GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis Document

식생지수 / 식생율
(Vegetation Index / Fractiona Vegetation Cover)

한경수 부경대학교

성노훈 부경대학교

Version 1.0

2019. 04. 14.

국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	식생지수 및 식생율 ATBD 초본 완성	0.4.0.0	2016.03.04	한경수 성노훈
0.2	전체적인 보완	0.4.0.0	2017.01.16	한경수 성노훈
0.3	Co-registration 분석 추가	0.5.3.1	2018.12.09	한경수 성노훈
0.4	식생지수/식생율 알고리즘 통합에 따른 ATBD 통합	0.5.3.1	2019.04.14	한경수 성노훈
1.0	국가기상위성센터 ATBD 개선 필요사항 적용	0.5.3.1	2019.06.26	한경수 성노훈

<목차>

1. 개요 10

1.1 목적 10

1.2 사용자 10

1.3 내용 10

1.4 관련 문서 10

2. 알고리즘 소개 11

2.1 개요 11

2.2 알고리즘 흐름도 12

2.3 입력자료 14

2.3.1 L1B 14

2.3.2 L2 14

2.3.3 보조 자료 15

2.4 이론적 배경 15

2.4.1 NDVI 15

2.4.2 EVI 18

2.4.3 FVC 19

2.5 수학적 설명 21

2.5.1 NDVI 21

2.5.2 EVI 22

2.5.3 FVC 22

2.6. 산출물 24

3. 모의자료 및 검증 27

3.1 모의 입력자료 및 검증자료 27

3.1.1 모의 입력자료 27

3.1.2 검증자료 28

3.2 검증 방법 30

3.3 검증 결과 32

3.3.1 NDVI 산출 결과 32

3.3.2 FVC 산출 결과 38
3.3.3 NDVI 검증 결과 41
3.3.4 FVC 검증 결과 44
4. 현업운영 시 고려사항 47
4.1 수치계산 고려사항 47
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항 47
4.3 품질 평가 및 진단 47
4.4 예외사항 처리 47
4.5 검증 알고리즘 47
5. 가정 및 제한 48
5.1 성능 48
5.2 예상 센서 성능 48
5.3 개선을 위한 사전 계획 48
6. 참고문헌 49

<표 목차>

표 2.1. 식생지수/식생율 산출물 시·공간 해상도 및 목표 정확도 12

표 2.2. 식생지수/식생율 입력 자료 (GK-2A/AMI Level 2 산출물) 14

표 2.3. 식생지수/식생율 입력자료 (보조자료) 15

표 2.4. 선진기관 NDVI 산출 현황 17

표 2.5. FVC 산출 방법 20

표 2.6. 식생지수/식생율 출력물 24

표 2.7. 식생지수/식생율 품질 관리 26

표 3.1. 모의자료로 사용한 AHI 및 AMI 밴드 정보 27

표 3.2. PROBA-V 특징 29

표 3.3. 식생지수/식생율 검증자료의 특성 29

표 3.4. 식생지수 검증 결과 42

표 3.5. 식생율 검증 결과 45

<그림 목차>

그림 2.1. GK-2A AMI 식생지수/식생율 산출 흐름도 13

그림 2.2. 식생의 건강상태에 따른 분광특성. 아래쪽 실선이 가장 건강한 식생의 상태를 나타낸다. 16

그림 2.3. 선진기관 NDVI 산출 흐름도. a) MODIS NDVI, b) GOES-R NDVI. 18

그림 2.4. 식생지수/식생율 품질 관리 흐름도 25

그림 3.1. AMI 및 AHI의 가시 및 근적외 영역의 분광 반응 함수. 28

그림 3.2. Himawari-8/AHI와 PROBA-V의 가시영역 밴드의 분광반응함수(SRF) 30

그림 3.3. 각 채널에 대한 Co-registration 분석 31

그림 3.4. 해당 위성의 채널 자료를 이용하여 계산 NDVI의 Co-registration 분석 31

그림 3.5. 반사도 타입에 따른 NDVI의 공간적 분포 (a) TOA NDVI, (b) TOC NDVI, (c) FVBAR NDVI 35

그림 3.6. 지표 타입에 따른 임의의 픽셀에 대한 NDVI 시계열 분포, 사막(barren, BA), 상록 활엽수 림(BEF), 농경지(Crop, CRP), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), 침엽수림(Needleleaf forest, NF), 관목지(Shrub, SHR). 36

그림 3.7. 지표 타입에 따른 평균 NDVI 시계열 분포, 사막(barren, BA), 상록 활엽수림(BEF), 농경지(Crop, CRP), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), 침엽산림(Needleleaf forest, NF), 관목지(Shrub, SHR). 37

그림 3.8. 반사도 타입에 따른 FVC의 공간적 분포 (a) TOA FVC, (b) TOC FVC, (c) FVBAR FVC 38

그림 3.9. 지표 타입에 따른 임의의 픽셀에 대한 FVC 시계열 분포, 사막(barren, BA), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), and 관목지(Shrub, SHR) 40

그림 3.10. 지표 타입에 따른 평균 FVC 시계열 분포, 사막(barren, BA), 초원(Grass,

GRS), 혼유림(Mix forest, MF), and 관목지(Shrub, SHR). 41
그림 3.11. Himawari NDVI 및 PROBA-V NDVI 비교 결과(VZA 55° 이하).....43
그림 3.12. Himawari NDVI 및 PROBA-V NDVI 비교 결과(VZA 55° 이상).....44
그림 3.13. Himawari FVC 및 PROBA-V FVC 비교 결과(VZA 55° 이하).....45
그림 3.14. Himawari FVC 및 PROBA-V FVC 비교 결과(VZA 55° 이상).....46

약어표

AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
BA	Barren
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
ESA	European Space Agency
EVI	Enhanced Vegeation Index
FVBAR	Fixed Viewing BRDF Adjusted Reflectance
FVC	Fractional Vegetation Cover
GK-2A	Geo-Kompsat-2A
GRS	Grass
JMA	Japan Meteorological Agency
LAI	Leaf Area Index
MF	Mixed Forest
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MTSAT	Multi-functional Transport Satellite
MVC	Maximum Value Composite
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVImax	Maximum of NDVI
NDVImin	Minimum of NDVI
NIR	Near Infrared
NMSC	National Meteorological Satellite Center
PROBA-V	Project for On-Board Autonomy Vetgetation
QC	Quality Control
RMSE	Root Mean Square Error
SHR	Shrub
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SRF	Spectral Response Function
SZA	Satellite Zenith Angle
TOA	Top of Atmosphere

TOC	Top of Canopy
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VZA	Viewing Zenith Angle

1. 개요

1.1 목적

식생지수(Vegetation Index) / 식생율 (Fractional Vegetation Cover, FVC) 기술분석서 (Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD)는 정지궤도 기상위성 2A (Geo-Kompsat-2A, GK-2A)의 Advanced Meteorological Imager (AMI)로 획득한 반사도 데이터에서 식생지수 및 식생율 산출에 대한 자세한 설명과 물리적 기반을 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 사용자

- GK-2A NDVI 알고리즘의 물리적 기반을 이해하고자 하는 모든 사용자

- 기존의 알고리즘을 수정하거나 유지·보수하고자 하는 사람을 포함한 모든 사용자

1.3 내용

식생지수 기술분석서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 관측시스템 개요 : 식생지수 산출물 및 산출에 사용된 AMI 센서 채널의 간략한 설명

- 알고리즘 소개 : 알고리즘의 전체적인 흐름 및 배경, 수학적 설명과 입·출력자료의 설명

- 시험자료 및 출력물 : 모의자료인 Himawari-8/AHI와 모의자료를 사용한 출력물에 대한 설명

- 현업 운영시 고려사항 : 알고리즘 사용 시 고려사항 및 예외사항 처리, 검증결과에 대한 설명

- 가정 및 제한 : 알고리즘의 전체적인 평가 및 알고리즘 개선을 위한 향후 계획에 대한 설명

1.4 관련 문서

- NMSC, 2018, '영상 장면분석 표면분야 알고리즘 개발(5)' 최종보고서

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

본 알고리즘은 Full-Disk 영역의 지표면 중 AMI Cloud Mask product(CLD)에서 청천역으로 구분한 화소에 대해 식생지수 및 식생율을 산출한다. 식생지수와 식생율은 태양 천정각(Solar Zenith Angle, SZA) 및 위성 천정각(Viewing Zenith Angle, VZA) 80°이하 인 지역에 한하여 산출되며 시·공간해상도 및 목표 정확도는 표 2.1과 같다.

식생지수는 식물의 상대적인 분포량, 활동성, 엽면적 지수(Leaf Area Index, LAI), 엽록소의 함량, 엽량 및 광합성 유효 복사율(Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, FPAR), 계절적인 대기 탄소 순환의 변동성과 상관성이 높은 지표다. 따라서 식생지수는 식생관련 산출물의 입력 자료로 사용되며 이를 기반으로 식물의 일차총생산량(Gross Primary Production, GPP)을 정량적으로 추정 가능하게 하는 가장 기본적이면서도 중요한 변수이다. 과거부터 현재까지 많은 식생 관련 지수들이 개발되어 왔지만 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 식생지수인 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI)를 산출한다. 산출 시, 대기보정 및 비등방성 효과를 제거한 반사도 데이터를 사용하였다.

식생율(Fractional Vegetation Cover, FVC)은 해당 영역의 지표에서 녹색 식물이 차지하는 영역을 비율로 나타낸 것이다. FVC는 생물권, 수권, 대기권, 지권의 상호작용을 규명하는데 아주 중요한 역할을 한다. Chen et al.(1997)의 연구에서는 FVC는 토양-식생-대기의 순환 모델을 사용하여 지표면과 대기 경계면의 변화를 규명하기 위한 중요한 생물학적 변수라고 나타났다. 뿐만 아니라 육지 표면 상태를 고려, 기후 변화 및 기상을 예측하는 연구에서 FVC의 정확한 산출이 요구되고 있다(Zeng et al.,2000). 또한 이것은 농업, 임업, 자원 및 환경관리, 토지 이용, 수문학, 재해모니터링, 가뭄 모니터링 등 다양한 분야에서 활용 가능하다. 본 연구에서는 NDVI 기반의 Linear mixture 모델을 사용하여 산출된다.

