

**Technical Reviews**

## NOAA/AVHRR 자료 응용기법 연구

- 윤정 · 지표온도, 반사도, 해수면 온도, 식생지수, 산불, 홍수 분석 -

이미선, 서애숙, 이충기

기상연구소 원격탐사연구실

### A Study on the Application of NOAA/AVHRR Data

- Analysis of cloud top and surface temperature, albedo, sea surface temperature, vegetation index, forest fire and flood -

Mi-Seon Lee, Ae-Sook Suh, Choong-Ke Lee

Remote Sensing Research Laboratory, METRI, e-mail: mslee@iris.metri.re.kr

### Abstract

AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) on NOAA satellite provides data in five spectral channels, one in visible range, one in near infrared and three in thermal range.

In this paper, application of NOAA/AVHRR data is studied for environment monitoring such as cloud top temperature, surface temperature, albedo, sea surface temperature, vegetation index, forest fire, flood, snow cover and so on.

The analyses for cloud top temperature, surface temperature, albedo, sea surface temperature, vegetation index and forest fire showed reasonable agreement. But monitoring for flood and snow

cover was uneasy due to the limitations such as cloud contamination, low spatial resolution. So this research had only simple purpose to identify well-defined waterbody for dynamic monitoring of flood.

Based on development of these basic algorithms, we have a plan to further reseach for environment monitoring using AVHRR data.

## I. 서 론

미국의 극궤도 위성인 NOAA에 탑재된 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)은 총 5개의 채널을 가지고 있다. Fig. 1은 투과율과 대기 흡수 분자에 대한 AVHRR 채널의 위치를 나타낸 것으로써 채널 3의 투과율이 가장 높고, 채널 4 보다는 채널 5의 투과율이 수증기에 의해 약간 낮게 나타나고 있다. 다음은 각 채널의 스펙트럼 특징과 채널의 주요 용도에 대해 요약한 것이다. 채널 1( $0.58\mu\text{m}$ -  $0.68\mu\text{m}$ )은 가시 채널로써 반사하는 빛을 감지하므로 주간 구름과 지표 특성 특히 눈, 얼음, 지형, 식생 등을 파악할 수 있다. 채널 2( $0.73\mu\text{m}$ -  $1.10\mu\text{m}$ )는 근적외 채널로 반사된 근적외선을 감지할 수 있으므로 주간 구름, 물과 식생 관측 및 눈·얼음 상태 등을 규명할 수 있다. 채널 3( $3.53\mu\text{m}$ -  $3.93\mu\text{m}$ )은 열적 중간 적외 채널로 극도의 열원에 매우 민감하기 때문에 산불 감지, 해수면 온도 분석, 주·야간의 구름 분석에 이용된다. 채널 4와 채널 5는 대기 창 영역으로 각각 ( $10.3\mu\text{m}$ -  $11.3\mu\text{m}$ )와 ( $11.5\mu\text{m}$ -  $12.5$

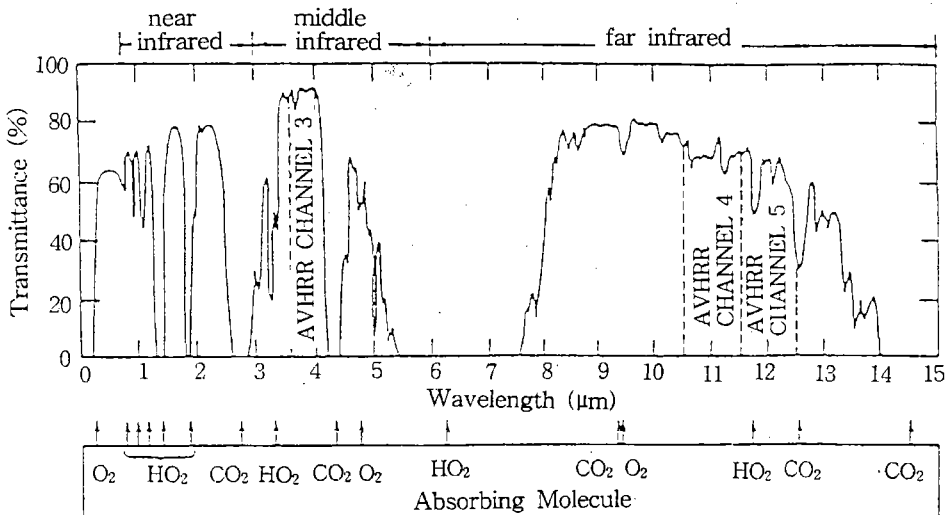


Fig. 1. The illustration of location of AVHRR channels relative to the transmittance and atmospheric absorbing molecule.

$\mu\text{m}$ )의 파장대를 가지며 채널 4는 주간의 구름 영상과 지표온도, 화산 폭발 감시에, 채널 5는 주 야간의 구름 형태와 강, 호수, 해양의 지표온도, 화산 폭발 감시 등에 이용된다.

본 연구에서는 이와같은 채널 별 특성을 이용하여 다음과 같은 총 6개의 분석 알고리즘을 개발하였다.

- |                |            |            |
|----------------|------------|------------|
| 1) 운정온도 및 지표온도 | 2) 반사도     | 3) 해수면 온도  |
| 4) 식생지수        | 5) 산불 모니터링 | 6) 홍수 모니터링 |

본 연구는 한·중 실용화 촉진 사업의 일환으로써 중국에서 개발되어 사용 중인 PC 기초 극저도 수신 및 분석 시스템의 실용화 사업으로 시작되었다. 그러나 여러 사정으로 인하여 시스템 도입 대신 자체 개발에 직면하게 되어 단시간에 기본 알고리즘을 구축해야만 했다. 본 연구는 이 사업의 분석 부분으로써 기본 알고리즘만을 구축하고, 각 요소에 대한 개선점은 추후 연구를 통해 향상시킬 예정이다.

## II. 알고리즘 개발

### 1. 운정온도 및 지표온도

본 연구에서 운정온도 및 지표온도는 채널 4( $10.3\mu\text{m}$ -  $11.3\mu\text{m}$ )의 자료를 TBB(Temperature of BlackBody)로 환산한 값이다. 채널 4는 대기창 영역 중에서 수증기에 의한 흡수가 적은 파장대이므로 이것의 TBB는 맑은 날에는 지표의 온도를 반영하고 구름이 있는 지역에서는 구름의 발달 정도를 측정할 수 있는 구름의 운정온도를 나타낸다. Fig. 2는 94년 8월 8일 1101UTC(NOAA11)에 구름의 운정온도를 나타낸 것이다. 이 그림을 통해서 태풍 더그가 한반도를 향해 북상 중이며 중국과 북한 지역에 걸쳐 전선이 걸쳐 있다는 것을 알 수 있다. 또한 태풍 더그는 대부분의 운역이 운정온도가  $-40^{\circ}\text{C}$  이하인 적난운(Suh *et. al.*, 1990)으로 이루어져 있어 매우 발달한 태풍임을 보여준다. 한편, Fig. 3은 1994년 3월 27일 0651UTC(NOAA11)의 지표온도를 남한 지역에 대해 1.1km 분해능으로 표출한 것이다. 주로 태백 및 소백 산맥 지역에 낮은 온도를, 울산 및 경남 지역과 대구 지역에 높은 온도를 보여주고 있다. 이와같은 위성관측 온도분포가 관측 온도와 어느 정도 차이가 있는지를 살펴보기 위하여 AWS(Automatic Weather Station) 관측 지상온도와 비교하였다. Fig. 4의 상단은 15시를 하단은 16시의 관측온도를 나타내며, 각 단의 오른쪽 부분은 관측자료를 객관분석하기 위해 사용된 관측 지점의 위치와 갯수를 나타낸다. Fig. 3의 영상시간에 해당되는 16시의 지상관측온도와 비교해 보면 경상도지역의 고온 지역과 소백 산맥 지역의 저온 분포등이 일치하고 있다. 그러나 16시의 관측온도 분포의 경우 태백 산맥 및 동해 지역에 관측자료가 없기 때문에 15시의 관측자료를 이용하여 이 지역을 비교하여 보면 전반적인 온도 분포와 경도분포가 매우 유사한 것을 알 수 있다. 그러나 온도의 절대값은 위성으로부터 산출한 지표 온도가  $6^{\circ}\text{C}$ 에서  $10^{\circ}\text{C}$  정도로 낮게 나타났다. 이는 체

