

온배수 확산분석을 위한 Remote Sensing 활용에 관한 연구

A Study on Application of Remote Sensing for Thermal Plume Analysis

유복모* 조기성**
YEU Bock-Mo CHO Gi-Sung

要 旨

원격탐측은 초기에는 자연현상이나 지표대상물의 개략적인 분포와 변화를 추출하는데 사용되어 왔으나 최근에는 식물의 분광특성을 이용한 농업조사, 산림조사나 지하자원탐사, 해양상의 수온 및 해류분포조사, 기상조사등 많은 분야에 응용되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 원격탐측의 많은 응용분야 중에서 해양으로 배출되는 공장온배수의 확산범위를 조사하기 위하여 지구자원 탐사위성인 LANDSAT-5호에 탑재되어 있는 TM에 의해 얻어진 영상과 지상탐측기인 열적외주사기 Thermo Tracer에 의해 얻어진 열적외 영상을 이용하였다. LANDSAT TM영상의 Band 6은 열적외 Band로서 NASA의 CSFC에서 제공한 변환식 및 사후검정값을 이용하여 Band 6의 gray level값으로부터 해수온도 분포를 추출하였으며, Thermo Tracer의 열적외 영상은 THI100 Series의 Processing mode를 이용하여 온도분포를 얻었다.

이와 같은 영상을 분석한 결과 근해의 수심이 얇은 지역의 해수온도는 담수온도와 내륙온도의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었으며, 온배수의 확산범위 및 면적을 시각적 및 정량적으로 나타낼수 있었다. 또한 열적외선 주사영상을 이용하여 보다 세부적인 확산범위를 제시할수 있었으며 LANDSAT영상결과와 거의 동일한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this research, the image obtained by TM platformed in the LANDSAT-5 and the terrestrial infrared image obtained by the Thermo Tracer were employed in order to search the distribution of industrial thermal plume discharged into seas. Sea surface temperature distributions were deduced based on the infrared band 6 in the TM image of the LANDSAT by employing the transformal formula provided by the CSEC of the NASA and post-calibration values. The temperature distributions were also obtained with the processing mode of the THI100 series from the terrestrial thermal image of the Thermo tracer.

According to the results of the image analyses with this methods, it was found that sea surface temperatures in shallow coastal area largely affected by the temperatures of the freshwater and inland, and that the range and the area of distribution of the thermal plume can be visualized quantitatively. Furthermore, when the terrestrial thermal infrared scanner is used, the more details of the distribution range can be obtained, and the image results are comparable to those obtained from the LANDSAT.

* 연세대학교 토목공학과 교수

** 전북대학교 토목공학과 전임강사

1. 서론

원격탐측(Remote Sensing)이란 지상이나 항공기 및 인공위성 등의 탐재기(Platform)에 설치된 탐측기(Sensor)를 이용하여 지표, 지상, 대기권 및 우주공간의 대상물로부터 반사 또는 방사되는 전자기파를 탐지하고 이들 자료로부터 토지, 환경 및 자원에 대한 정보를 얻어 이를 해석하는 기법이다.

따라서 전자파에 의하여 자료를 수집하고 이를 해석하는 것으로서 지표의 대상물이나 어떤 현상을 판독하기 위해서는 모든 대상물의 종류와 환경조건에 따라 각각 다른 전자기파를 반사 또는 방사하는 전자기파의 특성파장이 우선된다.

원격탐측은 정보를 획득할 수 있는 파장영역이 매우 넓으며 각 파장대에 따라 자외선, 가시광선, 적외선 및 초단파 등으로 나누어지며 각 파장은 관측하는 장소에 따라 지상관측, 항공기관측, 인공위성관측 등으로 나눌 수 있다.

원격탐측은 초기에는 자연현상이나 지표대상물의 개략적인 분포와 변화를 추출하는데 사용되었으나, 최근에 이르러서는 인간활동의 제반영역에 대한 정확한 관측과 해석에까지 사용되게 되었다.

이와 같은 원격탐측은 지구상에 존재하는 모든 것이 대상분야라 해도 과언이 아닐 정도로 다양하다. 예를 들면 식물의 분광특성을 이용한 농업조사, 삼림조사나 지하자원탐사, 해양상의 수온, 해류분포, 수질오염, 기상조사 등 많은 분야에 응용되고 있다.

본 연구에서는 이들 많은 응용분야 중에서 해양상으로 배출되는 공장온배수의 확산범위를 규정하기 위하여 지구자원탐사위성인 LANDSAT-5호에 탑재되어 있는 TM(Thematic Mapper)에 의해 얻어진 영상과 지상탐측기인 Theraaml Infrared Scanner(TIF Scanner)를 사용하여 얻어진 영상을 이용하였다.

