

## 한반도 식생에 대한 MODIS 250m 자료의 BRDF 효과에 대한 반사도 정규화

염종민\* · 한경수\*\*† · 김영섭\*\*

부경대학교 환경대기과학과\*, 부경대학교 위성정보과학과\*\*

### A Reflectance Normalization Via BRDF Model for the Korean Vegetation using MODIS 250m Data

Jongmin Yeom\*, Kyungsoo Han\*\*†, and Youngseup Kim\*\*

Dept. of Environmental Atmospheric Science, Pukyung National University\*

Dept. of Satellite Information Science, Pukyung National University\*\*

**Abstract :** The land surface parameters should be determined with sufficient accuracy, because these play an important role in climate change near the ground. As the surface reflectance presents strong anisotropy, *off-nadir viewing results a strong dependency of observations on the Sun - target - sensor geometry*. They contribute to the random noise which is produced by surface angular effects. The principal objective of the study is to provide a database of accurate surface reflectance eliminated the angular effects from MODIS 250m reflective channel data over Korea. The MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor has provided visible and near infrared channel reflectance at 250m resolution on a daily basis. The successive analytic processing steps were firstly performed on a per-pixel basis to remove cloudy pixels. And for the geometric distortion, the correction process were performed by the nearest neighbor resampling using 2nd-order polynomial obtained from the geolocation information of MODIS Data set. In order to correct the surface anisotropy effects, this paper attempted the semiempirical kernel-driven Bi-directional Reflectance Distribution Function(BRDF) model. The algorithm yields an inversion of the kernel-driven model to the angular components, such as viewing zenith angle, solar zenith angle, viewing azimuth angle, solar azimuth angle from reflectance observed by satellite. First we consider sets of the model observations comprised with a 31-day period to perform the BRDF model. In the next step, Nadir view reflectance normalization is carried out through the modification of the angular components, separated by BRDF model for each spectral band and each pixel. Modeled reflectance values show a good agreement with measured reflectance values and their RMSE(Root Mean Square Error) was totally about 0.01(maximum=0.03). Finally, we provide a normalized surface reflectance database consisted of 36 images for 2001 over Korea.

**Key Words :** MODIS 250m, BRDF, nearest neighbor, normalized reflectance.

---

2005년 10월 11일 접수 ; 2005년 12월 12일 수리.

† 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

**요약 :** 지표변수는 지면 근처의 기후변화에 중요한 역할을 하기 때문에, 충분히 높은 정확성을 가진 값이 산출되어야 한다. 하지만 지표 반사도는 강한 이방성(non-Lambertian) 특징을 가지고 있기 때문에, 위성 천저각으로부터 멀어질수록 태양-지점-위성과의 기하학적 영향을 더욱 강하게 받는 효과를 가져온다. 또한 지표 각 영향을 포함하고 있는 지표 반사도는 노이즈를 가지게 된다. 따라서 본 연구의 목적은 한반도 지역의 MODIS 반사도 자료(250m)를 이용하여 각 영향이 제거된 보다 정확한 반사도 값에 대한 데이터베이스를 제공하는 것이다. 본 연구에서는 매일 2회씩 제공하는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)센서의 가시영역과 근적외영역의 반사도(250m)자료를 이용하였다. 먼저 구름화소를 제거하기 위해서 연속적인 물리과정을 통하여 각각의 구름 화소를 제거 하였다. 그리고 지리보정은 MODIS 센서에서 제공하는 지리정보자료를 이용하여 2차 다항회귀식을 통한 최근접 내삽법을 사용하였다. 본 연구에서는 지표 이방성 효과를 보정하기 위해서 반 경험적 양방향성분포함수(BRDF) 모델을 사용하였다. 이 알고리즘은 위성으로부터 관측된 위성천정각, 태양천정각, 위성방위각, 태양방위각과 같은 각 성분을 이용하여 Kernel-derived 모델의 역변환을 통하여 지표 반사도를 재생산한다. 먼저 우리는 BRDF모델을 수행하기 위해 총 31일 모델 관측 실행기간을 고려하였다. 다음 단계로 각각의 화소 및 밴드에 대해서, BRDF 모델을 통하여 분리된 각 성분들을 변조함으로써 위성 직하점 반사도 정규화가 수행되었다. 모델을 이용하여 산출된 반사도 값은 실제 위성 반사도 값과 잘 일치하였고, RMSE(Root Mean Square Error)값은 전체적으로 약 0.01(최고값=0.03)이었다. 마지막으로, 우리는 한반도 지역에 대해서 2001년 동안 총 36개로 구성된 정규화 지표반사도 값의 데이터베이스를 구축하였다.

## 1. 서론

인간 활동의 증가에 따른 전 지구적인 기후변화는 지난 수십 년 동안 인류에게 큰 위협으로 다가 왔으며 반드시 풀어야 할 과제이기도 하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 정확하고 빠른 기상예보와 기후의 모수화 및 감시가 필요하다. 최근에는 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 진단하고 이해하는 것이 필요하다 (Tarpley et al., 1984; Justice et al., 1985). 전 지구적인 영역에 대한 여러 가지 물리적 변수의 변화를 연속적으로 감시하고 경제적, 효율적으로 관측하기 위해서는 위성의 사용이 절대적이다. 무엇보다 위성의 장점은 여러 가지 물리적인 변수를 넓은 지역에 대해서 짧은 시간 내에 지속적으로 제공할 수 있다는 것이다.

미국항공우주국(National Aeronautical and Space Agency, NASA)은 지구환경시스템을 보다 정확하게 관측하기 위해서 지구관측 시스템(Earth Observing

System, EOS) 중 하나인 Terra 위성을 1999년 12월 28일에 발사하였다. Terra위성에 탑재된 MODIS(The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 센서는 다양한 공간 분해능으로 전 지구영역의 여러 가지 물리적인 변수를 관측할 수 있는 기회를 제공한다. MODIS 센서는 총 36개의 채널로 구성되어 있고 채널에 따라 250m, 500m, 그리고 1km의 해상도의 자료를 제공하고 있다. 또한, 기존 NOAA 위성의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)센서보다 발전된 것으로 향후 지구 환경과 기후변화의 모니터링을 위한 중요한 자료제공자로서의 역할을 할 것으로 보인다.

