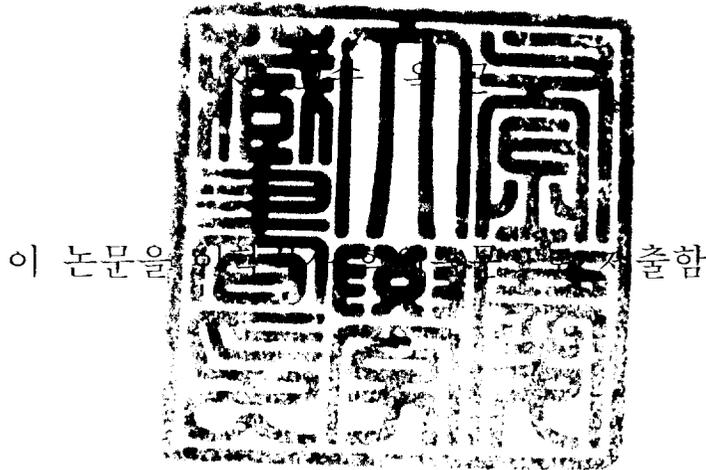


이학석사 학위논문

BRDF모델을 이용한 한반도 식생의
반사도 정규화에 관한 연구 :
MODIS 250m 자료의 활용



2005년 2월

부경대학교 대학원

환경대기과학과

염 종 민

염종민의 이학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 26일

주 심 이학박사 김 영 섭



위 원 이학박사 이 동 인



위 원 이학박사 옥 곤



Contents

목 차	1
List of Figures	2
List of Tables	3
Abstract	6
1. 서 론	8
2. 자료	11
2.1 원시 영상 전처리	16
2.2.1 지리보정	16
2.2.2 구름제거	17
3. 방 법	20
3.1 BRDF모델	20
3.2 정규화	22
4. 결 과	24
4.1 구름제거	24
4.2 BRDF모델	28
4.3 정규화	43
5. 결 론	51
References	53
부록	57
감사의 글	68

List of Figures

Figure 1.	Map of the study area	12
Figure 2.	The University of Maryland's 1km Global Land Cover	14
Figure 3.	Cloud detection algorithm	19
Figure 4.	Image processing algorithm	23
Figure 5.	MODIS RGB image at 1, Jan 2001	25
Figure 6.	MODIS Ch1 Reflectance image at 1, Jan 2001	26
Figure 7.	Cloud masking at 1, Jan 2001	27
Figure 8.	Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001	31
Figure 9.	Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001	32
Figure 10.	Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001	33
Figure 11.	Ch2 Reflectance via images BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001	34
Figure 12.	Ch2 Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001	35
Figure 13.	Ch2 Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001	36
Figure 14.	The root mean square error distribution according to season and number of cloud-free observations between measured and modeled channel 1 reflectance values	37
Figure 15.	The root mean square error distribution according to season and number of cloud-free observations between	

	measured and modeled channel 2 reflectance values	38
Figure 16.	Ch1 Reflectance image at 15, Jan 2001	39
Figure 16.	Ch1 Reflectance image via BRDF model at 15, Jan 2001	40
Figure 17.	Ch1 Reflectance image at 15, Jan 2001	41
Figure 18.	Ch2 Reflectance via BRDF model image at 15, Jan 2001	42
Figure 19.	Two mosaic reflectance images: upper image at 10, January 2001 and lower image at 11, January 2001	47
Figure 20.	Normalized two mosaic reflectance images: upper image at 10, January 2001 and lower image at 11, January 2001	48
Figure 21.	(a) Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Deciduous Broadleaf Forest area ; (b) Yearly variation between measured and modeled reflectance values in n Evergreen Needleleaf Forest area.	49
Figure 22.	(a) Yearly variation between measured and modeled reflectance values iUrban and built-up area ; (b)Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Wooded Grassland area.	50
Figure a.1.	Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001	57
Figure a.2.	Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001	58
Figure a.3.	Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001	59
Figure a.4.	Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model	

	(a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001	60
Figure a.5.	Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model	
	(a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001	61
Figure a.6.	Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model	
	(a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001	62
Figure b.1.	Normalized NDVI MVC images (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001	63
Figure b.2.	Normalized NDVI MVC images (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001	64
Figure b.3.	Normalized NDVI MVC images (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001	65

List of Tables

Table 1. MODIS Wavelenth band and its major products form	13
Table 2. UMK 1km Landcover type	15

A reflectance normalization via BRDF model for the
Korean vegetations using MODIS 250m data

Jong–Min Yeom

*Department of Environmental Atmospheric Sciences, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The land surface parameters must be determined with sufficient accuracy, because these play an important role in climate change near the ground. The MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor has provided visible and near infrared channel reflectance with 250m resolution on a daily basis. As the surface reflectance presents strong anisotropy, off-nadir viewing results in a strong dependency of observations on the Sun–target–sensor geometry. They are contribute to the random noise removing in the measurements.

The successive physical processing steps were operated to the image on a per-pixel basis to remove cloudy pixels. For the geometric distortion, the correcting process were performed by the nearest neighbor resampling using 2nd-order polynomial obtained from the geolocation information of MODIS Data set. This paper attempted the Bi-directional Reflectance Distribution Function(BRDF) model to normalize directional effects on daily basis. For each spectral band and each pixel, present study could provide at nadir view normalized reflectances applying BRDF modeling for the data from the observations acquired at every orbit pass. We obtain 36 ten-day reflectance product of VIS and NIR channels for year 2001. Modeled reflectance values showed a good agreement with measured reflectance values and their RMSE(the Root Mean Square Error) was totally about 0.03. Finally, we provided a database of NDVI(Nomalized Difference Vegetation Index) and surface albedo from these normalized reflectance product over Korea.

1. 서론

인간 활동의 증가에 따른 전 지구적인 기후변화는 지난 수십 년 동안 인류의 큰 위협으로 여겨져 왔고 반드시 풀어야 할 과제이기도 하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 정확하고 빠른 기상예보와 기후의 모수화 및 모니터링이 필요하며, 최근 이들 모형 출력치의 정확도를 향상시키기 위한 많은 연구들이 입력 자료의 정확성을 향상시키는 방향으로 진행되었다(Han et al., 2004). 이런 관점에서 지표의 수분과 에너지균형의 중요한 역할을 하는 지표알베도, 식생지수와 같은 지표 변수를 보다 정확하게 진단 이해하는 것이 필요하다(Tarpley et al., 1984; Justice et al., 1985). 따라서 본 연구는 보다 정확한 지표 산출을 위한 반 경험적 모델을 이용한 보다 정확한 지표 변수 산출하기 위한 것이다.

전 지구적인 영역에 대한 여러 가지 물리적 변수의 변화를 연속적으로 경제적이고도 효율적으로 관측하기 위해서는 위성의 사용은 아마도 절대적일 것이다. 무엇보다 위성의 장점은 여러 가지 물리적인 변수를 넓은 지역에 대해서 짧은 시간내에 제공하는 것이다. 이러한 장점은 기상 예보 모델에서 요구하는 여러 가지 조건들을 충족시킨다.

미국항공우주국(National Aeronautical and Space Agency, NASA)은 현재 지구환경시스템을 보다 정확하게 관측하기 위해 지구관측계획(Earth Observing System, EOS)으로 1999년 12월 28일 Terra위성을 발사하였다. Terra위성에 탑재된 MODIS(the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)센서는 높은 시·공간적인 분해능을 가지고, 전 지구영역의 여러 가지 물리적인 변수를 관측할 수 있는 기회를 제공한다. MODIS센서는 총 36개의 채널 자료를 가지고 채널에 따라 250m, 500m, 그리고 1km의 해상도를 가진 자료를 제공할 수 있다. 기존에

NOAA 위성의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)센서보다 발전된 것으로 향후 지구 환경과 기후변화의 모니터링을 위한 중요한 자료의 역할을 할 것으로 보인다.

하지만 MODIS채널을 포함하는 스펙트럼 영역내 반사도의 민감성(sensitivity) 때문에 서로 다른 시간을 패스한 화상들뿐 만 아니라 같은 화상내에서 조차도 화소간의 절대 비교가 불가능하게 된다. MODIS센서뿐만 아니라 모든 위성의 센서의 자료는 다중 관측각을 제공한다. 이러한 특성 때문에 관측된 반사도에 양방향성효과(Bidirectional effects)가 발생하게 되고 이러한 지표 Bidirectional Reflectance Distribution Function(BRDF)은 경험적(Walthall et al., 1985), 반 경험적(Roujean et al., 1992), 물리적(Gao, 1993), 그리고 기하학적(Strahler and Jupp, 1990)으로 모형화되어 얻어졌다. 이들 방법은 어떠한 분광 센서의 밴드들에 대해서도 명확하게 사용될 수 있으며, 또한 Top-of- Atmosphere (TOA) BRD가 Top-of-Canopy (TOC) 의해 어떻게 변조되는가를 묘사하여 준다(Wu et al., 1995). 이러한 방향성 영향에 대한 정규화 방법은 Roujean 모형(Roujean et al., 1992)을 기본으로 하여 Gutman(1994), Wu et al. (1995) 그리고 Duchemin and Maisongrande (2002)에 의해 제시되었다.

본 연구는 Li et al.(1996)의 접근 방식과 유사하나 Roujean 모형을 기본으로 하여 통계학적인 방법을 이용하여 BRDF 모수화를 하였다. 생태학적인 관점에서 식물의 반사특성이나 토지피복은 최소 10일 이내에는 거의 변화지 않는다. 따라서 한 프레임의 시계열적 기간은 31일로 하였고 이것을 10일 이동하면서 수행하였다. BRDF 모수화를 통하여 각각의 채널에 대해서 총 36개의 최종 반사도 값을 얻었다. 여기서 얻어진 반사도 값은 위성과 태양의 각 성분을 변화를 줄 수 있는 반사도 값

으로서 후에 정규화 과정에서 각의 성분을 변화시킬 수 있는 값이다. BRDF 모델을 통하여 얻어진 반사도 값과 실제 위성 반사도 값의 비교는 특정 식생(침엽수림)에서 태양천정각이 61°일때, 위성천정각에 따른 반사도 값의 변화율을 통하여 분석 하였다.

일반적으로 정규화과정은 Wu et al(1995).과 Duchemin and Maisongrade (2002)의 제시한 정규화 방법이 있다. 전자의 방법은 특정 각 즉, $\rho_{model}(\theta_s = 45^\circ, \theta_v = 0)$ 의 값을 이용하고 후자의 경우에는 태양 평균각 $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0)$ 을 이용한다. 본 연구에서는 Duchemin and Maisongrade (2002)가 제시한 정규화 방법을 사용하였다.

본 연구의 목적은 정확한 지표 파라미터를 제공하여 기후학 연구, 식생 지도 생산 및 환경 모니터링에 필요한 데이터 베이스 구축 있으며 나아가 양방향성 효과에 대한 일반화 방법 개선에 관한 연구를 할 것이다. 세부 연구 목표는 다음과 같다.

- 1) 한반도 산림지역에서의 BRDF 모형의 테스트.
- 2) BRDF모형을 통하여 세부 산림 종에 따른 반사특성 규정 및 계절 변동성 감시.
- 3) 선행 연구에서 제시된 일반화 방법의 비교 분석
- 4) 일반화를 통해 보다 정확한 채널 반사도 제공
- 5) 알베도와 NDVI 모니터링

다음과 같이 정규화과정을 통하여 생산된 자료는 기상 예보모델과 기후 모델의 입력 자료로 사용될 뿐만 아니라 특정 산림 종에 대한 계절별 반사도 특성은 농업기상에서도 유용하게 쓰여 질 것이다.

2. 자료

본 연구에서 사용된 MODIS 센서는 총 36개의 가시영역, 적외영역의 밴드 채널을 제공한다. 파장대는 0.405~14.385 μm 이고 해상도는 채널에 따라서 250m(채널1번과 2번), 500m(채널 3번에서 7번까지), 1km(채널8번에서 36번까지) 해상도를 제공한다. MODIS 센서에 관한 자세한 내용은 Table 1.1 에 자세히 나타내었다. 사용한 MODIS 자료는 가시광선 밴드인 채널 1과 근적외선 밴드인 채널 2번의 가시영역의 자료(MOD02 product)와 지리 보정을 위한 지리위치 자료 및 BRDF 모델을 위한 각도정보를 가지고 있는 MOD03 자료를 사용하였다.

자료 기간은 2001년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지 1년 동안 MODIS 자료 중 구름화소가 연구영역의 95% 이상의 지역을 덮고 있는 날을 제외한, 총 261일의 자료를 사용했다. 연구지역은 Fig.1에서 나타난 것과 같이 위도($34.0^{\circ} \sim 39.0^{\circ}$) 경도($125.8^{\circ} \sim 129.8^{\circ}$)의 한반도 영역이다. 모든 MODIS 자료는 NASA(National Distributed Active Archive Center(DAAC, <http://daac.gsfc.nasa.gov/>))를 통하여 수집되었다.

DN(Digital Number)을 포함 복잡한 형태로 제공되던 AVHRR Level 1b 자료와는 다르게 MODIS Level 1b 자료는 Hierarchical Data Format - Earth Observing System (HDF-EOS)의 형태로 공급됨으로써 모든 정보가 수집이나 처리가 비교적 용이하여 좀 더 이용자 친화적으로 제공된다고 할 수 있다.

토지피복 자료는 UMD(The University of Maryland's 1km Global Land Cover product)에서 제공하는 1km 토지피복(Land cover products) 자료(Fig.2)를 사용하였다. UMD에서 제공하는 토지피복 자료는 총 13종으로 지표의 피복분류(Table.2)를 하였다.

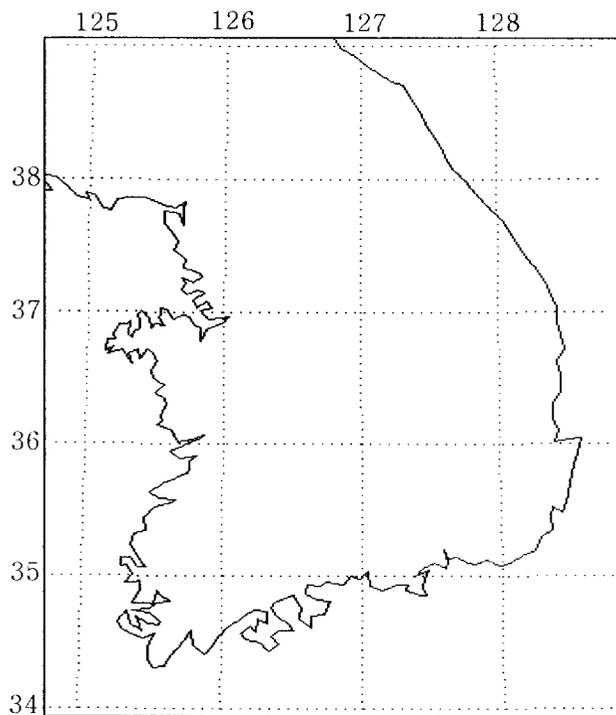


Fig.1. Map of the study area

Table.1. MODIS Wavelength band and its major products form those wavelength bands.