표 2.1. 식생지수/식생율 산출물 시·공간 해상도 및 목표 정확도

산출 자료	시간해상도	공간해상도	산출조건	목표정확도
NDVI	1 일	2km	SZA < 80° VZA < 80°	VZA < 55° RMSE 0.03 VZA > 55° RMSE 0.07
EVI	1 일			-
FVC	1 일			VZA < 55° RMSE 0.1 VZA > 55° RMSE 0.2

2.2 알고리즘 흐름도

본 연구에서 산출하는 식생지수인 NDVI와 EVI는 근적외 영역의 반사도와 적색 영역의 반사도, 청색 영역의 반사도를 이용하여 산출하게 된다. 원격탐사에 의해 획득된 반사도 자료를 이용하기 전에, 구름 및 에어로졸에 의한 산란, 굴절, 반사 등의 영향과 태양 입사각의 변화 등의 영향으로 인하여 왜곡 현상이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위해, 대기보정, 지리보정, 기하보정을 통한 위성 전처리 과정을 거치게 된다. 위성 전처리 과정을 수행 한 이후에도, 정지궤도 위성의 특성에서 나타나는 태양 방향성 감소를 위해 Bi-directional Reflectance Distribution Function(BRDF) 모델링을 수행한다. 본 연구에서는 연구에서는 위의 과정이 모두 수행된 지표면 반사도(SAL)의 중간 산출물인 정규화 반사도(Fixed Viewing BRDF Adjusted Reflectance, FVBAR) 자료를 바탕으로 식생지수를 생산하였다.

FVC는 간단하며 비교적 정확도가 높아 널리 사용 중인 NDVI를 이용한 선형 혼합 방정식을 사용하였다(Gutman and Ignatov, 1998; Jiang, et al., 2010). 해당 산출식은 NDVI의 min/max 값을 사용하여 FVC를 산출하는 식으로써, $NDVI_{min}$은 식생이 존재하지 않는 사막 등 barren area의 NDVI 값이며, $NDVI_{max}$ 는 식생이 왕

성하게 존재하는 곳에서의 NDVI 값을 나타낸다. 본 연구에서는 MODIS land cover 자료를 이용하여 완전한 식생으로 구성된 Broadleaf Evergreen Forest와 식생이 분포하지 않는 barren 지역을 구분하고 해당 영역에서 가장 빈도가 높게 나타나는 값을 NDVImax, NDVImin로 설정하고 1개월 단위로 최대/최소값을 결정하였다. 이렇게 설정된 NDVImax, NDVImin를 바탕으로 산출된 식생율의 값이 해당 scene 기준에서 0 이하인 픽셀과, 1 이상인 pixel이 전체 pixel의 상위 15%인 경우에는 다시 식생지수의 최대/최소값을 결정하도록 하였다.

그림 2.1은 본 연구의 전체적인 알고리즘의 흐름도이다. 본 알고리즘은 태양 천정각이 80° 미만인 주간에만 적용이 되었다. 현재 육상 관련 산출물에 필수적인 구름 탐지 자료가 2016년 8월에 한하여 10분 간격으로 존재하기 때문에 동일 기간 식생지수를 산출하였다.

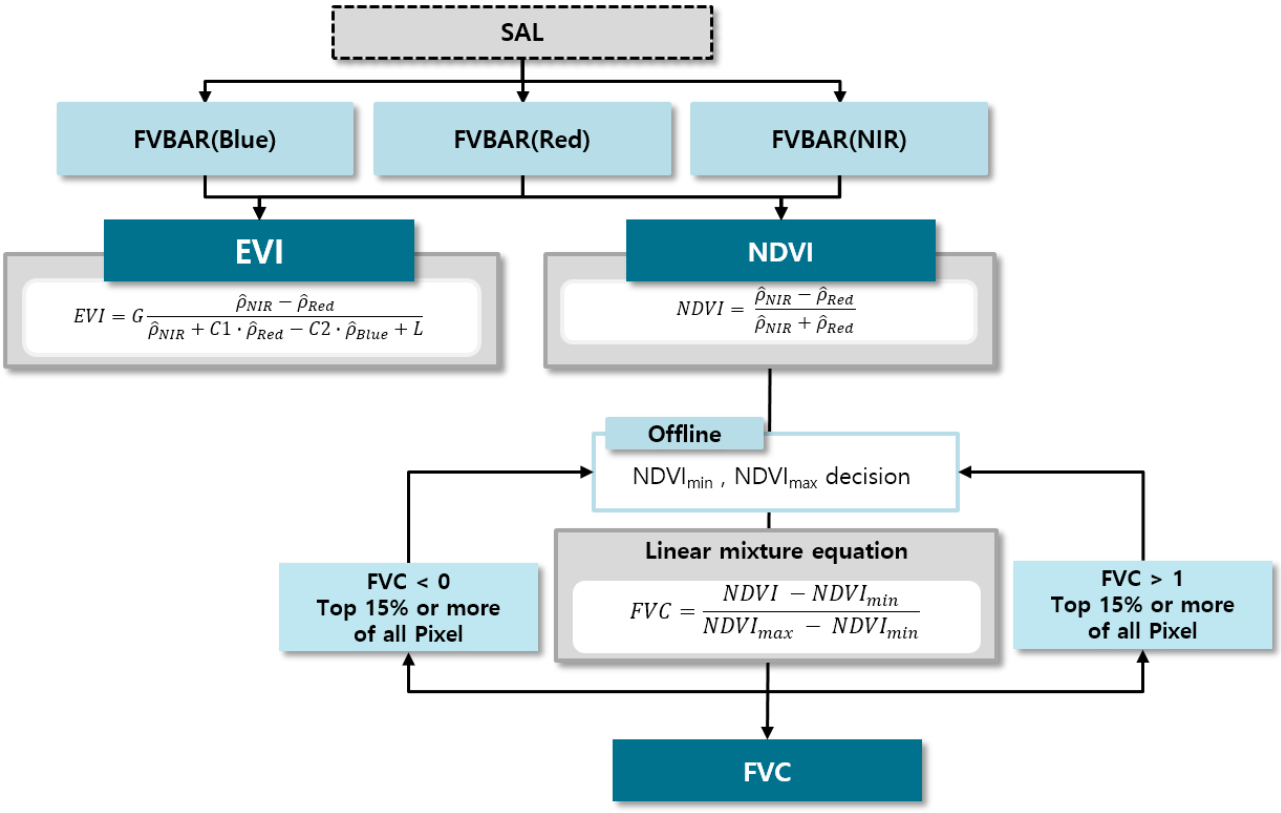


그림 2.1. GK-2A AMI 식생지수/식생율 산출 흐름도

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

본 알고리즘을 이용하여 식생지수를 산출하기 위해서는 기본적으로 청색 및 적색 영역의 반사도와 근적외 영역 반사도 자료가 필요로 한다. 그러나 본 연구에서는 직접적으로 AMI의 채널자료를 사용하지 않고, GK-2A 지표면 반사도(SAL)의 중간 산출물인 정규화 반사도(FVBAR)의 채널 자료를 사용한다.

2.3.2 L2

본 알고리즘은 식생지수 및 식생율을 계산하기 위하여 FVBAR를 사용하였다. 이것은 구름이 없는 픽셀에 한하여 GK-2A AMI L1B 채널 자료에 대해 대기보정을 실시하였다. 뿐만 아니라 지표의 이방성 효과를 고려한 BRDF modeling을 수행하였다. 이 자료는 주간에 한하여 AMI full disk에 해당하는 지표에 대해 산출한다. 이러한 과정에서 식생지수 산출에 영향을 끼치는 다른 요소들을 모두 고려하였기 때문에 본 연구에서는 추가적으로 사용하지 않는다.

표 2.2. 식생지수/식생율 입력 자료 (GK-2A/AMI Level 2 산출물)

자료	설명	용도
FVBAR_b01	Fixed Viewing BRDF Adjusted Reflectance (blue)	NDVI, EVI 계산
FVBAR_b03	Fixed Viewing BRDF Adjusted Reflectance (red)	NDVI, EVI, FVC 계산
FVBAR_b05	Fixed Viewing BRDF Adjusted Reflectance (NIR)	NDVI, EVI, FVC 계산
RMSE_b01	BRDF modeling Root Mean Square Error (blue)	EVI 품질 관리

RMSE_b03	BRDF modeling Root Mean Square Error (red)	NDVI, EVI, FVC 품질관리
RMSE_b04	BRDF modeling Root Mean Square Error (NIR)	NDVI, EVI, FVC 품질관리

2.3.3 보조 자료

본 알고리즘은 산출물의 각도 성분에 따른 정확도 평가 및 flag 설정을 위하여 AMI의 VZA가 필요하다. 아래 표 2.3은 본 연구의 보조 자료와 그 용도에 대해 설명하고 있다. 추가적으로 지표면 지역의 구분을 위하여 지표/바다 구분 자료 (Land/Sea mask)가 필요하나, FVBAR 산출 과정에서 이를 고려하기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않았다.

표 2.3. 식생지수/식생율 입력자료 (보조자료)

자료 명	Description	use
Viewing zenith angle	AMI viewing zenith angle	NDVI flag

2.4 이론적 배경

2.4.1 NDVI

기후연구에 가장 중요한 장기간 데이터 확보를 위하여 대부분의 연구에서 식생의 건강상태를 파악하기 위해 주로 NDVI를 사용한다. 식생은 그림 2.2와 같은 분광 특성을 지닌다. 건강한 식생일수록 근적외 영역의 반사도와 적색 영역의 반사도가 큰 차이를 가진다. 이를 활용하여 NDVI를 산출한다.