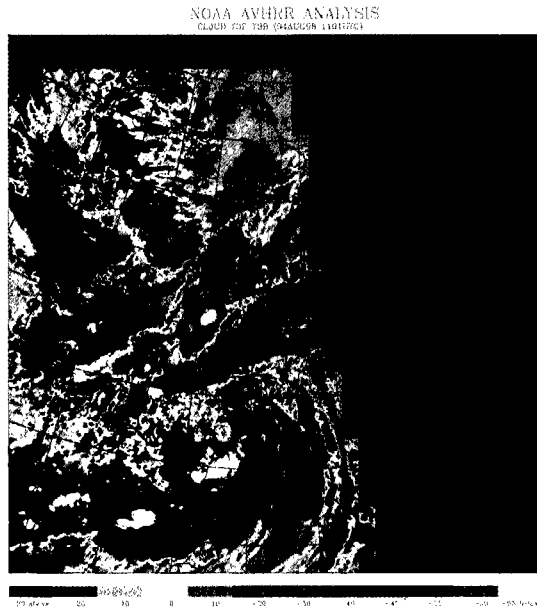


Fig. 2. Cloud top temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) at 1101UTC on Aug. 8, 1994.



Fig. 3. Surface temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) estimated from AVHRR data at 0651UTC on March 27, 1994.

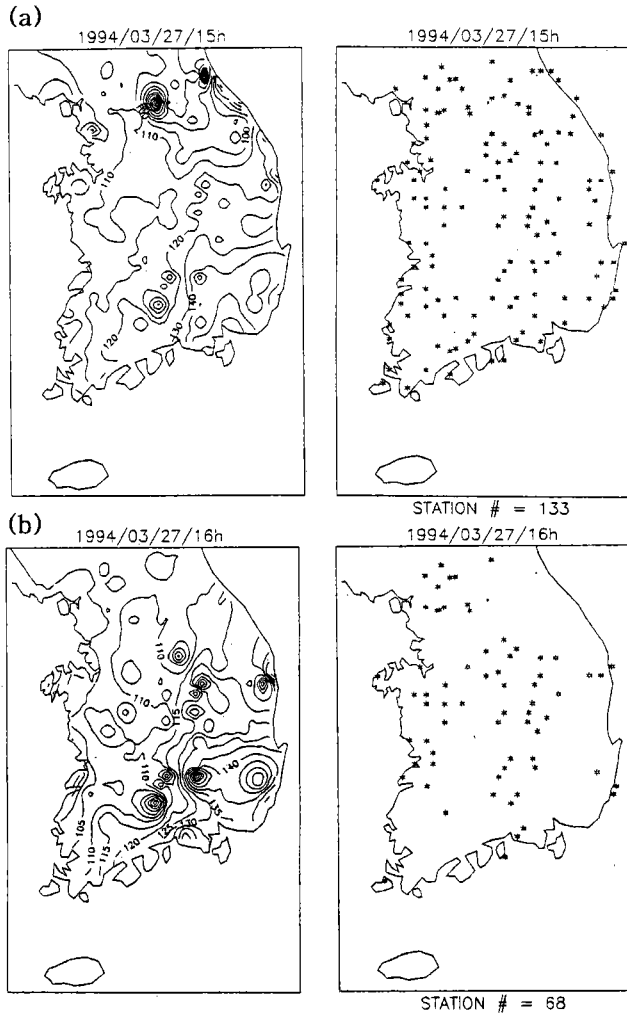


Fig. 4. Observed temperature( $\times 10^{\circ}\text{C}$ ) at (a) 15h, and (b) 16h on March 27, 1994. Left and right panells show surface temperature and station position, respectively.

널 4의 최대 가중 함수의 고도가 약 850mb 고도에 위치하고(Lee *et. al*, 1995), 대기 감쇄효과 때문에 매우 맑은 하늘의 경우라 할지라도 실제 지상온도보다는 낮게 나타날 수 밖에 없는 것으로 보인다. 그러나 대기의 감쇄효과를 적절하게 보정할 수만 있다면 이와같이 위성으로부터 산출한 지표온도는 고해상도의 관측자료로써 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

Table 1. Values of gain and intercept to calculate albedo

	NOAA 11		NOAA12	
	Gain	Intercept	Gain	Intercept
Channel 1	0.095	-3.78	0.1042	-4.449
Channel 2	0.090	-3.60	0.1014	-3.993

## 2. 반사도 산출

본 연구에서 반사도는 가시 채널인 채널 1(0.58 $\mu$ m- 0.68 $\mu$ m) 자료를  $ALBEDO = M \cdot X + I$  와 같은 선형 방정식에 대입하여 산출하였다(Walter, 1988). 여기서 X는 수신강도를 나타내는 count 값(10 bit 자료)이고, M과 I는 각각 Gain과 Intercept 로써 위성이 발사되기 전에 수행되는 사전 발사 조정 정보나 지상 실험 기법을 통해서 계산된 것이다(Table 1).

한편 위의 계수들은 천정에 있는 태양에 의해 반사되는 지표에 대해 계산된 것이므로 태양 고도각이 낮은 경우는 가시반사 강도가 낮아질 수 밖에 없다. 즉 실제 태양의 고도각은 시간에 따라 달라지므로 이를 보정해야만 정확한 알비도가 산출된다. 본 연구에서는 원시 반사도 외에 태양 천정각이 보정된 반사도를 다음과 같이 산출하였다.

$$ALBEDO = ALBEDO_0 / \cos \theta$$

여기서,  $ALBEDO_0$ 는 Table 1에 의해 구해진 초기의 반사도이고,  $\theta$ 는 천정각이다.  $\cos \theta$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

여기서,  $\delta$ 는 태양의 적위,  $\phi$ 는 위성관측지점의 위도,  $\omega$ 는 위성관측지점의 경도와 그 시간에 태양이 남중하는 경도와와의 시간각이다. 또한 태양의 적위  $\delta$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \times \cos \gamma + 0.0070257 \times \sin \gamma - 0.006758 \times \cos 2\gamma + 0.000907 \times \sin 2\gamma - 0.002697 \times \cos 3\gamma + 0.00148 \times \sin 3\gamma) \times (180/\pi)$$

여기서,  $\gamma = 2\pi(Dn-1)/365$  이며, Dn은 매년 1월 1일을 1로 시작하여 12월 31일까지 매일 1씩 증가하는 날 수이다.

이상으로부터 산출된 반사도는 구름이 있는 지역에서는 구름의 발달 정도를 나타내는 구름의 반사도를, 구름이 없는 지역에서는 지표의 상태를 반영한다.

Fig. 5는 한반도가 비교적 맑았던 1994년 3월 27일 0651UTC(NOAA 11)의 지표 반사도를 나타낸 것이다. (a)는 원시 반사도를 (b)는 보정 반사도를 나타낸 것으로 식생이 많을수록 지표 반사도는 낮게 나타나고 도시지역과 물에서는 반사도가 높게 나타난다는 일반적인 사실을 잘

