

## SPOT/VEGETATION 자료를 이용한 한반도의 광합성유효복사율(FPAR)의 산출

피경진 · 한경수<sup>†</sup>

부경대학교 위성정보과학과

### Retrieval of the Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) using SPOT/VEGETATION over Korea

Kyoung-Jin Pi and Kyung-Soo Han<sup>†</sup>

Dept. of Geoinformatic Engineering, Pukyong National University

**Abstract :** The importance of vegetation in studies of global climate and biogeochemical cycles is well recognized. Especially, the FPAR (fraction of photosynthetically active radiation) is one of the important parameters in ecosystem productivity and carbon budget models. Therefore, accurate estimates of vegetation parameters are increasingly important in environmental impact assessment studies. In this study, optical FPAR using the Terra MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), SPOT VEGETATION and ECOCLIMAP data reproduced on the Korean peninsula. We applied the empirical method which is usually estimated as a linear or nonlinear function of vegetation indices. As results, we estimated the accurate expression which is 0.9039 of  $R^2$  in cropland and 0.7901 of  $R^2$  in forest. Finally, this study could be demonstrated to calibrate that produced FPAR while the overall pattern and random noise through the comparative analysis of FPAR on the reference data. Optimal use of input parameter on the Korean peninsula should be helping the accuracy of output as well as the improved quality of research.

**Key Words :** FPAR (Fraction of photosynthetically active radiation), FVC (Fraction Vegetation Cover), SPOT VEGETATION, MODIS.

**요약 :** FPAR는 다양한 육상 생태계 모델에서 중요한 입력변수로 사용된다. 이 때문에 다양한 global product의 형태로 제공되고 있다. 하지만 한반도를 영역으로 하는 연구에 이를 바로 적용 시 오차가 발생할 수 있고, 이것은 위성자료를 이용한 지면 정보 산출에 있어서 직접적인 오차요인이 된다. 따라서 본 연구에서는 Terra/MODIS와 SPOT/VEGETATION, 그리고 ECOCLIMAP 자료를 이용해 한반도에 최적화된 FPAR를 산출 하였고, 또한 기존에 사용하였던 LAI와의 관계식을 사용하지 않고, SPOT/VGT NDVI 로부터 계산된 FVC (Fraction Vegetation Cover)를 직접 이용하여 FPAR를 산출 하였다. 이를 위해 식생지수의 선형/비선형 관계를 이용하여 구하는 경험적인 방법을 적용하여 회귀분석을 수행한 결과 cropland와 forest에서 각각 결정계수 (Coefficient of Determination,  $R^2$ )가 0.9039, 0.7901으로 정확도가 높은 관

접수일(2010년 8월 21일), 수정일(1차 : 2010년 9월 31일), 게재확정일(2010년 9월 31일).

<sup>†</sup> 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

계식을 도출해내었다. 최종적으로 Reference FPAR 자료와의 비교 분석을 통해 본 연구에서 산출된 FPAR가 전반적인 패턴을 잘 표현하면서 불규칙하게 발생하던 노이즈 또한 보정된 것을 확인 할 수 있었다. 이렇게 한반도에 최적화된 입력변수의 사용은 산출물의 정확도뿐만 아니라 연구의 질 향상에도 도움을 줄 것으로 사료된다.

## 1. 서론

전지구적 기후와 생물지구화학적 순환에서 식생의 중요성은 잘 알려져 있다(P. J. Sellers and D. S. Schmid, 1993). 현재, 생태계 생산성 모델 (ecosystem productivity models), 탄소 수지 모델 (carbon budget models), 기후 모델 (global models of climate), 그리고 수문학과 생물지구화학 등 다양한 분야에서 식생 파라미터는 중요한 입력변수로 사용된다 (Y. Tian *et al.*, 2000). 특히 육상 생태계에서의 탄소순환 메커니즘인 총일차생산량 (Gross Primary Production, GPP)과 순일차생산량 (Net Primary Production, NPP)을 산출하기 위한 기본 변수인 FPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation)는 그 자체로서도 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 생태계 탄소순환 모델의 필수적인 입력자료로서도 사용된다. 또한 위성자료를 이용하여 산출된 FPAR는 앞서 언급한 다양한 연구에서 그 활용성이 매우 높기 때문에 지속적이고 정확한 산출이 필요하다. 여기서 FPAR는 식물이 흡수한 PAR (the total incident photosynthetically Active Radiation)의 비율로서 식생의 광합성유효복사 흡수율이라고도 하며, 식물의 캐노피에서 흡수되는 0.4 - 0.7 $\mu$ m 파장대의 광에너지로 광합성에 사용되는 비율을 말한다.

1980년대부터 FPAR를 산출하기 위해 다양한 연구가 수행되어 왔으며 산출방법에는 식생의 상태를 나타내는 여러 지수들의 선형/비선형 관계를 이용하여 구하는 경험적인 방법 (S. D. Prince and S. N. Goward, 1995; A. Ruimy *et al.*, 1994; S. W. Running *et al.*, 2000; X. Xiao *et al.*, 2004)과 식물 캐노피에서의 복사전달모델을 이용하여 산출하는 물리적인 방법 (F. G. Hall *et al.*, 1995; R. B. Myneni *et al.*, 2002; Y. Knyazikhin *et al.*, 1998, 2003)이 있다. 이 중 MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) FPAR/LAI (MOD15) 산출물의