따라서 본 연구는 이들 영상을 해석하므로써 본 연구대상지로부터 배출되는 온배수가 근해에 미치는 범위를 조사하고자 한다.

2. 열적외영상특성 및 해석이론

2.1 전자파파장대의 특성

2.1.1 전자파파장대

전자파방사에 의한 정보의 전파는 전자파장대에 의해 나누어지며 이 파장대는 전자파의 진동수에 따라 나눌 수 있다. 진동수가 아주 높은 전자파는 우주선과 방사성물질로부터 발생하는 γ 선, X선 등이 있으며 각각의 파장은 $0.003\text{nm}(1\text{nm}=10^{-9}\text{m})$, $0.03\sim 3\text{nm}$ 정도로 아주 짧다. 그리고 사람의 눈은 일곱 가지 색의 색채감으로 물체를 판별하는데 이것은 가시광선이라고 하는 $0.4\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$ 사이의 파장대에 의해 육안으로 식별된다. 각 파장역에 의해 육안으로 식별된다. 전체 파장역은 $10^{10}\mu\text{m}$ 의 짧은 것에서부터 $10^{11}\mu\text{m}(100\text{km})$ 이상의 긴 파장을 포함한다. 각 파장역은 명칭이 정해져 있으며 특징에 따라서 넓이가 달라지지만 파장대 명칭에 의해 명확하게 구분되지는 않고 어느 정도 중복되어 있다. 예를들면, 극초단파의 가장 짧은 파장대는 적외선영역과 엄밀히 구분하기 어렵다. 일반적으로 전자파를 파장대로 나누면 표 (2.1)과 같다.

표 (2.1) 전자파의 파장

밴드	감마선 (Gamma ray)	X-선	자외선 (UV)	가시 자외선	가시광선
파장	$<0.03\text{nm}$	$0.03\sim 3\text{nm}$	$3\text{nm}\sim 0.4\mu\text{m}$	$0.3\sim 0.4\mu\text{m}$	$0.4\sim 0.7\mu\text{m}$
밴드	적외선 (IR)	반사 적외선	열적외선 (Thermal IR)	극초단파	레이다
파장	$0.7\sim 1000\mu\text{m}$	$0.7\sim 3\mu\text{m}$	$3\sim 5\mu\text{m}$ $8\sim 14\mu\text{m}$	$0.01\sim 1000\text{cm}$	$0.1\sim 100\text{cm}$

2.1.2 열방사

전자파방사에 의해 운반되는 방사에너지는 물체의 물리적 운동, 가열 또는 물질의 상태변화를 일으키게 하는 방사량의 크기이다. 방사 자체가 물질은 아니지만 한 양동이의 물처럼 실체화시킬 수 있는 것으로

생각하여 방사량(radiant quantities)이라고 표현한다. 방사에너지는 탐측기의 감지요소(detector elements)를 물리적으로 변화시키므로 이 물리적 변화에 의해 방사에너지를 관측하며 단위는 에너지의 단위 J(joule ; N.m)로 표시한다.

물질의 표면에 부딪히는 방사에너지는 반사·흡수·전도되기 때문에 다음 식 (2.1)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Ref} + \text{Abs} + \text{Trm} = 1 \quad (2.1)$$

여기서 Ref : 반사율(reflectivity), Abs : 흡수율(absorptivity), Trm : 전도율(transmissivity)이다.

반사율, 흡수율, 전도율은 입사되는 방사에너지의 파장에 의해 좌우되고, 또한 표면의온도에 의해 좌우된다. 반사율은 입사에너지에 대한 방사된 에너지의 비이며, 전도율이 무시되는 물질에서 식 (2.2)와 같이

$$\text{Ref} + \text{Abs} = 1 \quad (2.2)$$

이 된다. 흡수된 에너지는 물질의 운동온도(kinetic temperature)를 증가시킨다.

전자파방사는 물체의 원자 또는 분자구조가 에너지를 받아서 진동을 시작하여 열에너지를 발생하고, 온도가 상승하면서 전자파를 방출하는 것을 말한다. 방사는 온도와 물체의 종류에 따라 다르지만, 전자파를 흡수하는 성질이 강한 물체는 온도만에 관계하는 파장의 분포와 강도를 가진 전자파를 방출한다. 이것을 열방사라 한다.