하지만 위성에서 얻어진 태양분광 영역내 반사도의 민감성 때문에 서로 다른 시간을 패스한 화상들뿐만 아니라 같은 화상내에서조차도 화소간의 절대 비교가 불가능하게 된다. 이것은 MODIS센서뿐만 아니라 모든 위성의 센서의 자료가 다중 관측각을 제공하기 때문인데, 이러한 특성은 관측된 반사도에 양방향성효과(Bidirectional effects)를 발생시키게 된다. 대부분의 지표식물특성은 이방성(non-Lambertian) 반사특성을 가지고 있다 (Kimes, 1983). 짧은 기간 동안 고유한 반사특성을 가지고 있는 지면이지만 태양과 센서의 관측

방향에 따라서 더 밝게 보이거나 혹은 더 어둡게 보인다. 일반적으로 후방산란방향에서 관측된 반사도 값이 전방산란방향에서 관측된 값보다 더 높다. 또한 방향성 효과는 태양으로부터 입사각과 위성센서의 관측각이 동일면상에 있을 때 반사도 값이 가장 뚜렷하게 나타나는데, 이러한 경우 hot spot이 보이게 된다. 따라서 단순히 태양과 위성, 지점간의 상대적인 위치에 따라서 반사도 값이 크게 변화하지 않는 등방성 지표라면, BRD 효과를 고려할 필요가 없지만, 그렇지 않으면 양방향성 효과에 대한 보정이 이루어져야 보다 정확한 값을 산출할 수 있다. 특히 지구상의 대부분의 지표는 이방성의 반사특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 MODIS와 같은 극궤도위성은 매 관측시마다 태양과 위성의 위치가 항상 변화하기 때문에 양방향성 효과에 대한 보정은 필수적이다.

지표의 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) 모형을 통하여 분석, 연구되었다. 본 연구에서 사용한 정규화 방법은 Roujean 모형(Roujean *et al.*, 1992)을 기본으로 하여 개발된 Gutman(1994), Wu *et al.* (1995) 그리고 Duchemin and Maisongrande (2002)에 의해 제시된 방법을 이용하였다.

본 연구의 목적은 먼저, 식물의 생산량이나 생체량과 같은 생물리적 지수를 산출 할 때 발생하는 BRD 효과를 제거하여 보다 정확한 지표 변수를 제공하는 것이다. 또한 BRDF모형을 통하여 재생산된 반사도 값을 이용하여 세부 산림 종에 따른 반사특성을 규정하고 계절별 변동성을 감시 하고자 한다. 마지막으로 정규화과정을 통해 재생산된 보다 정확한 채널 반사도 값을 제공하는 것이 그 목적이 있다. 이러한 연구는 향후 기후학 연구, 식생 지도 생산 및 환경 모니터링에 필요한 데이터 베이스 구축에 기여를 하고, 나아가 정규화과정을 통하여 생산된 자료는 기상 예보모델과 기후 모델의 입력 자료로 사용되어 모델 예보 적중률을 높일 수 있을 것이다.

## 2. 자료와 영상처리

MODIS센서는 가시광선에서 적외선 영역(0.405~

14.385 $\mu$ m)까지의 범위에 대하여 총 36개 채널 자료를 제공하고 있으며 공간 해상도는 채널에 따라서 250m(채널1번과 2번), 500m(채널 3번~7번), 1km(채널8번~36번)이다. 본 연구에서는 HDF-EOS (Hierarchical Data Format-Earth Observation System) 파일형태로 제공되는 MODIS의 가시광선 밴드인 채널 1과 근적외선 밴드인 채널 2번의 원시 자료(MOD02 product)와 해당 화상의 지리정보자료 및 태양-지점-위성간의 각도성분에 대한 자료(MOD03 product)가 사용되었다(Table 1). 자료 기간은 2001년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지 1년 동안 MODIS자료 중 구름화소가 연구 영역의 95%이상의 지역을 덮고 있는 날을 제외한, 총 261일의 자료를 사용하였다. 연구지역은 위도 34.0° N~39.0° N, 경도 125.8° E~129.8° E의 한반도 영역이고 Fig. 1에 나타내었다. 연구지역의 지표 형태를 파악하기 위한 토지피복분류지도는 미국 Maryland 대학에서 총 13 지표형태로 분류하여 제공하는 1km 전지구 토지피복분류지도(UMD)를 사용하였다(Fig. 1).

취득된 위성 영상에 대하여 우선적으로 수행된 작업은 지리보정과 구름제거과정이다. 지리보정은 지상기준점(GCP: Ground Control Points)을 이용한 최근접내삽법을 통하여 이루어졌고, 이때 총 40000개의 GCP를 임의로 선택하여 사용하였다. 지리보정 과정에서 발생한 오차는 x축과 y축 모두에 대해 0.5 픽셀 이내의 RMSE(Root Mean Square Error)로 나타났다. 지표면 정보를 산출함에 있어 중요한 부분을 차지하고 있는 구름탐지 및 제거는 현재 가장 빈번히 사용되고 있는 임계값 방법을 사용하였다. 임계값 방법은 임의의 화소에 대해서 구름이 없는 지표의 특성값과 비교하여 임계값을 벗

Table 1. 250 m channels of MODIS sensor onboard Terra satellite.