경우, 물리 모델을 이용하여 산출된 가장 대표적인 자료이다. 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 MODIS FPAR 산출물은 자료 획득이 용이하고, 관측 범위가 넓기 때문에 많은 연구의 입력자료로서 이용되고 있다. 하지만 MODIS 산출물의 경우 전 지구규모 모니터링을 목적으로 하고 있기 때문에 산출물 오차에 대한 문제는 지속적인 한계점으로 지적되고 있으며, 이 때문에 MODIS 산출물 오차분석이나 입력자료 개선 등에 대한 연구가 끊임없이 수행되고 있다(강신규 외, 2005). 또한 아시아 영역에 대한 validation 관측 네트워크가 적기 때문에 한반도를 영역으로 하는 연구에 바로 적용 시 오차가 발생할 수 있다. 이는 MODIS 뿐만 아니라 타 위성 자료의 산출물에서도 발생할 수 있는 문제점이다. 이렇게 입력자료로부터 발생하는 오차는 그 결과에 직접적인 영향을 주기 때문에 더욱 정확한 입력자료를 활용할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 식생지수와의 관계식으로 산출하는 경험적인 방법을 통해 MODIS FPAR/LAI 산출물을 개선하여 한반도에 최적화된 FPAR를 산출하였다. 또한 기존에 LAI와의 관계로서 산출하던 FPAR를 LAI 산출과정을 생략하고 FVC (Fraction Vegetation Cover)를 직접 이용하여 FPAR를 산출하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 FPAR 산출을 위해 MODIS, SPOT VEGETATION, ECOCLIMAP-1 자료를 사용하였으며, 한반도 영역 (위도 32.5°N ~ 40.0°N, 경도 124°E ~ 130°E) 을 대상으로 2006년 1월부터 12월의 자료를 이용하여 연구를 수행하였다. 1) MODIS 센서는 Terra/Aqua 위성에 탑재되어 지구관측시스템 (Earth Observing System, EOS)의 일환으로 운용 중이며, 본 연구에서는 FPAR/LAI (MOD15) 자료를 사용하였다. FPAR/LAI 산출물은 8일 간격의 자료로서 대기보정,

기하보정, 방사보정 등의 위성 전처리 과정을 수행한 후 사용자들에게 제공된다. 2) SPOT VGT 센서는 CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)에서 식생관측을 주 목적으로 개발되었다. 본 연구에서는 VGT 센서로부터 취득된 NDVI 10-day MVC (Maximum Value Composite) 자료를 사용하였다. 이 자료는 위성 전처리 과정을 수행하였음에도 불구하고 제거되지 못한 얇은 구름의 영향이나 강수의 영향, 그리고 양방향성 (Bi-directional effects)에 의한 다양한 불특정 요소들에 의해 오차가 발생하여 NDVI가 급격히 낮아지는 현상이 발생한다. 그리하여 본 연구에서는 다중다항 회귀식 (Polynomial Regression)을 이용하여 보정된 NDVI 자료를 이용하였다. 3) ECOCLIMAP-1은 프랑스 기상청과 우주국, EU가 공동 제작한 것으로서 전지구 규모, 지역 규모의 기후모델 입력자료로서 사용하기 위한 지표변수 DB이다. 이 ECOCLIMAP-1은 동일한 피복에 대해 기후대를 고려해 주기 위해 기후 지도와 토지 피복

을 중첩하여 제작되었으며, 1km 해상도를 가지는 지표 산출물 (알베도, LAI, 지표 거칠기 등)을 제공하고 있다.

본 연구의 전체적인 연구방법은 Fig. 1에 나타내었다. FVC를 이용하여 FPAR를 산출하기에 앞서 FVC, LAI, FPAR 간의 상관관계를 확인하기 위한 분석을 수행한 후, SPOT/VGT NDVI, MODIS FPAR/LAI와 ECOCLIMAP의 FPAR/LAI에 대한 2단계 필터링을 거쳐 Reference 자료를 구축하였다. 이 Reference 자료 구축에 대한 자세한 내용을 다음 장에 설명하였다. Reference 자료는 통계적인 과정을 거쳐 랜덤으로 선택되어 training 자료와 validation 자료로 분류하여 사용하였다. 최종적으로 SPOT/VGT NDVI를 이용하여 계산된 FVC와 training FPAR와의 회귀분석을 수행하여 FPAR에 대한 관계식을 도출하였고, 이 식을 이용하여 FPAR를 산출 하였다. 본 연구에서 산출된 FPAR의 검증 을 위해 validation 자료와 산출된 FPAR의 상관분석을 수행하였고, MODIS와 ECOCLIMAP FPAR 자료 중

