수온을 추정할 수 있다.

Landsat TM 영상의 제 6band의 경우 몇몇 학자들과 NASA에 의해서 수치적 자료를 절대온도로 바꾸는 절대보정방정식이 개발되었다.^{14,15,17)}

1차원 모델식은

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

2차원 모델식은

$$\text{Temp(K)}=209.831+0.834 \times (\text{TM}6)-0.00133 \times (\text{TM}6)^2 \quad (2-2)$$

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 band 6의 방사도를 이용하여 위성에서 측정된 온도를 알아낼 수 있는 모델식을 다음과 같이 제시하였으며 여기에 사용된 상수는 표 2.2와 같다.

NASA 모델식은

$$\text{Temp(K)}=K2/\text{Ln}(K1/L+1) \quad (2-4)$$

이다.

L:band6의 방사도(mW·cm⁻²·sr⁻¹· μ m⁻¹)

K1, K2 : 보정상수

표 2.2 TM band 6의 보정상수

인공위성	K ₁	K ₂
Landsat - 5	60.776	1260.56

위에 있는 모델식에서 앞의 3개의 모델식은 영상수치자료를 그대로 사용할 수 있으나, NASA모델식이 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} : $Q_{CAL} = \text{MAX}$ 에서 분광반사휘도

L_{MIN} : $Q_{CAL} = 0$ 에서 분광반사휘도

표 2.3은 NASA에서 계산된 Landsat TM의 지상

처리 분광방사휘도이다.

표 2.3 TM에서 L_{MAX} 와 L_{MIN} 의 분광방사휘도

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	1.530
TM7	-0.015	1.438

이 모델식들의 계산결과로서 얻어지는 온도는 절대 온도이며, 실제온도로 환산하면 해수표층수온을 쉽게 구할수 있다.

3. 연구결과 및 분석

우선 온배수 확산현황을 파악하고자 영광원자력 발전소 주변의 Landsat TM영상을 구입 분석하였다. 사진 3.1~3.3은 주변현황을 파악하기 위해서 RGB를 band4, band3, band2로 각각 대응시켜 합성한 결과이다.

그러나 이것을 좀더 정확하게 분석하고자 실측자료를 구하였으나 인공위성 영상과 일치하는 시기는 한 때도 없었으며 단지 1994년 7월26일에 촬영된 영광원자력 발전소가 12일간의 시차가 있어 인공위성에 의한 수온측정의 오차를 최소로 줄힐 수 있다고 생각되었다. 영광원자력 발전소 주변의 온도분포 현황에 대한 패턴은 영상을 분석하는데 매우 중요한 자료라고 생각되어 발전소 주변의 수온현황을 파악하고자 영광원자력 발전소에 대하여 이미 실측된 기존의 자료를 중심으로 고찰하였다.

3.1 현장자료고찰

1994년 8월 8일에 고찰한 수온측정 지점의 위치는 그림 3.1와 같으며 관측결과는 표 3.1의 ⑦년과 같다.

이것을 이 연구에서는 TIN분석을 실시하여 등온도선을 도출해 본 결과 그림 3.2와 같은 결과를 얻었다. 이 그림 3.2에서 발전소부근의 등온선도 분포를 분석해 보면 관측지점에서의 표층수온은 28.5- 34.6℃의 범위로 6.1℃의 차이를 보였다. 배수구 부근의 온배수 주축은 서쪽으로 치우쳐서 나타났으며 배수구를 중심으로 확산되어 있다. 배수구로부터 먼곳의 수온(28.5℃)에 비해 약 1℃이상 상승한 해역은 배수구에서 남쪽으로 약 7.5km, 서쪽으로 약 6.8km정도 였다.

3.2 Landsat TM 영상 분석

열적외선 영역인 band6을 위주로하였으며 양식장등이 band1에 의해 쉽게 파악됨이 밝혀져 band1, band3, band6을 사용하여 분석하였다.