다양한 연구에서 이를 생산하기 위하여 주로 3가지 타입의 반사도 자료를 사용하고 있다. 먼저 대기효과를 고려하지 않은 Top Of Atmosphere (TOA)를 사용하는 경우가 있다. 이는 식생지수의 합성과정에서 대기효과가 제거되며 (Holben et al.,

1986), 대기 보정 전/후의 NDVI 경향이 유사하기 때문이다(Chen et al., 2003). 다음으로 Top Of Canopy (TOC)를 기반으로 하는 연구가 있다. 지표 산출물은 가강수량, 오존, Aerosol Optical Depth (AOD) 등의 대기 요소에 의해 불확실성이 초래되며 (Nagol et al., 2009), 대기보정 방법에 따라 식생지수의 값에 영향을 끼치기 때문이다(ke et al., 2015). 마지막으로 Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) 모델링을 통한 정규화 반사도를 사용하여 NDVI를 산출하는 연구가 있다. 식생지수는 지표의 위성각 및 태양각에 따라 값이 변화하기 때문에 각도에 따른 BRDF 효과를 고려한 식생지수 산출이 필요하다(Fensholt et al., 2006; Vermote et al., 2009)고 한다. 뿐만 아니라 Yeam et al. (2013)에 의하면 위성의 특징에 맞은 BRDF 모델 적용이 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 대기보정 및 BRDF 모델링을 수행한 GK-2A 지표면 반사도의 부가 산출물인 정규화 반사도를 사용하여 NDVI를 산출한다. 대기보정은 6S 복사전달 모델 기반의 LUT를 이용하여 산출하였으며, BRDF 모델링은 선형 반경험적 BRDF 모델을 이용하여 수행하였다. 이에 대한 자세한 내용은 GK-2A AMI 지표면 반사도 알고리즘 분석서를 참조한다.

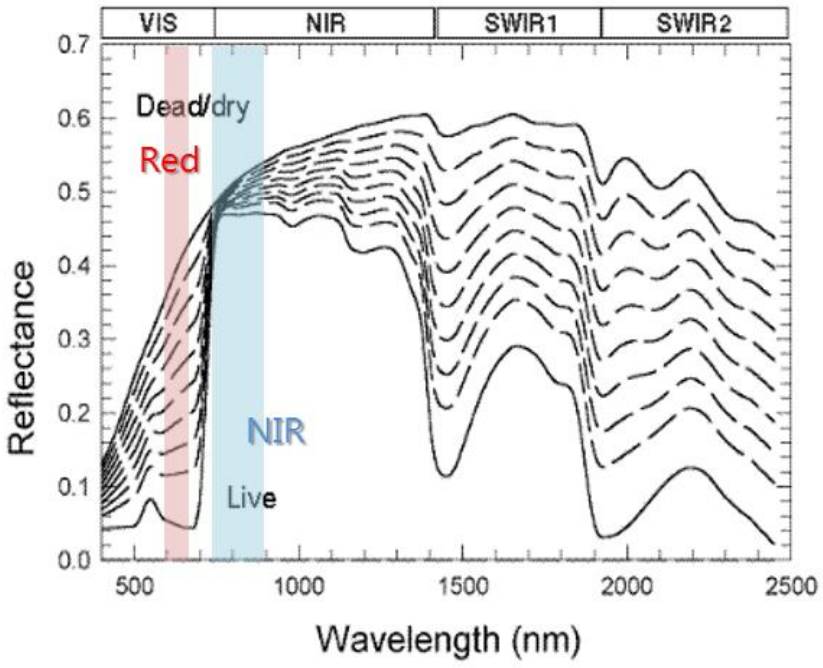


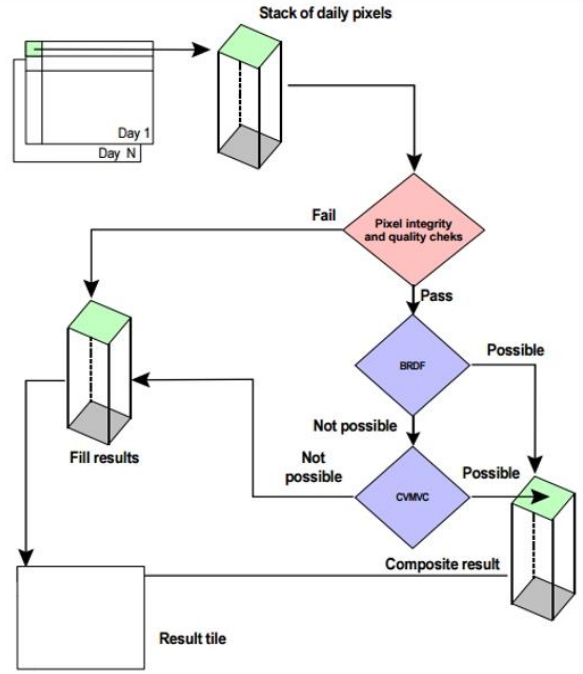
그림 2.2. 식생의 건강상태에 따른 분광특성. 아래쪽 실선이 가장 건강한 식생의 상태를 나타낸다.

표 2.4. 선진기관 NDVI 산출 현황

반사도 기반	Satellite/ Sensor	Operation period	Spatial Resolution
TOA	NOAA AVHRR	1978 ~	1 km
TOC	SPOT, PROBA / Vegeation	1999 ~	1 km
	Terra&Aqua / MODIS	2000 ~	250 – 1000 m
	Suomi NPP / VIIRS	2012 ~	250 – 1000 m
	MTG SEVIRI	2005 ~	1-3 km

현재 선진기관에서는 주로 TOA 및 TOC 반사도를 이용하여 식생지수는 과거부터 현재까지 꾸준히 산출하고 있다(표 2.4). NDVI는 근적외 영역과 적색 영역의 반사도 차이를 이용한 간단한 선형식이기 때문에 대부분의 위성에서 전반적인 알고리즘은 유사하다. 대부분의 기관에서 하루 단위가 아닌 일정 기간 합성한 NDVI을 제공하는데, 합성 방법은 합성기간 중 해당 픽셀의 최대값을 이용하는 Maximum Value Composite(MVC) 방법을 바탕으로 진행한다(그림 2.3).

a) MODIS NDVI 산출과정



b) GOES-R NDVI 산출과정

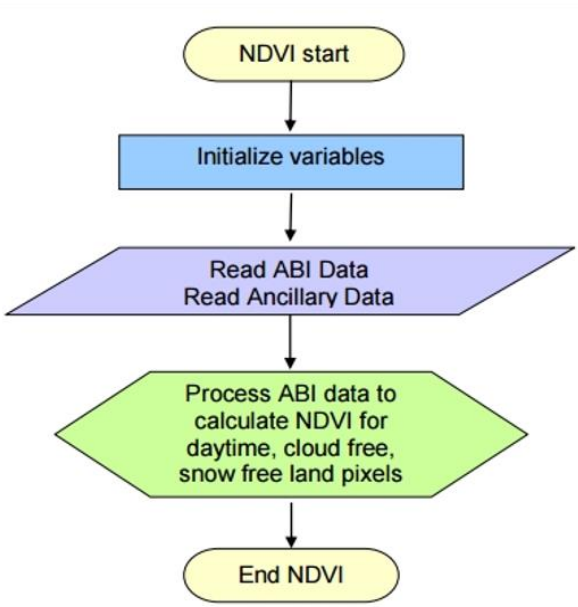


그림 2.3. 선진기관 NDVI 산출 흐름도. a) MODIS NDVI, b) GOES-R NDVI.

2.4.2 EVI

NDVI는 엽록소에 민감하게 반응하여 식생의 생리적인 특정을 반영한다고 할 수 있지만, 앞서 설명한 것과 같이 지형이나 수분량, 안개, 운무, 토양 등 다양한 환경에도 반응한다. 이러한 영향 때문에 산출 시 다양한 오차를 포함할 수 있다. 이와 같은 영향을 최소화 하기 위하여 EVI가 개발되었다.

EVI는 NDVI의 개량 식생지수로서 특히 식생 분포량이 많은 지역에서 식물의 신호값을 효과적으로 파악하기 위해 개발되었으며 앞서 설명한 것과 같이 지형 및 구름 안개 등의 공간적 분포 차이로 인해 발생하는 오차를 줄이기 위하여 Blue 밴드를 추가로 활용하는 식생지수이다. 뿐만 아니라 토양효과 보정상수, 에어로졸 제거를 위한 계수 등을 사용하여 대기 영향 및 태양 배경 효과를 감소시켜 식생의 모니터링을 보다 수월하게 한다(Liu and Huete, 1995). 엽면적지수인 Leaf Area Index (LAI)가 3 이상되는 산림이 포화된 환경에서는 NDVI의 효용성이 크게 떨어지는데, EVI는 해당 효과를 에어로졸 및 토양 반사의 영향을 보다 감소시켜 식생

변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Townshend et al., 1991; Liu and Huete 1995).

현재 Terra/Aqua MODIS, Suomi-NPP VIIRS 등 위성에서 해당 산출물을 제공하고 있으며, 총 1차 생산량(Gross Primary Production, GPP) 추정(Rahman, et al. 2005; Sims et al. 2006), 지표 변화 (Wardlow et al. 2007), 증발산 (Nagler et al. 2005), 식물의 계절 특성 분석 (Ahl et al. 2006, Huete et al. 2008) 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

2.4.3 FVC

원격탐사를 이용하여 식생율을 산출하는 방법은 크게 경험적 모델 방법, 물리적 모델 방법 구분된다. 먼저 경험적 모델 방법은 일반적으로 NDVI와 FVC 사이의 경험적 관계를 분석한다. 그 결과 통해 NDVI를 바탕으로 FVC를 산출하게 된다. 물리적 모델은 잎과 다른 요소들에 의한 반사율, 투과율, 흡수 등 복잡한 해당 지점의 Canopy 복사 전달 처리과정을 고려하여 산출한다. 이러한 전반적인 과정을 모두 고려하여 FVC 직접 계산하기에는 어렵기 때문에 기계학습 및 Look-Up table 방식 사용하여 단순화하여 여러 연구에서 활용하고 있다. 기계학습은 보다 빠른 계산시간을 위하여 샘플 데이터의 학습을 통하여 FVC를 산출하는 방식이다. 현재 FVC를 산출하기 위하여 선진기관 및 연구에서 다양한 방법을 이용하고 있으며 사용하는 모델과 특징은 아래 표 2.5와 같다. 본 연구에서는 계산식이 비교적 간단하며, 가장 널리 사용하고 있는 NDVI 기반의 Linear mixture 모델을 사용하였다(Gutman and Ignatov, 1998; Jiang, et al., 2010).