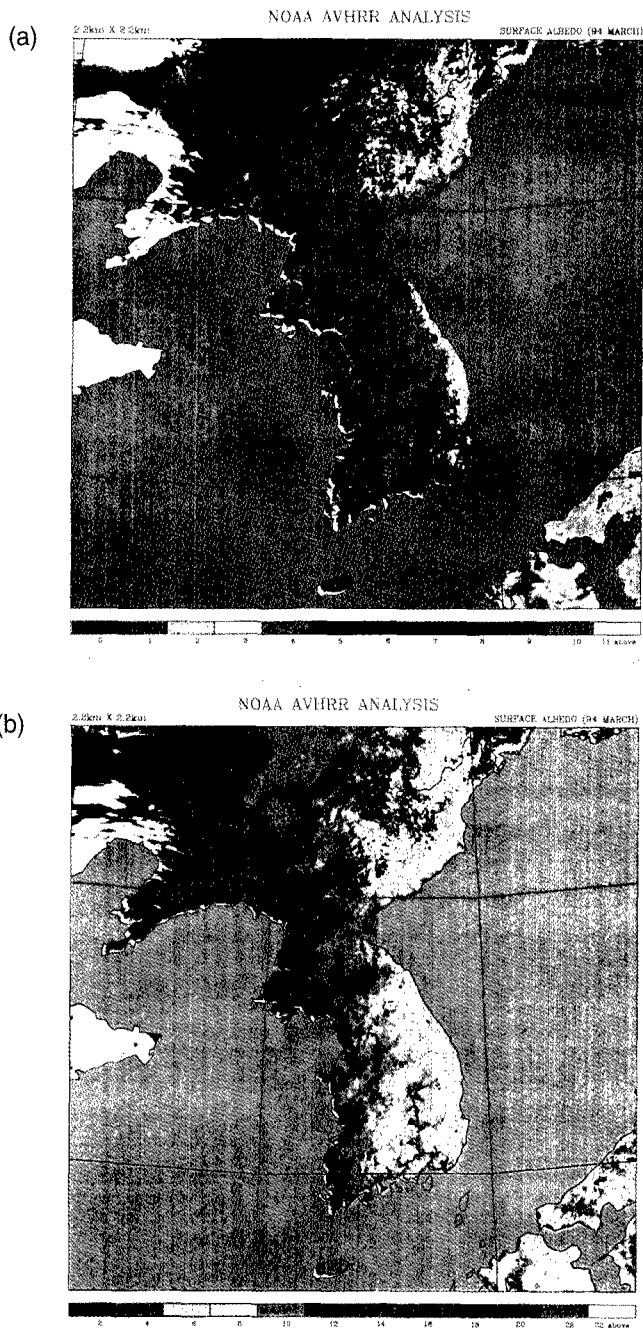


Fig. 5. (a) Original albedo(%), and (b) albedo(%) corrected as zenith angle estimated from channel 1 of AVHRR at 0651UTC on March 27, 1994.

반영하고 있다. 한편, 3월의 07UTC인 오후 4시에 태양 고도각이 낮아서 반사도가 낮아지는 효과를 보정한 결과 약 1.5에서 2배 정도 커진 보정 반사도를 보였다. 이와 같이 반사도를 태양 천정각에 대해 보정하면 어떤 시간, 어떤 위성영상자료라 할 지라도 같은 방향으로부터 즉 천정으로부터 입사하는 것으로 간주할 수 있다.

### 3. 해수면 온도 산출

해수면 온도(SST; Sea Surface Temperature) 정보는 날씨 예보와 해양에서의 활동 예를 들어 해수 운동, 대기와 해수면 사이의 에너지 교환과 같은 과학적인 연구 뿐만 아니라 해수가 모이는 지점이나 어떤 특정 해수면 온도대를 찾는 어업등에서도 중요하게 다루어진다. 특히 배나 부이등의 관측자료가 없는 지역에서 위성으로부터 산출한 SST는 매우 유용하게 사용된다.

원래 SST는 대기의 투과율과 플랑크 함수로부터 계산되는 휘도로부터 산출되어야 한다. 그러나 이것은 온도와 습도 프로파일에 관한 지식을 필요로 하기 때문에 해양에서는 정보 추출이 어렵다. 그러므로 이같은 물리적 접근방식 대신 SST 산출 방법의 대부분은 경험적 통계적 접근 방법에 의한다. 다음은 SST 산출을 위한 기본 원리를 설명한 것이다.

적외채널에서 해양과 육지의 방출율은 거의 일정하다. 결과적으로 구름이 없거나 대기의 감쇄가 없다면 대기의 창영역에 해당되는 라디오미터로 관측된 휘도온도는 지표의 온도와 같다. 그러나 구름과 수증기 흡수가 보통은 대기의 창 채널 자료의 직접적인 해석을 막고 있으므로 위성으로부터 SST를 산출하는 주요한 문제는 맑은 관측값을 찾는 것, 즉 구름 감지와 대기의 감쇄 보정을 하는 것이다.

단일 채널 SST 알고리즘은 구름 감지와 대기 감쇄를 보정하기 위해서 통계적인 히스토그램 기법을 사용하는 반면, 다중 채널 SST 알고리즘은  $3.7\mu\text{m}$ ,  $11\mu\text{m}$ , 그리고  $12\mu\text{m}$  내의 다중 스펙트럼 휘도온도와 관측값사이의 선형적인 관계를 가지고 만들어진다. 1981년 초에 개발된 다중 채널 방법인 MCSST(Multi-Channel Sea Surface Temperature) 방법(McClain et. al, 1982)은 대기 흡수에 대한 보다 높은 정확도를 제공한다. 본 연구에서도 SST 산출을 위하여 다음과 같은 MCSST 방법을 사용하였다. SST 산출을 위해 필요한 구름의 감지는 다음 방법을 이용하였다.

첫째, SST를 산출하고자 하는 위치를 중심으로 약 25 km 면적에 해당되는  $5 \times 5$  픽셀의 채널 4와 채널 5의 운정온도를 읽는다.

둘째, 박스 내에서  $11\mu\text{m}$ 의 휘도온도( $T_{11}$ )가  $5^\circ\text{C}$  이상이고,  $12\mu\text{m}$ 의 휘도온도( $T_{12}$ )가  $5^\circ\text{C}$  이상인 픽셀의 갯수가 16개 이상이면 구름이 없는 지역으로 정의하고, 이때의 휘도온도를 각각  $T_{11}$ 과  $T_{12}$  또는  $T_{3.7}$ 로 한다.

셋째, 구름이 없는 지역에 대해서 다음 식을 이용하여 MCSST를 산출한다.

- 야간 NOAA 11의 MCSST 산출(Suh et. al, 1992)
- $\text{MCSST}(^\circ\text{C}) = T_{11} + 1.02(T_{3.7} - T_{11}) + 2.36$

이 식의 계수는 국립 수산진흥원(KODC)의 1990년 8월부터 1991년 4월까지 선박 관측 SST





Fig. 6. Multi-channel SST(°C) estimated in  $T_{11}+1.02(T_{3.7}-T_{11})+2.36$  at 1906UTC on Oct. 17, 1991.

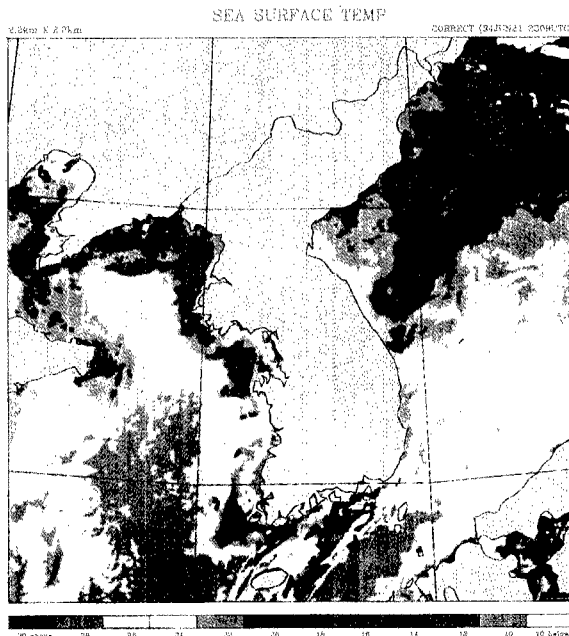


Fig. 8. MCSST(°C) corrected atmospheric attenuation at 2309UTC on Jun. 21, 1994.