3.2.1 TM영상으로부터 해수표층수온산출

인공위성 영상의 수치자료(DN)로부터 해수표층 수온을 구하는 방법은 Anding and Kauth, McClain등 NASA 에서 보고한 계산에 의한 방법이 있으나

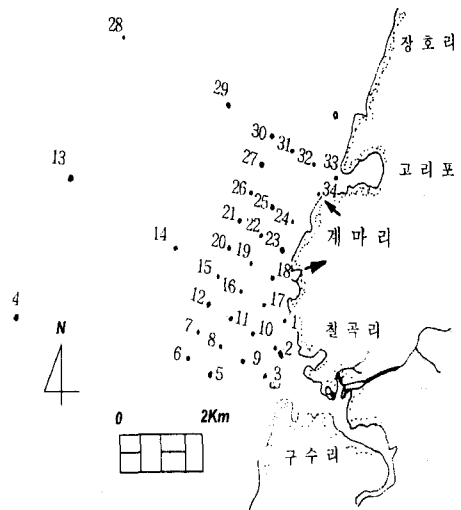


그림 3.1 영광원자력발전소 주변표층수온관측지점(1994.8.8)



그림 3.2 실측값만의 TIN분석에 의한 영광원자력발전소 주변 표층수온 분포 (1994.8.8)

현장자료가 많을 경우에는 위성통과와 동시에 측정된 실측자료와 Landsat TM band6 열적외선 자료와의 대비를 통해 상관 관계식을 구하여 해수표층 수온을 구한다. 그러나 이 연구에서 사용한 인공위성 자료의

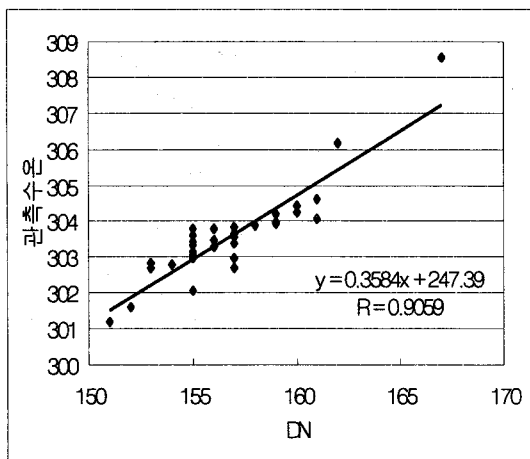


그림 3.3 Landsat TM band6과 현장관측값과의 상관관계

촬영일자인 1994년 7월 26일의 실측자료가 없어, 이미 앞에서 언급한 1994년 8월 8일에 앞의 그림 3.1과 같이 34개 지점에서 표층수온을 관측한 자료와 1994년 7월 26일 획득된 Landsat TM 영상의 제 6band의 DN과의 상관관계를 구한 결과 그림 3.3에서 알 수 있듯이 직선회귀식은 $Temp(K)=0.3584 \times (band6)+247.39$ 이었으며 이때의 상관계수 R은 0.9059로 매우 높았다. 따라서 이 연구는 인공위성영상의 DN과의 상관관계를 구할 때의 변환식을 그대로 사용하였다.

이 외에도 앞에서 언급하였듯이 1차원 모델식, 2차원 모델식, 3차원 모델식, NASA 모델식에 의해서도 표층수온을 추정할 수 있으므로 이것을 계산하여 나타내고 상관도를 나타내면 각각 표 3.1과 그림 3.4와 같으며, 표 3.1에서 관측수온과의 편차를 각각 구하여 나타내고 그 결과를 도시하면 표 3.2와 그림 3.5와 같다. 표 3.2와 그림 3.5에서 알 수 있듯이 관측수온에 대한 평균편차는 1차원 모델식의 경우 $-1.13^{\circ}C$, 2차원 모델식인 경우 $4.31^{\circ}C$, 3차원 모델식인 경우 $2.14^{\circ}C$ 및 NASA모델식인 경우 $1.27^{\circ}C$ 였으며, 각각에 대한 RMSE는 $0.73^{\circ}C$, $0.55^{\circ}C$, $0.53^{\circ}C$ 및 $0.54^{\circ}C$ 였다. 편차가 생기는 이유는 현장관측자료와 영상자료사이에 첫째 시차차이에 의한 오차가 일차포함되며 두번째는 자료취득시의 대기 중 습도와 기온에 따른 영향과 기하보정 과정에서 생기는 오차등이 포함된 것으로 생각된다.