Primary Use	Band	Band width	Spectral Radiance Required NE[delta]T(K) ⁴	
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 670	21.8	128
	2	841 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 479	35.3	243
	4	545 565	29.0	228
	5	1230 1250	5.4	74
	6	1628 1652	7.3	275
	7	2105 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 420	44.9	880
	9	438 448	41.9	838
	10	483 493	32.1	802
	11	526 536	27.9	754
	12	546 556	21.0	750
	13	662 672	9.5	910
	14	673 683	8.7	1087
	15	743 753	10.2	586
Atmospheric Water Vapor	16	862 877	6.2	516
	17	890 920	10.0	167
	18	931 941	3.6	57
Surface/Cloud Temperature	19	915 965	15.0	250
	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
Cirrus Clouds Water vapor	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
Cloud Properties	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Ozone	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Surface/Cloud Temperature	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

1 Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in m

2 Spectral Radiance values are (W/m² - m - sr)

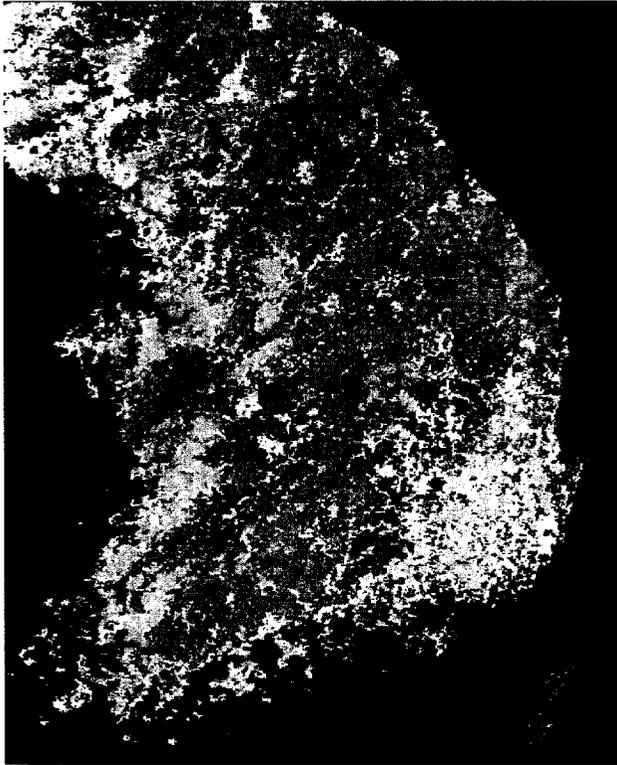
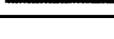


Fig.2. The University of Maryland's 1km Global Land Cover

Table 2. UMK 1km Landcover type

Value	Description	COLOR
0	WATER	
1	EVERGREEN NEEDLELEAF FOREST	
2	EVERGREEN BROADLEAF FOREST	
3	DECIDUOUS NEEDLELEAF FOREST	
4	DECIDUOUS BROADLEAF FOREST	
5	MIXED FOREST	
6	WOODLAND	
7	WOODED GRASSLAND	
8	CLOSED SHRUBLAND	
9	OPEN SHRUBLAND	
10	GRASSLAND	
11	CROPLAND	
12	BARE GROUND	
13	URBAN AND BUILT-UP	

2.1 원시 영상 전처리

2.1.1 지리보정(Geometric correction)

지리 보정은 여러 가지 요인들에 의해서 발생하는 위성 영상의 지형 왜곡현상을 제거하는 것이다. 지형왜곡의 원인으로는 위성과 지구와의 상대적인 위치, 지구의 자전속도, 위성고도, 위성속도, 위성의 스캔 속도 및 방법 등에 의한 왜곡 현상들이 있다.

본 연구에서 사용된 지형 보정 방법은 지상기준점(GCP:Ground Control Points)를 이용한 위성 영상을 재배열(resampling)방법을 사용하였다.

MODIS센서는 한번 스캔을 할 때 2330km의 관측폭을 가진다. 이러한 넓은 관측폭은 여러 가지 지형왜곡 현상을 유발시킨다. 먼저 위성의 직하 방향을 중심으로 스캔 영역의 가장자리로 갈수록 가장자리의 가장 자리의 화소는 점점 커진다. 이것은 지구 곡률에 의해서 발생한다. 또한 Fig.4에서, 전체 MODIS센서 영역(2030km×1354km)과 한반도의 영역(500km×400km)을 비교하면 한반도 작은 부분이다. 전체 이미지의 영상을 처리하기가 힘들기 때문에 한반도 영역(500km×400km) 연구 영역의 이미지만을 추출하여 GCP를 이용하여 영상을 재배열하는 것이 필요하다.

Fig.1에서 나타나는 것과 같이 250m의 공간해상도를 가지는 한반도 연구영역을(Fig.1) 정해서 최근접 내삽법을 통하여 영상을 재배열 하였다. 실제 위성 영상을 연구영역의 이미지에 가장 가깝게 대응하는 화소를 재배열(resampling)하여 지리 보정을 하였다.

2.1.2 구름제거(Cloudmask)

처음 위성이 발사된 이후 구름은 지표변수 연구에 있어서 중요한 부분으로 여겨졌다. 그것은 구름이 지표면의 여러 가지 변수를 산출할 때 가장 큰 오류의 요소이기 때문이다. 따라서 지표반사도, 정규식생지수(NDVI)등과 같은 여러 가지 위성자료처리 이전에 구름을 얼마나 효율적으로 제거할 수 있는 것이 중요하다.

대부분의 구름제거 알고리즘은 각 채널이 가지는 특성을 이용하여 구름을 제거한다. 구름 제거 기법은 세 가지로 기본적인 방법으로 나뉜다.

본 연구에서는 구름제거 방법에서 가장 많이 사용되고 있는 임계(Threshold)값 방법을 사용하였다. 임계값 방법은 임의의 화소에 대해서 구름이 없는 지표의 특성값과 비교하여 임계값 이상의 차이가 나면 구름으로 간주하는 방법이다. 따라서 임계값 알고리즘으로 구름을 탐지하는 과정에서 기본적으로 발생하는 문제는 임계치를 어떻게 정하느냐에 달려 있다(서명석과 이동규, 1999). 본 연구에서는 Shine et al.(1996), Saunders and Krebel(1988)과 McClain(1993) 등에 의해 제시된 임계값 알고리즘을 통합해서 사용하였다. 그림 Fig.2에서 보면 먼저, 채널 1번과 채널 2번의 흑성 반사도 값이 임계값보다 크면 구름 화소로 간주한다. 첫 단계에서 제거되지 않은 구름 화소들은 다음단계로 넘어간다. 둘째로 식(1)에서

$$\eta = \frac{2(R_{0.66} - R_{0.87}) + 1.5R_{0.66} + 0.5R_{0.87}}{R_{0.66} + R_{0.87} + 0.5} \quad (1)$$

n 가 임계값 보다 작으면 구름화소로 간주하고, R.87/R.66의 비율이 구름이 있는 지역에 대해서 임계값보다 높게 나타난다. 따라서 이러한 구름의 화소들은 제거 된다. 마지막으로 채널1(0.66 μ m)의 단일 임계값 검사로 구름 화소들을 제거 한다. 최종적으로 구름 화소로 구분되지 않은 화소를 천청영역으로 간주하여 이용한다. 구름제거 과정에 대한 전체적인 모식도는 그림 Fig.3에 잘 나타나있다.

수많은 연구와 노력에도 불구하고 정확한 구름 제거는 현실적으로 큰 신뢰감을 주지 못한다. 왜냐하면 구름의 복사 특성은 구름의 종류, 고도 및 크기등에 따라서 변화하기 때문이다(Simpson and Gobat, 1996).

게다가 본 연구에서 사용된 채널은 250m의 해상도를 가지는 0.66 μ m과 0.88 μ m의 두 채널만을 가지고 구름 제거를 해야 하기 때문에 적외 영역을 포함하는 1km의 구름탐지 산출 결과보다는 구름의 식별능력이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 구름 화소를 결정짓는 임계값에 대해서 충분히 높게 하여 구름을 제거하였다. 즉 이것은 구름제거 알고리즘을 통하여 보다 많은 천청역역을 얻는 것보다도 임계값을 충분히 높게 하여 보다 정확한 값을 얻을 수 있다.

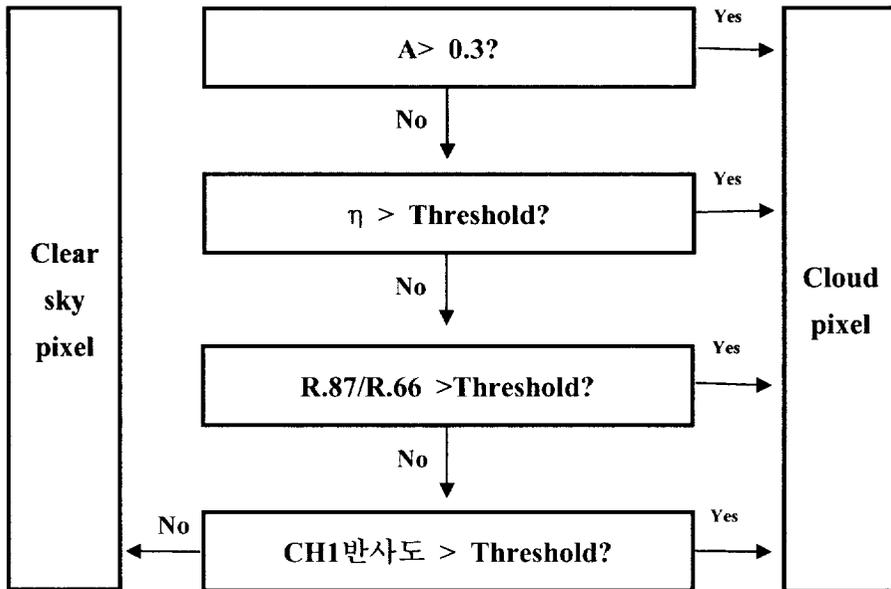


Fig 3. Cloud detection algorithm

3. 방법(Methods)

3.1 BRDF 모델

MODIS 센서의 넓은 FOV(Field-Of-View)는 태양-지점-센서의 기하학적인 특성을 강하게 영향을 받은 지표 변수 값들을 산출한다. 이러한 양방향성 영향들은 시계열로 관측되어진 지점에서 노이즈 같은 변동의 주성분으로 작용한다(Talyor and Stoew, 1984; Gutman, 1987). 대부분의 자연 지표면은 비등방성(anisotropic) 반사체이기 때문에 태양-지점-센서간의 기하학적인 특성을 상당히 받는다. 또한 이러한 영향은 지표변수를 산출함에 있어서 상당한 오차를 유발시킬 수 있다.

따라서 BRDF(Bi-directional Reflectance Distribution Function) 모델은 비등방성 지표면에 대한 기하학적 특성을 보정하는 것이다. BRDF 모델은 서로 다른 태양-지점-위성간의 각에서 관측값들에 대해서 서로 비교할 수 있을 뿐만 아니라, 대기-지구 시스템에서 복사전달에 대한 경계조건과 지표물리 변수들을 제공한다(Baoxin Hu remote Sens. 1997).

Kernel-driven 반 경험적 모델들은 BRDF를 산출하기 위해 좋은 효율성으로 복잡한 관계들을 풀어나갈 수 있게 한다(Duchemin and Maisongrande, 2002). 여러 BRDF 모델 중 본 연구에서는 Roujean et al.(1992)의 모델이 선택되어졌는데, 이것은 이 모델이 여러 연구들(Leroy, 1997; Csiszar et al., 2001; Leroy and Roujean, 1994)에 의해 AVHRR 센서에 대한 만족할만한 결과를 얻었고 AVHRR과 함께 얻는 각도 표본들이 MODIS의 그것과 비교할 수 있을 만큼 공통점이 있기 때문이다.

Roujean et al.(1992) 모델은 다음과 같이 묘사된다.

$$\rho(\theta_s, \theta_v, \phi) = K_0 + K_1 f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) + K_2 f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (2)$$

$$f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{1}{2\pi} [(\pi - \phi)\cos\phi + \sin\phi] \tan\theta_s \tan\theta_v - \frac{1}{\pi} \left(\tan\theta_s + \tan\theta_v + \sqrt{\tan^2\theta_s + \tan^2\theta_v - 2\tan\theta_s \tan\theta_v \cos\phi} \right) \quad (3)$$

$$f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{4}{3\pi} \frac{1}{\cos\theta_s + \cos\theta_v} \cdot \left[\left(\frac{\pi}{2} - \xi \right) \cos\xi + \sin\xi \right] - \frac{1}{3} \quad (4)$$

$$\cos\xi = \cos\theta_s \cos\theta_v + \sin\theta_s \sin\theta_v \cos\phi \quad (5)$$

여기서 ρ 는 대기보정된 센서의 채널 반사도 값이고 f_1 은 확산 반사로 인한 양방향성 종속관계를 표현하며, f_2 는 체적산란의 BRD에 대한 기여도를 계산한다. K_0 은 태양천정각과 위성천정각이 0° 일 때 ($\theta_s = \theta_v = 0$) 양방향성 반사도를 나타낸다. K_1 과 K_2 는 f_1 과 f_2 의 기여도를 관측한다.

3.2 정규화(Normalization)

본 연구에서 사용된 정규화 방법은 Duchemin and Maisongrade (2002)의 제시한 정규화 방법이다.

$$\rho_{norm} = \rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0) + \rho_{measured} - \rho_{model}(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (6)$$

$\rho_{measured}$ 는 위성에서 관측된 반사도 값이고, ρ_{model} 는 BRDF 모델을 사용한 값이다. $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0)$ 는 합성하는 날 동안의 평균 태양천정각과 위성 천정각이 0일 때 BRDF모형을 이용하여 산출한 값이다.

$$\rho_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{norm(i)} \quad (7)$$

식 (7)에서 $\rho_{norm(i)}$ 는 i날의 반사도 값을 나타내고, ρ_N 는 합성된 반사도 날이다. 그리고 N 은 합성하는 날 동안 구름이 없는 날의 수를 나타낸다.

본 연구에서는 총 31일의 날짜를 합성하여 그 중 최소 구름이 없는 4일의 관측값을 이용하여 정규화 하였다. 전체적인 위성자료의 전처리 및 정규화 과정 흐름도는 Fig.4에 나타나 있다.

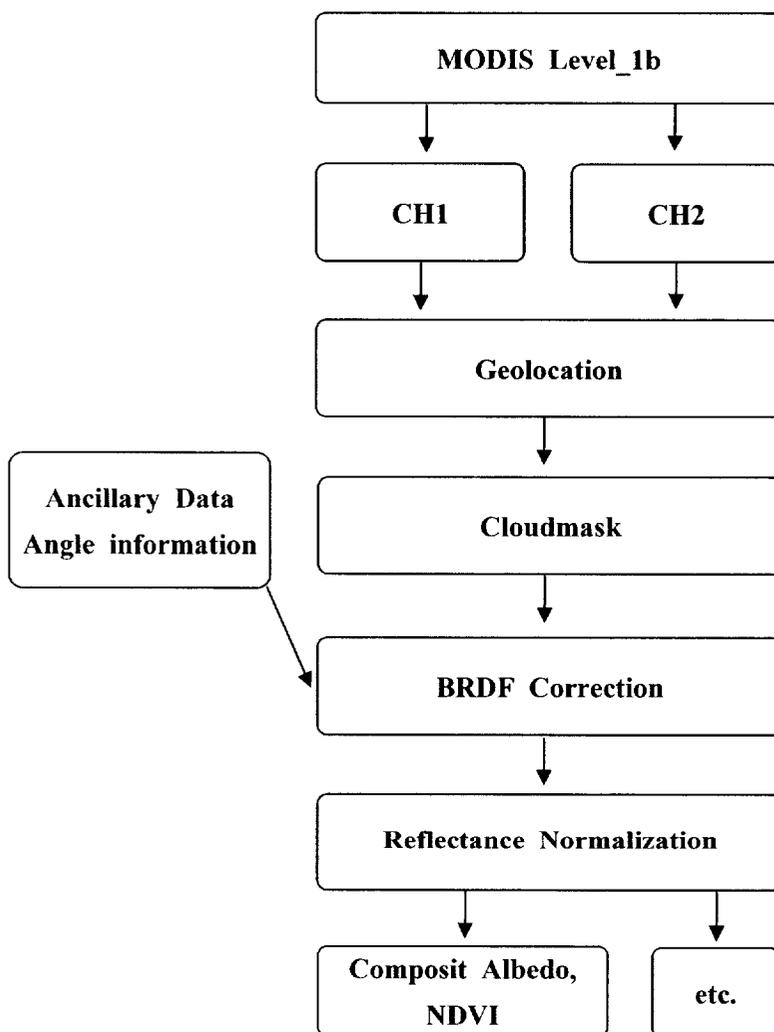


Fig 4. Image processing algorithm

4. 결 과

4.1 구름제거

구름 제거는 Fig.3에 나타난 것과 같이 각각의 물리적인 함수들의 임계값을 이용하여 처리하였다. Fig.5는 2001년 1월 1일의 RGB (channels 1:red, 4:green and 3:blue)구름 영상을 보여 준다. 그리고 Fig.6는 채널 1번의 반사도 값을 보여준다. 실제 RGB 영상에서 보여 지는 구름의 영역은 Fig.5에서 나타나는 것과 같이 반사도 값이 높게 나타나는 부분이 구름인 것을 알 수 있다.