	Spectral band	Spatial resolution	Temporal resolution
Channel 1	620 ~ 670nm (Visible)	250m × 250m* 500m × 500m 1km × 1km	2/day (irregular interval)
Channel 2	841 ~ 876nm (Near Infrared)	250m × 250m* 500m × 500m 1km × 1km	2/day (irregular interval)

\* resolution used in this study

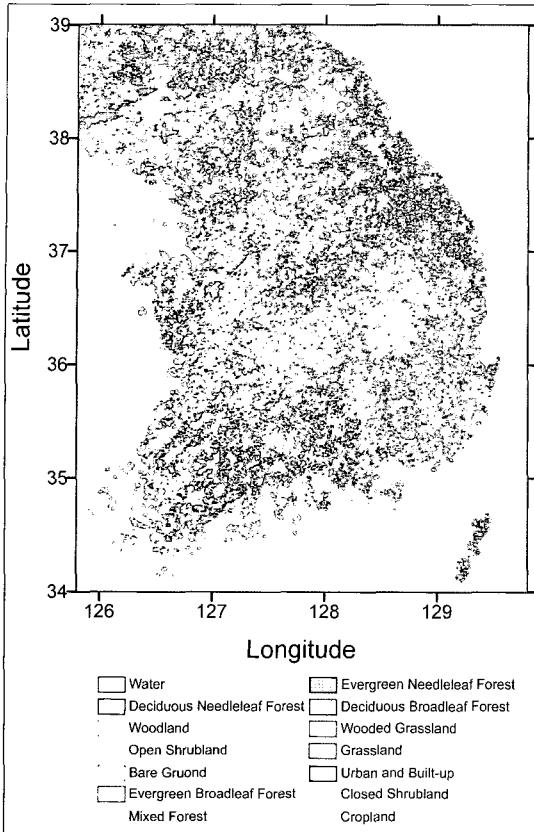
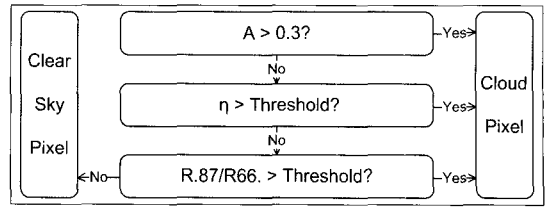


Fig. 1. 1 km land cover map of the University of Maryland over the study area.

어떤 구름으로 간주하기 때문에 임계값 알고리즘으로 구름을 탐지하는 과정에서 기본적으로 발생하는 문제는 임계치를 어떻게 정하느냐에 달려있다(서명석과 이동규, 1999). 수많은 연구와 노력에도 불구하고 정확한 구름 제거는 현실적으로 큰 신뢰를 주지 못하는 것이 사실이다. 왜냐하면 구름의 복사 특성은 구름의 종류, 고도 및 크기 등에 따라서 변화하기 때문이다 (Simpson and Gobat, 1996). 본 연구에서는 Shine *et al.*(1996), Saunders and Krebel(1988)과 McClain(1993) 등에 의해 제시된 임계값 알고리즘을 통합해서 사용하였다. 구름제거 과정에 대한 전체적인 모식도는 Fig. 2에 나타내었다. MODIS 채널 중 가시채널과 근적외 채널만이 250m의 해상도를 제공하기 때문에 적외 영역의 채널(1km)의 도움을 받기가 힘들고 상대적으로 1km의 해상력을 이용하였을 때와 비교하면 구름의 식별능력이



$$A = \frac{\text{Channel 1 reflectance} + \text{Channel 2 reflectance}}{2}$$

$$R.87/R.66 = \frac{\text{Channel 1 reflectance}}{\text{Channel 2 reflectance}}$$

$$\eta = \frac{2(R_{.66} - R_{.87}) + 1.5R_{.66} + 0.5R_{.87}}{(R_{.66} - R_{.87}) + 0.5}$$

Fig. 2. Flowchart for cloud detection.

다소 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 구름 화소를 결정 짓는 임계값을 충분히 낮게 설정하여 구름을 제거하였다. 이러한 결정은 청천영역 중 일부 화소를 구름으로 과대평가를 하는 단점은 있지만 반대로 구름화소를 과소평가하여 구름의 잔상이 남게 되어 오차를 발생시키는 현상을 주어진 환경에서 최소화할 수 있기 때문이다.

### 3. BRDF 모델과 정규화 알고리즘

Kernel-driven 반 경험적 모델들은 BRDF를 산출하기 위해 좋은 효율성으로 복잡한 관계들을 풀어낼 수 있게 한다(Duchemin and Maisongrande, 2002). 여러 BRDF 모델 중 본 연구에서는 Roujean *et al.*(1992)의 모델이 선택되었는데, 이것은 이 모델이 여러 연구들(Leroy and Roujean, 1994; Leroy, 1997; Csiszar *et al.*, 2001)에 의해 AVHRR센서에 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.

$$\rho(\theta_s, \theta_v, \phi) = K_0 + K_1 f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) + K_2 f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (1)$$

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

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

$$\cos\zeta = \cos\theta_s \cos\theta_v + \sin\theta_s \sin\theta_v \cos\phi \quad (4)$$

여기서  $\rho$ 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  $0^\circ$  일 때( $\theta_s = \theta_v = 0$ ) 양방향성 반사도를 나타낸다.  $K_1$ 과  $K_2$ 는  $f_1$ 과  $f_2$ 의 기여도를 관측한다. BRDF 모델의 단위 실행은 각 화소에 대하여 총 31일의 composit 기간과 10일의 sliding 기간을 적용하였고 composite 기간 중 최소 4일의 청천 화소가 확보되었을 때에만 작업을 수행하였다(그렇지 못할 경우는 missing으로 처리함).

식 (1)에서  $K_0$ 는 등방성 반사도 kernel로서도 사용할 수도 있으나 때때로 상당한 오차를 나타내는 경우 (Duchemin & Maisongrande, 2002; Han *et al*, 2004) 가 있기 때문에 본 연구에서는 BRDF 모델을 통하여 얻어진 결과를 기반으로 개발된 Duchemin and Maisongrande(2002)의 독립된 정규화 방법을 적용하였고 이것은 다음과 같다.

$$\rho_{norm} = \rho_{model(i)}(\theta_s = \text{mean}, \theta_v = 0) + \rho_{measured} - \rho_{model}(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (5)$$

여기서  $\rho_{measured}$ 는 위성에서 관측된 반사도 값이고,  $\rho_{model(i)}(\theta_s = \text{mean}, \theta_v = 0)$ 는 BRDF 모델을 이용하여 산출된 값이다. 는 각도성분을 강제로 조작하여 (평균 태양천정각과 위성 천정각이 0) BRDF 모델에 적용하였을 때 출력되는 값이다.

$$\rho_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{norm(i)} \quad (6)$$

식 (6)에서  $\rho_{norm(i)}$ 는 I번째 날의 정규화된 반사도 값을 나타내고,  $\rho_N$ 는 composit 기간 동안 구름이 존재하지 않는 날의 수(N)에 대하여 합성된 정규화 반사도이다. 본 연구에서 적용한 31일의 composite 기간과 10일의 sliding 기간에 의하여 최종 산출물은 2001년 동안의 10-day 정규화 반사도로서 각 채널에 대하여 36개의 반사도 화상을 제공한다.