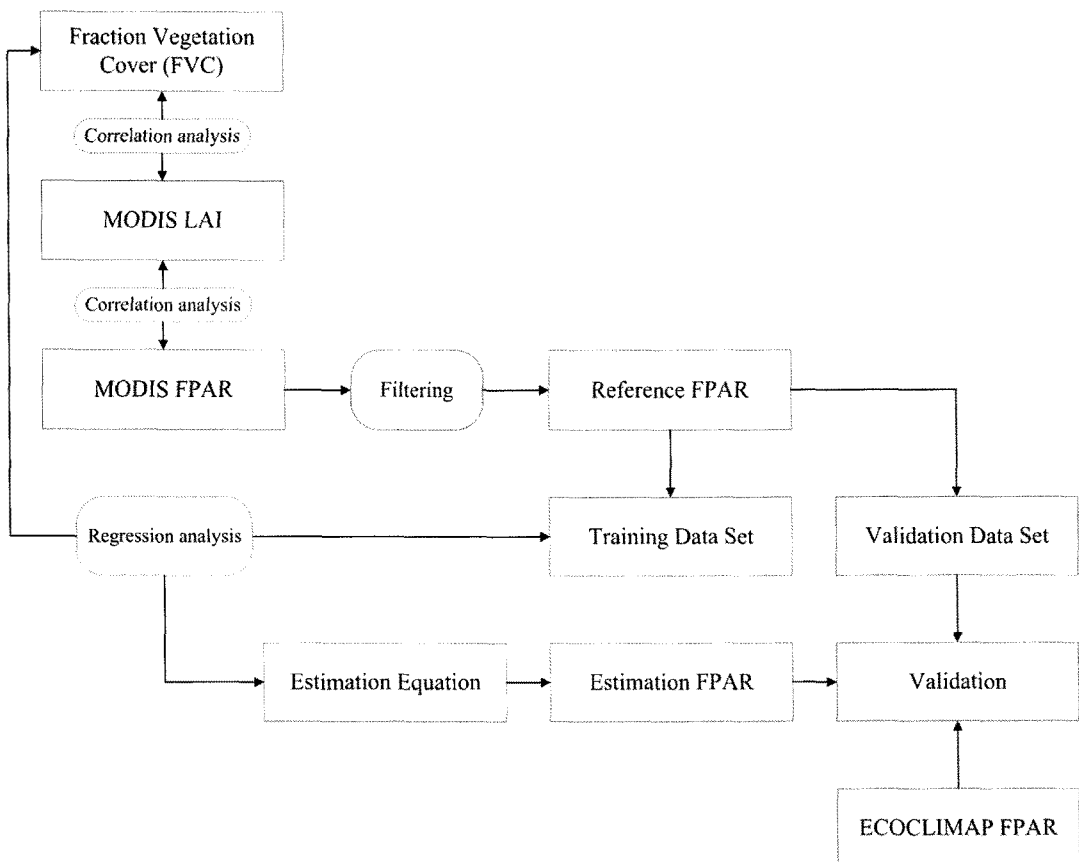


Fig. 1. The flowchart for FPAR estimation over Korea.

한 픽셀을 랜덤으로 선택하여 비교분석을 수행하였다.

### 3. Reference Data

FPAR를 산출하기 위해 앞서 설명한 두 가지 방법 중, 본 연구에서는 식생지수와의 관계식을 도출하여 산출하는 경험적인 방법을 사용하였다. 본 연구를 수행하기에 앞서, 산출된 FPAR의 정확도를 높이기 위해 아래와 같이 2단계의 필터링 과정을 수행하여 Reference 자료를 구축하였다.

(1) Fig. 2은 Reference 자료 추출을 위한 필터링 과정을 나타낸 것으로서 먼저 VGT NDVI, MODIS FPAR/LAI 그리고 ECOCLIMAP FPAR/LAI/VGE 자료의 시공간 해상도를 맞춰주었다. VGT와 ECOCLIMAP 자료는 10일, MODIS 자료는 8일 단위로 제공되기 때문에 각 자료의 시간적 해상도를 일치시키고 pixel size를 동일하게 하여 각각의 자료를 match up 시켜 주었다.

(2) VGT와 MOIDS는 각각 자료의 질을 나타내는

SM (Status Map)과 QC (Quality Control)와 함께 제공되며, 이를 이용하여 2차 필터링 과정을 수행하였다. Table 1은 MODIS FPAR/LAI 산출물에 대한 자료의 질을 나타낸 것으로서 이를 사용하여 연구영역 모든 픽셀에 대해 QC 분석을 수행하여 높은 quality 픽셀만을 선택하였다(Myneni *et al.*, 2003). 또한 아래와 같은 조건을 설정하여 5가지 조건을 모두 만족하는 픽셀을 선택한 후, FPAR와 직접적으로 관련이 있는 LAI에 대한 조건을 추가하여 최종적으로 총 7개의 조건을 모두 만족하는 픽셀을 추출하였다.

- (1) MODIS FPARLai\_QC : MODLAND {0, 1} = 0 0
- (2) MODIS FPARLai\_QC : SCF\_QC {5, 6, 7} = 0 0 0
- (3) MODIS LAI : lai > 6.0
- (4) VEGETATION NDVI : ndvi > 0.1
- (5) ECOCLIMAP : FPAR, LAI, VGE ≠ 999.0
- (6)  $|LAI(modis) - LAI(ecoclimap)| / LAI(modis) < 0.1$
- (7)  $|LAI(modis) - LAI(ecoclimap)| < 0.1$

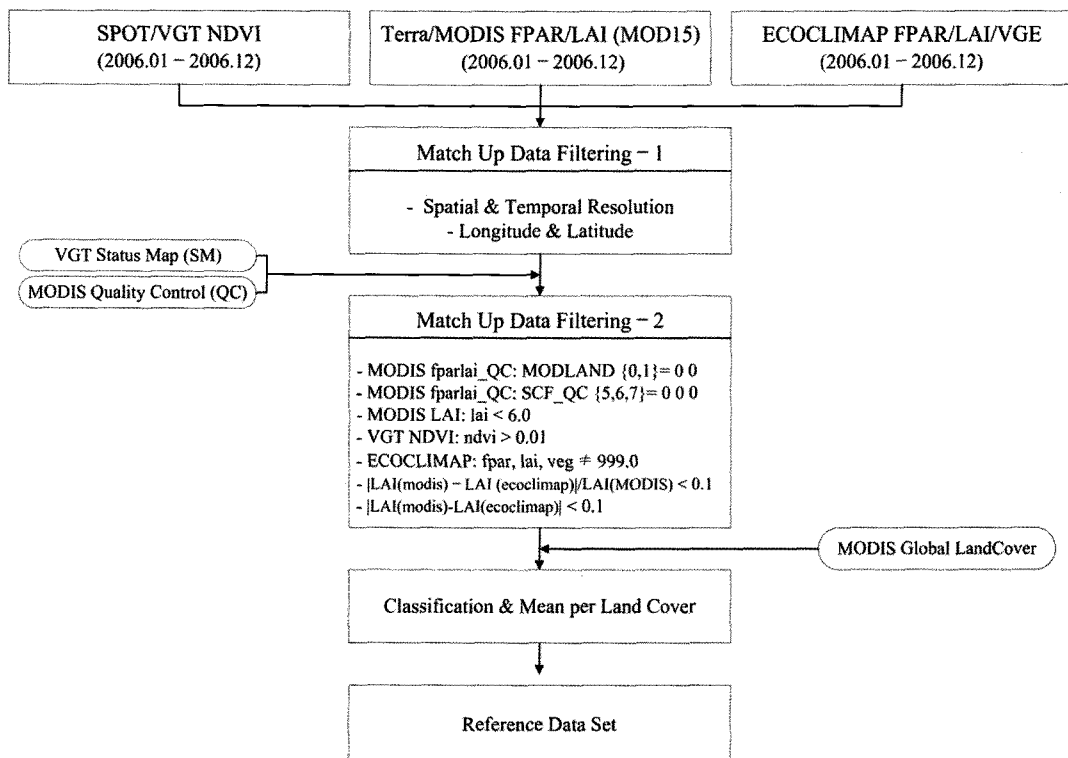


Fig. 2. The flowchart of reference data filtering process using MODIS Quality Control and VGT Status Map.