구름제거 알고리즘에 대한 임계값은 기계적 혹은 환경적 변화에 따라 변화할 수 있다. 따라서 각각의 영상에 대해 히스토그램을 이용하여 임계치 값을 달리하여 구름제거를 하였다. Fig.6에서 원안의 부분에서 반사도 값이 높게 나타나는 지역은 구름이다. 구름제거 물리적인 과정을 통하여 최종적으로 구름제거가 된 후 Fig.7에서 원안의 부분과 비교하면 반사도가 높게 나타나는 구름 지역뿐만 아니라 구름과 지표의 구분이 모호한 지역 모두 제거 하였다. 이것은 전체적으로 임계값 결정에 있어서 높게 설정하여 구름이 제거되지 않아 남아 있는 것보다도 일부의 육지화소를 구름화소로 인식하더라도 화소의 정확성을 높이는데 중점을 두었다.



Fig.5. MODIS RGB image at 1, Jan 2001

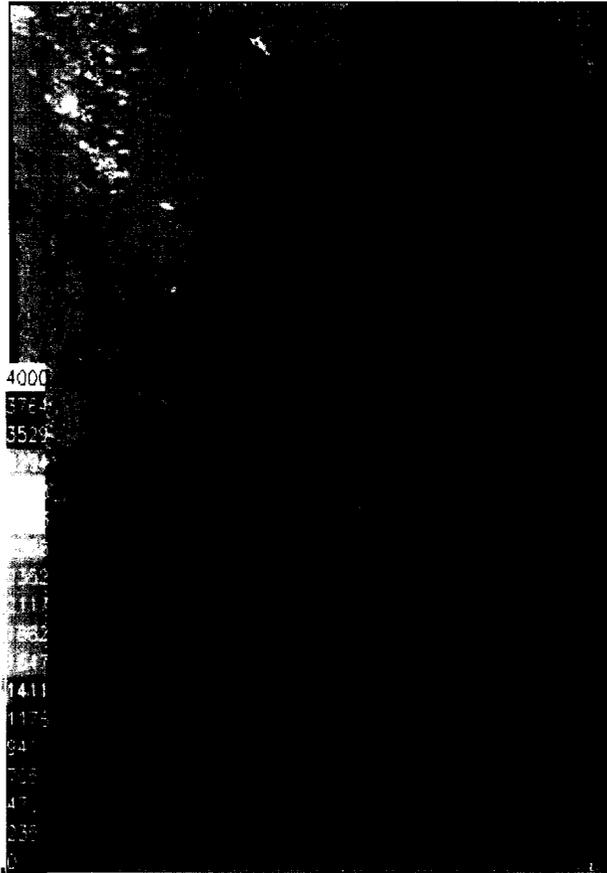


Fig.6. MODIS Ch1 Reflectance image at 1, Jan 2001



Fig.7. Cloud masking at 1, Jan 2001

4.2 BRDF 모델

본 연구에서 사용된 BRDF 모수화는 2001년 1월 1일부터 12월 31일까지의 자료에 대해서 수행되었다. 모형의 한 프레임의 시계열적 기간은 31일 이었고 10일의 sliding period를 가지고 수행되어 총 36개의 최종 자료가 출력되었다. 식(2)에서 f_1 은 확산 반사로 인한 양방향성 종속 관계를 표현하고, f_2 는 체적산란에 대한 BRD에 대한 기여도를 나타낸다. 따라서 이러한 값들은 위성 천정각, 태양 천정각, 태양과 위성사이의 방위각을 이용하여 계산할 수 있다. ρ 값은 실제 위성 반사도 값이다. 따라서 미지수로 남아 있는 세 개의 k_0, k_1, k_2 계수 값을 구하기 위해서는 최소 3개식이 필요하다. 본 연구에서는 시계열적 기간 중 최소 4개 이상의 관측값을 이용하였다. 이것은 모수화를 통하여 생산되는 값의 정확도를 높이기 위해서이다. 합성하는 기간 동안 각각의 화소에 대해 31일의 실행기간 중 구름이 없는 날 값들을 이용하여 다중회귀법을 통한 통계학적 기법으로 k_0, k_1, k_2 을 구하였다.

Fig.8, Fig.9, Fig.10는 채널 1번 반사도 값을 나타내고 Fig.11, Fig.12, Fig.13는 채널 2번 반사도 값이다. 각각의 날은 BRDF 모델로 보정된 반사도이다. 육지 부분에서 흰색으로 보여 지는 부분은 구름 화소로서 이전의 구름 제거 알고리즘을 통하여 제거된 값이다. Fig.8의 그림(a)을 예로 들어서 설명을 하면, 그림(a)는 2001년 1월 15일 BRDF 모델로 산출된 반사도 값이다. 이 값은 15일을 중심으로 앞으로 15일 뒤로 15일씩 총 31일에 대한 반사도 값을 이용하여 BRDF 모수화 된 하나의 대표값을 산출 하였다. 이 값은 위성과 태양의 각도 성분으로 추출한 값으로서 이후 정규화 과정에서 위성과 태양의 각 성분에 변화를 주어 최

종적으로 실제 반사도 값에서 각의 변동성에 의한 변화값을 제거 및 비교 할 수 있는 반사도이다.

Fig.14은 구름이 없는 관측일 수에 대한 BRDF모델로 산출된 반사도 값과 실제 위성 관측값에 대한 계절별, 채널별 RMSE와 의 관계를 보여준다. 채널1번과 2번 모두 다 전체적으로 RMSE가 0.03보다 낮게 나타나 BRDF모델로 모의한 반사도 값이 실제 위성값을 잘 산출한 것을 알 수 있다. 즉, 실제 위성 반사도 값과 BRDF모델로 역산출한 반사도 값과 잘 일치한다는 것을 알 수 있다.

Fig.14에서 채널 1번과 2번 둘 다 구름이 없는 날의 관측 일수가 증가함에 따라 큰 변화가 없다가 일정 수 이상이 되면 RMSE가 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 구름이 없는 날의 관측일수가 높아짐에 따라 모델에서 산출 되는 반사도 값의 정확도가 높아지기 때문이다. 향후 연구에서 Aqua 위성의 MODIS 자료를 이용하면 보다 높은 시간적 해상도를 가지기 때문에 보다 적은 합성기간 동안의 높은 BRDF모델의 산출값을 얻을 수 있다.

계절별에 따른 RMSE는 채널 1번과 채널 2번 모두 여름에 RMSE가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 채널 1번의 경우 현저하게 나타난다. 이것은 한반도는 여름의 날씨 특성상 장마와 태풍등과 같은 여러 가지 악기상이 많이 발생하여 모델의 정확도가 많이 떨어진다. 반면 채널 1번과 채널 2번 모두 겨울과 가을에는 RMSE가 전반적으로 낮다. 한반도의 날씨 특성상 겨울과 가을에는 일반적으로 날씨가 좋기 때문에 BRDF모델의 산출값이 좋게 나왔다.

Fig.15, Fig.16 및 Fig.17, Fig.18는 2001년 1월 15일 위성방위각에 대한 채널 1번과 채널 2번 반사도 값이다. 각각의 값은 태양 천정각이 61° 일 때와 침엽수림(Evergreen Needleleaf Forests)에 대해서 위성 천정각

에 따른 지표 반사도의 변동성을 보여 준다.

그림에서 보는 것처럼 채널 1번에서 Fig.16는 Std.Dev=184.3425 이고 Fig.17은 Std.Dev=110.2379이다. BRDF 모수화 이전과 이후의 값을 비교 하였을 때 위성 천정각에 따른 반사도의 변동성이 줄어든 것을 볼 수 있다. 이것은 시간과 공간에 따라 항상 변화하는 정규 식생 지수 (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)와 토지 피복 분류등과 같은 변수들을 산출함에 있어서 극궤도 위성의 각 영향을 제거한 반사도 값을 이용하여 보다 더 정확한 지표 변수가 산출 가능하다. 채널 2번의 경우에도 BRDF 모수화 이전(Std.Dev=137.6512)과 이후 (Std.Dev=85.2783)를 비교하면 각 영향이 줄어들었다.