#### 4. 결과

본 연구에서 사용된 BRDF 모수화는 2001년 1월 1일

부터 12월 31일까지의 자료에 대해서 수행되었다. 앞에서 언급한 것처럼 모형의 한 프레임의 시계열적 기간은 31일 이고 10일 간격의 sliding period를 가지고 수행되어 총 36개의 최종 자료가 출력되었다. 식(1)에서  $f_1$ 은 확산 반사로 인한 양방향성 종속관계를 표현하고,  $f_2$ 는 체적산란에 대한 BRD에 대한 기여도를 나타낸다. 이러한 값들은 위성 천정각, 태양 천정각, 태양과 위성사이의 방위각을 이용하여 계산할 수 있다. 실제 위성 반사도 값을 표현함에 있어 미지수로 남아 있는 세 개의  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ 계수 값을 구하기 위해서는 최소 3개의 식이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시계열적 기간 중 구름이 없는 청천화소인 날의 수가 최소 4일 이상일 경우에만 모형을 수행하였다. 이렇게 다항회귀법을 통한 통계학적 기법으로 얻어진  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ 는 위성 반사도  $\rho$ 값을 재생산함에 있어 센서-지점-태양 간의 각도성분을 분해할 수 있는 역할을 한다.

Fig. 3에서 (a)와 (b)는 채널 1번과 채널 2번의 실제 반사도 값이고 (c)와 (d)는 BRDF 모델을 이용하여 재생산된 반사도 값이다. 육지에서 흰색으로 보여 지는 부분은 구름 화소로서 구름 제거 알고리즘을 통하여 처리된 값이다. 그림에서 (a)와 (c), (b)와 (d)를 각각 비교하면, 전체적으로 BRDF 모델을 이용하여 재생산한 반사도 값이 실제 반사도 값과 잘 일치되는 것을 볼 수 있다. BRDF 모델을 통하여 재생산된 반사도 값은 위성과 태양의 각도 성분으로 분해 할 수 있는 값으로서, 이후 정규화 과정에서 위성과 태양의 각 성분에 변화를 주어 최종적으로 BRD 효과를 제거 할 수 있는 값이다. 실제 위성 반사도 값과 BRDF 모델을 이용하여 재생산된 반사도 값이 정량적으로 얼마나 잘 일치하는가를 Fig. 4를 통하여 알 수 있다. Fig. 4에서 (a)와 (b)는 구름이 없는 관측일에 대해서, 실제 위성 관측값과 재생산된 반사도 값에 대한 계절별, 채널별 RMSE와의 관계를 보여 준다. 그림에서 보면 전체적으로 채널1번과 2번 모두 RMSE가 0.03보다 낮게 나타나 BRDF모델로 재생산된 반사도 값이 실제 위성값을 잘 모의하였다. Fig. 4에서 채널 1번과 2번의 RMSE 값은 관측 일수가 18 이하 일 때까지 큰 변화를 보이지 않다가, 그 이상의 관측 일수가 되면 RMSE가 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것으로 보아 관측일수가 높아지면 모델에서 재생산된