Table 1. FPAR, LAI quality control definition for collection 4 data

Bitfield	Binary, Decimal Values	Description of Bitfield(s)
MODLAND {0,1}	00=0 01=1 10=2 11=3	Best possible OK, but not the best Not produced, due to cloud Not produced, due to other reasons
DEAD-DETECTOR {2}	0=0 1=1	Detectors apparently fine for up to 50% of channels 1,2 Dead detectors caused >50% adjacent detector retrievals
CLOUDSTATE {3,4}	00=0 01=1 10=2 11=3	Significant clouds NOT present (clear) Significant clouds WERE present Mixed cloud present on pixel Cloud state not defined, assumed clear
SCF_QC {5,6,7}	000=0 001=1 010=2 011=3 100=4	Main (RT) method used with the best possible results Main (RT) method used with saturation Main (RT) method failed due to geometry problems, empirical method used Main (RT) method failed due to problems other than geometry, empirical method used Couldn't retrieve pixel

이렇게 필터링 과정을 수행한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 결과는 전체 46개의 8-day 자료 중 2월 26일의 결과를 예로 나타낸 것이다. Fig. 3에서의 검정 포인트는 필터링 수행 결과 추출된 픽셀을 나타낸 것이다. 본 연구의 영역은 주로 forest와 cropland로 분류되며, 필터링 수행 후 선택된 픽셀에 대한 토지피복별 분류 결과를 Table 2에 나타내었다. QC 정보는 각 파일에 따라

다르므로 추출된 픽셀의 수도 다르다. 본 연구에서는 이렇게 2차 필터링을 완료한 파일에 대해 토지피복별로 분류를 한 후, 각각의 8-day 자료의 land cover (cropland and forest)별 평균을 계산한 결과를 최종적인 Reference 자료로 사용하였다. 본 연구에서 구축된 Reference 자료는 3 종류 (VGT, MODIS, ECOCLIMAP)의 global data가 최상의 quality 결과를 보이는 픽셀만을 선택한 것으로서 FPAR 산출을 위한 중요한 자료로서 사용되었다.

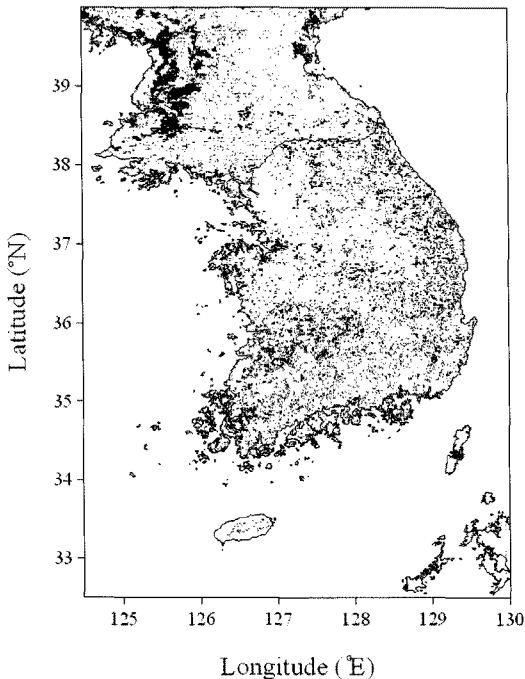


Fig. 3. Result of filtering, black colored points are selected pixel.

#### 4. FVC / LAI / FPAR의 상관

앞서 설명하였듯이 FPAR는 식생지수와 밀접한 관련이 있는데, 그 중 LAI와의 높은 상관성은 많은 연구에서 입증된바 있다(A. Ruimy *et al.*, 1999). Fig. 4(a)는 MODIS LAI와 FPAR의 관계를 나타낸 것으로서 Cropland와 forest에서의 결정계수가 각각 0.95, 0.88로 LAI와 FPAR가 높은 로그상관관계를 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 식생지수의 함수인 LAI는 FVC와 높은 상관성을 가지고 있다. 여기서 FVC는 주어진 화소 내에서 식생이 차지하는 비율을 나타내며 0.0-1.0 사이의 값을 갖는다. Fig. 4(b)를 보면 FVC와 LAI는 cropland에서 결정계수가 0.84, forest에서는 0.85로서 강한 지수상관관계를 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 LAI와 FPAR가 로그상관을 보이고, FVC

Table 2. The number of samples Quality Control of best flagged pixel of MODIS FPAR QC map