흑체(black body)는 열방사를 이해하는 기초적인 개념으로, 물체에 부딪히는 방사에너지를 모두 흡수하는 즉 Abs=1 인 물질이다. 이 완전한 전자파의 흡수체는 물체의 성질에 관계없이 열방사를 하며, 이 방사를 흑체방사라 한다. 흑체방사의 온도와 방사전자파의 파장, 방사량 사이의 관계는 온도가 높아짐에 따라서 방사량이 크게 되며, 방사스펙트럼은 Planck의 공식에 의해 독특한 곡선을 이룬다 [식 (2.3)과 그림 (2.1) 참조].

$$F_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c\sigma/\lambda KT}-1} \quad (2.3)$$

여기서,

F_{λ} : 흑체의 단위표면적으로부터 단위시간에 방사되는 에너지의 단위파장당의 크기(watt·cm⁻²μ⁻¹)

λ : 파장(μ)

T : 절대온도(° K)

h : planck상수(6.626×10⁻³⁴Ws²)

c : 광속도(1.998×10¹⁰cm·s⁻¹)

σ : boltzmann상수(1.380×10⁻²³Ws ° K⁻¹)

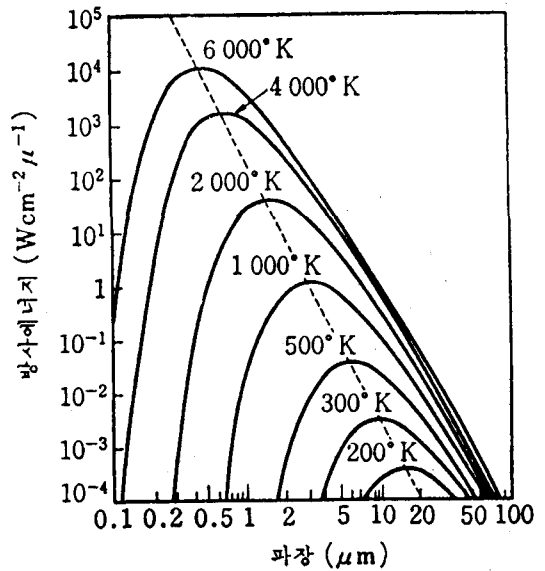


그림 (2.1) 흑체 방사

이 곡선에서 알 수 있듯이 방사스펙트럼은 0° K에서 20μm(열적외)를 최대값으로 하는 분포로부터 6,000° K의 0.45μm(청색광)를 최대로 하는 분포에 접근하면, 물체는 고온에서 더 많은 양의 에너지를 방사하며 이러한 현상은 최대방사량을 갖는 파장을 포함하여 분광의 전파장대에서도 마찬가지이다. 따라서 두개의 물체에서 방출되는 방사량을 비교하기 위해서는 그 물체들의 온도를 관측하여야 한다. 이러한 물체들의 상대온도차이를 기초로 하여 조사지역 내에 있는 물체들의 물리적 온도가 열적외선영상으로 영상화된다. 그림 (2.1)에서처럼 Wein의 편위법칙(Wein's displacement law)에 따라 최대방사를 나타내는 파장(λ_m)과 흑체의 절대온도(T)와의 곱은 일정하다. 즉,

$$\lambda_m \cdot T = K, \quad K = 2,897 \mu^\circ K \quad (2.4)$$

보통물체는 흑체가 아니므로 흑체와 동일한 온도 에 있어서도 이것으로부터 방사되는 전자파의 양은 적다. 흑체를 기준으로 하여 여러 가지의 물체와의 방사량의 비를 구하면 보통 1보다 작은 값이 되는데 이 값을 물체의 방출율(emissivity)이라 한다. 즉 방

출율 ϵ 은 물체의 방사량(Fr)과 흑체의 방사량(Fb)의 비, 즉 $\epsilon = Fr/Fb$ 로 표시된다. 따라서 흑체의 방출률 $\epsilon=1$ 이다. 방사관측기에 의해 관측되는 열방사량은 절대온도($T^\circ K$)의 4제곱, Stefan-Boltzmann상수(σ), 그리고 방사표면의 방출률(ϵ)과의 곱으로 나타난다 (Stefan-Boltzmann법칙).

$$Fr = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.5)$$

방사온도는 물체표면의 방출율의 요인 때문에 물리적 온도와 밀접한 관계를 갖지만, 방사에너지의 분포는 물체표면의 온도와는 선형적인 함수관계를 갖지 못한다. 이러한 요인이 물체의 온도와 최종적인 영상의 색조 사이의 상관관계를 복잡하게 한다.