표 2.5. FVC 산출 방법

모델		내용
Regression Model	Linear Regression Model Method	주로 대표적인 식생지수인 NDVI를 이용하여 선형회귀 방정식을 이용하여 FVC 산출 (Hurcom et at., 1998; Xiao and Moody, 2005).
	Nonlinear Regression Model Method	Leaf Area Index(LAI), NDVI, Green NDVI, Visible Atmospherically Resistant Index(VARI) 등 다양한 식생지수를 활용한 비선형회귀 방정식을 이용하여 FVC 산출 (Gitelson et al., 2002; Li et al., 2005)
Linear Unmixing Model		지표타입에 따른 NDVI 값 및 각각의 pixel에 해당하는 반사특성을 이용하여 FVC 산출 (Gutman et al., 1998; Zeng et al., 2002)
Machine learning Model		Neural network, Decision Tree 등 다양한 기계학습 모델을 적용하여 FVC 산출 (Foody et al., 2001; Hansen et al., 2003; Voorade et al., 2008)

2.5 수학적 설명

2.5.1 NDVI

NDVI는 Rouse et al.(1974)에 의해 개발되었으며, 해당 식은 근적외 영역의 반사도와 적색 영역의 반사도의 차이를 정규화하여 산출한다. 해당 식은 간단하며 비교적 정확하여 다양한 기관에서 꾸준히 산출하고 있다. 과거부터 현재까지 여러 종류의 식생지수가 개발 및 개선되어 사용하고 있지만, 식생 관련 산출물로 가장 많이 활용되고 있는 식생지수이다. 해당 식은 다음과 같다(식 3.1).

$$NDVI = \frac{\hat{\rho}_{NIR} - \hat{\rho}_{Red}}{\hat{\rho}_{NIR} + \hat{\rho}_{Red}}$$

$\hat{\rho}_{NIR}$ = 근적외 영역 정규화 반사도

$\hat{\rho}_{Red}$ = 적색 영역 정규화 반사도

본 연구에서 사용된 GK-2A 지표면 반사도(SAL)의 부가 산출물인 정규화 반사도(FVBAR)를 사용한다. 식 3.2와 같이 정규화 과정을 수행한다. 자세한 내용은 GK-2A SAL ATBD를 참조한다.

$$\begin{aligned}\rho_{norm} &= \rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = \theta_v, \phi \\ &= mean) + \rho_{measured} \\ &- \rho_{model}(\theta_s, \theta_v, \phi)\end{aligned} \quad (3.2)$$

ρ_{norm} – 정규화 반사도

$\rho_{model}(\theta_s = mean, \theta_v = \theta_v)$ – 합성 기간 동안 위성 천정각 및 평균 태양 천정각으로 모의된 반사도

$\rho_{measured}$ – 위성에서 관측된 지표면 반사도

$\rho_{model}(\theta_s, \theta_v, \phi)$ – 주어진 각도 성분으로 모의된 반사도

NDVI 값이 1에 근접할수록 식생이 건강한 상태이다. 그와 반대로 0에 근접할수

록 식생이 거의 존재하지 않으며 대부분 죽어있는 상태를 나타낸다. 물과 구름지역에서 음의 값이 계산 될 수 있다. 그러한 상황일 경우, 본 알고리즘에서는 0으로 대체한다.

2.5.2 EVI

EVI는 Liu and Huete (1995)이 제시한 식생지수로써, 청색 영역 반사도, 적색 영역 반사도, 근적외 영역 반사도를 이용하여 산출하게 된다. 본 알고리즘에서 GK-2A 지표면 반사도(SAL)의 부가 산출물인 정규화 반사도(FVBAR)를 사용한다. EVI의 식은 다음과 같다. (식 3.3)

$$EVI = G\frac{\hat{\rho}_{NIR} - \hat{\rho}_{Red}}{\hat{\rho}_{NIR} + C1 \cdot \hat{\rho}_{Red} - C2 \cdot \hat{\rho}_{Blue} + L}$$

$\hat{\rho}_{NIR}$ = 근적외 정규화 반사도, $\hat{\rho}_{Red}$ = 적색 정규화 반사도, $\hat{\rho}_{blue}$ = 청색 정규화 반사도

L은 토양조절인자이며, G는 이득 계수 (gain factor)이다. C1 및 C2는 적색광 밴드에서 에어로졸 산란 효과를 보정하기 위하여 청색의 사용 정도를 나타내는 계수이다. 해당 계수들은 MODIS 및 VIIRS에서 적용하고 값을 사용하였으며, 그 값은 다음과 같다, L = 1, G = 2.5, C1 = 6, C2=7.5.

EVI 또한 1에 가까울수록 건강한 식생을 나타내며, 0에 가까울수록 식생이 존재하지 않거나 죽은 상태를 나타낸다. 특정 지역에서 음의 값이 나타날 수 있으나, 해당 경우 연구에서는 0으로 처리 하였다.

2.5.3 FVC

본 알고리즘에 사용된 FVC 산출식은 위의 설명과 마찬가지로 NDVI 기반의 Linear mixture 모델을 사용하였다(Gutman and Ignatov, 1998; Jiang, et al., 2010). 이는 FVC 산출식 중에서도 간단하며 비교적 높은 정확도가 산출된다고 알려져 있다. 그 식은 다음과 같다.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

해당 산출식은 NDVI의 min/max 값을 사용하여 식생율을 산출하는 식으로써, NDVImin은 식생이 존재하지 않는 사막 등 barren area의 NDVI 값이며, NDVImax는 식생이 왕성하게 존재하는 곳에서의 NDVI 값을 나타낸다. 하지만 NDVI의 min/max 값을 결정하는 것에는 많은 문제점이 있다. 이는 토양 및 식생의 유형, 엽록소 함량 등 많은 요소에 영향을 받기 때문이다. 대부분의 연구에서 NDVI의 통계 분석을 통하여 결정한다. Gutman et al.(1998)과 Zeng et al.(2000)의 연구에서는 NDVI 시계열 자료를 통하여 시계열 상에서 나타나는 최대값을 NDVImax로 설정하고, 시계열 상 최소값을 NDVImin으로 결정하였다. Xiao and Moody(2005)의 연구에서는 해당 연구영역의 식생지수 최대/최소값을 NDVImin, NDVImax로 결정하였다. GOES-R Vegetation Fraction ATBD (2010)에서는 전체 지표타입에서 식생지수 최대/최소값을 상위 5%와 하위 5%에 해당하는 값으로 설정하였다. Gutman et al.(1998)의 연구에서는 매 계절마다 해당 최대/최소값을 결정하여 FVC를 사용하였다. 본 연구에서는 MODIS land cover 자료를 이용하여 완전한 식생으로 구성된 Broadleaf Evergreen Forest와 식생이 분포하지 않는 barren 지역을 구분하고 해당 영역에서 가장 빈도가 높게 나타나는 값을 NDVImax, NDVImin로 설정하고 1개월 단위로 최대/최소값을 결정하였다. 본 연구에서는 현재 연구기간이 1개월로 그 결과는 아래의 값과 같다.

$$NDVI_{min} = 0.04$$
$$NDVI_{max} = 0.89$$

이 때, FVC의 값이 0 이하로 산출되는 경우는 0으로 처리하였으며, 1 이상으로 나타나는 경우에는 1로 처리하였다. 이렇게 산출된 FVC의 값이 해당 영상 기준에서 0 이하인 픽셀과, 1 이상인 픽셀이 전체 픽셀의 상위 15%인 경우에는 다시 식생지수의 최대/최소값을 결정하도록 하였다. 그리고 향후 GK-2A가 발사된 후 본 연구에서 사용된 자료보다 더 많은 자료가 수집될 경우, 현재 결정된 NDVI min/max 값은 변동될 수 있다.

2.6. 산출물

본 알고리즘의 산출물은 NDVI, EVI, FVC 총 3개로 구성되어 있다. 해당 산출물들은 1일 주기로 산출이 되며 지표에 한하여 제공한다(표 2.6)

표 2.6. 식생지수/식생율 출력물

산출물 명	타입	내용	출력 범위
NDVI	float	Normalized Difference Vegetation Index	0~1
EVI	float	Enhanced Vegetation Index	0~1
FVC	float	Fractional Vegetation Index	0~1

해당 산출물의 품질 관리(Quality Control flag)는 GK-2A 지표면 반사도 알고리즘의 부가산출물 BRDF modeling Root Mean Square Error (RMSE) 자료를 바탕으로 설정한다. 사용하는 반사도 자료의 RMSE가 0.05보다 낮을 경우 Good, 높을 경우 Bad로 설정하였다. 그림 2.4는 품질 관리의 흐름도이다. 추가적으로 목표정확도에 사용되는 위성천정각과 지표 및 해양 구분 정보를 포함하였다(표 2.7).