Data(8-day)	Cropland	Forest	Total	Data(8-day)	Cropland	Forest	Total
2006001	12,726(49.5%)	12,976(50.5%)	25,702	2006185	10,696(98.4%)	175( 1.6%)	10,871
2006009	12,276(48.8%)	12,860(51.2%)	25,136	2006193	6,830(94.5%)	399( 5.5%)	7,229
2006017	11,430(46.2%)	13,308(53.8%)	24,738	2006201	10,699(89.4%)	1,268(10.6%)	11,967
2006025	12,541(48.6%)	13,273(51.4%)	25,814	2006209	11,884(82.2%)	2,58(17.8%)	14,465
2006033	12,873(49.6%)	13,059(50.4%)	25,932	2006217	12,874(77.7%)	3,703(22.3%)	16,577
2006041	13,909(51.2%)	13,250(48.8%)	27,159	2006225	12,976(78.0%)	3,454(21.0%)	16,430
2006049	13,964(50.8%)	13,534(49.2%)	27,498	2006233	12,163(89.3%)	1,455(10.7%)	13,618
2006057	13,959(51.1%)	13,369(48.9%)	27,328	2006241	13,503(79.7%)	3,444(20.3%)	16,947
2006065	13,952(51.1%)	13,336(48.9%)	27,288	2006249	13,785(82.4%)	2,937(17.6%)	16,722
2006073	13,959(50.8%)	13,533(49.2%)	27,492	2006257	13,897(66.1%)	7,114(33.9%)	21,011
2006081	13,966(50.8%)	13,542(49.2%)	27,508	2006265	13,909(81.6%)	3,142(18.4%)	17,051
2006089	13,964(50.8%)	13,544(49.2%)	27,508	2006273	13,943(68.0%)	6,567(32.0%)	20,510
2006097	13,964(50.8%)	13,527(49.2%)	27,491	2006281	13,940(58.1%)	10,062(41.9%)	24,002
2006105	13,960(50.9%)	13,493(49.1%)	27,453	2006289	13,768(54.0%)	11,718(45.0%)	25,486
2006113	13,965(50.8%)	13,534(49.2%)	27,499	2006297	13,961(52.2%)	12,791(47.8%)	26,752
2006121	13,963(51.4%)	13,186(48.6%)	27,149	2006305	13,959(50.8%)	13,501(49.2%)	27,460
2006129	13,932(70.1%)	5,947(29.9%)	19,879	2006313	13,963(50.8%)	13,533(49.2%)	27,496
2006137	13,927(78.8%)	3,752(21.2%)	17,679	2006321	13,961(50.8%)	13,534(49.2%)	27,495
2006145	13,963(80.9%)	3,286(19.1%)	17,249	2006329	13,951(51.5%)	13,136(48.5%)	27,087
2006153	13,912(86.9%)	2,091(13.1%)	16,003	2006337	13,948(50.8%)	13,499(49.2%)	27,447
2006161	13,918(87.2%)	2,052(12.8%)	15,970	2006345	13,493(52.5%)	12,215(47.5%)	25,708
2006169	13,942(77.6%)	4,030(22.4%)	17,972	2006353	13,478(50.2%)	13,356(49.8%)	26,834
2006177	13,313(92.5%)	1,084( 7.5%)	14,397	2006361	13,451(50.1%)	13,444(49.9%)	26,895

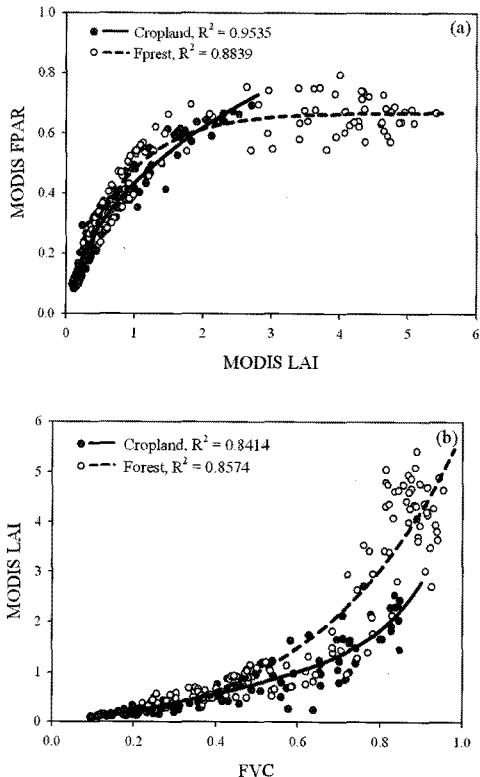


Fig. 4. (a) The scatter plot shows MODIS LAI-FPAR relationship, (b) The scatter plot shows SPOT/VGT FVC-MODIS LAI relationship.

와 LAI가 지수상관을 보이는 것으로 보아 FVC와 FPAR가 선형상관관계를 가질 수 있음을 예상할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 FVC를 직접 이용하여 FPAR를 산출하였다. 기존에 FPAR 산출을 위해 주로 사용된 LAI와의 경험식을 사용하지 않고, FVC를 직접 사용하여 LAI 산출 과정을 생략시켰다. 본 연구에서는 FVC 산출을 위해 Reference 자료 중 SPOT/VGT NDVI 자료를 이용하여 다음과 같은 식으로 FVC를 계산하였다 (G. Gutman and A. Ignatov, 1998).

$$FVC = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (1)$$

### 5. FVC를 이용한 FPAR 산출 및 분석

본 연구에서는 한반도에 최적화된 FPAR 산출을 위해 LAI를 이용하지 않고, FVC로 직접 산출하는 경험적인 방법을 사용하였다. 이를 위해 식 (1)로 계산된 FVC와 Reference FPAR와의 선형회귀분석을 수행하였다 (Fig. 5). 그 결과 cropland에서는 결정계수가 0.9039, Standard Error가 0.0556 으로서 높은 정확도와 감소

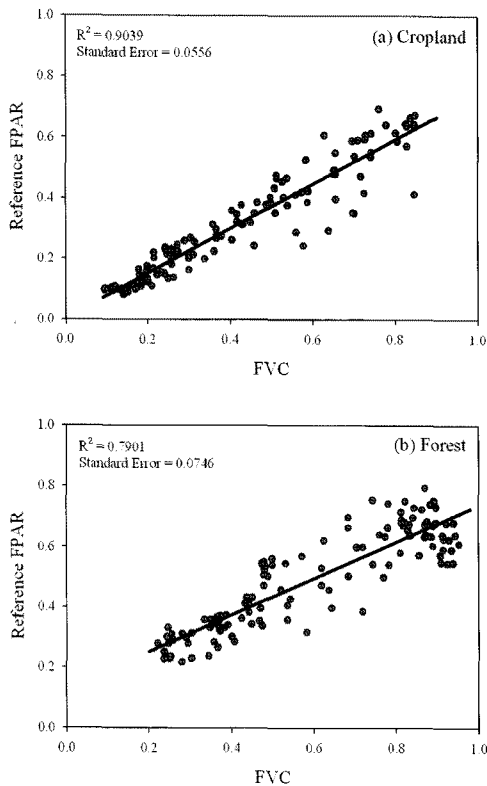


Fig. 5. Result of regression analysis between Reference FPAR and calculated SPOT/VGT FVC.