지구표면 전체는 약 $300^\circ K$ (약 $27^\circ C$)의 온도로 방출율 0.96 정도이며, 이것은 대단히 흑체에 자깝다. 위와 같이 관측된 방사전자파의 강도로부터 표면온도가 구해진다. 우주공간으로부터 관측된 전자파 중에는 지표, 해수면, 눈 등의 온도는 $10\mu m$ 에서 $20\mu m$ 정도의 원적외선의 강도와 대단히 높은 관계를 가진 값이 얻어지므로 이를 '열적외선'이라고 한다. 그리고 방출율의 차이가 구해지면 대상물을 식별할 수 있으며 예를 들면, 순수한 물이 0.993인 것에 비해 석유의 피막으로 덮인 물의 표면이 0.972, 직물류의 피막의 경우는 0.966이 되어 온도차가 나타난다.

2.2 LANDSAT 영상체계

지구자원탐색위성인 LANDSAT은 1972년 7월 23일에 1호가 미국 NASA에서 발사되었으며, 발사당 시에는 ERTS(earth resources & technology satellite)로 명명했으나 1975년 1월 13일에 LANDSAT으로 변경되었다. 1975년 1월 22일에 발사된 LANDSAT-2호는 LANDSAT-1호와 같이, 3밴드 RVB(return beam vidicon)와 4밴드 MSS(multi spectral scanner)가 탑재되었으며 1978년 3월 5일에 발사된 LANDSAT-3호는 1밴드 RBV 2 대와 5밴드 MSS가 설치되었다. 또한 LANDSAT-4호(1982년 7월 16일 발사)는 7밴드 TM(thematic mapper)과 4밴드 MSS, 자료수집체계(DSC)가 탑재되었으며, LANDSAT-5호(1984년 7월 16일 발사)는 7밴드 TM과 4밴드 MSS

가 설치되었다. 또한 공칭고도 705Km인 태양동기 준회귀궤도(sun-synchronous orbit)를 16일 주기로 돌고 있다. LANDSAT의 궤도제원은 표 (2.2)와 같다.

표 (2.2) LANDSAT 4, 5호의 궤도제원

구 분	LANDSAT 4, 5호
궤도	태양동기 준회귀궤도
공칭고도	705km
적도 통과시간	9시 39분 A.M.(지방평균 태양시)
일주 시간	98.7617분
1일 회전수	14+9/16일
회귀일수	16일
궤도 장반경	7077.5969 km
이심률	0.00012162
궤도경사각	$98^\circ .1472$
근지점 고도	698.5691 km
원지점 고도	700.3177 km
탑재센서	MSS 및 TM

TM은 7개의 분광 밴드를 가지고 각 밴드별 수치영상을 동시에 관측한다. 각 밴드별 파장대와 주요 응용분야는 표 (2.3)과 같다.

TM 데이터를 전처리할때, 일반적으로 기하보정법은 BULK보정을, 지도투영법으로는 UTM 투영법을, 투영 후의 재배열법으로는 cubic convolution법을 각각 사용한다.

TM의 각 수치영상에는 path-row 번호가 부여되어 있고 수치영상 중심의 경·위도가 지정되어 있다.

표 (2.3) TM의 관측파장대 및 주요 응용분야

밴드	파장대(μm)	주요응용분야
1	0.45 ~ 0.52	·연안수 mapping ·토양과 식물의 구분 ·활엽수와 침엽수의 구분
2	0.52 ~ 0.62	·식물의 활력도 조사
3	0.63 ~ 0.69	·업륙소에 따른 식물의 종류결정
4	0.76 ~ 0.90	·biomass 조사 ·수괴분포 조사
5	1.55 ~ 1.75	·식물의 수분측정 ·논과 구름의 구분
6	10.4 ~ 12.5	·식물의 측정 ·온도의 mapping
7	2.08 ~ 2.35	·열수작용의 mapping ·암석분포의 파악

2.3 열적외선 주사영상체계

2.3.1 열적외선 주사기

지형의 방사온도는 지상에 불연속으로 설치된 지점에서 열적외선 scanner를 이용하여 주사하거나 적외선방사계(IR radiometer)를 탑재한 항공기에 의해 연속적으로 측정되며, 방사온도의 변화형태는 광학적 주사기에 의해 영상으로 기록된다.

열적외선을 만들기 위한 주사시스템은 광학적 주사시스템, 열적외감지시스템, 영상기록시스템의 3가지 기본요소로 이루어진다.

시각은 보통 90~120°이며, 지형에서 나오는 적외선에너지는 방사에너지를 적외선방사강도에 비례하여 전기신호로 전환시키는 적외선감지기 위의 주사선으로 집중된다. 감지기는 감지기광학의 분자진동에 의해 야기되는 전자노이즈(noise)를 감소시키기 위해서 73°K까지 냉각시킨다. 주사기의 감지기는 진공병 또는 액체질소를 채워져 있는 보온병에 둘러싸여져 있으나 폐쇄사이클 자동냉각기를 사용하여 감지기의 낮은 온도를 유지하는 것도 있다.