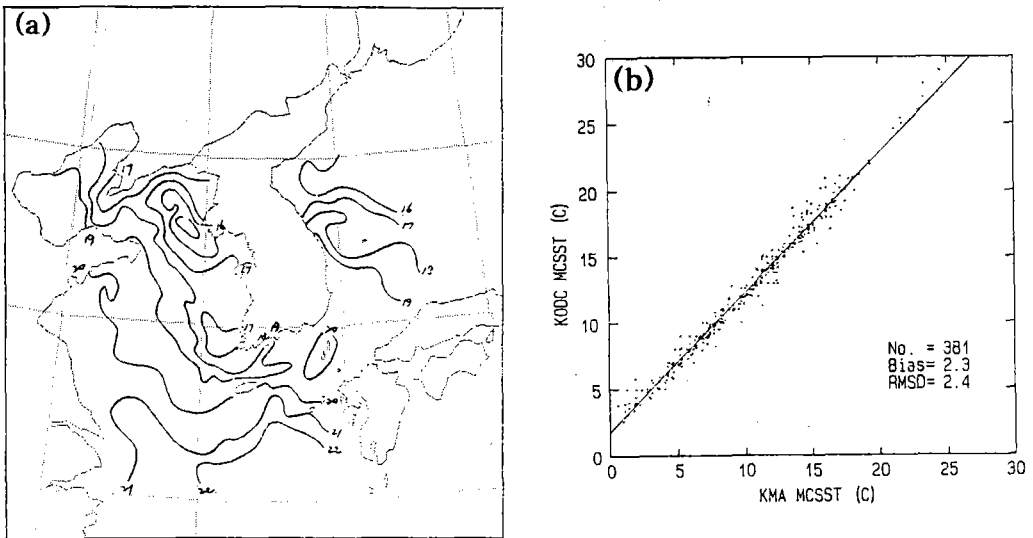


Fig. 7. (a) Observed SST(°C) obtained from KODC, and (b) difference between KODC SST and estimated SST calculated by AVHRR data at 1906UTC on Oct. 17, 1991.

와의 분석을 통해 산출한 것이다. Fig. 6은 이로부터 산출된 1991년 10월 17일 1906UTC의 SST 분포를 나타낸다. 그림에서 검은 색 영역은 SST가 산출되지 않은 영역으로써 구름이 존재하거나 구름에 의해 오염된 지역을 나타낸다. 이와같은 위성자료로부터 SST가 실측치와 얼마나 차이가 있는 지를 살펴보기 위하여 KODC로부터 얻은 관측 SST와 비교하였다(Fig. 7). SST 분포 및 절대값 분포는 잘 일치하고 있으며(Fig. 7(a)), 오차는 선형적인 관계로써 bias와 RMSD는 각각 2.3°C와 2.4°C로 나타났다. 한편, 주간에 대한 MCSST 산출식은 다음과 같다.

- NOAA-11  

$$\text{MCSST} = 1.01345T_{11} + 2.659762(T_{11} - T_{12}) + 0.526548((T_{11} - T_{12})(\text{Sec}\theta - 1)) - 277.742$$
- NOAA-12  

$$\text{MCSST} = 1.0246T_{11} + 2.452(T_{11} - T_{12}) + 0.6408((T_{11} - T_{12})(\text{Sec}\theta - 1)) - 280.68$$

이것은 중국위성센터에서 현업 이용하고 있는 식으로 위성의 천정각( $\theta$ )과  $(T_{11} - T_{12})$ 로 표시되는 대기 감쇄 보정항을 포함하고 있는 특징이 있다. 이 항의 물리적인 의미는  $T_{11}$ 과  $T_{12}$ 이 대기의 창 영역으로써 이들의 차는 하층의 수증기량을 반영(Lee et al, 1995)하기 때문에, 이같은 보정항은 대기 수증기에 의해 감쇄된 온도를 보정해 주는 역할을 한다. 한편 위성의 천정각 계산은 NOAA 자료를 수신하기 위한 안테나 각도를 이용하여 산출하였다. 이와같이 산출된 보정항은 대기의 상태에 따라 다르기는 하지만 최고 약 1°C 까지 보정하는 효과를 가졌다. Fig. 8

은 대기 감쇄 보정 MCSST 식으로 산출된 1994년 6월 21일 2309UTC의 해수면 온도를 보인다. 이 날은 일주일 이상 한반도 전체가 폭염에 휩싸였던 기간 중의 한 날로 제주도 남쪽 해상으로부터 매우 따뜻한 해수가 서해 및 동해를 향해 북상 중인 것을 보여주고 있다.

#### 4. 식생지수 산출

식생지수는 Fig. 9와 같은 식생의 반사 곡선을 통해서 산출될 수 있다. 채널 1의 파장역에 해당되는  $0.4\mu\text{m} \sim 0.7\mu\text{m}$  파장대에서는 클로로필에 의한 초기 복사의 강한 흡수 때문에 매우 낮은 반사도를 가진다. 여기서 모든 색소는  $0.43\mu\text{m} \sim 0.45\mu\text{m}$ (청색)에서 흡수되고 클로로필은  $0.65\mu\text{m}$ (빨간색)에서 추가적인 흡수 밴드를 가진다. 그러므로 작은 반사가  $0.55\mu\text{m}$ (녹색)에 존재한다. 한편 채널 2에 해당되는  $0.7\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$  파장대에서는 식물의 중간층 구조와 세포벽의 근적외 다중 반사에 기인해서 높은 반사를 가진다. 이와같은 채널 1과 2의 스펙트럼 특징을 이용하면 식생지수를 산출할 수 있다.

일반적으로 가장 폭넓게 사용되는 식생지수는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)로써 태양각, 위성시야각과 같은 대기의 영향력 일부를 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{CH}_2 - \text{CH}_1}{\text{CH}_2 + \text{CH}_1}$$

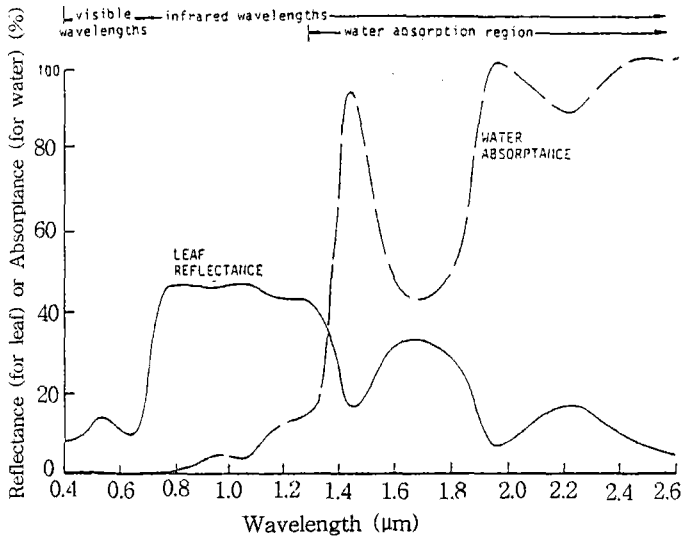


Fig. 9. Typical reflectance spectrum of green leaf.

여기서,  $CH_1$ 과  $CH_2$ 는 각각 AVHRR 채널 1과 채널 2의 반사도를 나타낸다. NDVI는 구름에 의해서 오염된 경우와 해양에서는 보통 음수로 나타낸다.

식생지수를 산출하기 위해서 가장 중요한 것은 대기와 구름에 의한 오염을 제거하는 것이다. 이를 위해서 보통 10일, 15일 또는 30일 MVC(Maximum Value Composite) 방법을 이용한다. 즉 정확한 월별 식생지수를 산출하기 위해서는 일별 식생지수를 합성하여 구름이나 대기에 의한 오염이 없는 식생지수를 산출해야 한다. 그러나 이것은 현업으로 식생지수를 산출할 경우에 가능하고 그렇지 못한 경우에 정확한 월별 식생지수를 산출하기 위해서는 1년치 AVHRR 자료를 모두 이용해야 하는 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서는 구름이 없는 날 2일 또는 3일 자료를 선별하여 NDVI를 산출한 후 MVC 방법으로 한반도의 월별 식생지수를 산출하였다.