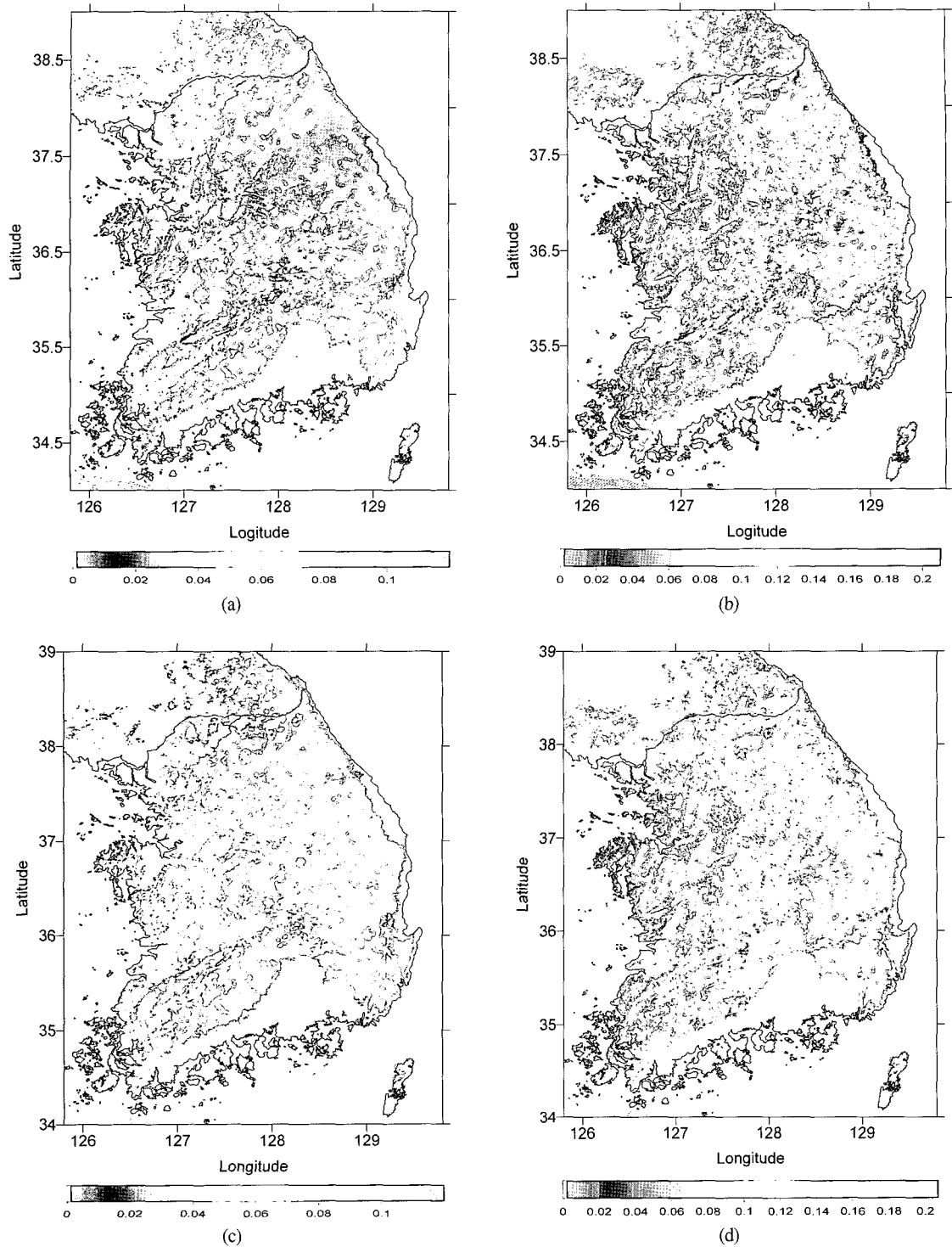


Fig. 3. The comparison between satellite-measured and modeled reflectances : (a) Ch1 Reflectance image ; (b) Ch2 Reflectance image ; (c) Ch1 reproduced Reflectance image via BRDF model ; (d) Ch 2 reproduced Reflectance image via BRDF model at 25, May 2001 (White colored region in the land : cloudy pixels).

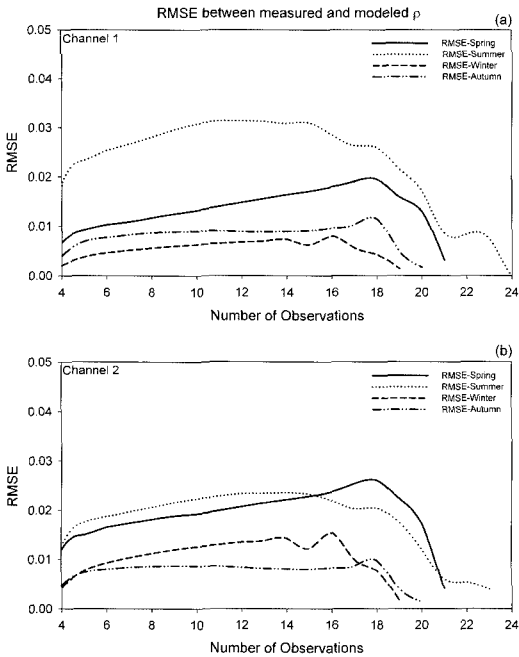


Fig. 4. Temporal variation according to cloud-free observation of the RMSE between measured and modeled reflectance : (a) Channel 1 reflectance values ; (b) Channel 2 reflectance values.

반사도 값이 실제 반사도 값을 더 잘 모의한 것을 알 수 있다. 향후 연구에서 Aqua 위성의 MODIS 자료를 이용하면 보다 높은 시간적 해상도를 가질 수 있기 때문에 높은 정확도의 BRDF모델 산출값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

계절별에 따른 RMSE는 채널 1번과 2번 모두 여름에 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 특히 채널 1번의 경우 현저하게 높게 나타난다. 이것은 한반도 여름의 날씨 특성상 장마와 태풍등과 같은 잦은 악기상 발생으로 인해 구름제거 과정 이후에도 제거되지 않은 구름화소가 존재할 가능성이 높기 때문이다. 모델합성기간 동안에 완벽하게 제거되지 않은 구름 화소들의 빈도가 높아지면서 모델의 정확도를 떨어지게 한다. 반면 채널 1번과 2번 모두 겨울과 가을에는 RMSE가 전반적으로 낮다. 이는 겨울과 가을에는 일반적으로 맑고 좋은 날씨일 경우가 상대적으로 많기 때문에 제거되지 않은 구름화소의 영향이 작기 때문인 것으로 보인다.

본 연구에서 사용된 정규화 과정은 Duchemin and Maisongrade(2002)가 제시한 방법을 이용하였다. Fig. 5는 BRDF 모델을 이용하여 재생산된 반사도 값을

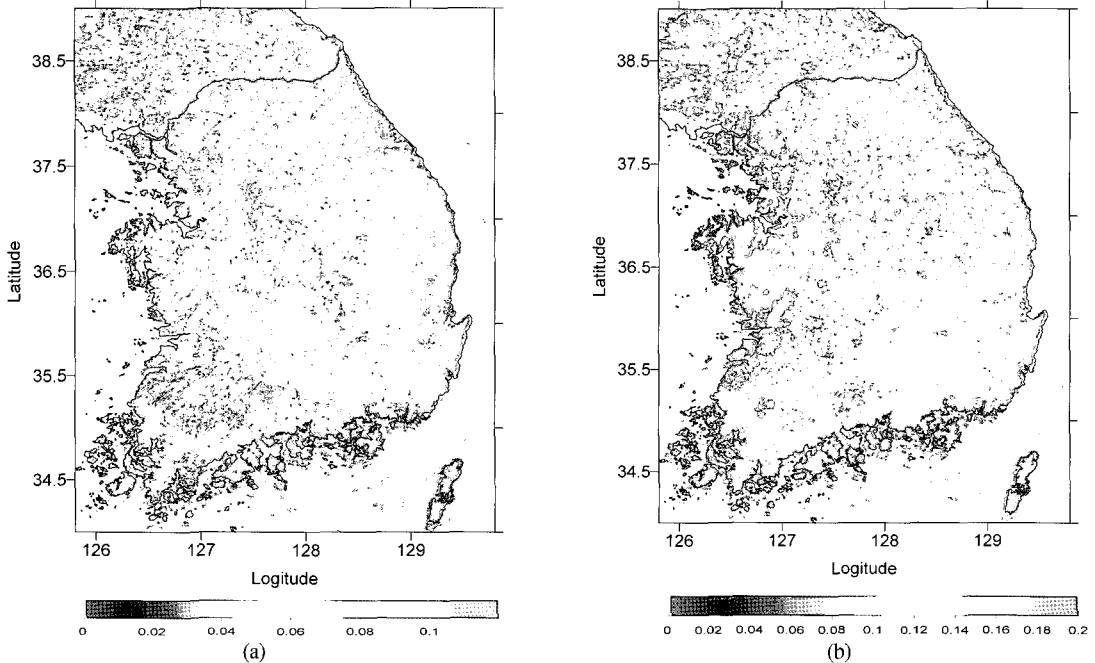


Fig. 5. An example of normalized reflectance images for Channel 1 and 2 at 25, May 2001.