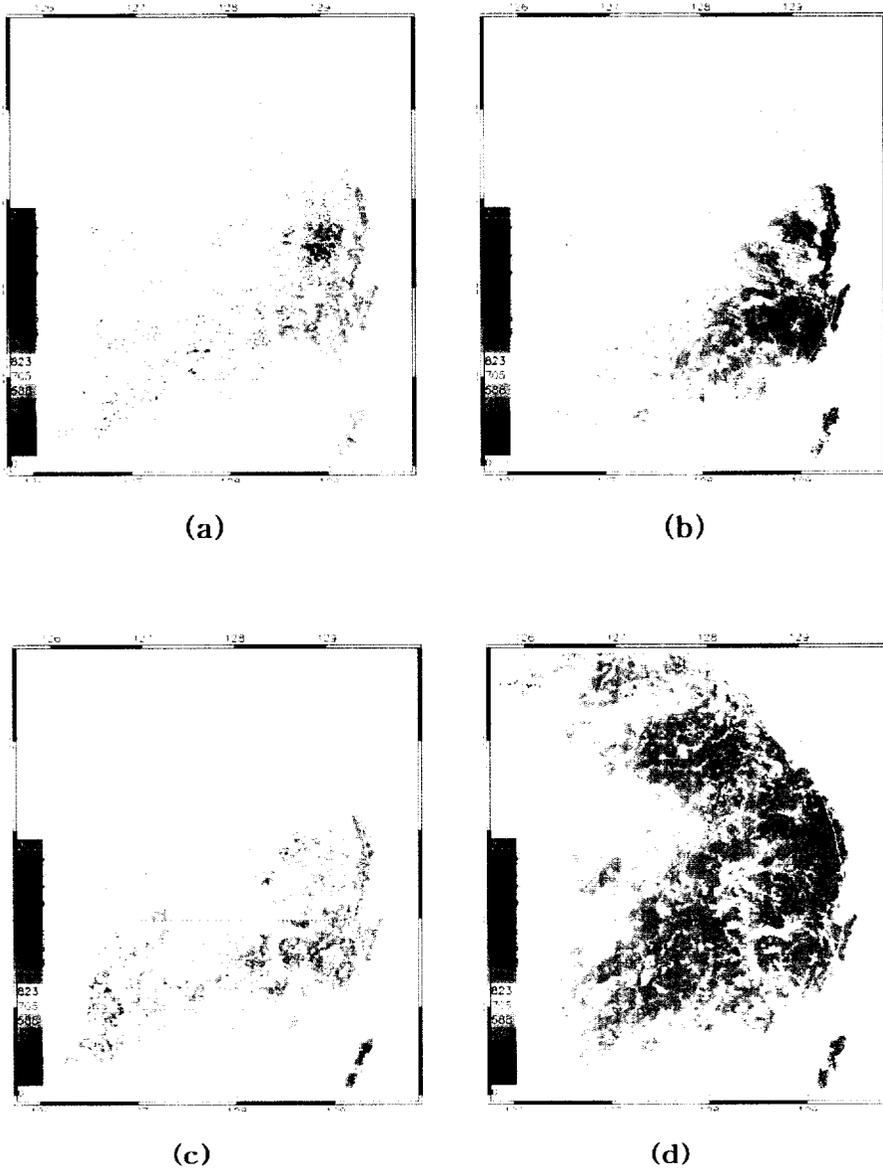


Fig.8. Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001

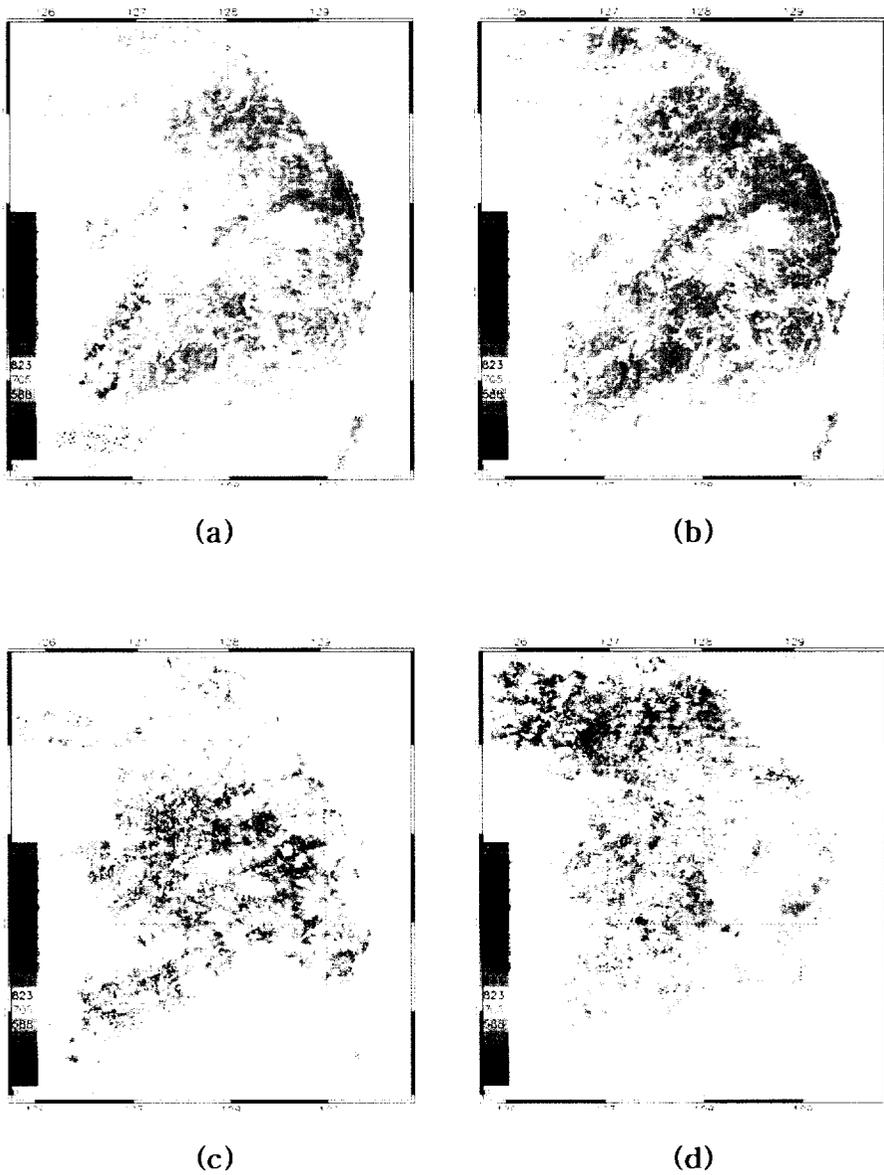


Fig.9. Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001

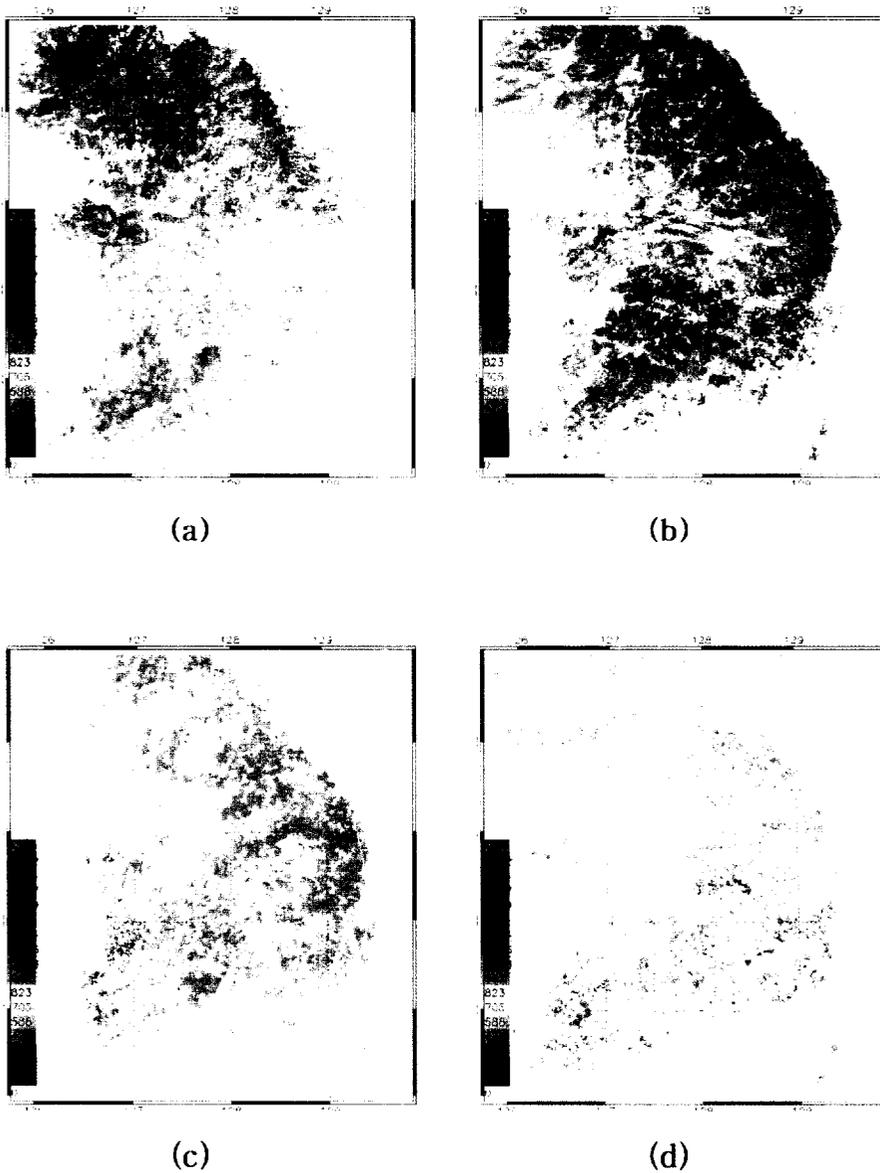
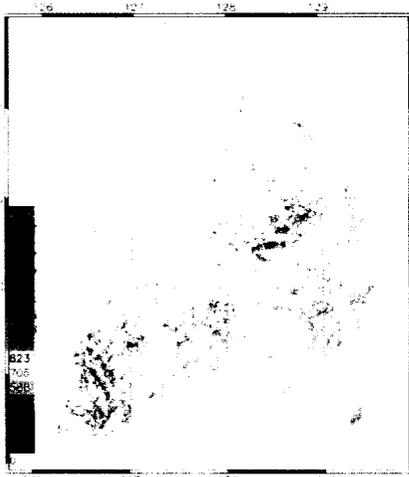
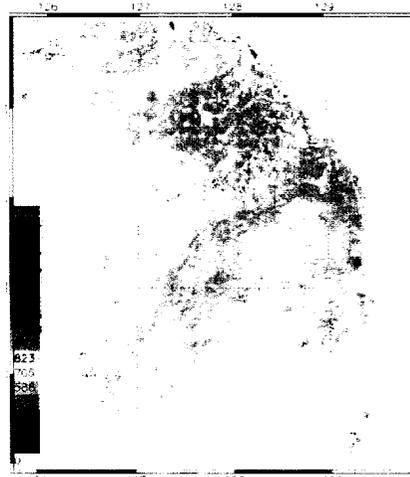


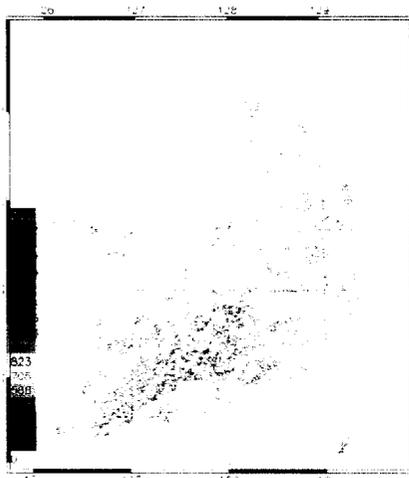
Fig.10. Ch1 Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001



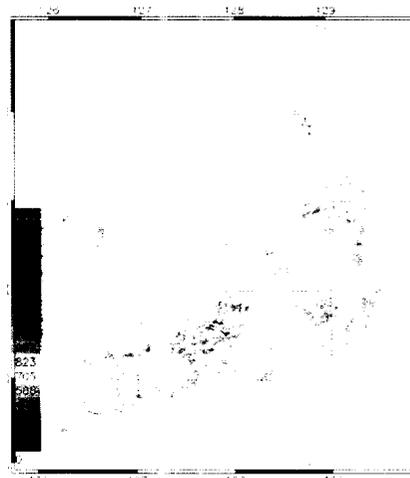
(a)



(b)

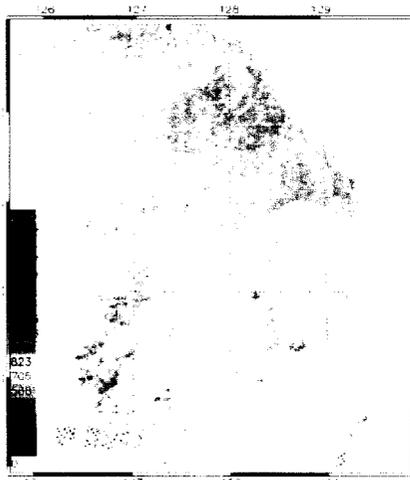


(c)



(d)

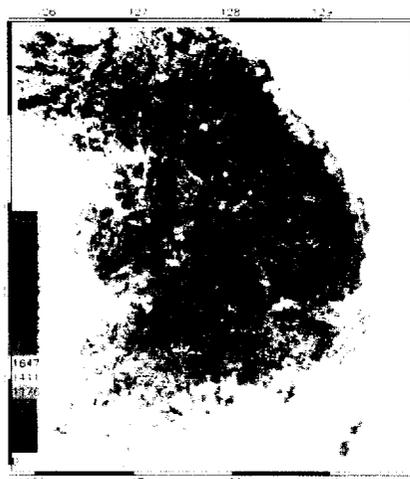
Fig.11. Ch2 Reflectance via images BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001



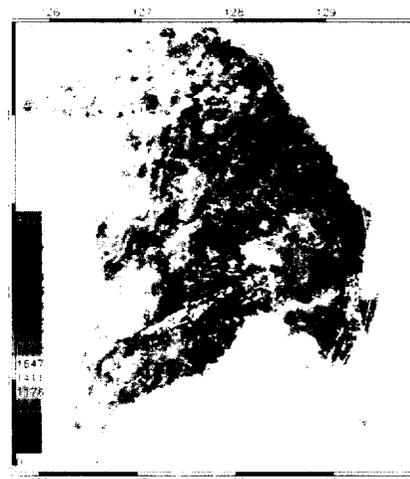
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.12. Ch2 Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001

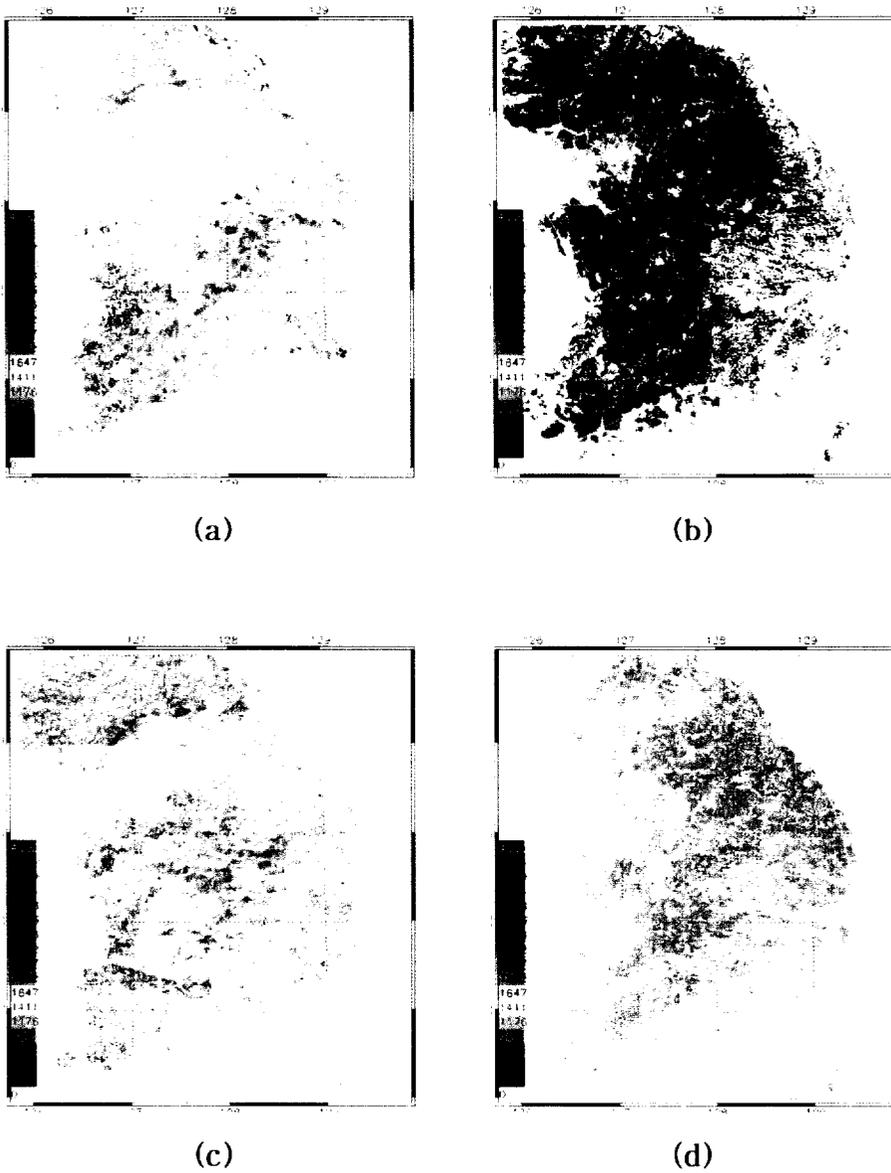


Fig.13. Ch2 Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001

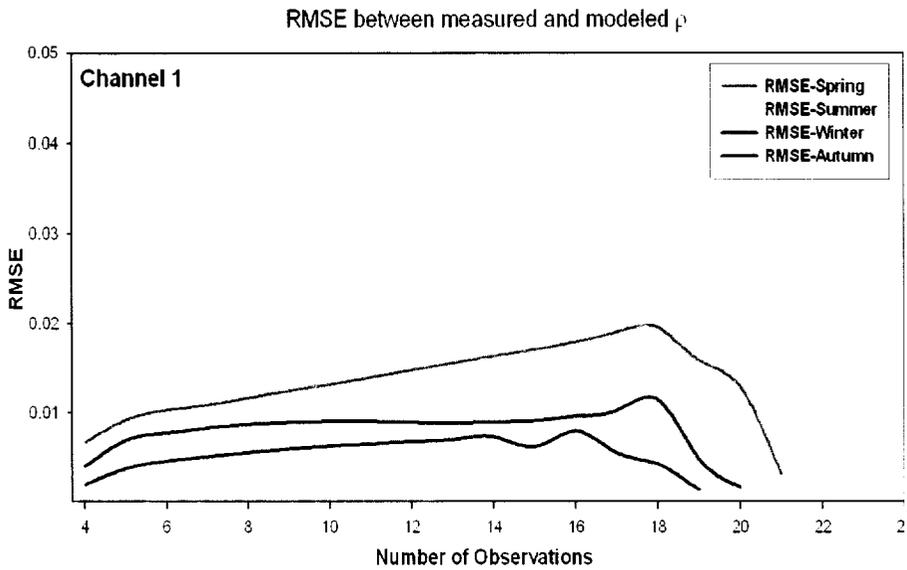


Fig.14. The root mean square error distribution according to season and number of cloud-free observations between measured and modeled channel 1 reflectance values

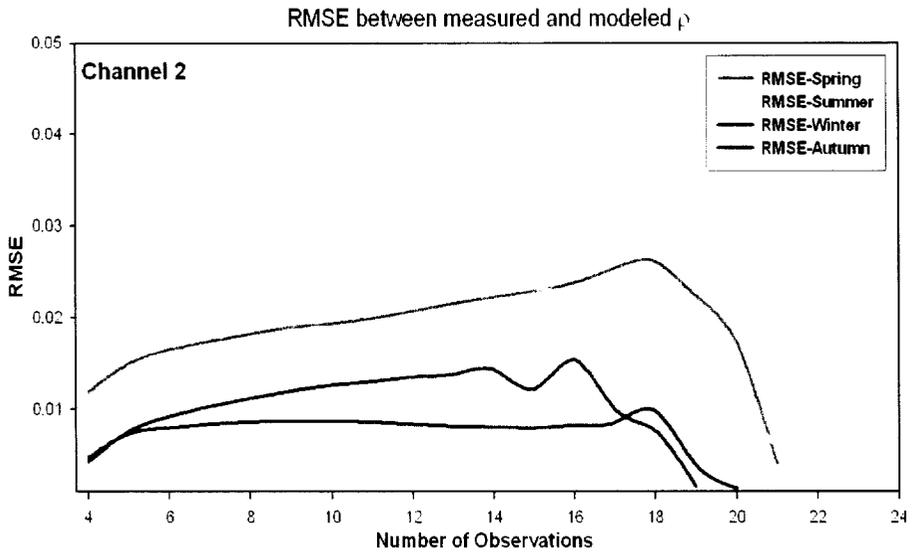


Fig.15. The root mean square error distribution according to season and number of cloud-free observations between measured and modeled channel 2 reflectance values