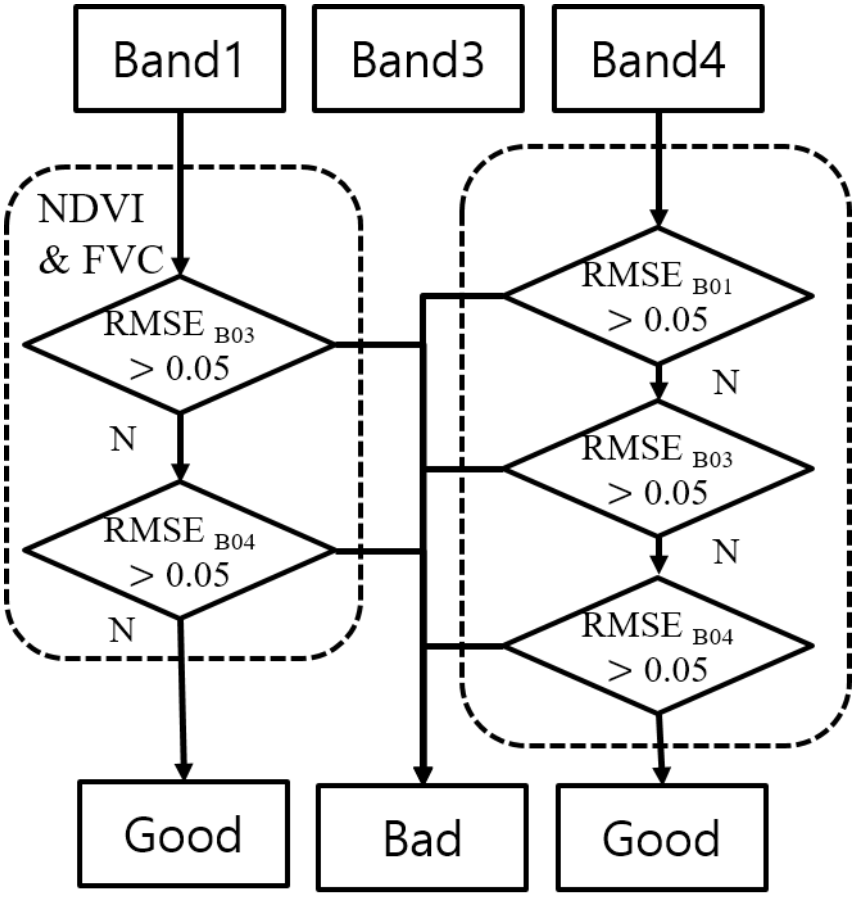


그림 2.4. 식생지수/식생율 품질 관리 흐름도

표 2.7. 식생지수/식생율 품질 관리

Bit	설명	내용
0	사용 안함	-
1	위성 천정각(VZA)	0 : VZA ≤ 55° 1 : VZA ≥ 55°
2	지표/해양	0 : 지표 1 : 해양
3	NDVI 품질 표기	0 : Good 1 Bad
4	EVI 품질 표기	0 : Good 1 Bad
5	FVC 품질 표기	0 : Good 1 Bad
6	사용 안함	-
7	Fill-value	0 : AMI 영역 1 : 그 외

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

3.1.1 모의 입력자료

본 연구에서는 식생지수/식생율 산출 알고리즘을 개발하기 위하여 모의 자료로 Himawari-8/AHI 자료를 사용하였다. Himawari-8/AHI는 정지궤도 위성으로 GK-2A/AMI와 기하학적 관계가 유사하다. 표 3.1은 두 위성의 청색, 적색, 근적외 영역 밴드의 특징을 나타내며 그림 3.1은 두 위성의 분광 반응 함수(Spectral Response Function, SRF)를 나타낸다

표 3.1. 모의자료로 사용한 AHI 및 AMI 밴드 정보

센서	밴드 번호	중심 파장 (㎛)	공간 해상도
AMI	1	0.47	1 ㎞
	3	0.64	0.5 ㎞
	4	0.86	1 ㎞
AHI	1	0.47	0.5 ㎞
	3	0.64	0.5 ㎞
	4	0.86	1 ㎞

Himawari-8 / AHI 는 Japan Meteorological Agency (JMA)에서 운영하고 있으며, Multi-functional Transport Satellite(MTSAT)의 후속 위성으로 개발하여 2014 년 10 월 7 일에 발사되었다. Himawari-8/AHI 는 경도 동경 140.7°에 위치하고 있다. 전구(Full disk) 영역에 대하여 시간해상도 10 분, 목표 지역에 대하여 2.5 분으로 높은 시간해상도를 가지고 있다. 총 16 개 채널을 포함하고 있으며, 본 연구에서는 식생지수 및 식생율을 산출하는데 필요한 청색 밴드(B1), 적색 밴드(B3), 근적외 밴드(B4) 자료를 사용하였다. 청색 밴드의 중심파장은 0.47 ㎛이며 공간해상도는 1 km 이다. 적색 밴드의 중심파장은 0.64 ㎛이며, 공간해상도는 0.5 km 이다. 근적외 channel 의 중심파장은 0.86 ㎛이며,

공간해상도는 1 km 이다. 그림 3.1 은 각 채널의 분광 반응 함수(Spectral Response Function, SRF)를 나타낸다.

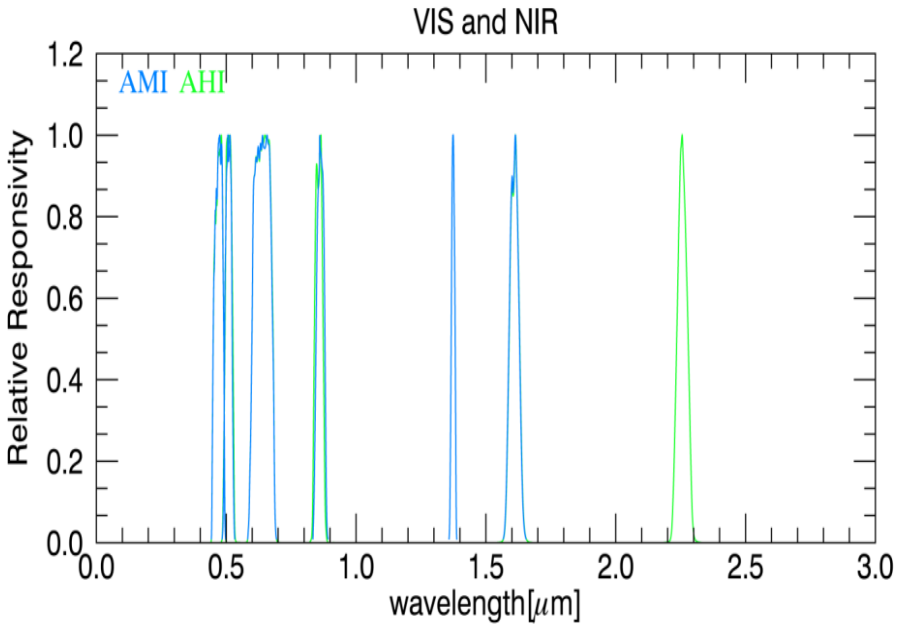


그림 3.1. AMI 및 AHI의 가시 및 근적외 영역의 분광 반응 함수.

3.1.2 검증자료

검증자료로 PROBA-V NDVI/FVC 자료를 사용하였다. 위성자료를 활용한 산출물을 검증하기 위하여 주로 실측(in-situ data)를 활용한다. 하지만 식생지수/식생율의 경우 지상에서의 관측이 불가능하므로 실측자료를 통한 검증은 실시하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 타 위성자료인 PRoject for On-Board Autonomy – Vegetation (PROBA-V)의 S10 NDVI, FVC 자료를 검증자료로 사용하였다. PROBA-V는 European Space Agency (ESA)에서 운영중인 위성으로 2013년 5월 7일에 발사되었다(표 3.2). 해당 위성의 S10 NDVI는 Simplified Method for Atmospheric Correction (SMAC)을 이용하여 산출한 TOC 반사도 자료를 바탕으로 10일 동안 Maximum Value Composite(MVC) 방법을 이용하여 합성한 자료이며, FVC는 Biophysical retrieval methodology (PROBA-Vand, 2014)을 사용하여 산출한다. (표 3.3).

그림 3.2는 Himawari-8 / AHI의 각 채널의 SRF과 이와 유사한 파장을 가진

PROBA-V의 각 채널의 SRF를 나타낸다. 두 위성 모두 동일한 중심파장을 가지고 있지만 각 채널의 폭에서 차이가 발생한다.

표 3.2. PROBA-V 특징

위성	PROBA - V			
관측 타입	Sun – synchronous			
고도	≈ 820 km			
시간해상도	1, 5, 10 일			
채널	Blue	Red	NIR	SWIR
파장 (nm)	447 ~ 493	610 ~ 690	777 ~ 893	1570 ~ 1650
공간해상도	100 m, 300 m, 1 km			

표 3.3. 식생지수/식생율 검증자료의 특성

위성	PROBA – V
시간해상도	10 일
합성기간	30 일
대기보정	SMAC
대기보정 입력자료	- water vapour ECMWF NWP modeldelivered by MeteoServices - Ozone climatology based on Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) observations - AOD optimization algorithm applied to the BLUE band

	- surface pressure Global Land Surface Digital Elevation Model (GLSDEM)

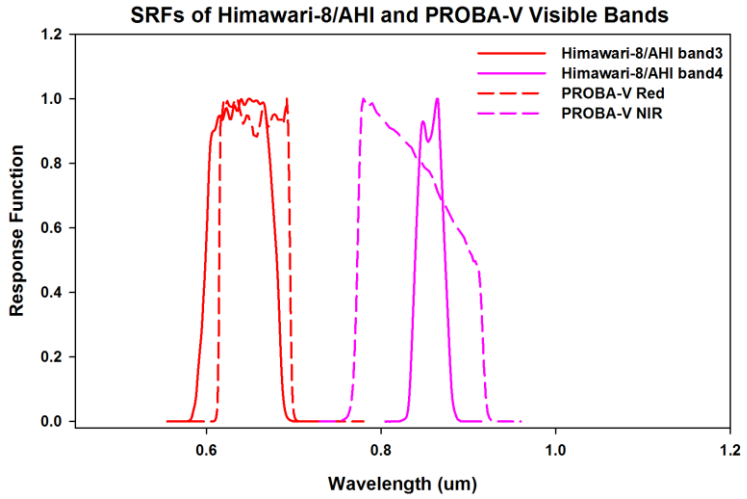


그림 3.2. Himawari-8/AHI와 PROBA-V의 가시영역 밴드의 분광반응함수(SRF)

3.2 검증 방법

식생지수/식생율은 각도 성분에 의해 영향을 많이 받으므로 (Fensholt et al., 2006), 본 연구에서는 위성 천정각에 따라 목표정확도를 분류하여 분석하였다. 본 연구의 검증자료인 PROBA-V NDVI, FVC 자료는 geographic map 으로 자료가 제공되고 있으며, 공간해상도가 1km 이기 때문에, 검증 수행 전 match-up 을 수행하였다. Match-up 수행 시 발생하는 에러를 최소화 하기 최근접 화소를 기준으로 위하여 3-by-3 평균을 모의자료 결과 및 검증자료에 대해 적용하였으며, 식생지수/식생율은 주변 픽셀의 분광특성에도 영향을 받기 때문에, 본 연구에서는 3-by-3 평균 수행시, 표준편차가 0.03 이상이 되는 픽셀은 검증에서 제외하였다.