Fig. 10은 3월부터 10월까지의 한반도 월별 식생지수를 보인다. 3월의 NDVI는 거의 모든 영역에서 0.3 미만의 값을 가지고 있고 남한의 소백산맥과 경상북도 지역의 태백산맥에 최대값이 분포하고 있다. 북한 지역에서는 개마고원 일부지역과 함경남도 일부지역에서 최대값이 분포하고 있다. 4월의 NDVI에서는 경상남도의 가지산 국립공원을 포함한 경상남도 지역에서 가장 큰 NDVI를 보이고 있고 소백산맥 지역과 경기도 일원에서도 NDVI가 큰 값을 보이고 있다. 북한 지방에서는 3월의 개마고원 일대의 식생분포 지역이 보다 넓어진 것을 볼 수 있고 마천령 산맥 일대의 북포태산 주위가 큰 NDVI를 가지고 있다. 3월에 이어 4월에도 서울에는 안개가 끼어 있음을 볼 수 있고 4월에는 대구, 포항, 군산 지역에도 안개가 끼어있어 NDVI가 음수로 산출된 것을 볼 수 있다. 5월의 NDVI는 대부분의 지역에서 0.4 이상의 값을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 산맥지역이 아닌 낙동강 유역, 군산·이리를 포함한 평지 및 대도시 지역은 상대적으로 낮은 NDVI를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 한편 북한 지방의 함경산맥과 마천령 산맥 주위의 낮은 NDVI는 구름에 의해 생성된 것으로 실제 식생분포가 아닌 것으로 생각된다. 또한 북한의 평양지역도 도시지역으로 낮은 NDVI를 가지고 있다. 그러나 마식령 산맥과 평강지역 일대의 낮은 NDVI는 북한의 새로운 도시화 지역인지 아니면 대기의 영향인지는 확인할 수가 없었다. 6월의 NDVI에서는 군산 이리 지역을 포함한 광범위한 지역에 해무 또는 하층운이 있고 서울지역에도 안개가 끼어 있는 것을 볼 수 있다. 이 경우에는 남쪽보다는 태백 산맥과 북한의 묘향 산맥과 중국의 장바이 산맥에 이르는 지역에 0.7 이상의 NDVI가 분포하여 식생이 매우 번창함을 알 수 있다. 7월의 NDVI에서는 서울, 청주, 대구 지역에 안개가 끼어 있고 북한의 평양지역이 매우 낮은 NDVI를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 산맥 중에서는 오대산 국립공원 지역과 태백 일대가 0.65 이상의 NDVI를 가지고 있다. 8월의 NDVI에서 가장 눈에 띄는 것은 북한 지역의 압록강을 비롯한 북한과 중국의 경계지역의 계곡 안개이다. 이와같은 현상은 본 연구에서 NOAA 12 자료 즉, 아침 자료를 사용했기 때문에 발생한 현상으로 대부분의 경우 식생지수는 오후 자료를 사용하여 안개 효과를 배제하는 것이 보통이다. NDVI로부터 도시지역을 확실히 볼 수 있는데 서울, 대구, 울산, 대전, 충주지역을 볼 수 있다. 특이할 만한 것은 영동 고속도로가 지나가는 하진부 근처에 상당히 넓은 지역으로 낮은 NDVI가 분포하고 있다. 9월의 NDVI에서도 북한 지역 주요 산맥 근처에 계곡 안개가 존재하고 있고 태백 산맥 일

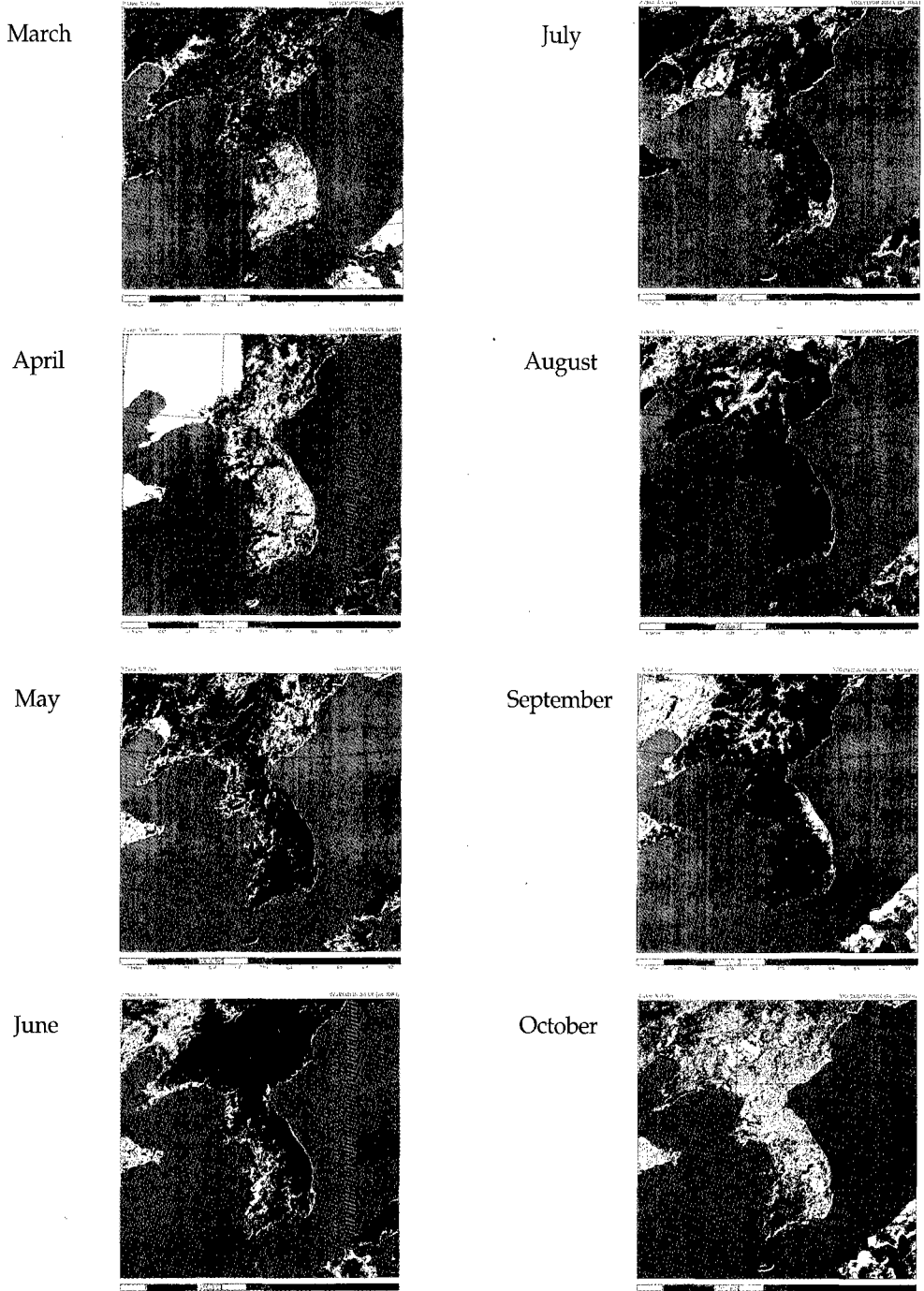


Fig. 10. Vegetation index on KOREA expressed in NDVI.

원에도 낮은 하층운 또는 안개가 끼어 있어 음수의 NDVI가 만들어졌다. 이 달에 소백 산맥 일대는 0.65 정도의 NDVI가 분포하고 있다. 10월의 NDVI에서는 전라남도의 지리산 일대에 0.4의 NDVI가 분포하고 있고 다른 지역에서는 0.2 미만의 낮은 NDVI가 분포하고 있다.

정확한 월별 식생지수는 이미 언급하였듯이 보다 많은 자료를 합성하여 산출해야만 하고 아침 자료인 NOAA- 12 자료보다는 NOAA- 11이나 NOAA- 14 자료가 이상적인 것으로 생각된다. 그러나 본 연구를 통해 대략적인 한반도의 월별 식생변화 및 지역적인 식생변화를 살펴볼 수 있었다.