Clear pixel

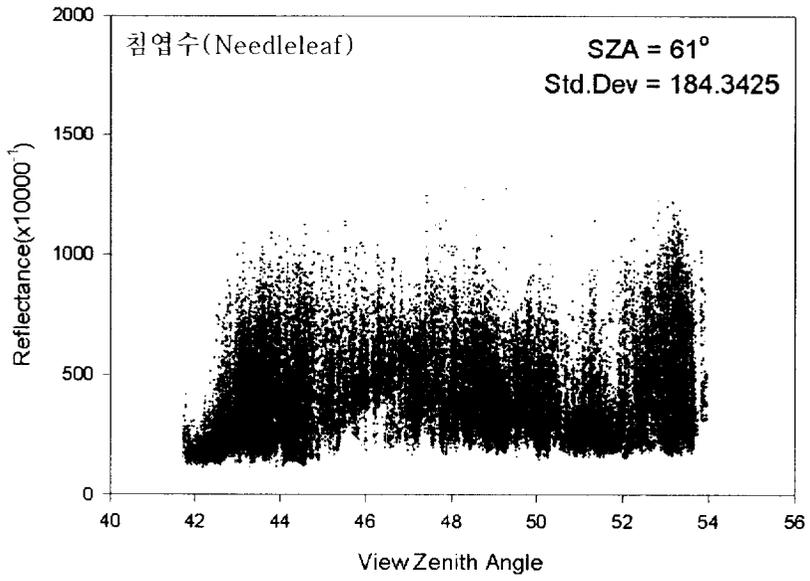


Fig.16. Ch1 Reflectance image at 15, Jan 2001

Clear pixels

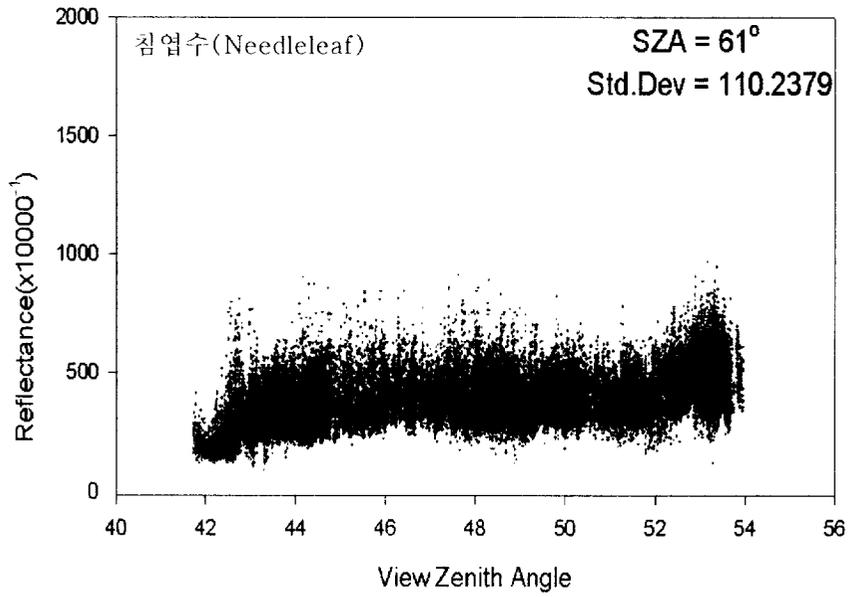


Fig.17. Ch1 Reflectance image via BRDF model at 15, Jan 2001

Clear pixel

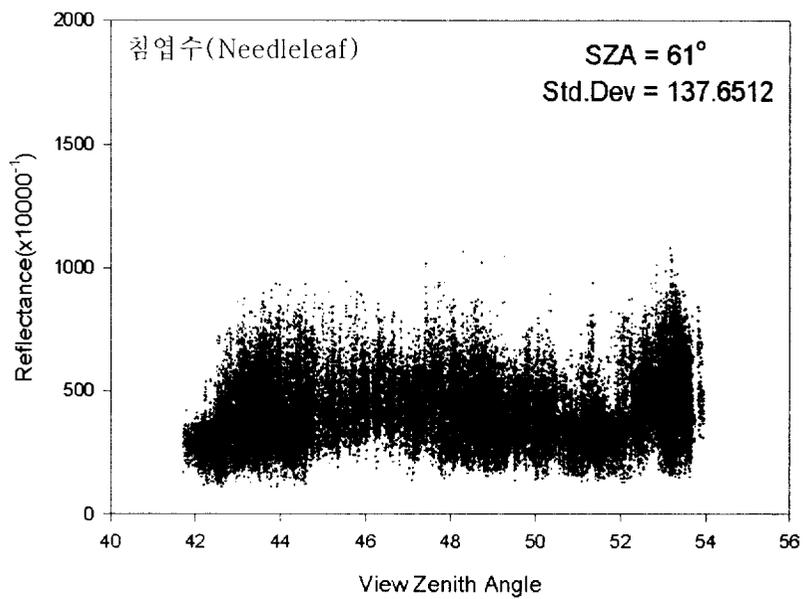


Fig.18. Ch1 Reflectance image at 15, Jan 2001

Clear pixels

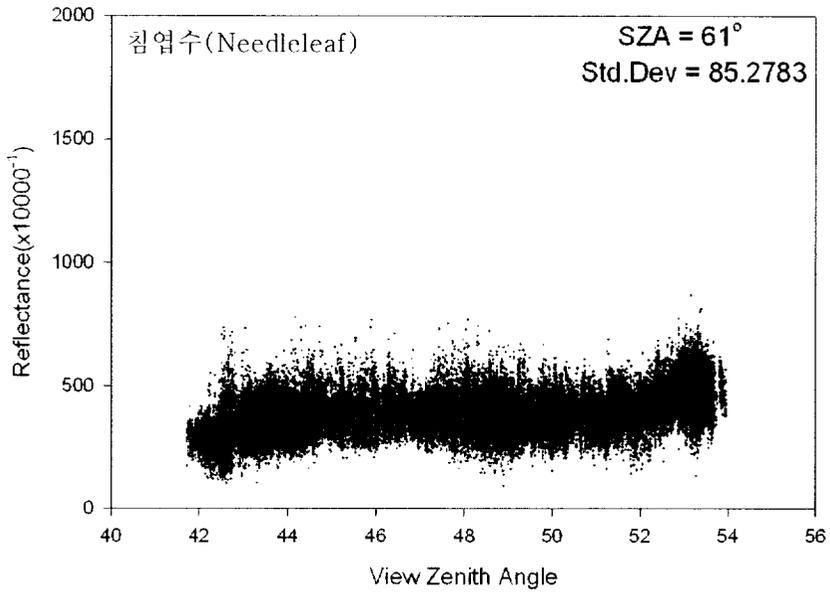


Fig.19. Ch2 Reflectance via BRDF model image at 15, Jan 2001

4.3 정규화

본 연구에서 사용된 정규화 과정은 Duchemin and Maisongrade(2002) 제시한 방법을 이용하였다. BRDF 모델을 이용하여 채널 1번과 채널 2번에 대한 각도 성분을 추출하였다. 위성 천정각과 태양 천정각 그리고 위성과 태양사이의 상대적인 방위각을 이용하여 각각의 f_1 과 f_2 각도 성분으로 추출하였다.

식 (6)에서 $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0)$ 항은 직하관측을 가정하여 위성 천정각을 0° 으로 고정하고 태양 천정각을 특정각으로 고정시키지 않고 각각의 화소점마다 모델 실행기간 31일 동안의 중간값을 적용하였다. 즉, 총 31일의 실행기간 동안 위성 천정각이 0° , 평균 태양 천정각을 이용하여 반사도 값을 정규화 하였다.

부록의 Fig.a.1부터 Fig.a.6은 $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0)$ 화상의 예를 보여준다. 각각의 날짜에 대해서 전후 15일에 대한 정규화과정을 이용하여 산출한 반사도 $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = 0)$ 값이다. 해양을 제외한 육지 부분에서 흰 부분은 구름에 의해서 제거된 부분이다.

생태학적 관점에서 식물의 반사특성이나 토지피복은 최소 10일 이내에서는 불변한다고 할 수 있다. 부록의 Fig.a.1은 2001년 1월 10일과 1월 11일의 두 날짜를 모자이크한 채널1번의 반사도 영상이다. 영상 위쪽은 10일 날 반사도이고, 아래쪽은 11일 반사도이다. Fig.19는 Fig.20와 같은 날 정규화된 반사도 이미지이다. Fig.19를 보면 위쪽의 10일 반사도 값과 아래쪽 11일 반사도 값이 차이가 나는 것을 볼 수 있다. Fig.20에서 10일과 11일 정규화된 반사도($\theta_s = mean, \theta_v = 0$)이다. 정규화된 두 날짜의 반사도 값은 그림에서 보이는 것과 같이 각도 성분이 많이 제거된

것을 볼 수 있다. 위성과 태양의 위치에 따른 각의 영향을 제거함으로써 보다 정확한 지표 변수를 산출 할 수 있다.

Fig.21과 Fig.22는 UMD(University of Maryland Global Land Cover Classifications)에서 제공하는 1km 토지 피복 분류 자료(Fig.2)를 이용하여 산림 종에 따른 실제 측정된 반사도 값과 정규화 과정을 통한 반사도 값의 연 변동성을 보여준다. 그림에서 점으로 나타난 부분은 위성에서 관측한 실제 반사도 값이고 선으로 나타난 부분은 정규화 과정을 통하여 최종적으로 생산된 반사도 값이다. 파란색은 채널 1번이고 빨간색은 채널 2번을 나타내고 1년 동안 반사도의 변동성을 보여준다.

먼저 전체적으로 실제 반사도 값은 산발적으로 분포하기 때문에 세부 산림 종에 따른 반사도의 계절적 변동성을 구분하기 힘들다. 하지만 정규화 과정을 통하여 얻어진 반사도 값은 계절에 따른 반사도의 변화와 그 산림 종에 따른 반사도 계절적 특징을 알 수 있다. Fig.21 (a): Deciduous Broadleaf Forest와 (b): Evergreen Needleleaf Forest 그리고 Fig.22. (b): Wooded Grassland는 모두 식생지역이다. 한반도 식생 지역의 특성은 겨울에는 추운 날씨에 의해서 식생의 밀도가 가장 적고 여름이 가장 식생지수가 높다. 세 개의 식생지역 모두 겨울과 여름에 채널 1번과 채널 2번의 반사도 차가 적고 여름에 가장 큰 것을 알 수 있다. 이것은 식(8)에서 정규 식생지수(Tucker 1979, Jackson *et al.*, 1983, Tucker *et al.*, 1991)는 채널 2번이 클 때 1번과 2번의 차가 클수록 크나.

$$NDVI = \frac{(CH2 - CH1)}{(CH2 + CH1)} \quad (8)$$

따라서 그림에서 보면 식생지역은 모두 겨울에 그 차가 가장 작고

여름에 식생 밀도가 높다는 것을 그림에서 알 수 있다.

그리고 Fig.21 (a)는 활엽수이고, (b)는 침엽수이다. 활엽수의 경우에는 채널 1번과 2번의 반사도 차가 겨울의 일부분의 제외한 모든 부분에서 차이가 나고 침엽수는 활엽수와 비교하여 좁게 나타난다. 산림 종에 특성에 따른 반사도의 계절적인 변동성을 알 수 있다.

반면 Fig.22 (a)은 도심 지역으로서 다른 산림 종과 크게 차이 나는 것을 볼 수 있다. 무엇보다 여름에 채널 1번과 채널 2번의 반사도 차가 크지 않다. 도심 지역에는 식생이 적고 건물등과 같은 콘크리트와 아스팔트, 인공 구조물이 많기 때문에 그러한 인공 구조물의 표면에 특성에 따른 반사도의 변화 값을 보여 준다.

부록의 Fig.b.1부터 Fig.b.3까지는 정규식생지수(NDVI:Nomalized Difference Vegetation Index)를 MVC(Maximum Value Composites)기법을 이용하여 구하였다. NDVI는 가시광선과 근적외 영역에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나타나는 것을 이용하는 것으로, 각각 채널 1번과 2번을 이용하여 구하는 값이다. 여기서 사용된 MVD기법은 31일 동안 같은 위치의 화소 값 들을 서로 비교하여 가장 큰 값을 선택하여 새로운 영상자료를 만들었다. 구름과 눈이 나타내는 NDVI값은 식생지역의 NDVI값과 비교하여 현저히 낮다. 그러므로 MVC기법을 이용하면 구름에 가려졌던 지역은 구름이 없었던 다른 날의 NDVI값으로 대체하여 보다 정확한 식생에 관한 정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 정규화된 NDVI MVC값을 이용하여 31일 동안 시계열로 대표할 수 있는 NDVI 합성영상을 만들었다. 부록의 Fig.b.1부터 Fig.b.3까지 NDVI MVC 시계열적인 변화를 살펴보면, 봄에는 NDVI 값이 낮았으며, 5월 이후 NDVI 값이 점차 증가하여 여름에 최고로 해서 가을의 수확기, 낙엽기를 거치면서 NDVI 값이 낮아지는 경향을 볼 수

있다. 이것은 한반도의 기후 특성을 잘 보여주고 있다.

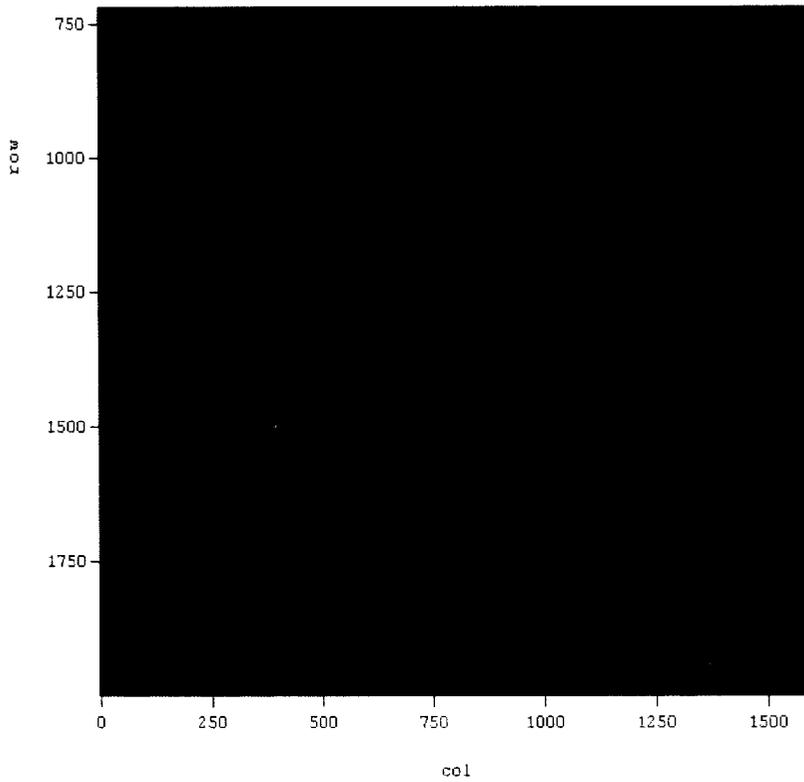


Fig.20. Two mosaic reflectance images: upper image at 10, January 2001 and lower image at 11, January 2001