본 연구에서 얻어진 실험식이 기존의 1차원 모델식과 유사하게 나타나므로 실험식과 1차원 모델식 다음으로 편차가 적게 나타난 NASA식을 이용하여 비교분석하여 보고자 한다.

3.2.2 온배수분포분석

(1) 1992년 6월2일의 온배수 분포

사진 3.4는 1992년 6월 2일에 획득된 Landsat TM 영상자료이며 사진에서 볼 때 배수구에서 배출된 온배수의 영역이 잘 표현되어있다.

인공위성 Landsat TM영상의 제 6band에 의한 표층수온결과를 분석하면 표 3.3과 같은데 여기서 배수구로부터의 거리를 산정하였으며, 배수구 방향도 배수

확산의 모니터링

구를 중심으로 한 결과이다. 표층수온을 분석하면 온배수의 영향이 미치는 가장 먼곳은 배수구로부터 남서방향으로 약 6.27km 떨어진 7번이고 그때의 표층수온은 27.4℃이다.

가장 가까운 곳은 배수구로부터 북서방향으로 약 0.12km 떨어진 1번이고 이때의 표층수온은 33.9℃이다. 9개의 지점중에서 표층수온이 가장 낮은 곳은 온배수의 영향이 미치지 않는 9번지점으로 배수구로부터 북서방향으로 약 2.32km 떨어져 있으며 그때의 표층수온은 26.0℃이다.

그러므로 이 발전소에서 1992년 6월 2일의 온배수는 남서방향으로 약 6.27km 이상 넓게 확산되어진다고 생각된다.

표 3.2 현장관측값에 대한 편차 (단위 : ℃)

관측 점점	1차원 모델식	2차원모 델식	3차원모 델식	NASA모 델식	실험식
1	-0.43	5.01	2.82	1.96	0.68
2	-1.48	4.17	2.06	1.15	-0.04
3	-1.55	4.10	1.99	1.08	-0.11
4	-0.55	5.10	2.99	2.08	0.89
5	-0.15	5.29	3.10	2.24	0.96
6	-1.79	3.95	1.89	0.95	-0.19
7	-1.44	4.10	1.95	1.06	-0.17
8	-1.01	4.43	2.24	1.38	0.10
9	-1.91	3.74	1.63	0.72	-0.47
10	-2.11	3.54	1.43	0.52	-0.67
11	-2.27	3.38	1.27	0.36	-0.83
12	-0.79	4.53	2.31	1.47	0.15
13	-1.69	4.26	2.28	1.29	0.26
14	-2.37	3.48	1.46	0.49	-0.59
15	-1.24	4.30	2.15	1.26	0.03
16	-0.58	4.62	2.36	1.55	0.19
17	-1.31	4.13	1.94	1.08	-0.20
18	-1.11	4.33	2.14	1.28	-0.00
19	-0.11	4.98	2.69	1.91	0.49
20	-1.25	4.29	2.14	1.25	0.02
21	-0.83	4.61	2.42	1.56	0.28
22	-0.32	4.77	2.48	1.70	0.28
23	-1.78	3.76	1.61	0.72	-0.51
24	-0.37	4.83	2.57	1.76	0.40
25	0.05	5.02	2.69	1.94	0.48
26	-1.84	3.81	1.70	0.79	-0.40
27	-1.28	4.26	2.11	1.22	-0.01
28	-1.79	4.25	2.32	1.30	0.32
29	-2.24	3.61	1.59	0.62	-0.46
30	-1.63	4.02	1.91	1.00	-0.19
31	0.61	5.58	3.25	2.50	1.04
32	-0.34	4.86	2.60	1.79	0.43
33	-0.97	3.88	1.53	0.80	-0.70
34	-0.73	3.48	0.99	0.38	-1.30
평균	-1.13	4.31	2.14	1.27	0.00
RMSE	0.73	0.55	0.53	0.54	0.52

표 3.1 모델식에 의해서 계산된 표층수온 (단위 : ℃)