## 5. 산불 모니터링

원래 화재를 감지하기 위해서 탐과 비행기와 같은 지상 불 경보 시스템이 사용된다. 그러나 지상 화재 경보 시스템은 지역이 제한되어 있어서 지역이 멀거나 산림이 울창한 지역에서의 불은 잘 감지되지 않는 것이 보통이다. 한편 항공기는 넓은 지역을 탐지할 수 있으나 현업적으로 불을 감지하기에는 비용이 너무 비싸다. 그러므로 NOAA/AVHRR 자료는 원격지에서 경제적으로 불을 감지하고 모니터링하는데 해답을 줄 수 있다. 우리나라에서도 크고 작은 불이 전국에서 한해 약 수백건이 발생하지만 대부분의 불은 신고에 의해 감지되는 것이 보통이며 감지 늦은 경우는 큰 산불로 변지는 경우가 발생한다. 그러므로 우리나라에서도 위성자료에 의해 산불을 실시간 모니터링하는 체계가 구축되면 산불 피해 최소화에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

AVHRR 자료를 이용해서 산불을 모니터링하는 원리는 Fig. 11과 같다. 적외 스펙트럼에서는 중심 파장이 각각  $3.8\mu\text{m}$ ,  $11\mu\text{m}$  인 2개의 주요한 대기 창 영역이 있다. 정상적인 온도(300 K)에서  $11\mu\text{m}$  창은 지구-대기 시스템의 적외 복사의 정상점에 있기 때문에 지구-대기 시스템의 복사를 측정하는데 유용하다. 반면에  $3.8\mu\text{m}$  창은 지구-대기 시스템의 약한 복사 영역에 있다. 그러나 지상의 고온 물체에 대해서 상황은 다르다. 즉 Wien의 복사 법칙에 따라서 최고 복사의 파장은 온도가 증가함에 따라 스펙트럼의 단파쪽으로 움직여간다. Fig. 11(b)는 이와같은 상황을 매우 명백하게 보여준다(Michael and Stephen, 1987). 즉 온도가 300K에서 600K로 증가할 때  $3.8\mu\text{m}$  적외 창의 휘도는 0.5에서 300으로 600배 이상 커지지만,  $11\mu\text{m}$  적외 창의 휘도는 10에서 100으로 단지 10배 커질 뿐이다. 그러므로 이와같은 원리에 따른 두 채널의 온도 차를 사용하여 산불과 같은 고온의 물체를 감지하고 피해 면적을 계산하는 것이 가능하다(Matson *et. al.*, 1984).

본 연구에서는 산불 모니터링을 위해서 Table 2와 같은 산불 사례를 이용하였다. 1993년 4월 17일과 18일은 대기가 매우 건조하여 전국적으로 크고 작은 산불이 많이 발생했는데 특히 강원도 삼척과 경북 영일에 100 Ha 이상의 큰 산불이 발생하였다.

Fig. 12는 1993년 4월 17일 1850UTC NOAA 11의 채널 3의 휘도온도(a)와 채널3과 채널 4의 휘도온도 차(b)를 나타낸 것이다. 두 영상 모두 같은 위치에서 산불이 감지되기는 하지만 휘도

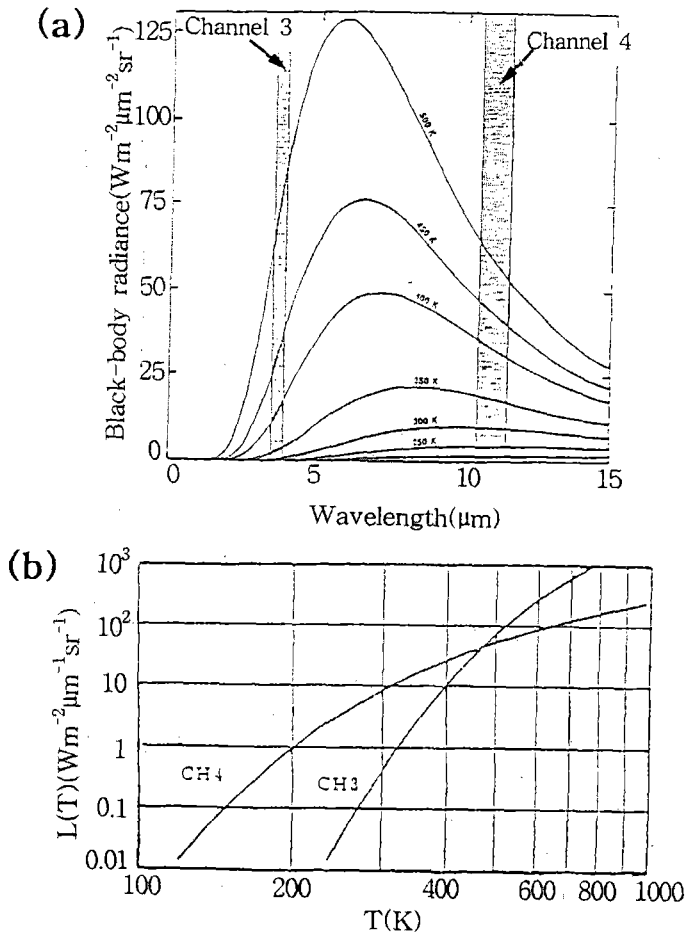


Fig. 11. (a) Plank radiance for temperature from 200 K to 500 K, and (b) the relation of radiance ( $L(T)$ ) and temperature ( $T$ ).

Table 2. Occurrence of forest fire exceeding 50 ha on damage area on 1993.

Year	Occerence Time(LT)	Put off Time(LT)	Occerence Place	Damage Area (ha)
1993	Apr. 17 12:50	Apr. 19 10:30	Kanwon.Samchuck.Won-duck.Imwon. San 18	505
	Apr. 18 10:00	Apr. 19 07:30	Kungbok.Youngil, Hungha Iin. San 43	106

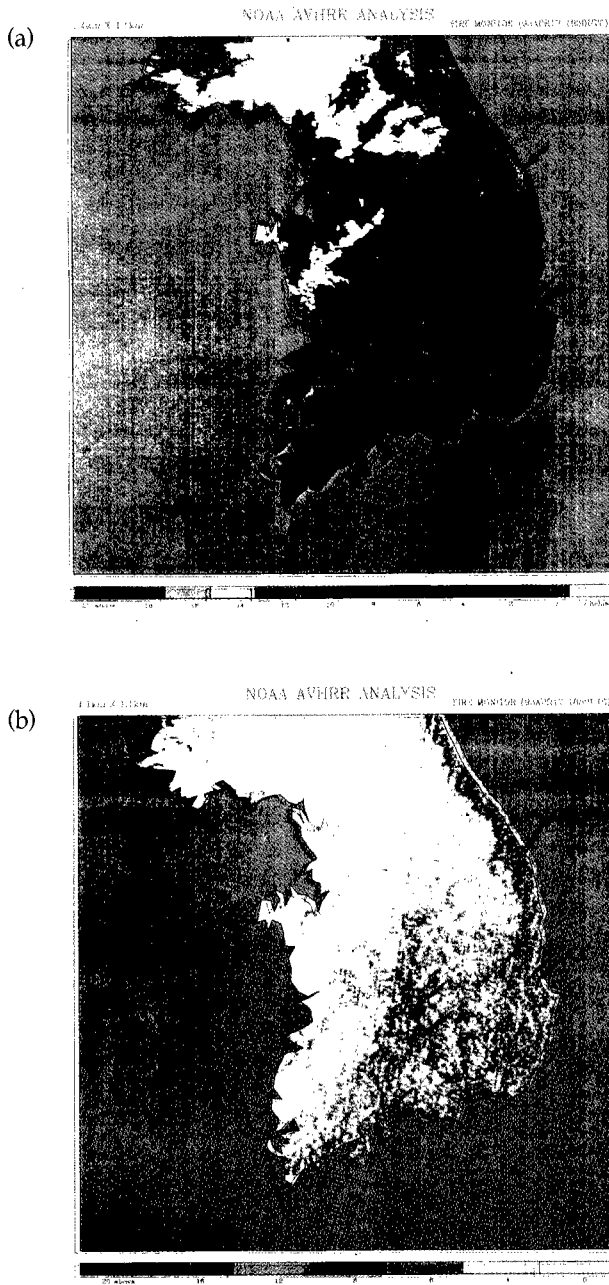


Fig. 12. (a) Brightness temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) of channel 3, (b) difference( $^{\circ}\text{C}$ ) of brightness temperature between channel 3 and channel 4 of AVHRR at 1850UTC on Apr. 17, 1993.