또한 PROBA-V 와 Himawari-AHI 의 Co-registration 에러를 분석하여 검증 픽셀을 분류하였다. 먼저 case 1 으로 NIR channel 의 민감도를 분석하였다. NDVI 를 계산하는데 있어서 공통적으로 AHI Red channel 을 사용하고, 각각의 NIR channel 을 이용하여 NDVI 를 산출하였다. 그 결과 그림 3.3 과 같다. R 은 0.909308, RMSE 0.106324, Bias -0.01395 산출되었다. 다음으로 case 2 로 Red channel 의 민감도를 분석하였다. 공통적으로 AHI NIR channel 을 사용하고,

각각의 Red channel 을 이용하여 NDVI 를 산출하였다. R 0.704448, RMSE 0.196138, Bias -0.05067 로 나타났다. 마지막으로 각각의 channel 자료를 이용하여 NDVI 를 산출하였을 때, R 0.602519, RMSE 0.237991, Bias -0.08623 으로 나타났다(그림 3.4). NDVI 는 단순 channel 의 비를 이용하여 산출하게 되는데, 이 결과를 통해 필연적으로 타 위성과 값의 차이가 발생할 수밖에 없다는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 두 위성의 식생지수 및 식생율의 차이가 0.3 이상이 되는 픽셀은 검증에서 제외 하였다.

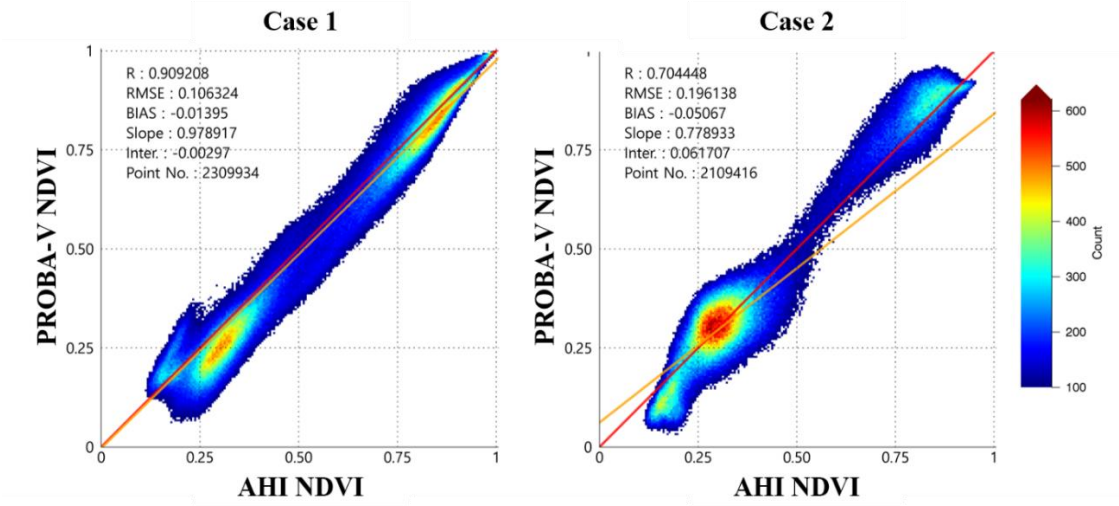


그림 3.3. 각 채널에 대한 Co-registration 분석

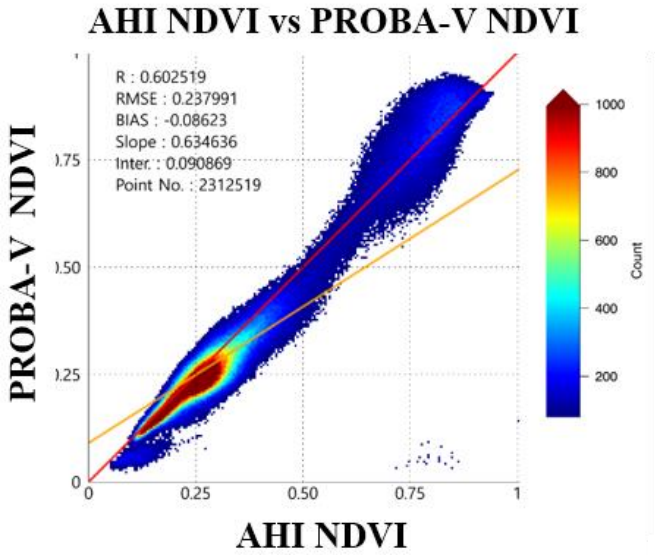


그림 3.4. 해당 위성의 채널 자료를 이용하여 계산 NDVI의 Co-registration 분석

알고리즘의 검증 결과를 평가하기 위하여 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error, RMSE)를 사용하였다. RMSE 는 산출 결과의 값과 검증 데이터의 값의 차이를 분석할 때 주로 사용하는 식으로써, 그 식은 다음과 같다.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

3.3 검증 결과

3.3.1 NDVI 산출 결과

본 연구에서는 Himawari-8/AHI의 정규화 반사도(FVBAR)를 이용하여 FVC를 산출하였다. 모의자료인 Himawari-8 / AHI 채널 자료를 이용한 10분 단위의 cloud mask 자료는 공간해상도가 2km이며, 2016년 8월 한 달에 한하여 제공하고 있기 때문에, 본 연구에서도 동일 기간 NDVI를 공간해상도 2km로 산출하였다. 이론적으로 NDVI 값은 –1 ~ 1 이나, 0 이하의 값은 식생이 존재하지 않는 지역이기 때문에 0. 으로 설정하였다.

본 연구에서는 타 위성과의 검증에 앞서서 총 3가지 타입 TOA NDVI, TOC NDVI, FVBAR NDVI를 각각 산출하고 이들의 민감도를 분석하였다. TOA 반사도에서 구름만 제거하여 1차적으로 10분 단위로 NDVI를 산출한다. 여기서 가장 일반적으로 사용하는 식생지수 합성 방법인 Maximum Value Composite (MVC)를 하여 1일 합성자료인 TOA NDVI를 생산한다. 다음으로 TOC 반사도를 사용하여 TOA NDVI와 마찬가지로 1차적으로 생산된 TOC 반사도 기반의 NDVI를 MVC 합성하여 TOC NDVI를 산출한다. 마지막으로 FVBAR 반사도를 바탕으로 FVBAR NDVI를 산출한다. 이렇게 산출된 NDVI들을 지표타입에 따라 시공간적으로 민감도를 분석하였다.

그림 3.5은 3가지 타입의 반사도를 사용하여 각각 계산된 NDVI들의 대한 공간적 분포를 나타낸다. 중국 남부 지역에 TOC NDVI의 경우 missing 값이 발견되지만, FVBAR NDVI의 경우 비교적 적은 missing 값이 산출되었다. TOA NDVI는 다른 NDVI들에 비해 대부분의 지표타입에서 상대적으로 낮은 값이 산출되었으며, 그에 반해 TOC NDVI는 높은 값이 산출되었다. 하지만 지표타입에 따라 다른 경향이

나타나고 있다. 대표적으로 호주 지역에서는 TOC NDVI가 상대적으로 가장 높은 값이 산출되는 반면에, 한반도 및 중국 동부 지역에서는 FVBAR NDVI가 타 NDVI에 비해 높은 값이 나타난다. 이에 지표 타입에 따라 NDVI들의 민감도를 추가적으로 분석하였다.

그림 3.6는 해당 지표타입의 임의의 픽셀에 대한 NDVI들의 시계열 분포를 나타난다. X축은 시간을 나타내며, Y축은 NDVI 값을 나타낸다. 식생은 일반적으로 짧은 기간 동안 크게 변하지 않는다. 하지만 TOA NDVI와 TOC NDVI의 경우 농경지(Crop, CRP), 혼유림(Mix forest, MF), 침엽수림(Needleleaf forest, NF) 지역에서 NDVI 값이 급격히 감소하였다가 다시 증가하는 패턴이 나타났다. 이는 미처 제거하지 못한 구름, 강우로 인한 지표의 수분 등으로 인한 에러값으로 판단된다(Kim et al. 2011). 뿐만 아니라 침엽수림(NF)와 관목 (Shrub, SHR) 지역에서 일부 구간 missing 값이 발견되었다. 그러나 FVBAR NDVI의 경우, 타 NDVI들에 비해 큰 변화 없이 해당 기간 동안 일관된 값이 missing 없이 산출되었다. 지표타입에 따른 NDVI들의 경향성을 파악하기 위하여 그림 3.7와 같이 해당 지표타입의 평균을 시계열로 표현하였다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 식생을 짧은 기간에 크게 변화하지 않기 때문에 지표 및 반사도 타입에 관계없이 해당 기간 동안 모두 일정한 값이 산출되었다. TOA NDVI의 경우 모든 지표 타입에서 낮게 산출되었다. 특히 식생이 매우 건강한 상태인 상록 활엽수림(Broadleaf evergreen forest, BEF)의 경우 TOA NDVI가 0.6 이다. 이러한 경향을 통해 TOA NDVI는 식생이 건강한 상태를 잘 반영하지 못한다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 TOC NDVI는 대부분의 지표 타입에서 높은 값이 산출되고 있으며 특히 식생분포가 적은 사막(Barren, BA), 초원(Grass, GRS) 지역에서 더욱 높게 나타나고 있다. 이는 6S RTM의 영향으로 판단된다. 6S RTM은 높은 SZA, VZA에서 큰 계수가 산출되는데 이를 바탕으로 본 연구에서는 NDVI을 산출하고 MVC 합성을 진행하였다. 각도 성분이 클 때 NDVI의 영향으로 해당 지표타입의 평균 TOC NDVI가 타 NDVI에 비해 높게 나타

난다. 사막(BA)와 초원(GRS) 지역에서 FVBAR NDVI는 TOC NDVI에 비해 값이 낮게 산출된다. 이것은 식생의 분포가 적어 채적 산란 (volumetric scattering)의 거의 일어나지 않기 때문이다. 나머지 지표타입에서는 TOC NDVI와 유사한 값이 나타난다.