관측 점점	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	DN	1차원 모델식	2차원 모델식	3차원 모델식	NASA 식	실험식	현장 관 측값
1	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	29.98
2	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	29.98
3	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	30.05
4	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	29.05
5	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	29.70
6	154	27.98	33.72	31.66	30.72	29.58	29.77
7	156	29.03	34.57	32.42	31.53	30.30	30.47
8	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	30.56
9	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	30.41
10	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	30.61
11	155	30.08	34.15	32.04	31.13	29.94	30.77
12	158	26.92	35.40	33.18	32.34	31.02	30.87
13	152	27.45	32.87	30.89	29.90	28.87	28.61
14	153	29.03	33.30	31.28	30.31	29.23	29.82
15	156	30.61	34.57	32.42	31.53	30.30	30.27
16	159	29.55	35.81	33.55	32.74	31.38	31.19
17	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	30.86
18	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	30.66
19	160	31.13	36.22	33.93	33.15	31.73	31.24
20	156	29.03	34.57	32.42	31.53	30.30	30.28
21	157	29.55	34.99	32.80	31.94	30.66	30.38
22	160	31.13	36.22	33.93	33.15	31.73	31.45
23	156	29.03	34.57	32.42	31.53	30.30	30.81
24	159	30.61	35.81	33.55	32.74	31.38	30.98
25	161	31.66	36.63	34.30	33.55	32.09	30.61
26	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	30.34
27	156	29.03	34.57	32.42	31.53	30.30	30.31
28	151	26.40	32.44	30.51	29.49	28.51	28.19
29	153	27.45	33.30	31.28	30.31	29.23	29.69
30	155	28.50	34.15	32.04	31.13	29.94	30.13
31	161	31.66	36.63	34.30	33.55	32.09	30.05
32	159	30.61	35.81	33.55	32.74	31.38	30.95
33	162	32.18	37.03	34.68	33.95	32.45	33.15
34	167	34.81	39.02	36.53	35.92	34.24	35.54
평균		29.45	34.89	32.72	31.85	30.58	30.58

(2) 1993년 10월 27일의 온배수 분포

사진 3.5는 1993년 10월 27일에 획득된 TM영상자료로서 온배수가 확산되는 모습을 보여주고 있다.

인공위성 Landsat TM영상의 제 6band에 의한 표

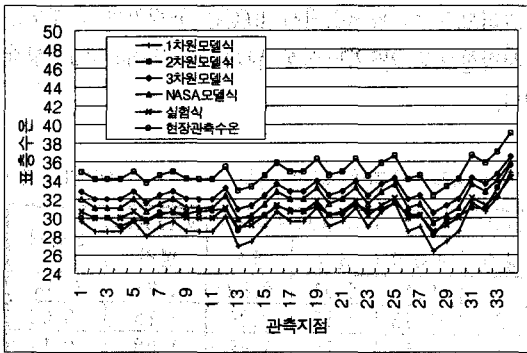


그림 3.4 모델시간의 상관도

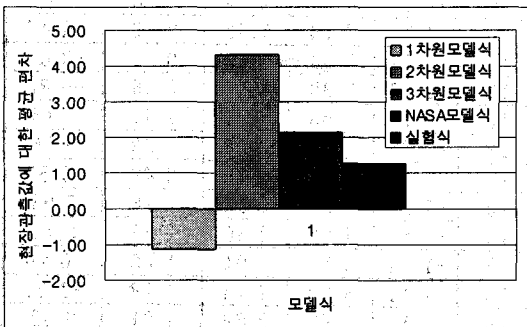


그림 3.5 현장관측수온에 대한 편차 분포

표 3.3 Landsat TM영상의 제 6band에 의한 수온측정결과

관측 지점	배수구로부터의 거리	배수구로부터의 방향	수온
1	0.12km	↘	33.9℃
2	1.01km	↘	31.7℃
3	1.70km	↘	29.6℃
4	2.44km	↘	29.6℃
5	3.15km	↘	28.9℃
6	3.80km	↘	28.9℃
7	6.27km	↘	27.4℃
8	2.94km	↘	28.2℃
9	2.32km	←	26.0℃

측수온 결과를 분석하면 표 3.4와 같은데 여기서 배수구로부터의 거리를 산정하였으며, 방향도 배수구를 중심으로 한 결과이다.

표층수온을 분석하면 온배수의 영향이 미치는 가장

먼곳은 배수구로부터 북쪽방향으로 약 4.65km 떨어진 8번이고 그때의 표층수온은 16.0℃이다.