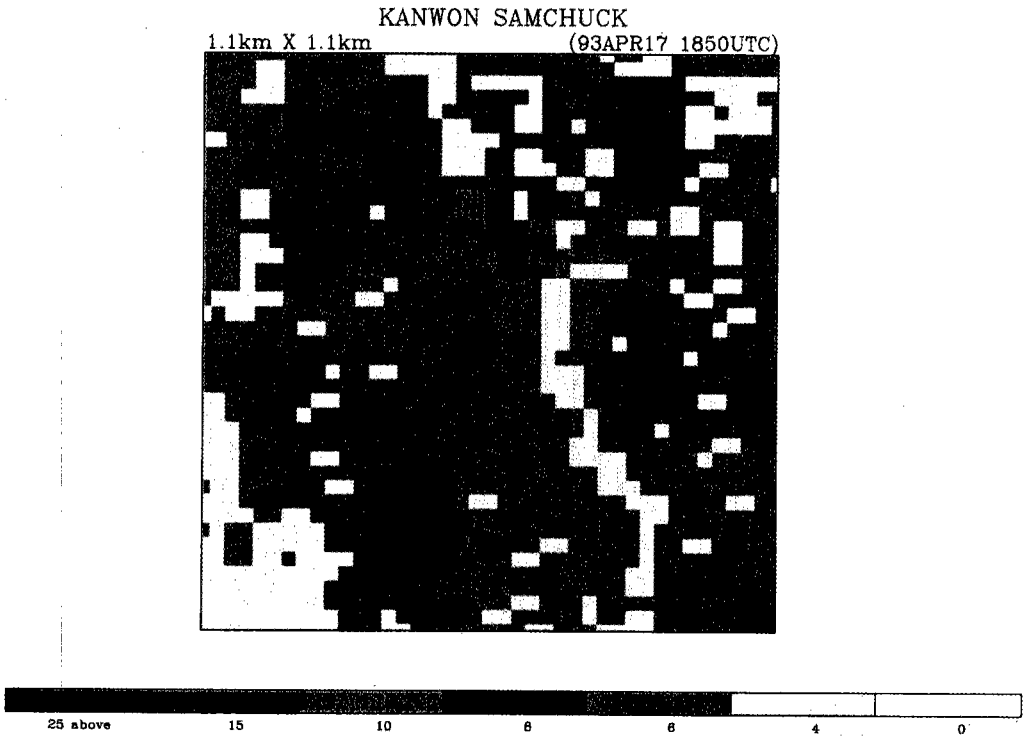


Fig. 13. Enlargement of difference(°C) of brightness temperature between channel 3 and channel 4 of AVHRR to monitor fire at Samchuck province at 1850UTC on Apr. 17, 1993.

차 영상이 산불지역을 보다 뚜렷하게 보여주고 있다. Table 2의 강원도 삼척과 경북 영일의 큰 산불지역 외에 주왕산과 가야산 국립공원 및 광양의 산에서도 산불이 발생한 것을 알 수 있다. 1993년 4월 17일과 18일은 전국적으로 맑은 날씨에 매우 건조하고 서풍 계열의 바람이 우세하여(기상월보, 1993), 산불의 위치가 대부분 산맥의 동쪽에 위치하고 있다. 특히 중국의 경우 AVHRR 자료의 분해능으로 감지되지 않을 것 같은 공장이나 유전의 불도 화소 단위의 위성자료로 감지되는 것으로 보아 우리나라의 작은 산불도 AVHRR 자료로 충분히 모니터링할 수 있을 것으로 생각된다. 한편 Fig. 13은 채널 3과 4의 휘도차 영상을 강원도 삼척의 산불 지역에 대해 확대한 것이다. 강원도 삼척의 산불에서는 휘도차가 25°C 이상인 곳은 1 화소, 15°C 이상은 7 화소로 표시되었다. 삼척 주위의 산불 피해 면적을 8°C 이상인 지역으로 할 때 약 30 화소가 된다. 이는 한 화소가 약 1.1km 즉 10 ha임을 감안할 때 4월 17일 1850UTC 즉 18일 04시가지의 산불 피해면적은 약 330 ha로 계산된다. 물론 산불 피해 면적의 정확한 계산은 플랭크 함수와 휘도 환산을 통해 계산되어야 하지만 현업에서 이용할 경우에는 화소의 수에 AVHRR

의 분해능을 곱하여 대략적으로 피해 면적을 계산하는 것이 보통이다. 그림에서 빨강으로 표시된 화소는 아직도 불꽃이 계속되는 지역이고, 녹색 지역은 타고 남은 지역으로, 주황색은 연기가 계속되는 지역으로 해석할 수 있다.

## 6. 홍수 모니터링

홍수는 각 지표 상태에 대한 AVHRR 채널의 스펙트럼 특징에 따라 모니터링될 수 있다. 홍수는 보통 늦 봄에서 초 가을 기간에 발생한다. 이 기간은 식생이 매우 번창해서 물, 식생, 토양 등이 홍수기간 동안의 주요한 지표 상태가 된다. 물은 근적외의 파장대에서 낮은 알비도를 가지는 반면에 식생과 다른 물체들은 절대적으로 높은 값을 가진다는 것을 알 수 있다(Fig. 14). 그러므로 채널 2와 채널 1의 비 영상을 이용하면 물은 극히 낮은 값을 가지고 육지는 상대적으로 높은 값을 가지기 때문에 waterbody를 규명할 수 있다. 또한 열적 적외 파장대로 갈수록 물의 반사도는 커지기 때문에 채널 3 영상도 유용하다.

일반적으로 홍수를 모니터링하는 방법은 영상을 이용하여 waterbody를 효과적으로 규명한 후 waterbody의 시계열을 작성하여 홍수역이 공간적, 시간적으로 어떻게 변하는 지를 보는 것이다. 또한 홍수 시작에 상부 유역만이 홍수를 겪고 몇 일 후에 하부 유역이 재해를 겪으므로 시계열로 이루어진 모든 waterbody 지도를 합성하여 만들어진 최대 waterbody는 전체 홍수 기간 동안에 모든 홍수 영역을 보여줄 수 있다. 이와같은 역학적인 모니터링 방법을 위해 가장 중요한 것은 홍수 동안에 구름이 없는 영상은 아주 드물기 때문에 구름의 영향을 제거하는 것이다. 그러나 AVHRR 자료를 사용하는 홍수의 모니터링은 구름에 의한 오염과 AVHRR 자료

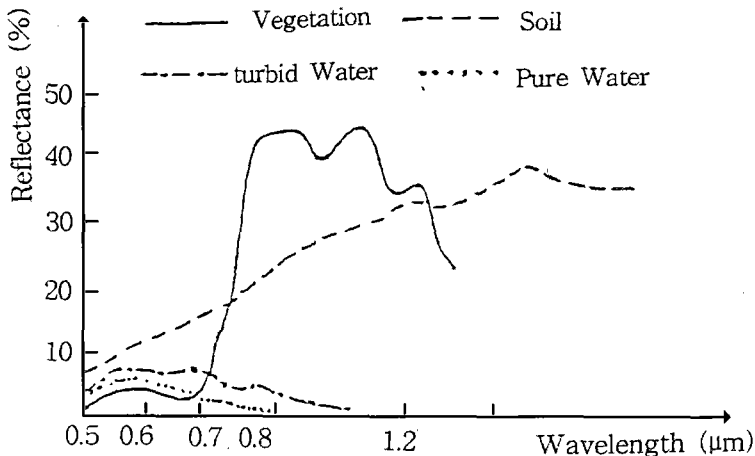


Fig. 14. Typical spectral reflectance curve of water and land.