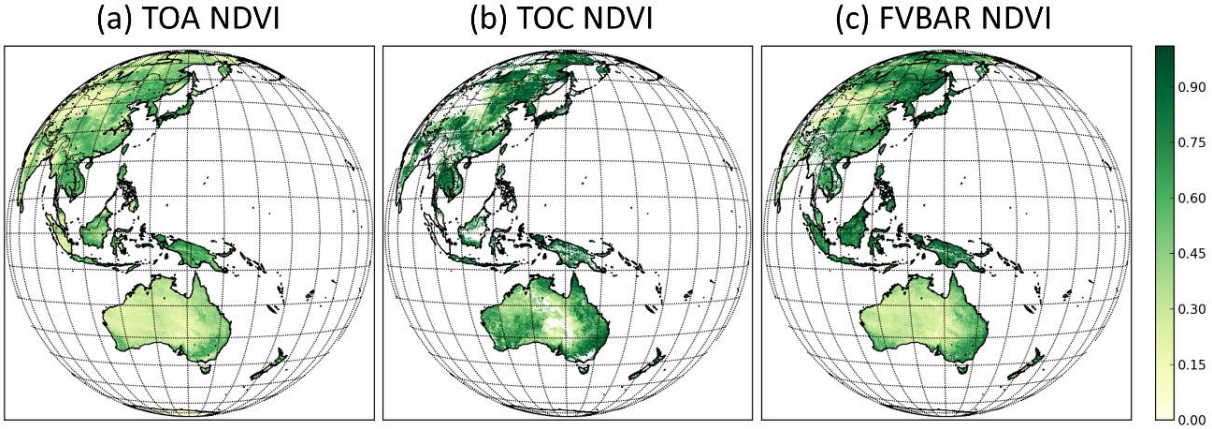


그림 3.5. 반사도 타입에 따른 NDVI의 공간적 분포 (a) TOA NDVI, (b) TOC NDVI, (c) FVBAR NDVI

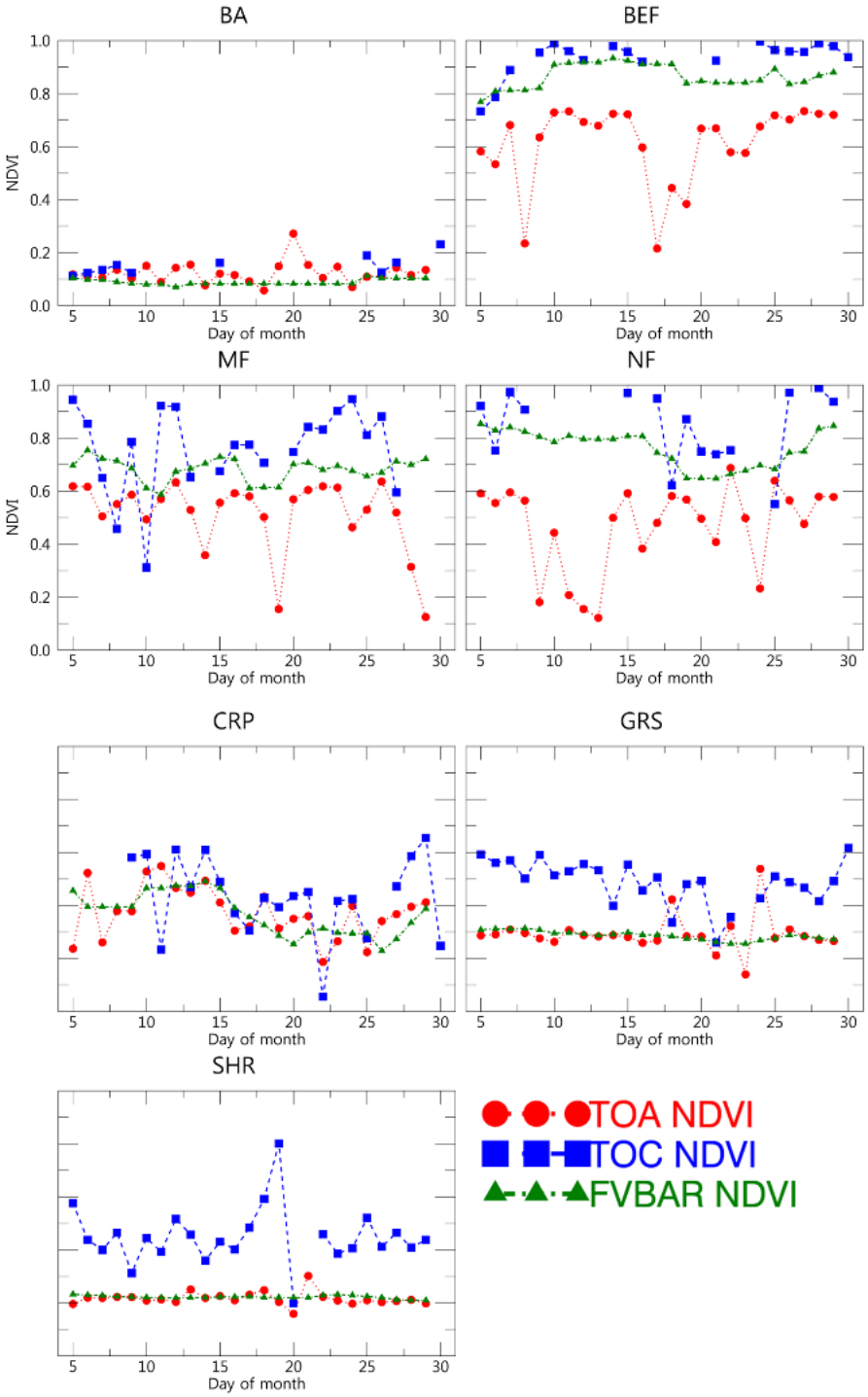


그림 3.6. 지표 타입에 따른 임의의 픽셀에 대한 NDVI 시계열 분포, 사막(barren, BA), 상록 활엽수 림(BEF), 농경지(Crop, CRP), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), 침엽수림(Needleleaf forest, NF), 관목지(Shrub, SHR).

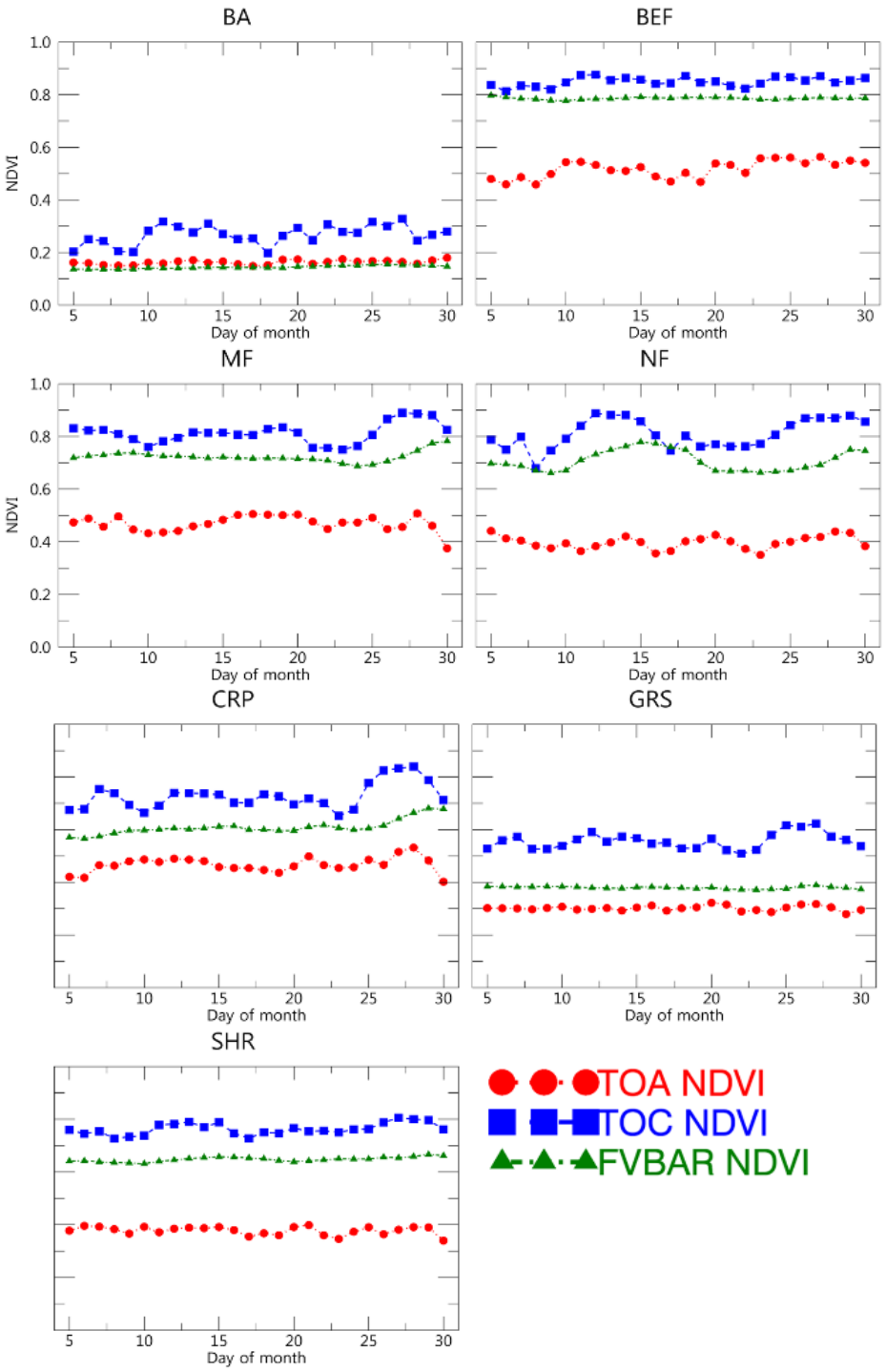


그림 3.7. 지표 타입에 따른 평균 NDVI 시계열 분포, 사막(barren, BA), 상록 활엽수림(BEF), 농경지(Crop, CRP), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), 침엽산림(Needleleaf forest, NF), 관목지(Shrub, SHR).

3.3.2 FVC 산출 결과

본 연구에서는 Himawari-8/AHI의 정규화 반사도(FVBAR) 기반 NDVI를 이용하여 FVC를 산출하였다. 모의자료인 Himawari-8 / AHI 채널 자료를 이용한 10분 단위의 cloud mask 자료는 공간해상도가 2km이며, 2016년 8월 한 달에 한하여 제공하고 있기 때문에, 본 연구에서도 동일 기간 FVC를 공간해상도 2km로 산출하였다. 이론적으로 FVC 값의 범위는 0 ~ 1 이므로, 0 이하의 값은 식생이 존재하지 않는 지역이기 때문에 0 으로 처리하였으며, 1 이상의 값은 1로 처리하였다.