또한 가장 가까운곳은 온배수 배출구 부근으로 1번이고 이때의 표층수온은 18.8℃이다.

9개의 지점중에서 표층수온이 가장 낮은 곳은 온배수의 영향이 미치지 않는 9번지점으로 배수구로부터 북서방향으로 약 2.85km 떨어져 있으며 그때의 표층수온은 14.5℃이다. 그러므로 이 발전소에서 1993년 10월27일의 온배수는 북쪽으로 약 4.65km 이상 확산되어진다고 생각된다.

표 3.4 인공위성 Landsat TM영상의 제 6band에 의한 수온측정결과

관측 지점	배수구로부터의 거리	배수구로부터의 방향	수온
1	0.11km	↘	18.8℃
2	0.45km	↘	18.8℃
3	1.20km	↘	18.1℃
4	1.68km	↘	17.0℃
5	1.51km	↘	15.6℃
6	0.65km	←	14.9℃
7	2.89km	↘	16.3℃
8	4.65km	↘	16.0℃
9	2.85km	↘	14.5℃

(3) 1994년 7월 26일 온배수 분포

사진 3.6에 나타난 Landsat TM영상의 제 6band에 의한 표층수온측정결과를 분석하면 표 3.5와 같은데 여기서 배수구로부터의 거리를 산정하였고, 방향도 배수구를 중심으로 한 결과이다.

표 3.5 Landsat TM영상의 제 6band 의한 수온측정결과

관측 지점	배수구로부터의 거리	배수구로부터의 방향	수온
1	0.12km	←	34.2℃
2	1.01km	←	32.5℃
3	1.70km	←	32.1℃
4	2.44km	←	31.7℃
5	3.15km	←	31.4℃
6	5.29km	←	30.3℃
7	2.60km	↘	32.5℃
8	2.94km	↘	30.3℃
9	2.32km	←	29.6℃

표층수온을 분석하여보면 온배수의 영향이 미치는

가장 먼곳은 배수구로부터 남서방향으로 약5.29km 떨어진 6번이고, 조사지점중 표층수온이 가장 높은곳은 1번지점으로 배수구로부터 약0.12km 떨어져 있는 배수구 부근이고 그때의 표층수온은 34.2℃이다.

표층수온이 가장 낮은곳은 온배수의 영향이 미치지 않는 9번지점으로 배수구로부터 서쪽으로 약2.32km 떨어져 있으며 그때의 표층수온은 29.6℃이다.

그러므로 이 배수구에서 1994년 7월 26일의 온배수는 남서쪽으로 약5.29km까지 확산되어 진다고 생각된다.

이것은 비록 2년이란 시차는 있지만 계절적으로 관측시기가 비슷한 1996년 7월 30일에 현지에서 관측하여 얻어진 배수구 부근의 표층수온 33.8℃와 비교하여도 거의 유사하게 나타났다.

특히 사진 3.6에서의 7번지점과 같이 온배수의 영향을 받지 않는 곳이지만 간조시에 노출된 갯벌, 하천변습지 등의 표면이 태양에 의해 가열되어 있는 상황에서 생각되지 않은 상태로 발전소 남북연안과 인근하천을 따라 온배수의 영향을 받지않은 9번지점보다 2.9℃ 높게 나타나고 있다. 이러한 수온상승효과는 자연적인 현상이며, 이런 현상은 지면온도가 높은 하절기에 크게 나타난다고 생각되어 진다.

이것을 인공위성 영상이 나타내는 전구역에 대하여 적용하고자 연산을 하여 표층수온을 환산하고 다시



그림 36 GIS를 이용하여 나타낸 표층 수온분포도(실험식)

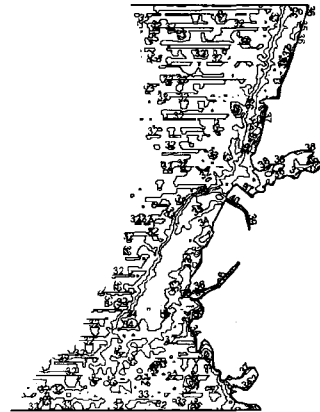


그림 37 GIS를 이용하여 나타낸 표층수온분포도(NASA식)