된 error를 확인할 수 있었다. 또한 forest의 경우, 결정 계수가 0.7901, Standard Error가 0.0746을 나타내었고 다음과 같은 관계식이 도출되었다.

$$FPAR = FVC_{adj} + FVC_{md}^3 \cdot FVC_i, \quad (2a)$$

( $FVC_{adj}$ ; adjusted minimum FVC,  
 $FVC_{md}$ ; minimum difference of FVC)

$$FVC_{adj} = FVC_{min} \cdot w \quad (2b)$$

( $w$ ; weight per land cover type)

$$FVC_{md} = FVC_{max} - FVC_{min} \quad (2c)$$

여기서,  $FVC_{adj}$ 는 FVC의 최소값과 토지피복 별 가중치를 곱한 것으로서 본 연구에서는 cropland는 0.1, forest는 1.0의 가중치를 부여하였다. 이 가중치는 FVC와 Reference FPAR와의 회귀분석 결과로서 결정된 것이다.  $FVC_{md}$ 는 FVC의 최대값과 최소값의 차를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 cropland에서 최소값 ( $FVC_{min}$ ) 0.03, 최대값 ( $FVC_{max}$ ) 0.93, forest에서 최소값과 최대값이 각각 0.1, 0.98을 나타내었다. 이렇게 도출된 식

2(a)를 본 연구에 적용시킨 결과 cropland와 forest에 대해 다음과 같은 식이 최종적으로 산출되었다.

$$Cropland \quad 0.003 + 0.73 \cdot FVC \quad (3a)$$

$$Forest \quad 0.1 + 0.68 \cdot FVC \quad (3b)$$

본 연구에서는 FVC-FPAR 관계식으로부터 산출된 FPAR와 MODIS FPAR와의 상관성 분석을 수행하였다. 여기서 사용된 validation 자료는 MODIS FPAR에 대해 QC를 통과한 픽셀 중 랜덤으로 선택된 픽셀을 대상으로 하였다. Fig. 6을 보면 cropland와 forest 모두 일대일선을 중심으로 산점도가 분산되지 않게 분포하고 있고, 결정계수 또한 각각 0.90, 0.79로서 높은 상관성을 보임을 확인할 수 있었다(Table 3). RMSE 또한 0.0739로 낮은 결과를 보였고, bias는 음의 값을 보이며 미약하지만 MODIS FPAR에 비해 과소평가된 것을 확인할 수 있었다.

또한, 위 식을 이용하여 최종적으로 산출된 LAI와 FPAR의 비교 검증을 위하여 MODIS와 ECOCLIMAP FPAR의 한 픽셀에 대한 2006년 시계열 분석을 수행하였다(Fig. 7). Cropland를 보면 ECOCLIMAP의 FPAR는 변화가 거의 없다. 이것은 ECOCLIMAP이 pixel

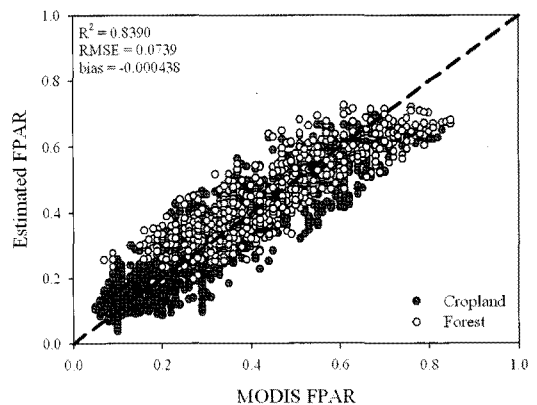


Fig. 6. Result of correlation analysis between MODIS FPAR and estimated FPAR in this studies.

Table 3. Result ( $R^2$ , RMSE and bias) of correlation analysis between MODIS FPAR and estimated FPAR

	Cropland	Forest	Total
$R^2$	0.8445	0.740	0.8390
RMSE	0.0740	0.0737	0.0739
bias	-0.0026	0.0028	-0.00044

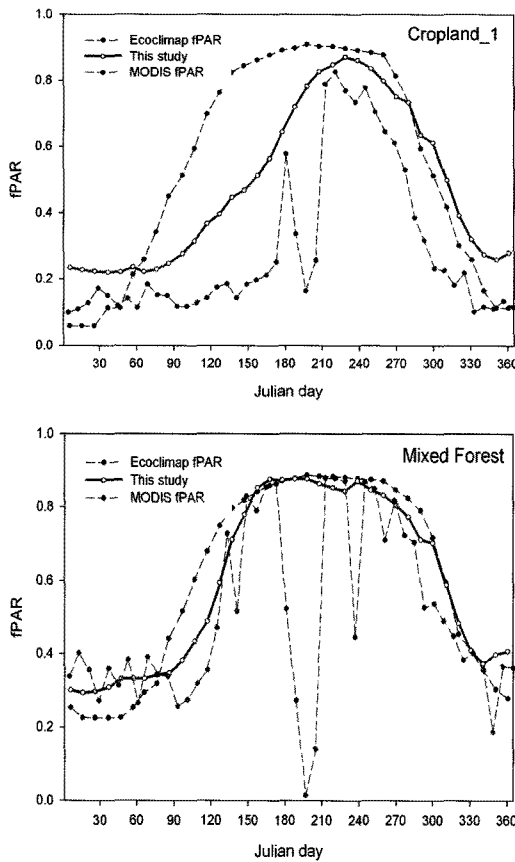


Fig. 7. The time series comparison of FPAR from ECOCLIMAP, MODIS and estimated FPAR by this study.