본 연구에서 사용된 열적외선주사기는 고정된 위치로부터 영상을 얻기 위하여 고안된 것으로 수평 및 수직방향으로 주사할 수 있도록 되어있으며 이 열적외선 scanner Thermo Tracer(TH1100 series)의 제원은 다음 표 (2.4)와 같다.

표 (2. 4) 열적외선 주사기 제원

Model number	TH1100
온도측정범위	-50 to 2000°C Range 1 : -50 to 200°C Range 2 : 100 to 600°C Range 3 : 400 to 2000°C
파장	8 to 13 μm(half value width)
온도해상력	0.1°C(for blackbody at 30°C) 0.025°C(in S/N improvement mode)
시야범위	30° horizontal × 28.5° vertical
탐측기	HgCdTe(mercury cadmium telluride), liquid nitrogen cooling type
수평해상력	344 lines or more(1.5mrad)
측정정확도	±0.5%/range full scale
초점범위	20cm to infinity
주사선수	207 lines
주사간격	1, 1/2 and 1/4sec

2.4 분광휘도와 온도의 관계

지구탐측을 위한 LANDSAT 수치영상을 이용하고자 할 때는 CCT 테이프상의 수치적인 값을 휘도(radiance)와 같은 scientific unit로 바꿀 수 있는 식이나 상수가 요구된다.

각 영상소에 대해 방사적 그리고 기하학적으로 검정한 CCT 테이프의 검정값을 QCAL이라는 기호로서 나타내어 이용하였으며 이와 같은 사후검정값인 QCAL값은 분광휘도(L_λ)로 전환하기 위한 특수값으로서 6, 7, 8bit의 Digital Number(DN)을 가진다.

MSS와 TM Scanner의 방사적인 검정은 위성으로부터 전송되어온 본래영상을 재배열하므로서 이루어진다. 이와같이 검정된 수치영상 자료는 특정기간동안에 지상에서 처리된 모든 영상에 대해서 동일한 사후검정범위를 갖게된다. band들 사이의 상대적인 검정은 histogram 평활화라는 과정을 통하여 이루어진다. 사용자가 구입한 CCT 테이프상의 QCAL값으로부터 분광휘도 L_λ로의 변환은 특정한 밴드에 대한 사후검정범위의 극한값인 LMIN_λ와 LMAX_λ이 주어졌을때 다음 식 (2.6)에 의해서 구할 수 있다.

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX} \right) QCAL \quad (2.6)$$

여기서,

QCAL = 임의 영상소의 DN값

LMIN_λ = QCAL=0 일 경우의 분광휘도

LMAX_λ = QCAL=QCALMAX 일 경우의 분광휘도

QCALMAX = DN값의 전범위

L_λ = 분광휘도

표 (2.5)는 NASA의 Coddard Space Flight Center(CSFC)에서 제공한 TM data의 지상처리과정을 위해 각각 다른 시기 및 다른 system에서 사용할 수 있는 band-specific LMIN_λ와 LMAX_λ 값을 나타낸 것이다.

표 (2. 5) TM Post-Calibration Dynamic Ranges

Band	1983년 8월 이전		1984년 1월 15일 이전		1984년 1월 15일 이후	
	LMIN _λ	LMAX _λ	LMIN _λ	LMAX _λ	LMIN _λ	LMAX _λ
TM 1	-0.152	15.842	0.000	14.286	-0.15	15.21
TM 2	-0.284	30.817	0.000	29.125	-0.23	29.68
TM 3	-0.117	23.463	0.000	22.500	-0.12	20.43
TM 4	-0.151	22.432	0.000	21.429	-0.15	20.62
TM 5	-0.037	3.242	0.000	3.000	-0.037	2.719
TM 6	0.20	1.564	0.484	1.240	0.1238	1.560
TM 7	-0.015	1.700	0.000	1.593	0.015	1.438

표 (2.5)에서 분광휘도의 단위는 (mW·cm²·ster⁻¹·μm⁻¹)이며, 검정 후의 QCALMAX값은 물론 모든 TM 데이터에서 255DN이다.

분광휘도에 있어서, LANDSAT 4, 5호의 TM sensor의 각 band에 대한 비록 상대적인 분광반응식은 서로 다르지만 사후검정범위는 동일하게 주어졌다.

일반적으로 분광휘도는 유사한 band들로 이루어진 탐측기로부터 보내진 자료와 비교할 때 매우 유용한 변수이다.