이것을 영상으로 표현한 것이 사진 3.7이다. 그러나 이것은 실험식에 의한 해수의 표층수온을 나타내기는 하지만 영상의 DN의 변화에 따른 온도의 변화가 매우 미세하여 미세한 변화를 반영할 수 없으므로 온도의 분포패턴을 보다 자세하게 보기 위하여 이 온도값에 100을 곱하여 소수점을 없애고 최대값과 최소값 사이를 스트레칭하여 표현한 것이 사진 3.8이다. 그 결과 이 사진에서 알 수 있듯이 온도의 미세한 패턴까지도 알 수 있다는 장점을 발견하였다. 마찬가지로 NASA모델에 의한 DN으로부터의 표층수온의 변환값을 표현한 것이 사진 3.9이며, 이것에 100을 곱하여 표현한 것이 사진 3.10이다. 이 사진에서도 알 수 있듯이 표층수온의 패턴을 보다 상세하게 나타내기 위해서 스트레칭기법을 사용하면 표층수온을 보다 상세하게 측정할 수 있다.

그러나 인공위성 영상표현에 의한 방법은 온도패턴을 시각적으로 읽기는 쉬우나 수치적으로 등온도선을 구분하기가 어려워 본 연구에서 얻어진 실험식에 영상의 DN을 대입하여 표층수온을 구하고 이것을 다시 GIS 시스템을 이용하여 TIN분석을 한 후 등온도선으로 나타낸 것이 그림 3.6이다. 마찬가지로 NASA모델식에 의해 구해진 온도분포를 등온도선으로 나타내면 그림 3.7과 같다.

이 등온도선과 이미 앞에서 언급된 실제관측한 34개지점으로부터 TIN분석에 의하여 도출된 등온도선을



사진3.1 영광원자력 발전소 주변의 Landsat TM 영상(1992. 6. 2)

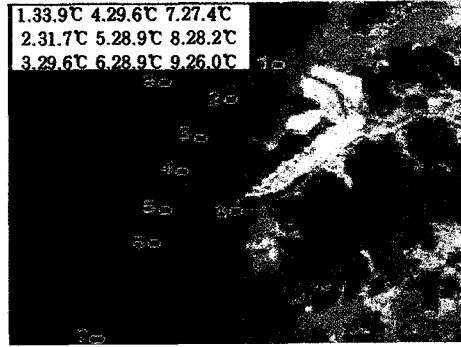


사진3.4 Landsat TM 영상에 의한 온배수 분포(1992. 6. 2)

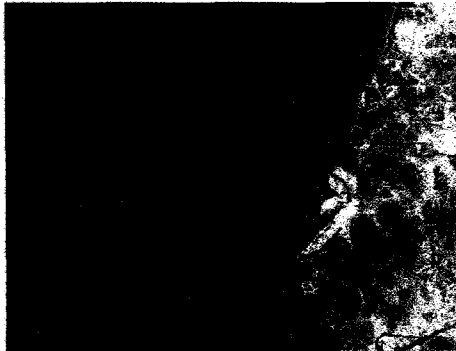


사진3.2 영광원자력 발전소 주변의 Landsat TM 영상(1993. 10. 27)

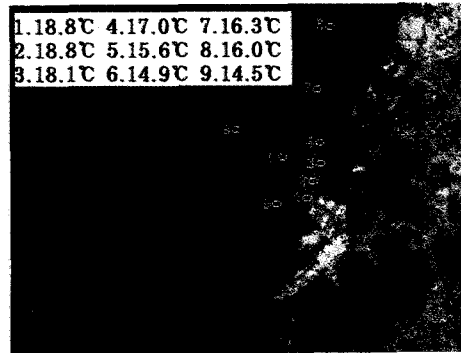


사진3.5 Landsat TM 영상에 의한 온배수 분포(1993. 10. 27)

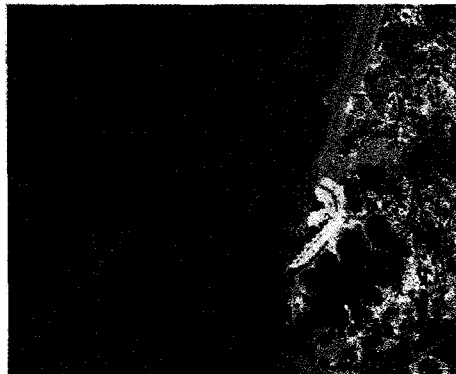


사진3.3 영광원자력 발전소 주변의 Landsat TM 영상(1994. 7. 26)