base가 아닌 1997년에 제작된 UMD (University of Maryland)를 사용하여 class base로 제작되었기 때문에 우리나라의 경우, 기후대를 하나로 밖에 보지 않아 다양성이 떨어진다. 또한, forest를 보면 MODIS FPAR의 값이 갑자기 떨어지거나 높아지면서 변동이 아주 심한 것을 확인할 수 있다. MODIS 산출물을 사용할 때 필터링 과정을 거쳐 좋은 픽셀만 뽑아내었음에도 불구하고 이런 현상이 나타나는 것은 앞서도 설명하였던 전 지구규모 모니터링을 목적으로 하는 MODIS 산출물들의 질적인 문제로 볼 수 있다. 하지만 본 연구에서 산출된 FPAR의 경우, 타 자료들의 전반적인 패턴을 잘 표현할 뿐만 아니라 MODIS 산출물에서 불규칙적으로 발생하는 low peak와 high peak가 제거된 것을 확인할 수 있었다. MODIS FPAR에서 보이는 이런 peak가 주로 7월과 8월에 발생한 것으로 보아 이것은 강수의 영향으로 사료되며, 이러한 peak는 반드시 제거되어야

한다. Fig. 8은 본 연구에서 산출된 FPAR와 ECOCLIMAP, MODIS FPAR를 비교한 것으로서 각 계절을 대표하는 1월, 4월 7월, 10월에 대해 나타내었다. ECOCLIMAP의 4월과 7월을 보면 한반도 전체가 거의 같은 값을 가지는 것을 볼 수 있었는데, 이것은 앞서 설명하였던 ECOCLIMAP에서의 한계점이 잘 나타난 것으로 볼 수 있다. 이렇게 ECOCLIMAP과는 큰 차이가 나는 것을 확인할 수 있었고, MODIS와 비교해 보면 전반적인 패턴은 비슷하지만 실질적인 값에 조금씩 차이가 나는 것을 볼 수 있었다. 이렇게 널리 사용되는 global product의 경우 쉽게 자료를 획득할 수 있다는 장점은 있지만, 많은 에러와 오차를 포함하고 있기 때문에 이를 연구에 바로 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구와 같이 MODIS FPAR 산출물에 대해 연구영역에 적합한 필터링 과정과 개선된 관계식 등의 추가적인 보정이 이루어져야 한다.

## 6. 요약 및 결론

본 연구에서는 SPOT/VGT로부터 계산된 FVC를 직접 이용하여 FPAR를 산출하였다. 이를 위해 식생지수의 선형/비선형 관계를 이용하여 구하는 경험적인 방법을 적용하였으며 결정계수 ( $R^2$ )가 cropland와 forest에서 각각 0.9039, 0.7901로서 정확도가 높은 관계식을 도출해 낼 수 있었다. 최종적으로 본 연구에서 산출된 FPAR의 비교 분석을 수행한 결과 타 자료의 LAI와 FPAR의 전반적인 패턴을 잘 표현했을 뿐만 아니라 MODIS 산출물에서 불규칙적으로 발생했던 low peak와 high peak가 제거된 것을 확인하였다. 또한 기존의 FPAR는 식생지수로부터 LAI를 산출하고, 산출된 LAI를 이용하여 FPAR를 산출하게 된다. 하지만 본 연구에서 사용된 방법은 중간 산출물인 LAI를 산출하지 않고 FVC로부터 직접 FPAR를 산출하였기 때문에 LAI 산출시 발생하는 오차를 포함하지 않는다. 따라서 LAI 산출 과정을 생략하여 FPAR 산출 시 2차적으로 발생할 수 있는 오차를 줄여 정확도를 향상하였다.

이렇게 식생변수를 사용하는 연구의 정확도를 높이기 위해 고려되어야 할 사항은 보다 정확한 입력자료를 사용이다. 그 이유는 위성자료를 이용한 지면 정보 산출