QCAL(DN)과 같은 검정된 수치정보를 변환하는데 사용되는 변수는 통합된 in-band radiance인 L이라기 보다는 다음 식 (2.7)로 주어지는 분광휘도인 L_λ가 이용된다.

$$L = BW \cdot L_{\lambda} \quad (2.7)$$

L = In-band radiance for a pixel in a specific band.

BW = Band-width of that band

L_λ = Spectral Radiance

TM Band 6 영상에 있어서 식 (2.6)에 나타낸 분광휘도로부터 보다 더 실질적으로 유용한 값으로 변환이 가능하다.

즉, 지구와 대기사이의 방사가 일정하다는 가정하에서 표 (2.6)와 같은 위성을 발사하기 전의 검정 상수를 이용하여 다음 식 (2.8)로부터 해수온도값을 얻을 수 있다.

표 (2. 6)

Landsat TM Thermal Band Calibration Constants		
Satellite	Constant 1 K1 (K)	Constant 2 K2 (mW·cm ⁻² ·ster ⁻¹ ·μm ⁻¹)
Landsat - 4	67.162	1284.3
Landsat - 5	60.776	1260.56

$$T = \frac{k_2}{L_{\lambda} \left(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (2.8)$$

여기서,

T = Effective at Satellite temperatures in kelvin, K

k₂ = Calibration constant 2 in K from Table (2. 9)

k₁ = Calibration constant 1 in mW·cm²·ster⁻¹·μm⁻¹ from Table (2. 9)

L_λ = Specfron radiance in mW·cm²·ster⁻¹·μm⁻¹ from Eq (2. 6)

3. 적용 및 분석

3.1 연구대상지

본 연구대상지는 금강하구에서 서천앞바다 및 군산외항지역의 온도분포를 조사하기 위하여 충남 서쪽 해안지구와 군산지역을 포함하여 남쪽으로는 만경장 입구까지를 포함하는 지리좌표가 북위 35°53' ~ 36°10', 동경 126°25' ~ 126°47'인 지역이며 LANDSAT 위성의 궤도가 path-row No.116-35의 영상을 이용하였다.

3.2 연구영상자료

연구대상지 중에서 특히 금강하구부터 충남 서천 군 마서면 앞바다 부근해역의 해수온도 분포상태를 파악하기 위하여 LANDSAT 위성영상과 지상에서 열적외선 scanner를 이용하여 얻은 열적외영상을 다루었다.

LANDSAT 위성 영상은 전 절에서 언급한 LANDSAT-5호의 coverage map 중에서 path-row No.116-35의 subscene 2인 1991년 2월 8일과 1992년 2월 27일의 LANDSAT-5호 TM영상을 일본 RESTEC으로부터 BiL포맷방식의 CCT 테이프로 구입하여 이용하였다. 특히 A공장의 온배수가 충남 서천군 마서면 앞바다의 해태양식과 같은 겨울양식장에 영향을 미치는가 여부를 조사하기위하여 LANDSAT 영상을 공장 가동전후의 겨울철에 촬영한 영상을 이용하였다.

또한 지상열적외선 scanner는 2.3절에서 나타낸 바와같은 Thermo Tracer(TH1100 series)를 이용하여 대상지역을 scanning하고 이 영상을 처리하므로써 얻은 열적외선영상을 온배수확산범위의 세부조사에 활용하고자 하였다.

3.3 결과분석

본 연구에서 사용한 영상은 LANDSAT 위성영상과 지상열적외선주사영상이며 이들 영상은 충남 서천군 마서면일대의 온도분포 및 A공장에서부터 배출되는 온배수의 영향을 받는 범위를 파악하고자하여 다음과 같이 분석하였다.

3.3.1 LANDSAT-TM영상

본 연구에서는 일본 RESTEC으로부터 기하보정은 BULK보정, 지도투영법은 UTM투영법, 투영후의 재배열법으로는 cubic convolution으로 되어있는 공장 가동 전의 영상인 1992년 2월 8일의 영상과 공장가동 후의 영상인 1992년 2월 27일의 영상을 한국과학기술원 시스템공학기술연구소에서 개발한 ERIMS를 이용하여 영상처리 하였다. LANDSAT-TM영상은 2.2.1절에서 언급한 바와같이 파장대에 따라 Band 1 ~ Band 7로서 이루어져 있으며 그 중에서 본 연구의 대상과 같은 온도분포조사에는 열적외선영상을 얻을 수 있는 Band 6이 이용된다.

TM영상의 Band 6을 이용하여 온도분포상태를 조사하기위하여 공장가동 전후 영상들로부터 2.4절에서 언급한 식 (2.6) 및 표 (2.5)를 이용하여 분광휘도

(L_λ)를 먼저 구하고, 이를 식 (2.7) 및 표 (2.6)을 이용하여 구한 온도는 다음 표 (2.7)과 같다.