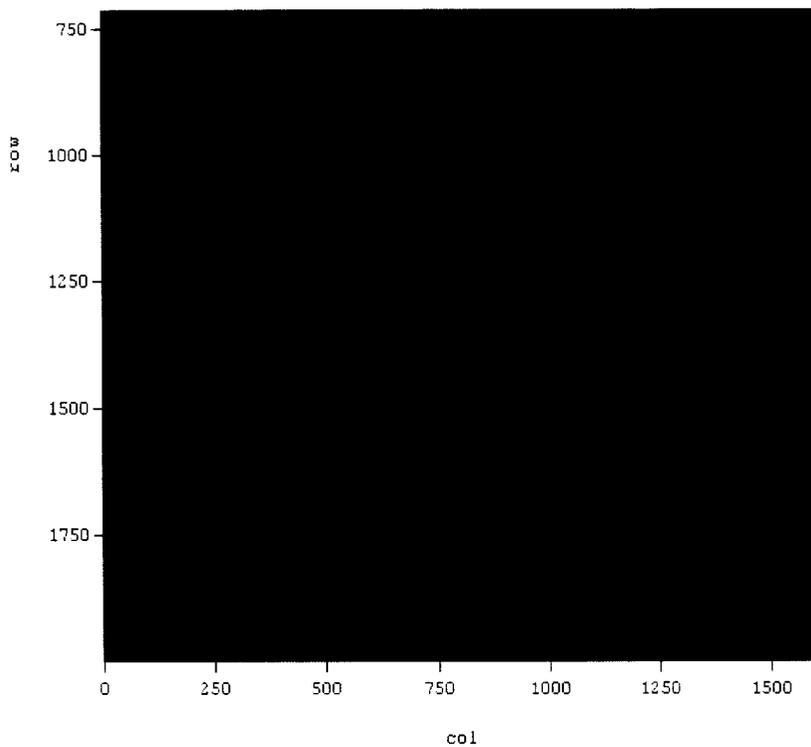
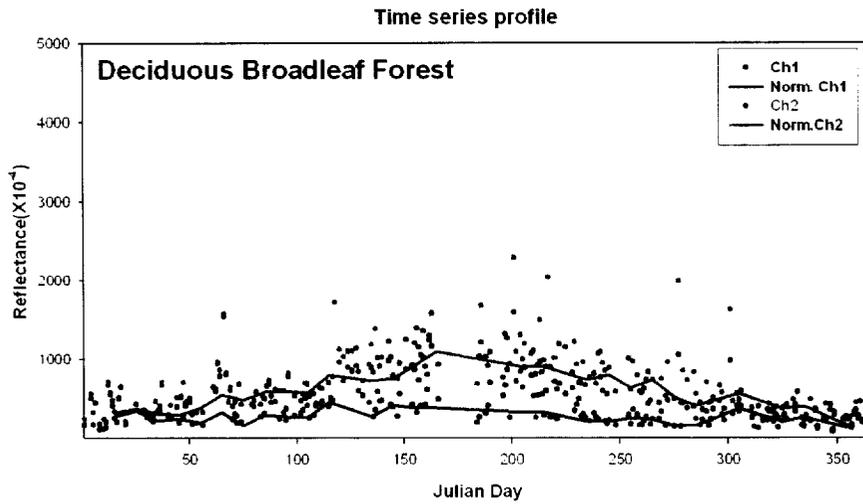
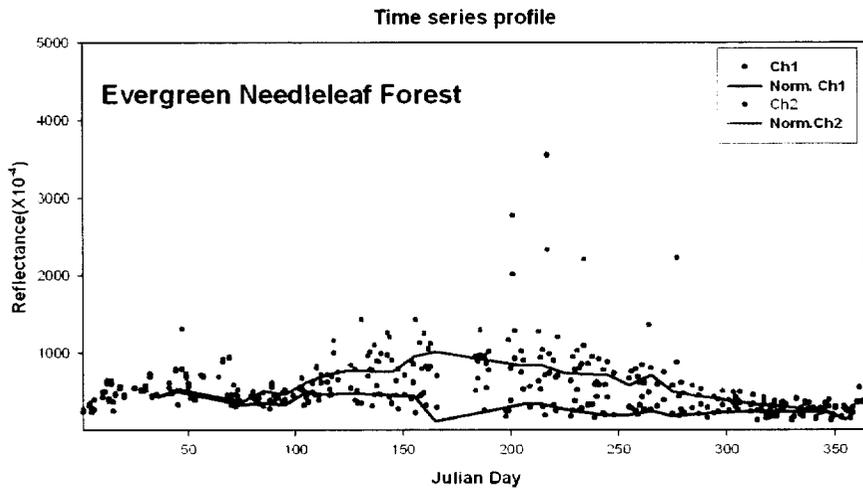


Fig.21. Normalized two mosaic reflectance images: upper image at 10, January 2001 and lower image at 11, January 2001

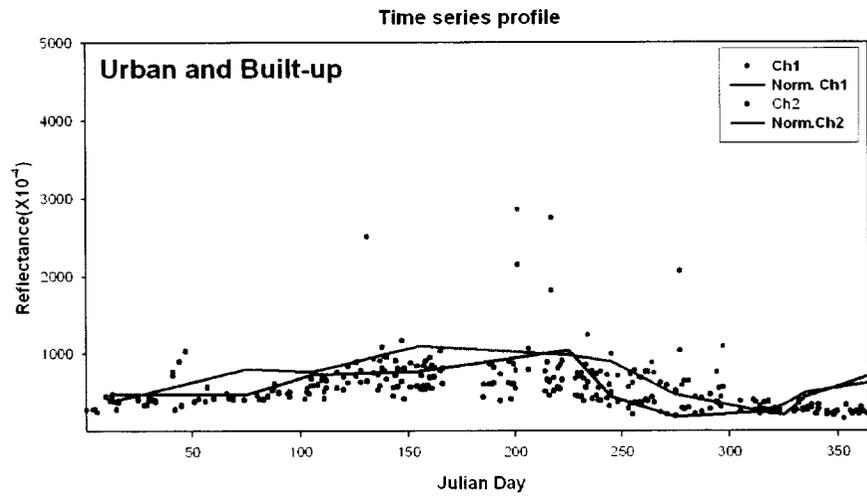


(a)

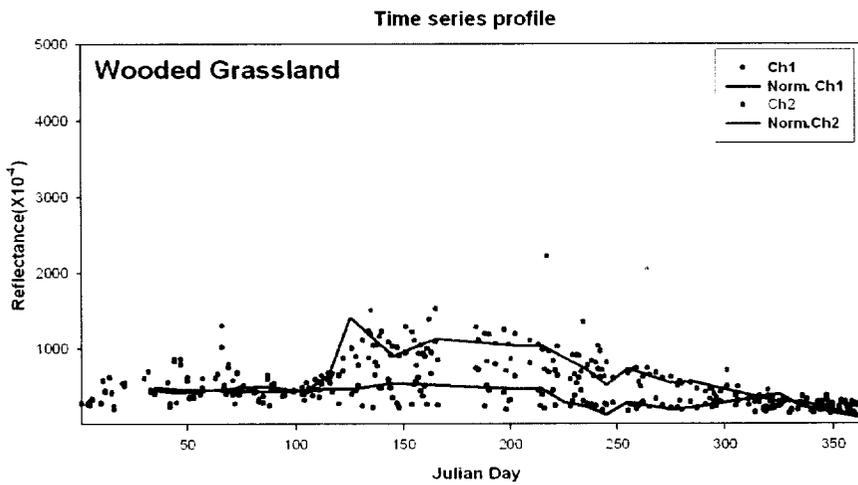


(b)

Fig.22. (a) Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Deciduous Broadleaf Forest area ; (b) Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Evergreen Needleleaf Forest area.



(a)



(b)

Fig.23. (a) Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Urban and built up area ; (b)Yearly variation between measured and modeled reflectance values in Wooded Grassland area.

5. 결 론

본 연구는 MODIS 채널 1번과 채널 2번의 고해상도(250m)의 반사도 자료를 이용하였다. 관측 지역이 넓은 MODIS 자료의 지형 보정을 위해 최근접 내삽법이 사용되었고, 보다 정확한 지표변수 산출을 위해 여러 가지 물리적인 지수를 이용한 구름제거가 수행되었다.

지구는 비등방성 지표면이다. 그리고 태양-지점-위성간의 기하학적인 특성에 의해서 지표 반사도는 민감하게 변화 한다. 따라서 이러한 양방향성 효과를 제거하기 위해 BRDF 모델을 이용하였다. 총 31일 동안의 합성 기간 동안 구름이 없는 최소 4일의 화소값을 이용하여 모델값을 산출하였다. 위성에서 관측된 값과 모델값의 RMSE값이 0.03보다 적게 나왔다. 이것은 BRDF 모델로 산출한 반사도 값이 실제 관측값에 대해서 기하학적인 특성을 잘 나타낸 것을 알 수 있다. 이렇게 낮은 RMSE 값을 가지는 반사도 값을 이용하여 자료의 시계열 내에서 노이즈 같은 각 성분을 제거함으로써 보다 좋은 질의 지표 변수 산출하였다.

각각의 식생의 특성에 따라서 산발적으로 분포하는 반사도 값에 대해서 정규화($\theta_s = mean, \theta_r = 0$)과정을 통하여 계절 변동성에 따른 반사도 특성을 제시 하였다. 도심 지역과 산림 지역에서 변화값의 차이점이 보였고 산림지역 내에서도 세부 종에 따른 반사도 특성을 규명 하였다. 또한 NDVI MVC기법을 이용하여 총 36개의 정규화된 식생지수를 제공하였다. NDVI 값에서 한반도 영역 시간적 그리고 공간적인 식생지수 값의 변화를 볼 수 있었다.

본 연구는 정확한 지표 파라미터를 제공하여 수문학, 기상학적 연구나 식생지도 제작에 대한 정확도를 향상시킬 것으로 사료되어지며 특히 정확히 제작된 식생지도는 종관 규모 및 중규모 기후모델이나 기상모

델의 입력 자료서 그 오차를 감소시키는데 일조 할 것이다.

향후 다른 정규화 법을 비교하여 한반도 영역에 적합한 정규화법 제시 및 변동성을 비교할 계획이다. 최근 NASA에서 Aqua 위성을 발사 하였다. Aqua위성에도 MODIS 센서가 탑재되어 있다. 이것은 지금 일 4 회 관측에서 일 8회 관측의 높은 시간적 해상도를 제공하게 된다. 이렇게 높은 시간적 해상도를 가지고 10일 단위 합성 일을 조금 더 줄일 수 있을 뿐만 아니라 많은 관측일수로 모델의 정확성이 더 향상 될 것이다.

References

- 서명석, 이동규, 1999 : NOAA/AVHRR 주간 자료로부터 지면 자료 추출을 위한 구름 탐지 알고리즘의 개발. *한국원격탐사학회지*, 15, 3, 239-251.
- Ackerman, S. A., K. I. Strabala, W. P. Menzel, R. A. Frey, C. C. Moeller, L. E. Gumley, B. A. Baum, C. Schaaf, and G. Riggs, 1997: Discriminating clear sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document
- Csiszar, I., Gutman, G., Romanov, P., Leroy, M., and Hautecoeur, O. (2001). Using ADEOS/POLDER data to reduce angular variability of NOAA/AVHRR reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 76:399-409.
- Duchemin, B., Berthelot, B., Dedieu, G., Leroy, M., & Maisongrande, P.(2002). Normalisation of directional effects in 10-day global syntheses derived from VEGETATION/SPOT: II. Validation of an operational method on actual data sets. *Remote Sensing of Environment*, 81, 101-113.
- Duchemin, B., and Maisongrande, P.(2002). Normalisation of directional effects in 10-day global syntheses derived from VEGETATION/SPOT :I. Investigation of concepts based on simulation. *Remote Sensing of Environment*, 81:90-100
- Gao, W. (1993). A simple bidirectional-reflectance model applied to a tallgrass canopy. *Remote Sensing of Environment*,

45:209-224

Gutman, G., Tarpley, D., and Ohring, G. (1987). Cloud screening for determination of land surfaces characteristics in a reduced resolution satellite data set. *International Journal of Remote Sensing*, 8:859-870.

Gutman, G.(1994). Normalization of multi-annual global AVHRR reflectance data over land surface to common sun-target-sensor geometry. *Advanced Space Research*, 14:121-124

Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., and Sohlberg, R., Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach, *International Journal of Remote Sensing*

Han Kyung-Soo Jean-Louis Champeaux, Jean-Louis Roujean(2004). A land cover classification product over France at 1 km resolution using SPOT4/VEGETATION data. *Remote Sens. Environ*, 92, 52-66.

Holben, B. N.(1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417-1434

Jing M. Chen and Sylvain G. Leblanc. (1997). A Four-Scale Bidirectional Reflectance Model Based on Canopy Architecture. *IEEE Transactions on Geo science and Remote Sensing*, Vol. 35, NO. 5

J. M. Chen and J. Cihlar. (1997). A hotspot function in a simple

bidirectional reflectance model for satellite applications. Journal of geophysical Research, vol. 102, NO. D22, 25,907-25, 913.

Leroy, M., & Roujean, J. L. (1994). Sun and view angle correction on reflectance derived from NOAA/AVHRR. IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, 32-3, 684-679.

Roujean, J. L., Leroy, M., and Dechamps, P.Y.(1992). A bidirectional reflectance model of the earth's surface for the correction of remote sensing data. Journal of Geophysical Research, 97: 20455-20468.

Simpson, J. J., and J. I. Gobat, 1996, Improved cloud detection for the daytime AVHRR scenes over land. Remote Sens. Environ, 55, 123-150.

Sylvain G. Leblanc, Patrice Bicheron, Jing M. Chen, Marc Leroy, and Josef Cihlar. Investigation of Directional Reflectance in Boreal Forests with an Improved Four-Scale Model and Airborne POLDER Data. Transactions on Geo-science and Remote Sensing, Vol. 37, NO. 3

Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiance from AVHRR data, *Int. J. of Remote Sens.*, 9, 0, 21,077-21,090, 1995.

Wanner, W., X. Li, and A. H. Strahler, On the derivation of kernels for kernel driven models of bidirectional reflectance, Journal of Geophysical Research, 1021 49.

- William C. Snyder. (2002). Definition and Invariance Properties of Structured Surface BRDF. Transactions on Geo-science and Remote Sensing, May 9, 2002
- Wu, A., Li, Z., and Cihlar, J. (1995). Effects of land cover type and greenness on advanced very high resolution radiometer bidirectional reflectances: analysis and removal. Journal of Geophysical Research, 100:9179-9192.
- Z. Wang, X. Zeng, and M. Barlage. (2003). Using MODIS BRDF and Albedo Data to Evaluate Global Model Land Surface Albedo. Journal of Hydrometeorology Volume 5.