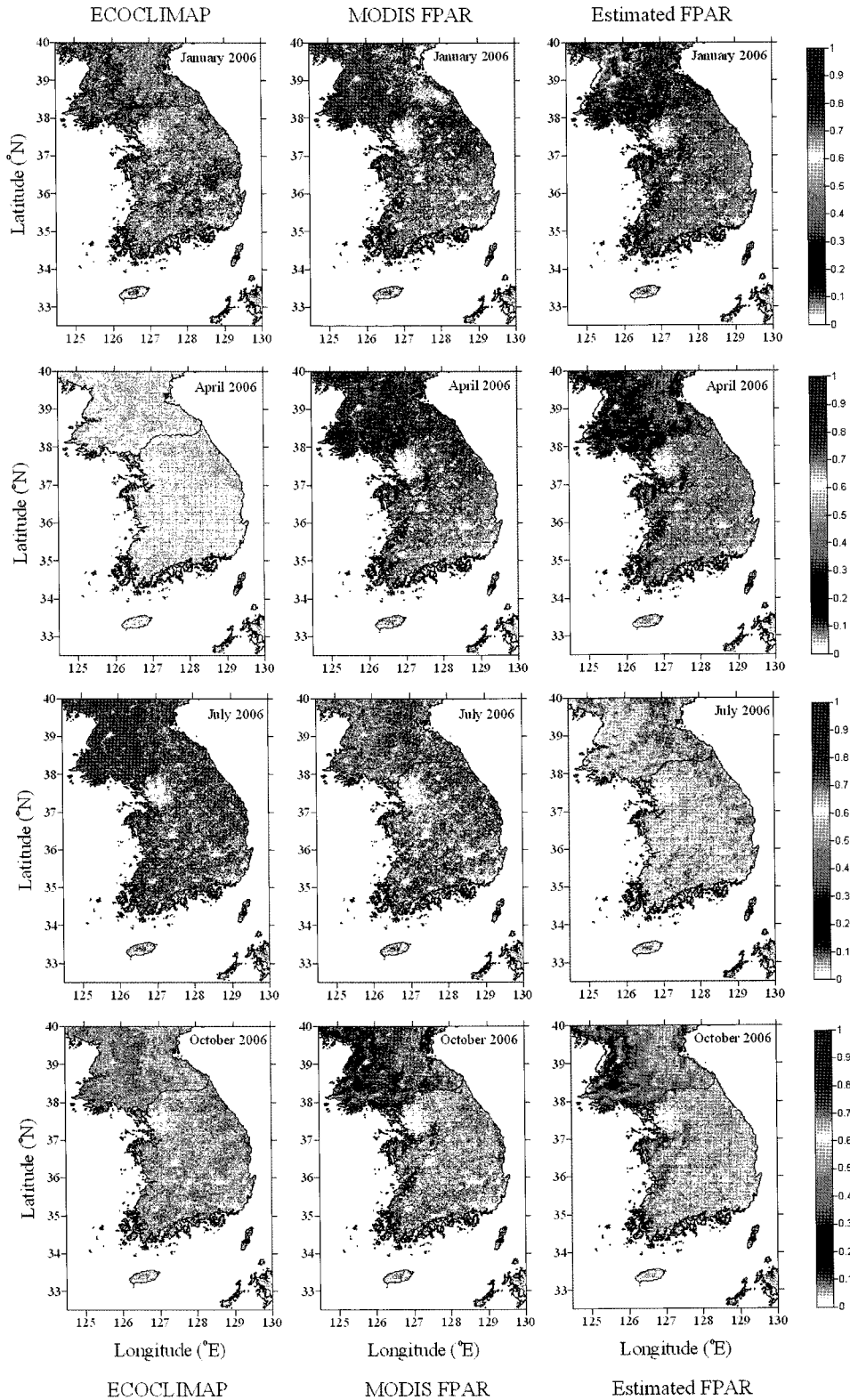


Fig. 8. Comparison between other global products (ECOLIMAP, MODIS) and estimated FPAR by this study (January, April, July and October 2006).

에 있어서 이는 직접적인 오차요인이 될 수 있기 때문이다. 본 연구에서처럼 MODIS 산출물과 같은 global product를 한반도에 최적화시켜 입력자료로서 사용하게 되면, 산출물의 정확도뿐만 아니라 연구의 질도 한층 높아질 것으로 사료된다. 향후에는 개선된 입력자료의 사용이 육상 생태와 관련된 산출물의 정확도에 얼마나 영향을 주는지에 대한 분석이 수행되어야 할 것이다. 또한 계절에 따른 식생변수와의 관계를 분석하여 시기에 따라 다른 관계식을 사용하여 최적화시키는 방법도 연구되어야 할 것이다. 본 연구에서 수행된 과정은 육상 생태의 중요한 데이터베이스가 될 뿐만 아니라 현재 전 세계의 이슈로 떠오르고 있는 지구 온난화 연구의 기초 자료로서도 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)으로 지원받은 과제입니다 (121-091-069).

## 참고문헌

- 강신규, 김영일, 김영진, 2005. MODIS 총일차생산성 산출물의 오차요인 분석: 입력기상자료의 영향, 한국농림기상학회지, 7(2): 171-183.
- Gutman, G. and A. Ignatov, 1998. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numeric weather prediction models, *International Journal of Remote Sensing*, 19(8): 1533-1543.
- Hall, F. G., J. R. Townshend, and E. T. Engman, 1995. Status of remote-sensing algorithms for estimation of land-surface state parameters, *Remote Sensing of Environment*, 51(1): 135-156.
- Jarvis, P. G. and J. W. Leverenz, 1983. Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests, *Physiological Plant Ecology IV, Ecosystems Processes: Moneral Cycling, Productivity and Man's Influence*, Berlin, Springer-Verlag, Vol. 12D, 233-280.
- Knyazikhin, Y., J. V. Martonchik, R. B. Myneni, D. J. Diner, and S. W. Running, 1998. Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data, *Journal of Geophysical Research*, 103(D24): 32257-32276.
- Knyazikhin, Y., W. Yang, H. Dong, T. Bin, N. Shabanov, and R. Myneni, 2003. MODIS LAI and FPAR product on global, regional and local scales, *American Geophysical Union Fall Meeting 2003*, #B22C-06.
- Myneni, R. B., S. Hoffman, Y. Knyazikhin, J. L. Privette, J. Glassy, and Y. Tian, *et al.*, 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed par from year one of MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 214-231.
- Myneni, R., Y. Knyazikhin, J. Glassy, P. Votava, and N. Shabanov, 2003. User's guide FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day composite NASA MODIS land algorithm, <http://www.cybele.bu.edu/modismisr/products/modis/userguid e.pdf>.
- Pontailleur, J. Y., G. J. Hymus, and B. G. Drake, 2003. Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(3): 381-387.
- Prince, S. D. and S. N. Goward, 1995. Global primary production: A remote sensing approach, *Journal of Biogeography*, 22: 815-835.
- Roujean, J. L. and R. Lacaze, 2002. Global mapping of vegetation parameters from POLDER multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation, *Journal of*

- Geophysical Research*, 107(D12): 4150-4163.
- Ruimy, A., B. Saugier, and G. Dedieu, 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data, *Journal of Geophysical Research*, 99(D3): 5263-5283.
- Ruimy, A., L. Kergoat, and A. Bondeau, 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of differences in light absorption and light-use efficiency, *Global Change Biology*, 5(S1): 56-64.
- Running, S. W., P. E. Thornton, R. Nemani, and J. M. Glassy, 2000. Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth Observing System, *Methods in ecosystem science*, New York, Springer, 44-57.
- Sellers, P. J. and D. S. Schmid, 1993. Remote Sensing of the land biosphere and biogeochemistry in the EOS era: Science priorities-EOS land biosphere and biogeochemical cycles panels, *Global Planetary Change*, 7(4): 279-297.
- Tian, Y., Y. Zhang, R. B. Myneni, J. M. Glassy, G. Dedieu, and S. W. Running, 2000. Prototyping of MODIS LAI and FPAR Algorithm with LASUR and LANDSAT data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5): 2387-2401.
- Xiao, X., D. Hollinger, J. Aber, M. Goltz, E. A. Davidson, Q. Zhang, and B. Moore, 2004. Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest, *Remote Sensing of Environment*, 89(4): 519-534.