표 (2.7) 분광휘도 및 온도 (1991. 2. 8과 1992. 2. 27)

QCAL	L_λ	K	°C
71	0.523672	264.7	-9.3
72	0.529304	265.3	-8.7
73	0.534936	265.9	-8.1
74	0.540568	266.4	-7.6
75	0.546200	267.0	-7.0
76	0.511832	267.6	-6.4
77	0.557464	268.2	-5.8
78	0.563096	268.7	-5.3
79	0.568728	269.3	-4.7
80	0.574360	269.9	-4.1
81	0.579992	270.4	-3.6
82	0.585624	271.0	-3.0
83	0.591256	271.5	-2.5
84	0.596888	272.1	-1.9
85	0.602520	272.6	-1.4
86	0.608152	273.2	-0.8
87	0.613784	273.7	-0.3
88	0.619416	274.3	0.3
89	0.625048	274.8	0.8
90	0.630680	275.3	1.3
91	0.636312	275.9	1.9
92	0.641944	276.4	2.4
93	0.647576	276.9	2.9
94	0.653208	277.4	3.4
95	0.658840	277.9	3.9
96	0.664472	278.4	4.4

표 (2.7)의 결과를 나타낸 해수표면온도(SST : Sea Surface Temperature)분포는 사진 1 및 2와 같다.

전북 군산시 외항 및 충남 서천군 마서면 앞바다의 해수면의 온도를 나타내는 사진 1 및 2에서 알 수 있듯이 이 지역의 해수면온도는 대체적으로 -5.8°C ~ 4.5°C의 범위로서 분포하고 있으며 이 한계치 이상값은 청색과 적색으로 처리하였다. 겨울철 중에서 가장 온도가 낮은 시기인 2월 초순의 해수온도분포는 사진 1에서와 같이 내륙지역이 해양지역보다 약 2°C정도 더 낮은 온도를 나타내고 있으며, 이른 봄인 2월말의 해수온도분포는 사진 2와 같이 태양의 복사열을 지니고 있는 내륙쪽이 해양보다 2~3°C 정도 더 높은 온도분포를 나타내고 있다. 따라서 근해의



사진 1. LANDST-5호 TM(1991. 2. 8 ; SST분포)



사진 2. LANDST-5호 TM(1992. 2. 27. ; SST분포)

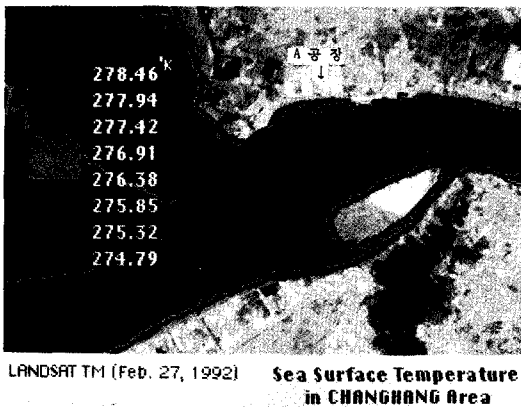


사진 3. 공장가동 후 온배출구 부근 확대영상

해수온도는 담수온도 및 내륙의 온도에 따라 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

그리고 충남 서천군 마서면 앞바다와 개야도 사이의 해역은 다른 지역보다도 금강하구언에서 내려오는 담수와 거의 유사한 온도분포를 이루고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 이 지역이 수심이 얕아 썰물시에는 밀집된 김양식책이나 갯벌지역이 드러나게 되어 대기온도의 영향을 크게 받아서 다른 해역에 비해 낮거나 높은 온도로 나타난 것이라고 사료

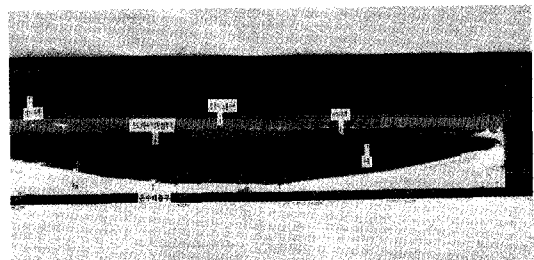


사진 4. 열적외선 주사영상(한솔제지 부근해역)

된다.