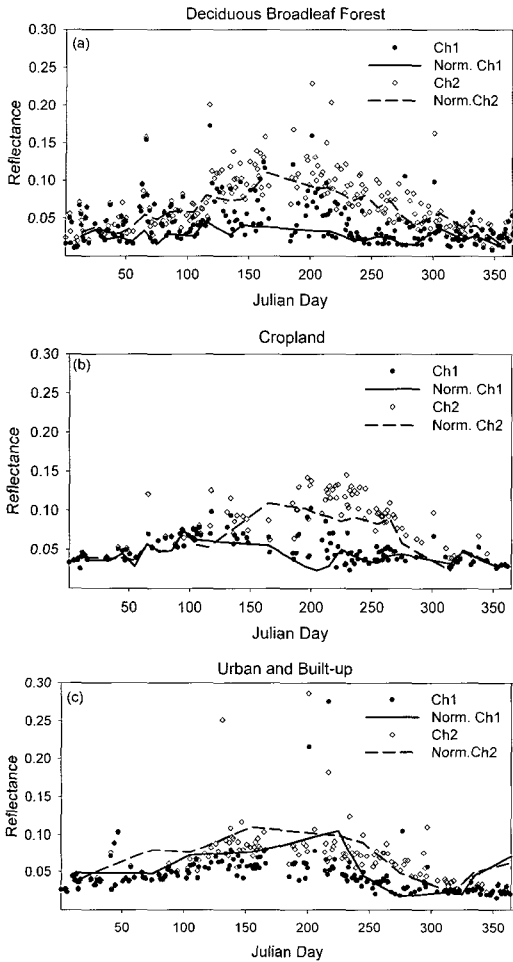


Fig. 6. Inter-annual variation between measured and modeled reflectances of Channel 1 and 2 : (a) Deciduous Broadleaf Forest area ; (b) Cropland area ; (c) Urban and built-up area (Ch1 : Channel 1 reflectance, Ch2 : Channel 2 reflectance, Norm. Ch1 : Normalized Channel 1 reflectance, Norm. Ch2 : Normalized Channel 2 reflectance).

통해 최종적으로 산출된 정규화( $\rho_N$ ) 값을 보여준다. 각각의 토지피복 특성은 그 성질에 따라 짧은 기간 동안 고유한 반사도 특성을 가지게 되는데 그러한 반사도 특성은 BRD 효과에 의해서 그 값이 변조가 된다. 따라서 BRD 효과가 제거 되지 않은 반사도 값은 지표면의 반사도 특성을 제대로 반영하지 못하고, 노이즈를 가지기 때문에 값을 신뢰하기가 어렵다. 하지만 최종적으로 생산된 정규화 ( $\rho_N$ )값은 BRD 효과가 제거되었기 때문에 정규 식생지수 등과 같은 지표 변수를 산출할 때 그 정

확성을 높일 것으로 사료된다.

Fig. 6은 UMD(University of Maryland Global Land Cover Classifications)에서 제공하는 1km 토지 피복 분류 자료(Fig. 1)를 이용하여, 산림 종에 따른 실제 위성 반사도 값과 정규화 과정을 통해 산출된 반사도 값의 연 변동성의 예를 몇몇 화소에 대하여 보여준다. Fig. 6에서 선택된 화소는 중심으로부터  $10 \times 10$  화소창 영역 내에서 균일한 UMD 토지 피복 형태를 보이는 경우이다. 그림에서 점으로 나타난 부분은 위성에서 관측한 실제 반사도 값이고, 선으로 나타난 부분은 정규화 과정을 통하여 최종적으로 생산된 반사도 값이다. 한반도 연구 영역내의 산림 종에 따른 분포도를 Table 2에 나타내었다. 각 산림 종의 밀도에 따라 상(High), 중(Mid), 하(Low)로 구분하였고, 식생 종에 따라 산림(Forest), 초지(Openland), 도심지(Bareground/urban)로 크게 나누어진다. 산림의 경우에는 침엽수림(Evergreen Needleleaf Forest), 낙엽활엽수림(Deciduous Broadleaf Forest), 혼효림(Mixed Forest), 산림지(Woodland)등이 있고, 초지의 경우에는 산림이 많은 초원(Wooded Grassland), 초원(Grassland), 저목림(Open Shrubland), 폐쇄림(Closed Shrubland) 그리고 도심지(Bareground/urban)는 나지(Bareground)와 도시(Urban and Built-up)로 각각 나누어진다. 본 연구에서는 한반도 영역에서 고밀도 식생인 활엽수림과 농경지에 대한 2가지 경우와 그리고 3% 미만으로 저밀도(Low)로 분류된 도심지역의 경우를 선택하여 각각의 지표 반사도 특성을 비교, 분석하였다.

Fig. 6에서 보면 전체적으로 실제 위성 반사도 값은 산발적으로 분포하기 때문에 지표면의 특성을 대표하는 값의 선정이 어려울 뿐만 아니라 계절에 따라 변하는 지표면 반사도 특성을 구분하기도 힘들다. 하지만 정규화 과정을 통하여 얻어진 반사도 값은 일정 기간 동안 지표면 특성을 대표 할 수 있는 값으로서 계절에 따른 변화와 각 토지피복의 고유 특성을 알 수 있다. 한반도 산림 지역은 온대기후대 특성을 가지기 때문에 겨울에는 차고 건조한 날씨에 의해 산림 밀도가 작아지고, 반면 높은 기온과 많은 강수가 나타나는 여름의 경우에는 산림 밀도가 높아지는 경향을 보인다. 일반적으로 식생밀도는 채널 2번이 1번에 비해 값이 크고 두 채널의 차가 클



Table 2. Distribution of major land types using UMD over the study area.