부록.A.각각의 날짜에 대해서 전후 15일에 대한 정규화과정을 이용하여
산출한 반사도 $\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_c = 0)$ 값

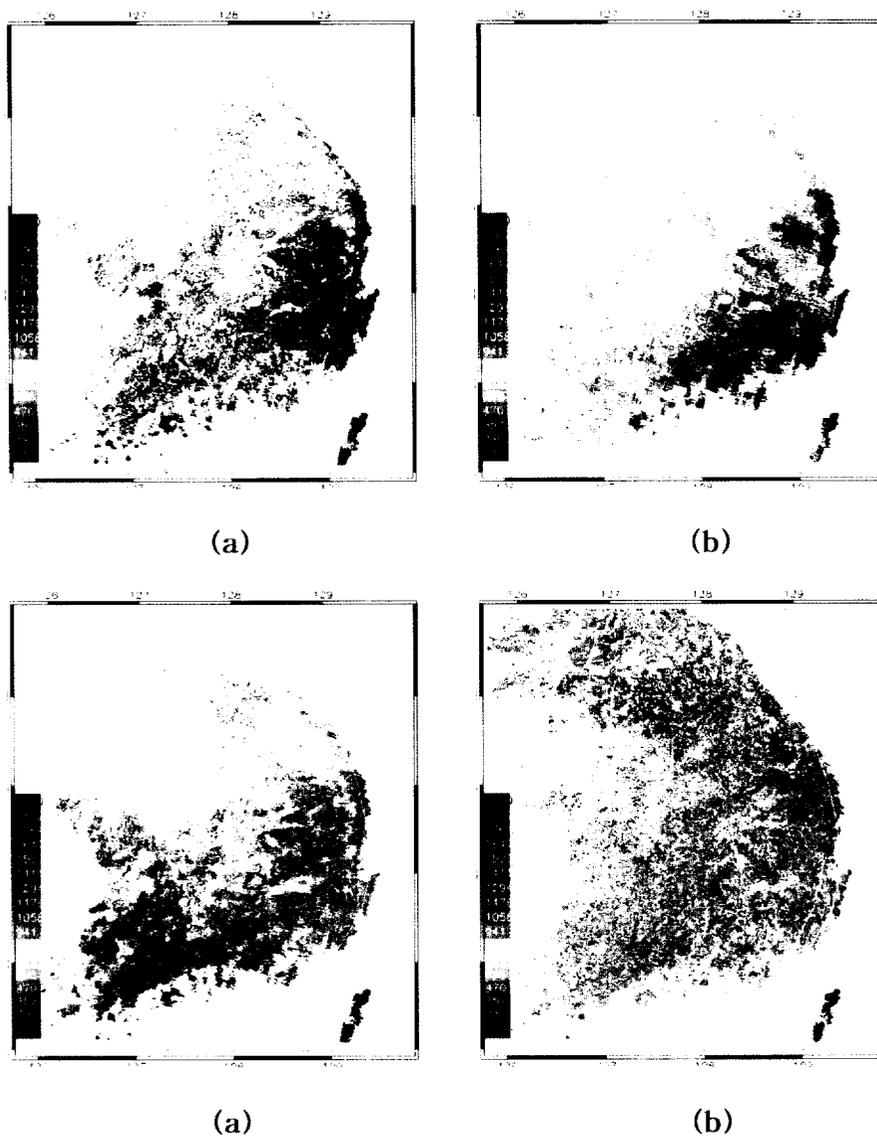


Fig.a.1. Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001

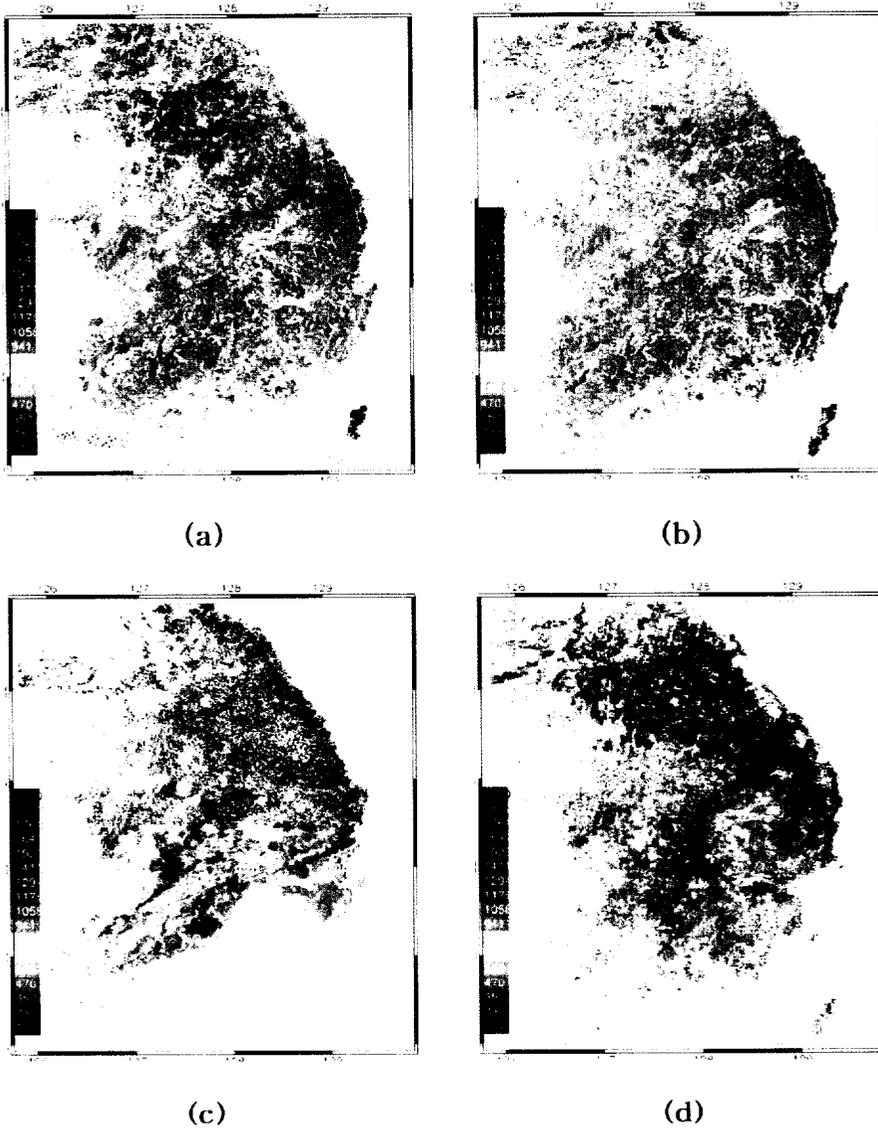


Fig.a.2. Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001

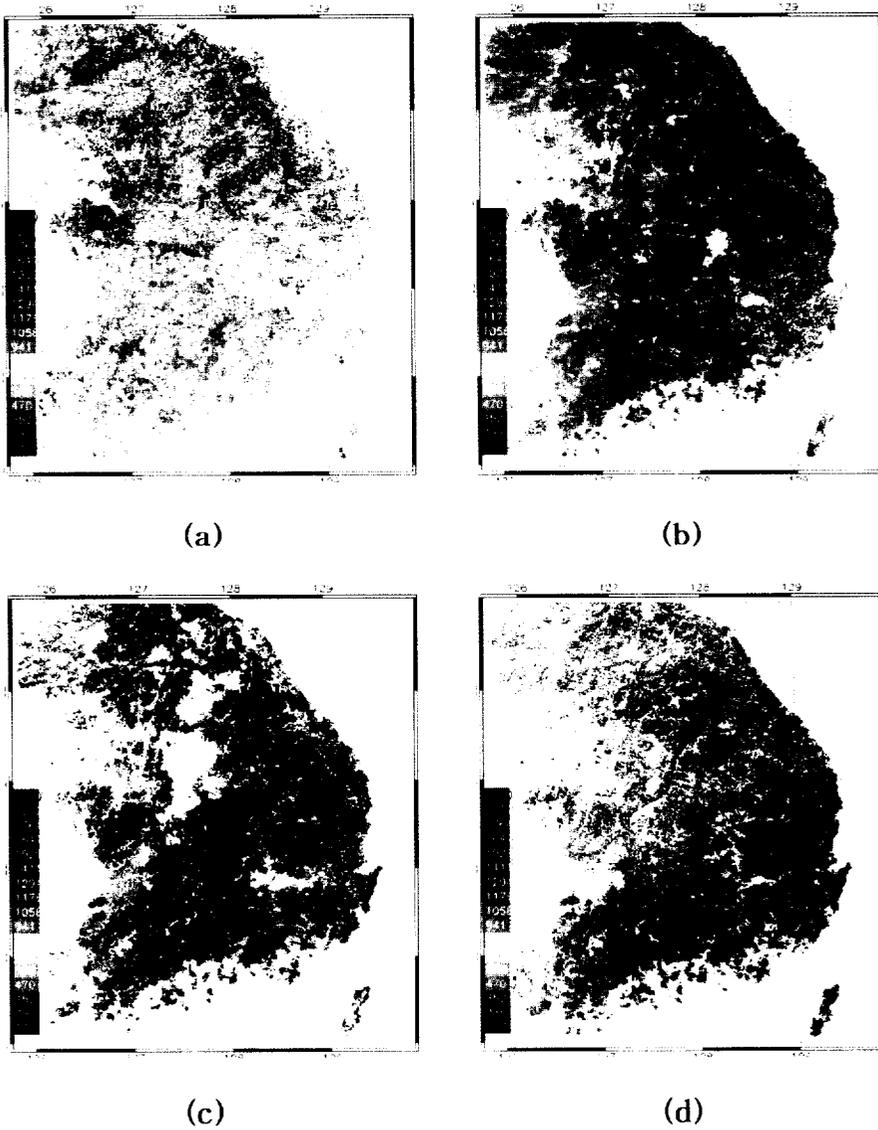


Fig.a.3 Ch1 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001

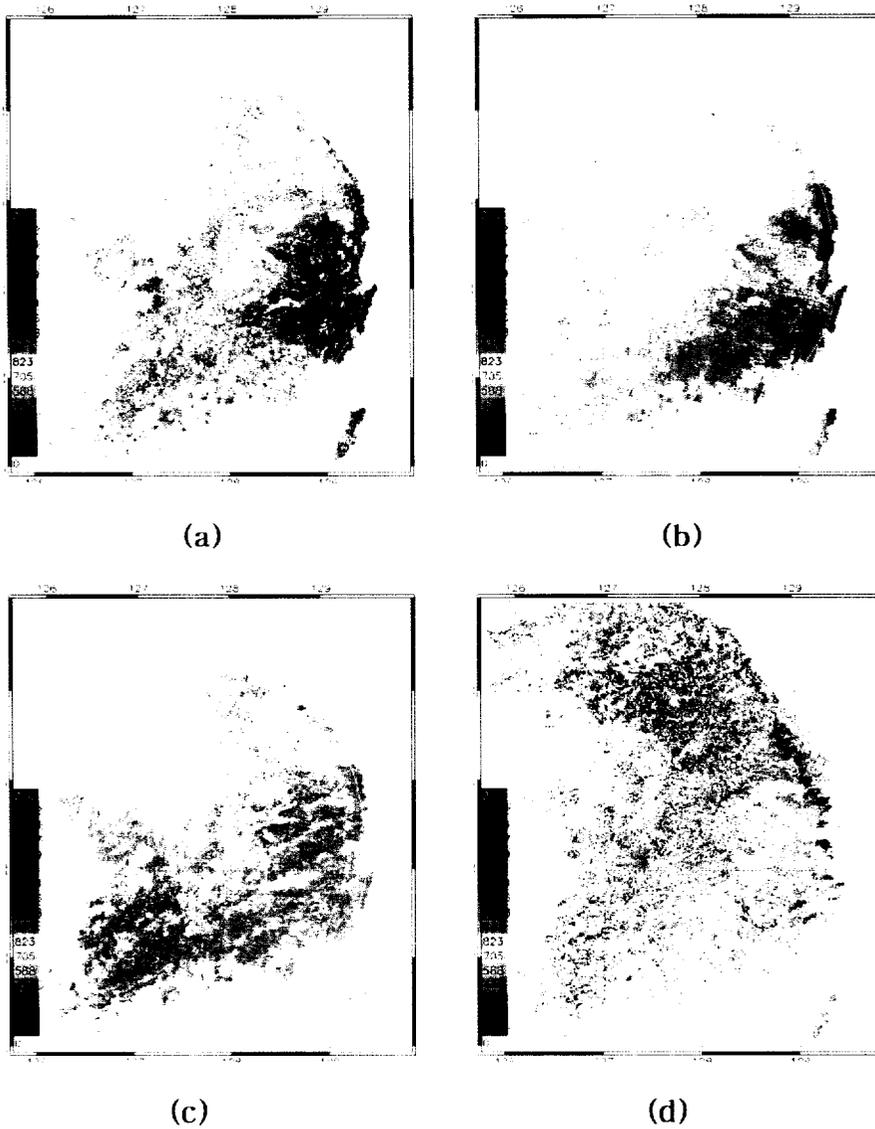


Fig.a.4 Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001

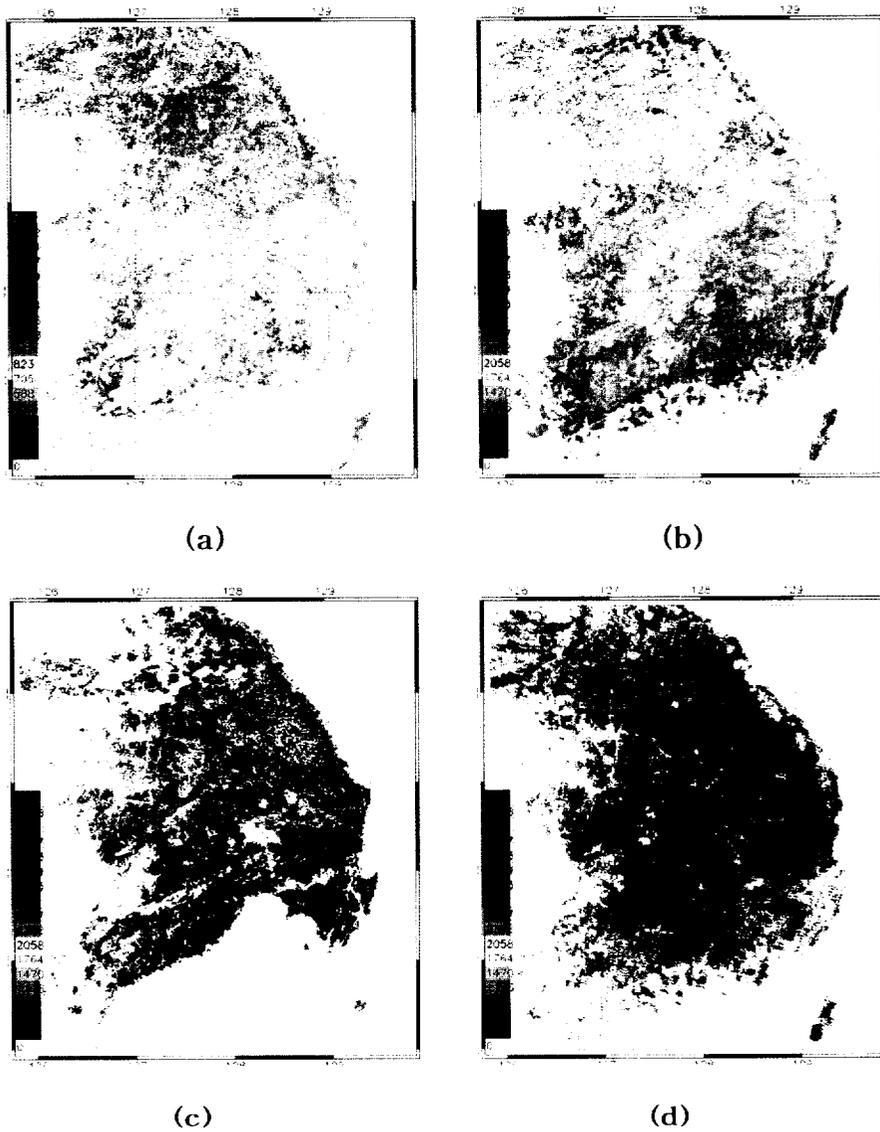


Fig.a.5 Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001

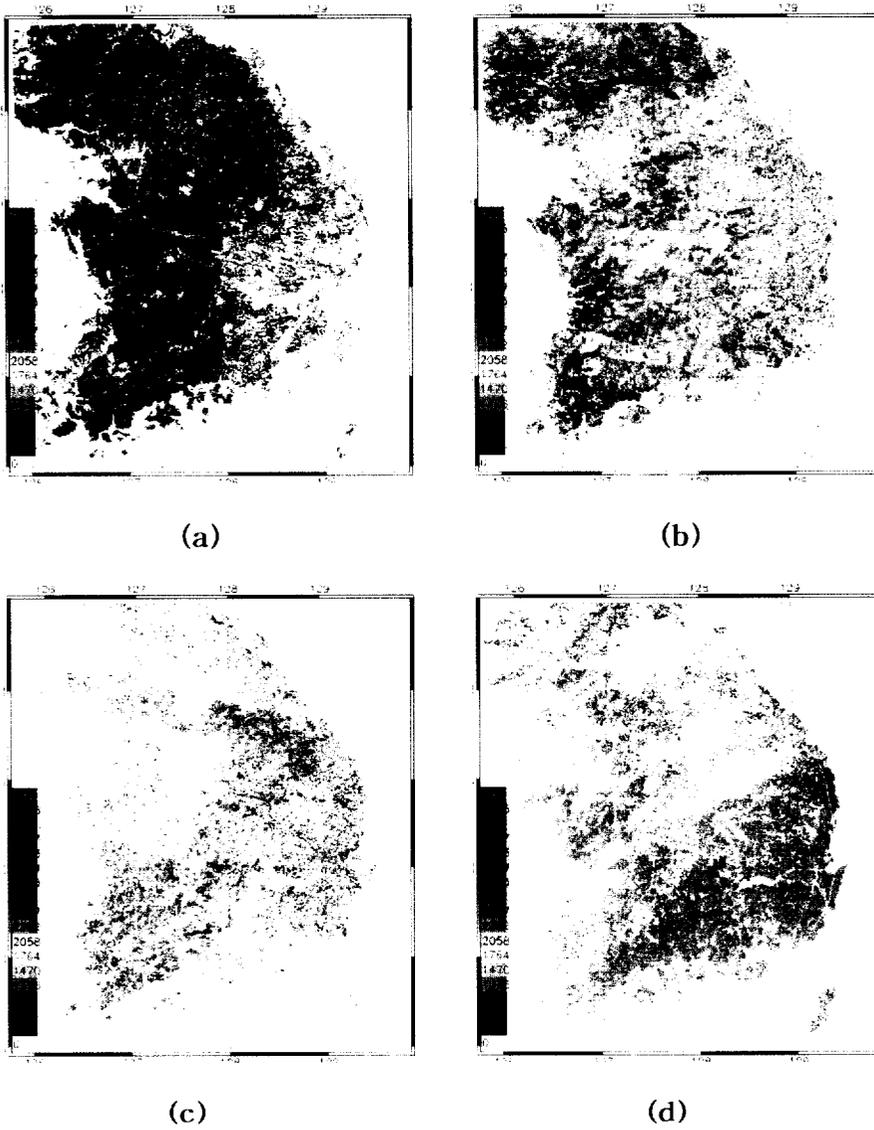


Fig.a.6 Ch2 Normalized Reflectance images via BRDF model (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001

부록.B. 정규식생지수(NDVI:Nomalized Difference Vegetation Index)의
MVC(Maximum Value Composites)값

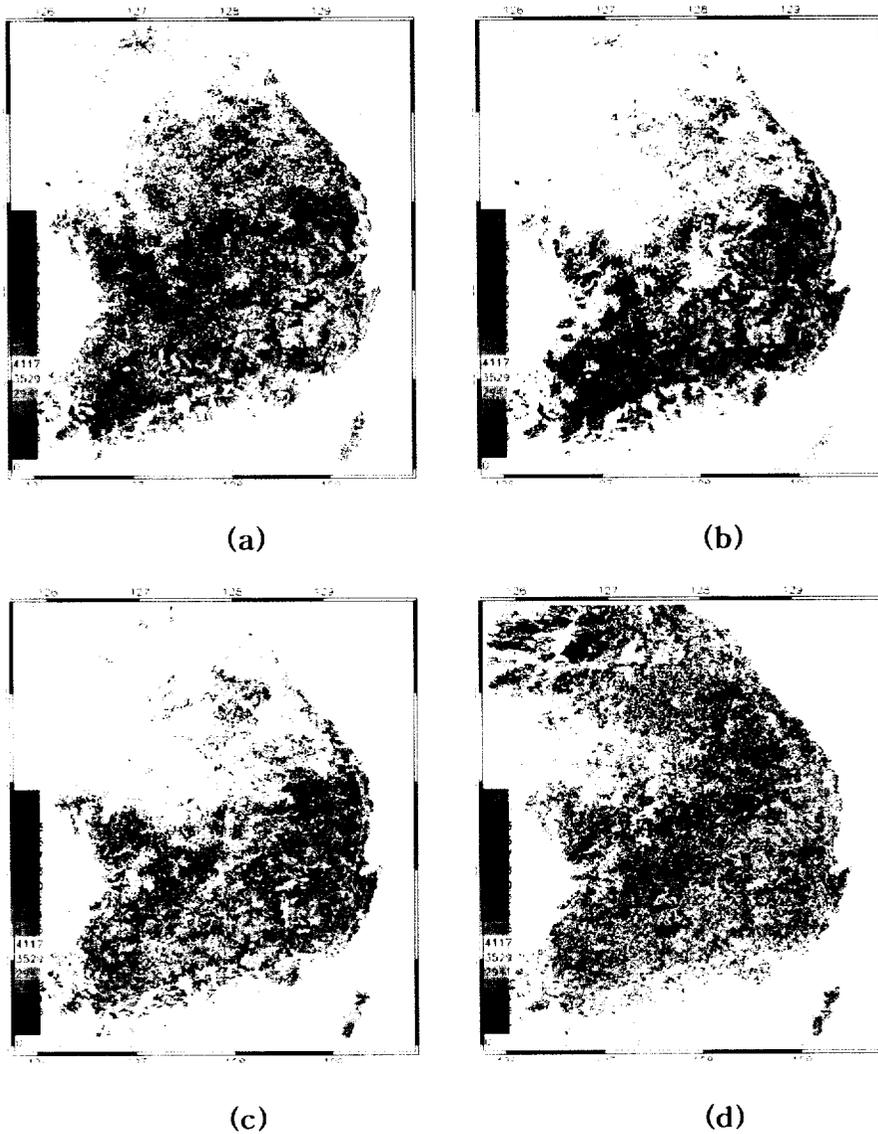


Fig.b.1. Normalized NDVI MVC images (a) 15, January 2001, (b) 25, January 2001, (c) 14, February 2001 and (d) 26, March 2001

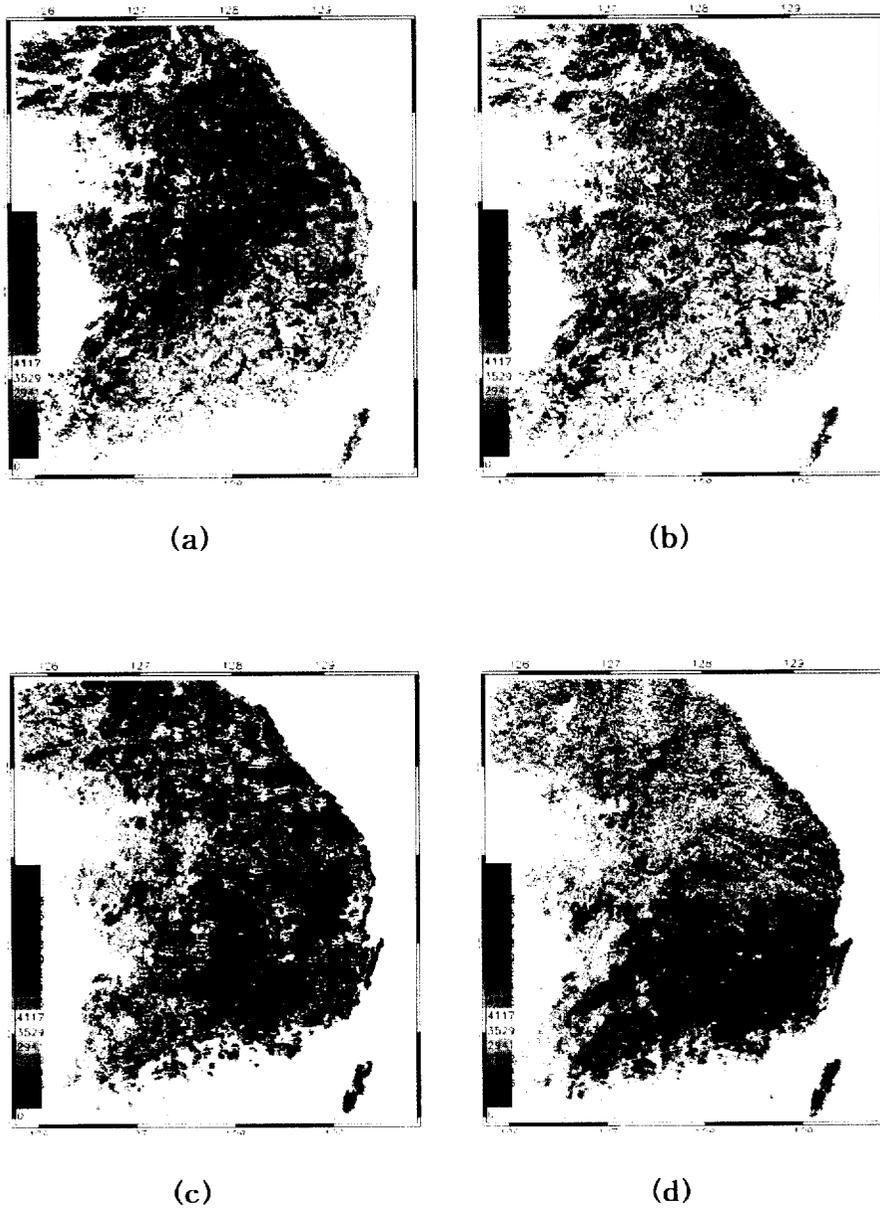
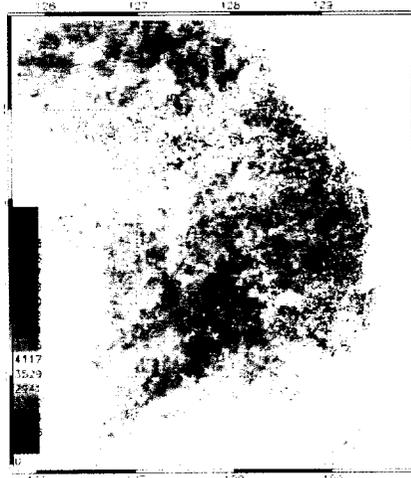


Fig.b.2. Normalized NDVI MVC images (a) 5, April 2001, (b) 15, April 2001, (c) 25, May 2001 and (d) 14, June 2001



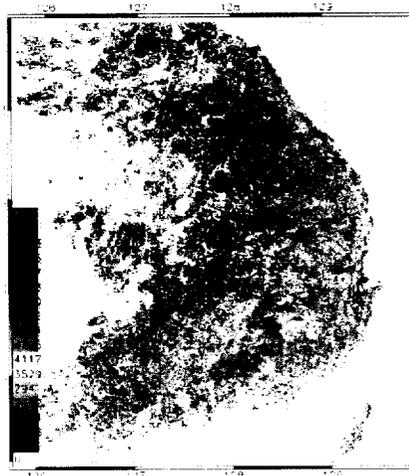
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.b.3 Normalized NDVI MVC images (a) 13, August 2001, (b) 12, September 2001, (c) 2, October 2001 and (d) 1, December 2001

감사의 글