본 영상에 대한 상대온도분포의 신뢰성을 입증해주는 것으로서 서천화력발전소의 경우 91년 및 92년 영상 모두 외부온도와는 무관하게 온배수의 온도가 45°C이상의 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

사진 3은 1992년 2월 27일 영상 즉 공장의 가동 후의 영상을 군산과 장항사이의 근해지역만 확대하여 나타낸 사진이다. 사진 3에서 알 수 있듯이 한솔제지의 온배수배출구 주위의 온도는 25°C로서 약 26pixel

(0.37km²) 정도 분포(황색지역)되어 있으며, 2°C는 약 1.8km²(연두색지역), 1.5°C는 약 3km²정도(녹색지역) 확산되었으나 그 이하는 청색으로 부근 해역온도와 같게 되었다. 따라서 본 영상의 해석상으로 볼 때 한솔제지의 온배수 확산면적은 총 5.2km²정도이며 한솔제지에서 볼 때 우측에 보이는 No.207의 등대까지 확산되며 그 이상은 온배수영향이 미치지 않음을 알 수 있었다.

또한 적외선 영상은 천연색사진에서 거의 비슷한 색깔로 나타나는 물과 식물(염록소)을 식별하는데 활용할 수 있는 영상으로서 본 연구에서는 해석하지 않았으나 이 영상을 적당히 처리하면 해상에 분포되어 있는 김양식장 등을 해양과 뚜렷하게 구분하여 나타내는데 활용할 수도 있다.

3.3.2 열적외선 주사영상

2.3절에서 언급한 열적외선 주사기(Thermo Tracer; TH1100Series)에 의하여 얻어지는 열적외선영상에 의한 조사는 한솔제지로부터 배출되는 온배수가 확산되는 범위를 보다 세부적으로 나타내기 위하여 실시하였다.

사진 4는 1993년 11월 2일 A공장에서부터 온배수 배출구에서 가장 가까운 공장동 옥상에서 촬영한 열적외선 영상으로서 사진상에 나타난 바와 같이 배출구 바로 위의 온도는 적색으로 나타낸 9.5°C정도이지만 해안을 따라 흘러 내려가며 녹색으로 표시된 7.5°C로 저하되었고, 배출구 주위로는 6.5°C정도로 사진상에 청색으로 나타난 지역까지만 확산되었음을 알 수 있다.

열적외선 주사영상에 나타난 온도와 LANDSAT TM영상의 온도를 비교할 때 촬영시기가 서로 상이하여 절대온도를 비교할 수 없지만 LANDSAT 위성영상은 배출구 바로 위의 온도는 나타나지 않을 고려할 때 상대적인 온도차는 2°C정도로서 같은 양상을 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 금강하구연에서 군산 및 서천 앞바다의 해수온도분포와 A공장에서 배출되는 온배수의 확산범위를 조사하기 위하여 LANDSAT TM영상과 지상에서 촬영한 열적외선 주사영상을 이용하여 이를 분석하므로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 근해의 해수온도는 담수온도 및 내륙온도의 영향을 크게 받으며, 특히 수심이 얇은 지역은 이와 같은 현상이 더욱 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

둘째, 영상에 의하여 온배수의 확산범위를 시각적으로 나타낼 수 있었으며, 확산면적도 정량적으로 나타낼 수 있었다.

셋째, 인공위성영상 뿐 만 아니라 열적외선 주사영상에 의한 분석결과도 마찬가지로 A공장에서 배출되는 온배수는 배출구 부근해역에서 바로 확산되어 주위 해수의 온도와 동일하게 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp. 79-97.
2. 유복모, 원격탐측, 개문사, 1986, pp. 29-34.
3. Markham, B. L. and J. L. Barker, Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures, EOSAT Landsat Technical Notes, No 1, August, EOSAT, Lanham, Maryland, 1986, pp. 3-8.
4. Ray Harris, Satellite Remote Sensing, Routledge & Kegan Paul Ltd, 1987, pp. 170-176.
5. Kenzie, T. J. M., and Matthews M. C., Remote Sensing in Civil Engineering, Survey University Press, 1985, pp. 269-288.
6. Karl-Heinz Szekiela, Satellite Monitoring of the Earth, John Wiley & Sons, 1988, pp. 188-202.
7. Paul M. Mather, Computer Processing of

- Remotely-sensed Images, John Wiley & Sons, 1987, pp. 112-177.
8. Barrett, E. C., and Curtis, L. F., Introduction to Environmental Remote Sensing, 2nd Edition, Chapman & Hall Ltd, 1982, pp. 193-216.
 9. Charles Elachi, Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing, John Wiley & Sons, 1987, pp. 257-270.
 10. R. Michael Hord, Remote Sensing Methods and Applications, John Wiley & Sons, 1986, pp. 210-214
 11. Johannsen, C. J., and Sanders, J. L., Remote Sensing for resource management, Soil Conservation Society of America, 1982, pp. 317-328.