Description		Percentage of area (%)	Vegetation density
	WATER	Not counted	
Forest	EVERGREEN NEEDLELEAF FOREST	62.49	High
	DECIDUOUS BROADLEAF FOREST		
	MIXED FOREST		
	WOODLAND		
Open land	WOODED GRASSLAND	20.94	Mid
	GRASSLAND		
	OPEN SHRUBLAND		
	CLOSED SHRUBLAND		
	CROPLAND	15.81	High
Bare ground/urban	BARE GROUND	2.48	Low
	URBAN AND BUILT-UP		

수록 높아(Tucker 1979, Jackson *et al.*, 1983, Tucker *et al.*, 1991) 지는데, 이것은 가시광선과 근적외 영역에서 식물의 엽록소량이 많을 때 반사율 차이가 크게 나타나는 것을 이용한 것이다. 활엽수림인 경우(Fig. 6 (a))에는 겨울의 일부분을 제외한 모든 부분에서 반사도 차이가 나는 것을 볼 수 있고, 여름에는 반사도 차가 0.719 정도로 가장 크게 나타나 식생 밀도가 높다는 것을 알 수 있다. 농경지인 경우(Fig. 6 (a))에는 농작물의 파종 시기인 5월부터 반사도 차가 나기 시작해서, 여름에는 반사도 차가 0.726 정도로 가장 크게 나타나 농작물의 생장이 절정을 이루고 있는 것을 알 수 있다. 또한 9월 중순 이후로는 농작물이 수확되는 시기이기 때문에 채널 1번과 2번의 반사도 차가 줄어든 것을 볼 수 있다. 반면 Fig. 6 (c)는 도심 지역으로서 한반도 산림 지역이 가지는 온대기후대 반사도 특성이 나타나지 않고 도심 지역을 주로 이루고 있는 콘크리트와 아스팔트, 인공 구조물등과 같은 도시의 표면 반사도 특징을 보여 준다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 Terra 위성의 MODIS 채널을 이용하여 Roujean이 제시한 BRDF 모형(Roujean *et al.*, 1992)을 통해 반사도 모수화를 하였고, 정규화된 반사도 값을 생산하기 위해 Duchemin and Maisongrande (2002)

에 의해 제시된 방법을 이용하였다.

지구는 비등방성 지표면이고 태양-지점-위성간의 기하학적인 특성에 의해서 지표 반사도는 민감하게 변화 한다. 따라서 이러한 BRD 효과를 제거하기 위해 BRDF 모델을 이용하였다. 위성에서 관측된 값과 모델 값을 비교한 결과 전체적으로 RMSE값이 0.03보다 적게 나와 BRDF 모델로 재생산한 반사도 값이 실제 위성 관측값을 잘 모의 했다는 것을 알 수 있다. BRDF 모델을 이용하여 재생산된 반사도 값은 계절에 따라 RMSE 값이 차이가 나는데, 여름의 경우에는 잦은 악기상 때문에 비록 구름제거과정을 수행했다고 하더라도 구름의 영향이 남아 있는 화소가 상대적으로 높기 때문에 RMSE가 다른 계절에 비해 가장 높게 나타났고, 반면 날씨가 전반적으로 좋고 맑은 가을과 겨울의 경우에는 제거되지 않은 구름 화소가 적기 때문에 RMSE가 낮게 나타났다.

실제 반사도 값과 정규화( $\theta_s = \text{mean}, \theta_v = 0$ )된 반사도 값의 계절 변동성을 나타내었는데, 실제 반사도 값의 경우에는 양방향성 효과에 의해서 값이 산발적으로 분포하여 식생에 따른 반사도 특성을 파악하기가 어려웠다. 하지만 정규화 과정을 통하여 산출된 반사도 값은 식생에 따른 반사도 특성이 명확하게 나타났다. 특히 도심 지역과 산림 지역에서 큰 차이점이 보였고 산림지역 내에서도 세부 종에 따른 반사도 특성이 각각 다르게 나타났다.

본 연구에서는 정규화 과정을 거쳐 BRD 효과가 제거된 반사도 값을 산출 하였다. 정규화 과정을 거치지 않

은 반사도는 그 자체에 오차값을 포함하고 있기 때문에 그러한 반사도를 이용하여 산출되는 지표 변수는 신뢰하기 힘들고 나아가 기상모델이나 다른 모델의 입력 자료로서 역할을 수행하기가 힘들다. 결론적으로 본 연구에서는 신뢰성 높은 반사도 값에 대한 Database를 구

축 하였을 뿐만 아니라(Table 3), 한반도 영역에 대한 고해상도 정규화반사도 값을 제공함으로써, 지표 반사도와 관련된 연구에 많은 도움이 될 것이라 사료된다.

향후 연구에서는 다른 정규화 법을 비교하여 한반도 영역에 적합한 정규화 법을 제시하고 나아가 그 변동성

Table 3. Database for normalized reflectances and status map during the study period.