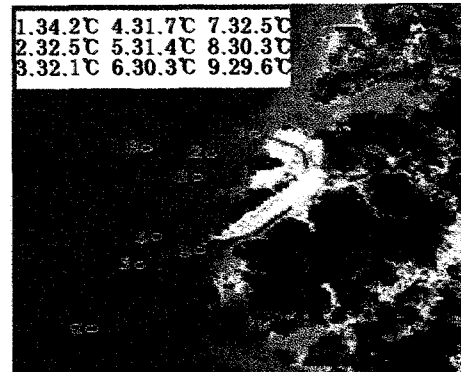


사진3.6 Landsat TM 영상에 의한 온배수 분포(1994.7. 26)

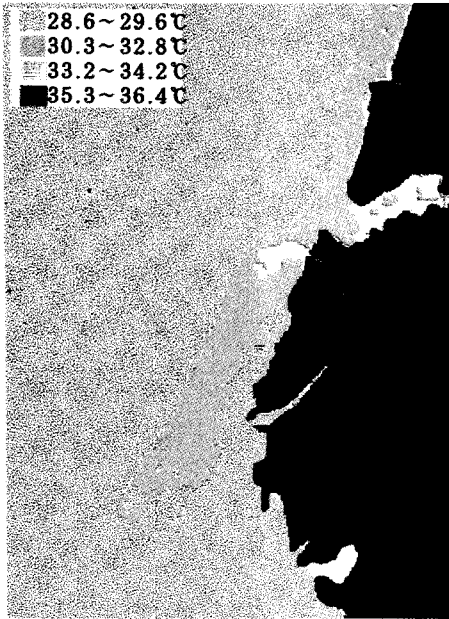


사진3.7 표층수온분포 영상도(실험식)

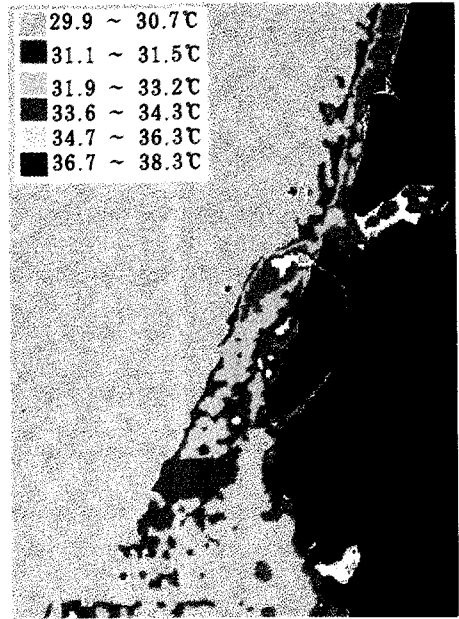


사진3.9 표층수온분포(NASA 식)



사진3.8 표층수온에 100을 곱하여 스트레칭하여 나타낸 영상도(실험식)

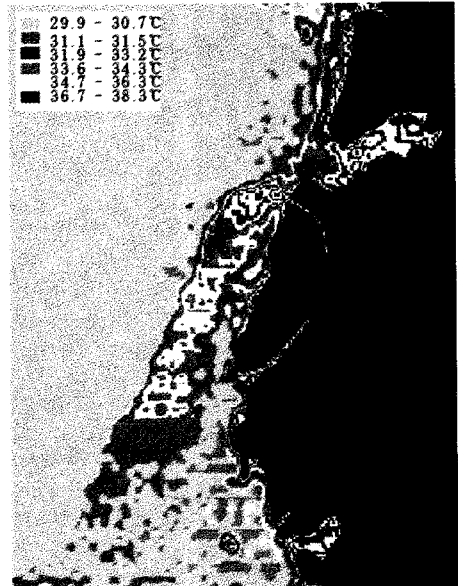


사진3.10 표층수온에 100을 곱하여 스트레칭하여 나타낸 영상도(NASA 식)