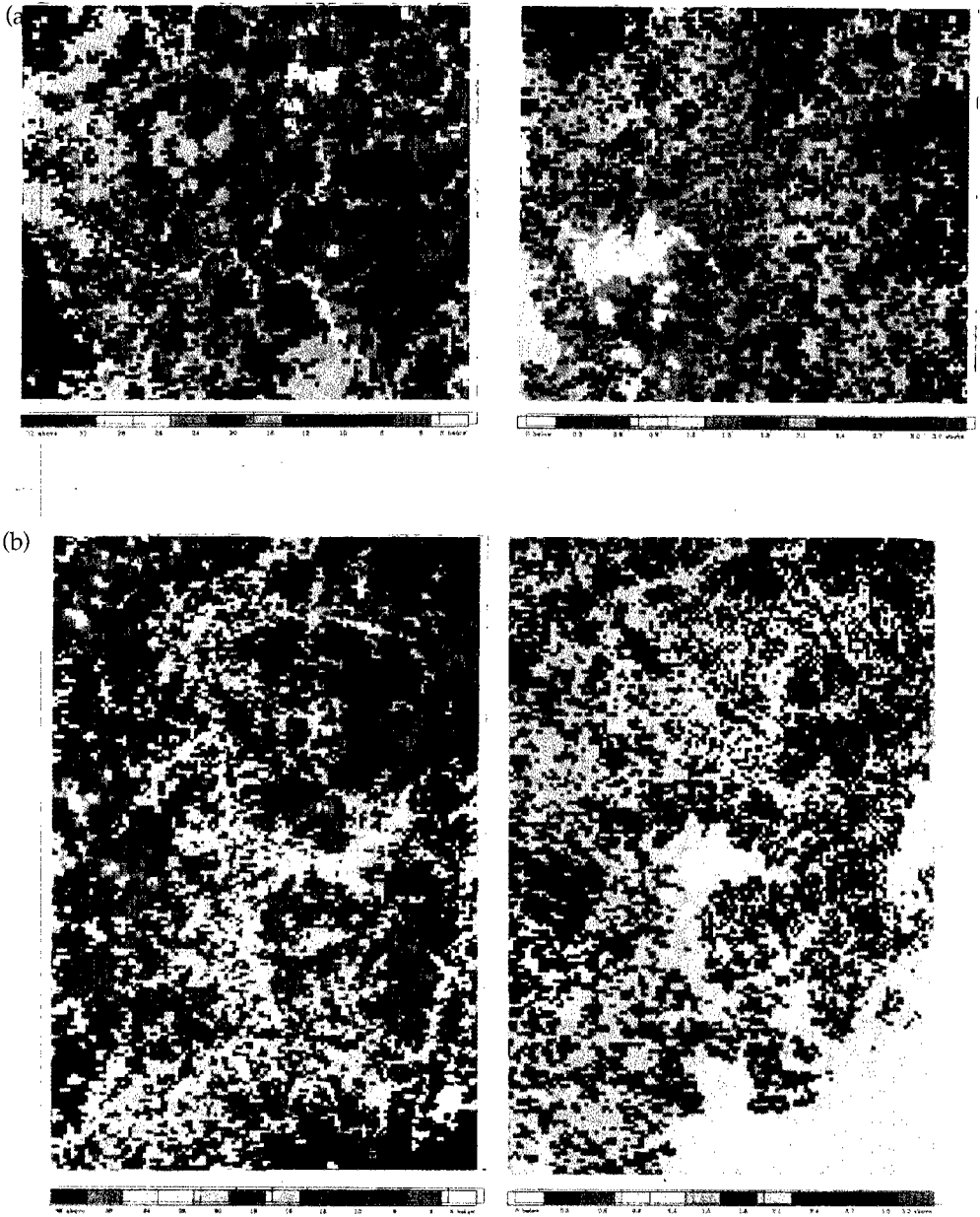


Fig. 15. Channel 3(left panells) and ch2/ch1 ratio(right panells) images near the (a) Han river, and (b) Nakdong river.

의 낮은 분해능 때문에 많은 제약을 가지고 있다(Saunders, 1986). 본 연구에서도 근년에 집중호우가 발생하였던 몇개의 사례를 대상으로 역학적 모니터링을 시도하였으나 집중 호우 발생 후 3 일 이내에 구름이 없거나 얇은 구름만으로 이루어진 영상을 찾을 수가 없었다. 그래서 본 연구에서는 일차적으로 waterbody를 가장 잘 나타내는 영상을 찾아 앞으로의 실시간 모니터링을 대비하고자 한다.

Fig. 15는 한강, 낙동강의 waterbody를 채널 3과 채널 2와 채널 1의 반사도 비를 이용하여 나타낸 것이다. 여기에서 반사도 비 영상을 제작한 날이 낮은 하층운 또는 안개가 끼어 있었기 때문에 채널 3의 영상에 비해 덜 선명하게 waterbody를 나타내고 있다. 한강에 대해서는 한강 상류역인 북한강, 남한강 지류가 보이고 파로호, 소양호, 의암댐, 청평댐, 팔당댐, 임진강등이 보인다. 낙동강 유역에서는 안동댐 안동강, 밀양강, 진양호, 황강, 감천, 내성천등을 볼 수 있다. 그 밖에 본 연구에서는 남한의 4 대강에 해당되는 금강과 영산강 유역도 규명하였다.

### III. 요약

본 연구는 AVHRR 자료를 이용하여 온정온도 및 지표온도, 알비도, 해수면 온도, 식생지수, 화재 모니터링, 홍수 모니터링에 대한 연구 및 분석 알고리즘을 개발하였다. 본 연구를 통해 온정온도, 알비도, 해수면 온도는 성공적으로 분석되었다. 특히 반사도에서는 천정각 보정 반사도를 산출하였고, 해수면 온도에서는 대기 감쇄 보정을 할 수 있는 MCSST를 산출하였다.

한편 한반도의 월별 식생지수를 산출하기 위해서 맑은 날을 선택한 후 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 계산하고 합성하여 한반도의 3월부터 10월까지의 식생분포를 산출하였다. 그러나 아침 자료인 NOAA-12의 AVHRR 자료를 사용하였기 때문에 계곡 안개나 도시 안개가 존재하였고, 정확하고도 연속적인 식생지수 산출을 위해서는 연속된 시계열의 15일 또는 30일 합성 방법을 사용하여야 할 것으로 생각된다.

한편 채널 3 과 채널 4의 파장 특성을 이용하여 산불 모니터링을 수행하였다. 이를 통해 산불의 정확한 위치와 대략적인 피해 면적 뿐만 아니라 확대 영상을 통해서 불이 꺼진 지역 및 현재 불꽃이 계속되는 지역등을 알 수 있다. 또한 작은 불에 대해서도 감지가 가능하므로 방재 기관등에서는 이를 적극 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 홍수와 적설 모니터링은 그리 성공적이지 못했다. 가장 큰 문제는 대부분의 집중호우와 눈은 구름이 있는 상태에서 발생하게 되는데 AVHRR의 현재 센서로는 효과적으로 구름을 제거할 수 없다는 것이다. 본 연구에서도 집중호우와 강설 후에 이를 감지할 수 있는 짧은 기간 내에 구름이 없는 영상을 찾기 어려웠다. 또한 구름의 영향이 적다하더라도 하층운이나 얇은 구름도 이들의 모니터링을 방해하고 있었다. 본 연구에서는 단지 4 대강 유역의 waterbody 를 규명하는 것을 연구의 시초로 하였다.

본 연구를 통해 AVHRR 자료의 파장별 특성을 이해하고 이들 자료의 사용을 극대화하여 사

용할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 본 분석 알고리즘은 앞으로 보다 연구 개선되어야 할 부분이 많지만 기본 알고리즘을 구축하는데 의의를 두고자 한다.

## References

- Lee, M. S., H. S. Lee, and A. S. Suh, 1995: Analysis of cloud types and low level water vapor using infrared split window data of NOAA/AVHRR. *Journal of Kor. Remote Sensing*, 11(1). 31-45.
- Matson, M., S. M. Schneider, B. Aldridge, and B. Satchwell, 1984: Fire detection using the NOAA-series satellite. NOAA technical report NESDIS 7. Department of Commerce. Washington, D.C.
- McClain, E. P., W. Pichel, C. Walton, A. Ahmad, and J. Sutton, 1982: Multichannel improvements to datellite-derived global sea surface temperature. Preprint XXIV COSPAR, Ottawa, Canada.
- Michael, M. and G. Stephen, 1987: Fire detection using data from the NOAA-N satellite. *International J. Remote sensing*, 8(7). 961-970.
- Saunders, R., 1986: Automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over Western Europe. *International Journal of Remote Sensing*, 7(7). 867-886.
- Suh, A. S., K. L. Kim, C. K. Lee, and M. S. Lee, 1992: A study on the improvement of the multi-channel sea surface temperature(MCSST) using NOAA-11/AVHRR. *Journal of Atmospheric Res.* 9(1), 43-49.
- Suh, A. S., K. L. Kim, J. W. Lee, H. S. Yoon, H. M. Cho, G. Y. Cho, G. Y. Park, D. H. Kim, 1990: Objective cloud type classification of meteorological satellite image data using linear discriminat analysis. *Journal of Atmospheric Res.* 7(1), 67-73.
- Walter, G. P, 1988: Data extraction and calibration of TIROSN-N/NOAA radiometers. NOAA Tech. Memo. NESS. 107. 58pp.