Filename	Representivity of the period
10-day normalized_ref_01.db* & ref_01.sm**	01월01일 ~ 01월31일
10-day normalized_ref_02.db* & ref_02.sm**	01월11일 ~ 02월10일
10-day normalized_ref_03.db* & ref_03.sm**	01월21일 ~ 02월20일
10-day normalized_ref_04.db* & ref_04.sm**	01월31일 ~ 03월02일
10-day normalized_ref_05.db* & ref_05.sm**	02월10일 ~ 03월12일
10-day normalized_ref_06.db* & ref_06.sm**	02월20일 ~ 03월22일
10-day normalized_ref_07.db* & ref_07.sm**	03월02일 ~ 04월01일
10-day normalized_ref_08.db* & ref_08.sm**	03월12일 ~ 04월11일
10-day normalized_ref_09.db* & ref_09.sm**	03월22일 ~ 04월21일
10-day normalized_ref_10.db* & ref_10.sm**	04월01일 ~ 05월01일
10-day normalized_ref_11.db* & ref_11.sm**	04월11일 ~ 05월11일
10-day normalized_ref_12.db* & ref_12.sm**	04월21일 ~ 05월21일
10-day normalized_ref_13.db* & ref_13.sm**	05월01일 ~ 05월31일
10-day normalized_ref_14.db* & ref_14.sm**	05월11일 ~ 06월10일
10-day normalized_ref_15.db* & ref_15.sm**	05월21일 ~ 06월20일
10-day normalized_ref_16.db* & ref_16.sm**	05월31일 ~ 06월30일
10-day normalized_ref_17.db* & ref_17.sm**	06월10일 ~ 07월10일
10-day normalized_ref_18.db* & ref_18.sm**	06월20일 ~ 07월20일
10-day normalized_ref_19.db* & ref_19.sm**	06월30일 ~ 07월30일
10-day normalized_ref_20.db* & ref_20.sm**	07월10일 ~ 08월09일
10-day normalized_ref_21.db* & ref_21.sm**	07월20일 ~ 08월19일
10-day normalized_ref_22.db* & ref_22.sm**	07월30일 ~ 08월29일
10-day normalized_ref_23.db* & ref_23.sm**	08월09일 ~ 09월08일
10-day normalized_ref_24.db* & ref_24.sm**	08월19일 ~ 09월18일
10-day normalized_ref_25.db* & ref_25.sm**	08월29일 ~ 09월28일
10-day normalized_ref_26.db* & ref_26.sm**	09월08일 ~ 10월08일
10-day normalized_ref_27.db* & ref_27.sm**	09월18일 ~ 10월18일
10-day normalized_ref_28.db* & ref_28.sm**	09월28일 ~ 10월28일
10-day normalized_ref_29.db* & ref_29.sm**	10월08일 ~ 11월07일
10-day normalized_ref_30.db* & ref_30.sm**	10월18일 ~ 11월17일
10-day normalized_ref_31.db* & ref_31.sm**	10월28일 ~ 11월27일
10-day normalized_ref_32.db* & ref_32.sm**	11월07일 ~ 12월07일
10-day normalized_ref_33.db* & ref_33.sm**	11월17일 ~ 12월17일
10-day normalized_ref_34.db* & ref_34.sm**	11월27일 ~ 12월27일
10-day normalized_ref_35.db* & ref_35.sm**	12월07일 ~ 12월31일
10-day normalized_ref_36.db* & ref_36.sm**	12월17일 ~ 12월31일

\* db : Channel 1 and Channel 2 normalized reflectances

\*\* sm : status map(land/sea, cloudy, uncertainty)

을 비교할 계획이다. 최근 NASA에서 Aqua 위성을 발사하였다. Aqua 위성에도 MODIS 센서가 탑재되어 있다. 이것은 지금 일 4회 관측에서 일 8회 관측의 높은 시간적 해상도를 제공하게 된다. 이렇게 높은 시간적 해상도의 자료를 받음으로써 10일 단위 합성 일을 조금 더 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 모델의 정확성이 더 향상 될 것이다.

본 연구는 정확한 지표 변수를 제공하여 수문학, 기상학적 연구나 식생지도 제작에 대한 정확도를 향상시킬 것으로 사료되며 특히 정확히 제작된 식생지도는 종관 규모 및 중규모 기후모델이나 기상모델의 입력 자료로서 그 오차를 감소시키는데 일조 할 것이다. 또한 농업기상과 환경 분야에서도 많은 도움이 될 것으로 보인다.

## 사 사

이 연구는 기상청의 “통신해양기상위성1호 기상자료 처리시스템개발”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

서명석, 이동규, 1999. NOAA/AVHRR 주간 자료로부터 지면 자료 추출을 위한 구름 탐지 알고리즘의 개발. 한국원격탐사학회지, 15(3): 239-251.

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.

Kimes, D. S., 1983. Dynamics of Directional Reflectance Factor Distributions for Vegetation Canopies. *Applied Optics*, 22(9): 1364-1372.

Duchemin, B. and Maisongrande, P., 2002. Normalization of directional effects in 10-day global syntheses derived from VEGETATION/SPO4: 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., 1994. Normalization of multi-annual global AVHRR reflectance data over land surface to common sun-target-sensor geometry. *Advanced Space Research*, 14: 121-124.

Han, K. S., Champeaux, J. L., and Roujean, J. L., 2004. A land cover classification product over France at 1 km resolution using SPOT4/VEGETATION data. *Remote Sensing of Environment*, 92: 52-66.

Jackson, R. D., Slater, P. N., and Pinter, P. J., 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, 15: 187-208.

Justice, C. O., Markham, B. L., Townshend, J. R. G., Holber, B. N., and Tucker, C. J., 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological data. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8): 1271-1381.

Leroy, M., Deuze, J. L., Breon, F. M., Hautecoeur, O., Herman, M., Duriez, J. C., Tanre, D., Bouffies, S., Chazette, P., and Roujean, J. L., 1997. Retrieval of atmospheric properties and surface bidirectional reflectance over the land from POLDER/ADEOS. *Journal of Geophysical Research*, 102: 17023-17037.

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

McClain, E. P., 1993. Evaluation of CLAVR Phase- I algorithm performance, final report, Rep. 40-AANE-201-424, U.S. Dep. of Commerce/

NOAA/NEDIS, Washington, D. C.

- 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.
- Saunders, R. W. and Kriebel, K. T., 1988. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiance from AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing.*, 21,077-21,090.
- Shine, D., Pollard, J. K., and Muller, J. P., 1996. Cloud detection from thermal infrared images using a segmentation technique. *International Journal of Remote Sensing.*, 17, 14, 2845-2856.
- Simpson, J. J. and Gobat, J. I., 1996. Improved cloud detection for the daytime AVHRR scenes over land. *Remote Sensing of Environment.*, 55: 123-150.
- Strahler AH and Jupp DLB., 1990. Modeling bidirectional reflectance of forests and woodlands using Boolean models and geometric optics. *Remote Sensing of Environment.*, 34: 153-166
- Tarpley, J. D., Schneider, S. R., and Money, R. L., 1984. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23: 491-494.
- Tucker, C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment.*, 8: 127-150.
- Tucker, C. J., Newcomb, W. W., Los, S. O., and Prince, S. D., 1991. Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981-1989. *International Journal of Remote Sensing.*, 12: 1113-1115.
- Walthall, C. L., 1985. A study of reflectance anisotropy and canopy structure using a simple empirical model. *Remote Sensing of Environment.*, 61: 118-128.
- 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.