비교하여 보았다. 이 때 그림 3.6~3.7과 같이 인공 위성 영상에서 DN을 추출하여 표층수온을 구해서 등

온도선을 나타낸 것이 그림 3.2와 같이 실측한 34개지 점에서 얻어진 표층수온값에 의한 등온도선 보다 정확

한 표층수온패턴을 나타낸다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

인공위성 Landsat TM영상을 이용하여 임해발전소로부터 배출되는 온배수 확산에 대하여 분석을 하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영광원자력 발전소 주변의 Landsat TM영상을 중심으로 해수표면 온도를 추출하기 위한 회귀분석식은 $Temp(k) = 0.3584 \times (band6) + 247.39$ 이었으며, 상관계수가 0.9059인 높은 상관관계를 나타내었다.
2. 인공위성 영상의 DN으로부터 온도를 추출하여 모델을 구한 다음 DN의 TIN분석에 의하여 등온선도를 작성하면 실제관측하여 얻어진 수온값만을 이용하여 등온선도를 나타낸것보다 광범위한 지역에 대하여 훨씬 정확한 패턴을 알 수 있었다.
3. 표층수온의 온도차가 매우 미세하므로 패턴을 보다 상세하게 나타내기 위해서는 스트레칭기법을 사용하는것이 효과적이었다.
4. 임해발전소 주변해역의 인공위성 영상에 대한 DN값 처리에 TIN기법을 적용하므로써 원하는 대상지역에 대해 표층수온분포도를 신속하고도, 경제적으로 작성할 수 있었다.
5. 한정된 실측자료와 인공위성 영상자료사이의 비교분석에 의한 것이므로 앞으로 더 많은 자료에 의해서 정밀분석을 한다면 더 좋은 결과를 얻을수 있을것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 96년도 한국과학재단 핵심전문연구(961-1207-024-2)의 연구비지원에 의해 수행된 것으로 한국과학재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 落合弘明, 濇排水, 科學, 1973
2. 이주호, 가로흐름 수역으로 방출되는 2차원 표면

- 온배수수치모형비교연구, 한국해양·해양공학회지, 1994
3. Clapp, J.L., Application of Remote Sensing to Water Resources Problems, NASA Annual Report of Remote Sensing, Section 46-1, 1972
 4. 電力中央研究所, 濇排水 モニタリングへのLANDSAT衛星の適用性, 電力中央研究所報告書, PP.14~20, 1991
 5. 유복모, 원격탐측, 개문사, 1995
 6. 강인준, 인공위성 측량에 의한 해양오염 물질의 확산 검정 기법, 한국측지학회지 제 10권 제 1호, PP.19~23, 1992
 7. Hudson, R.D., Infrared System Engineering, John Wiley & Sons, 1969
 8. Rafael C. Gonzalez, Paul Wintz, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1987
 9. David J. Maguire Michael F. Goodchild, David W. Rhind, Geographical Information System, Longman Scientific & Technical, 1990
 10. 양인태, 수문해석을 위한 지표정보추출의 광학이미지기법에 관한 연구, 대한토목학회지 제 10권 제 3호, PP.77~85, 1990
 11. 양인태, 항공사진에 있어서 해안의 효율적 이용관리방안에 관한 연구, 강원대학교보고서, 1985
 12. 日本リモートセンシング學會, パソコンによるリモートセンシングデータ解析, 啓學出版, 1989
 13. 한국해양연구소, 정량화된 위성자료를 이용한 해수수질연구(III), 과학기술처, 1994
 14. 양인태의 1인, 모트센싱기법을 이용한 호소수질관리방안, 대한토목학회논문집 제 14권 제 1호, PP.161~170, 1994
 15. 김태근의 3인, Landsat TM영상자료를 이용한 호소수질관측, 한국지형공간정보학회 논문집 제 4권 제 2호, PP.23~33, 1996
 16. G.R. LIU and T.H.KUO, Improved atmospheric correction process in monitoring SST around the outfall of a nuclear power plant, INT.J.REMOTE SENSING, 1994
 17. 최승필의 1인, Landsat TM 영상에 의한 원자력 발전소로부터의 온배수확산의 추적조사, 한국측지학회지 제 15권 제 2호, PP.231~236, 1997