제 학업의 노력의 결실인 학위 논문이 완성 되었습니다. 2년의 시간동안 많은 일들이 있었지만 제 주위 사람들의 많은 도움으로 이겨낼 수 있었습니다. 그분들로 인해 이 논문이 완성 할 수 있었기에 감사 인사들 드립니다.

무엇보다 저를 연구자의 길로 인도하시고, 언제나 제 뒤에서 많은 사랑을 주셨던 한영호 교수님께 가장 먼저 고개 숙여 감사를 드립니다. 4년이 넘는 시간동안 교수님께서 주신 배움과 따뜻함이 저에게는 항상 큰 힘이 되었습니다. 또한, 학문의 가르침뿐만 아니라 인생의 지혜를 가르쳐 주셨던 교수님과의 소중한 인연을 항상 마음속에 간직합니다. 앞으로 어디에서든 부끄럽지 않은 제자가 되기 위해서 항상 노력하겠습니다. 다시 한번 감사드립니다.

바쁘신 와중에도 많은 관심과 걱정을 해주시던 김영섭 교수님, 저에게 많은 가르침을 주셨던 이동인 교수님, 변희룡 교수님, 오재호 교수님, 권병혁 교수님께 감사의 인사를 드리고, 저의 지도교수님이셨던 옥곤 교수님의 가르침과 보살핌에 깊은 감사드립니다.

제 논문에 가장 많은 도움과 질책을 주시면 제가 성장 할 수 있도록 항상 옆에서 지켜 봐 주신 경수 선배님께서 진심으로 감사 인사드립니다.

대기원격탐사 실험실에서 한술밥을 먹으며, 함께 웃으며, 때론 함께 밤을 지새웠던 실험실 후배들에게 감사드립니다. 항상 실험실원을 챙기면서 어려운 일 맡아온 미정아, 같은 전공으로 마지막까지 정말 많은 도움을 준 민정아, 말은 없지만 항상 챙겨주는 소희, 가장 오래 같이 실험실 생활을 하고 석사생활

을 잘 할 수 있게 도와준 향미, 지금쯤 열심히 공부하고 있을 정은이, 분위기 메이커였던 수경이, 그리고 뒤에서 묵묵히 도와준 막내 재희... 가족 같은 실험실원들에게 진심으로 감사의 말을 전하고 싶습니다.

10년의 세월을 같이하고, 언제나 나에게 믿음을 준 백경검도회 7기 동기들.. 기장 희훈이, 영진이, 준호, 재우, 태우, 정아, 미영이, 주형이, 준영이, 화영이, 혜진이, 주홍이, 그리고 정열이.. 작은 일부터 큰일 까지 항상 내게 큰 도움이 된 동기들아.. 고맙다.

그리고 위성연구소에 많은 일을 도와 주셨던 경원이 선배, 이번에 석사 들어오는 민호, 이야기 친구가 되고 좋은 말 많이 해주는 수정, 매일 밤새는 한세, 기상청에서 열심히 일하고 있는 동순, 옆에서 모자라는 점 많이 챙겨 주는 인자, 그리고 졸동으로 힘들었던 석사생활을 같이 하면 서로에게 의지가 되었던 유원이 그리고, 항상 옆에서 힘이 되고 가장 든든한 친구 철수에게 고마움을 뜻을 전하고자 합니다.

어린 시절부터 함께 자라온 20년 지기 친구 신조, 항상 주위에서 큰 의지가 되어준 성한, 닭을 좋아하는 성희누나, 그리고 의리의 사나이 병철이 형에게도 감사를 전하며 올해의 성공을 기원합니다.

마지막으로 지금까지 저를 키워 주시고 오늘의 저를 있게 해주신 부모님께 고개 숙여 감사 인사를 드립니다. 항상 자식이 하는 일에 대해서 믿음을 가지고 도와 주셨던 부모님의 사랑을 가슴에 간직하고 있습니다. 그리고 군대에서 열심히 군복무하는 우영이.. 열심히 군생활 잘해서 건강한 모습으로 제대하길 바란다.