타 위성과의 검증에 앞서서 타 위성에서 사용하는 TOA 및 TOC 반사도 기반의 NDVI를 이용하여 각각 TOA FVC, TOC FVC를 산출하고, 본 연구에서 사용한 FVBAR 반사도 기반의 NDVI를 이용하여 FVBAR FVC를 산출하여 이들의 민감도를 분석하였다. TOA 반사도에서 구름만 제거하여 1차적으로 10분 단위로 NDVI를 산출한다. 여기서 가장 일반적으로 사용하는 식생지수 합성 방법인 Maximum Value Composite (MVC)를 하여 1일 합성자료인 TOA NDVI를 생산하고 이를 바탕으로 TOC FVC를 계산하였다. 다음으로 TOC 반사도를 사용하여 TOA 기반 자료와 마찬가지로 1차적으로 생산된 TOC 반사도 기반의 NDVI를 MVC 합성하여 TOC NDVI를 산출하며 이를 사용하여 TOC FVC를 산출한다. 마지막으로 FVBAR 반사도를 바탕으로 산출된 FVBAR NDVI를 이용하여 FVBAR FVC를 생산하였다. 이렇게 산출된 FVC들을 지표타입에 따라 시공간적으로 민감도를 분석하였다.

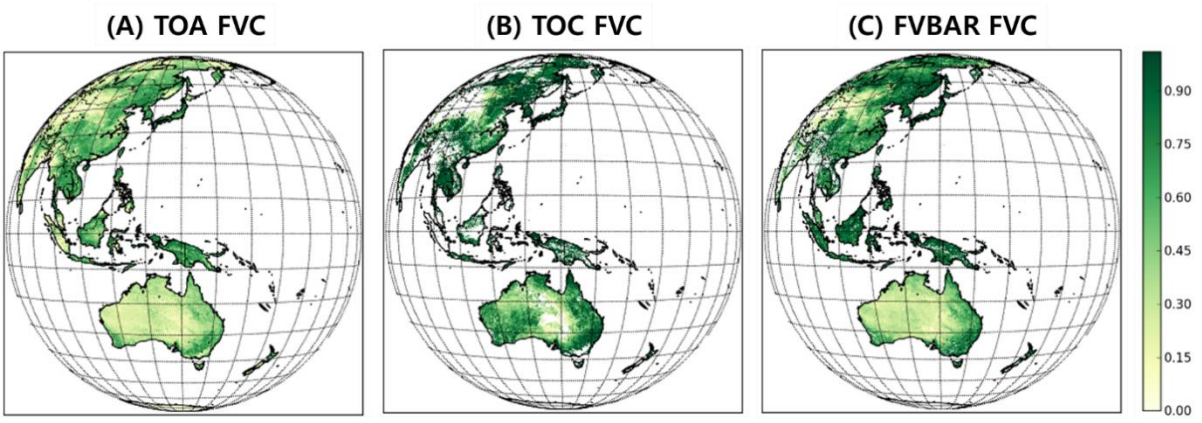


그림 3.8. 반사도 타입에 따른 FVC의 공간적 분포 (a) TOA FVC, (b) TOC FVC, (c) FVBAR FVC

그림 3.8 은 3 가지 타입의 반사도를 사용하여 각각 계산된 FVC 들의 대한 공간적 분포를 나타낸다. TOA FVC 는 다른 FVC 에 비해 대부분의 지표 타입에서 상대적으로 낮은 값이 산출되었다. 특히 타 FVC 들에 비해 북반구 지역에서 낮은 값의 분포를 보이고 있다. 그에 반해 TOC FVC 는 타 FVC 와 비교하여 높은 값을 나타내고 있으며 특히 오세아니아 지역에서 매우 높게 산출되고 있다. 또한 TOC FVC 의 경우 한반도 위 만주 지역에서 missing 값이 발견되지만, FVBAR FVC 의 경우 missing 없이 안정적으로 산출되었다.

그림 3.9는 해당 지표타입의 임의의 픽셀에 대한 FVC의 시계열 분포를 나타내며, MODIS 토지피복자료(MCD12Q1)를 이용하여 토지 유형을 분류하였다. X축은 날짜를 나타내며, Y축은 FVC 값을 나타낸다. 또한 그래프에서 원 모양은 TOA FVC를, 네모 모양은 TOC FVC를, 세모 모양은 FVBAR FVC를 나타낸다. 식생은 일반적으로 짧은 기간 동안 크게 변하지 않는다. 하지만 TOA FVC와 TOC FVC의 경우 사막(BA), 혼유림(MF), 관목(SHR), 초원(GRS)의 지역에서 FVC 값이 급격히 감소하였다가 다시 증가하는 패턴이 나타났다. 이는 미처 제거하지 못한 구름, 강우로 인한 지표의 수분 등으로 인한 에러값으로 판단된다(Kim et al. 2011). 뿐만 아니라 모든 지역에서 일부 구간 missing 값이 발견되었다. 그러나 FVBAR FVC의 경우, 타 FVC들에 비해 큰 변화 없이 해당 기간 동안 일관된 값이 missing 없이 산출되었다.

지표타입에 따른 FVC들의 경향성을 파악하기 위하여 그림 3.10과 같이 해당 지표타입의 평균을 시계열로 표현하였다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 식생은 짧은 기간에 크게 변화하지 않기 때문에 지표 및 반사도 타입에 관계없이 해당 기간 동안 모두 일정한 값이 산출되었다. TOA FVC의 경우 대부분 지표 타입에서 낮게 산출되었다. 해당 알고리즘의 연구기간은 8월이므로 북반구 기준으로 계절은 여름에 해당하며, 혼유림(MF) 지역의 경우 대부분 북반구에 위치하고 있다. 이 시기에 식생이 매우 건강한 상태임에도 불구하고 TOA FVC가 0.5 수준으로 산출되었다. 이러한 경향을 통해 TOA FVC는 식생이 건강한 상태를 잘 반영하지 못한다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 TOC FVC는 모든 지표 타입에서 높은 값이 산출

되고 있으며 특히 식생분포가 적은 사막(BA) 지역에서 0.3, GRS 지역에서는 0.6로 산출되었다. 이는 TOC 기반 NDVI의 영향으로 판단된다. 본 연구에 사용된 TOC 반사도는 6S 기반의 반사도이다. 6S는 높은 SZA, VZA에서 큰 계수가 산출되는데 이를 바탕으로 FVC를 산출하고 MVC 합성을 진행하였다. 평균값에서 임의의 픽셀과 마찬가지로 FVBAR FVC가 가장 시계열 상 균질 하게 산출되는 것을 확인할 수 있다.

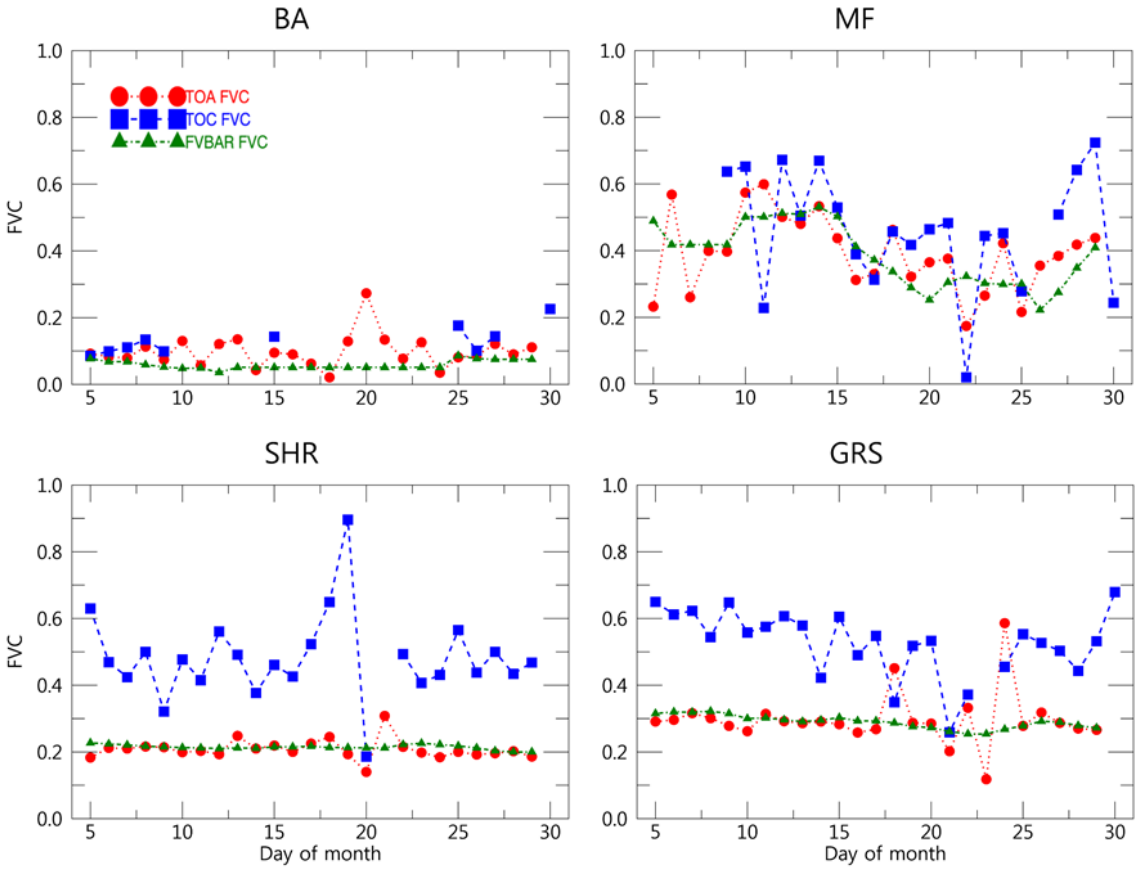


그림 3.9. 지표 타입에 따른 임의의 픽셀에 대한 FVC 시계열 분포, 사막(barren, BA), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), and 관목지(Shrub, SHR).

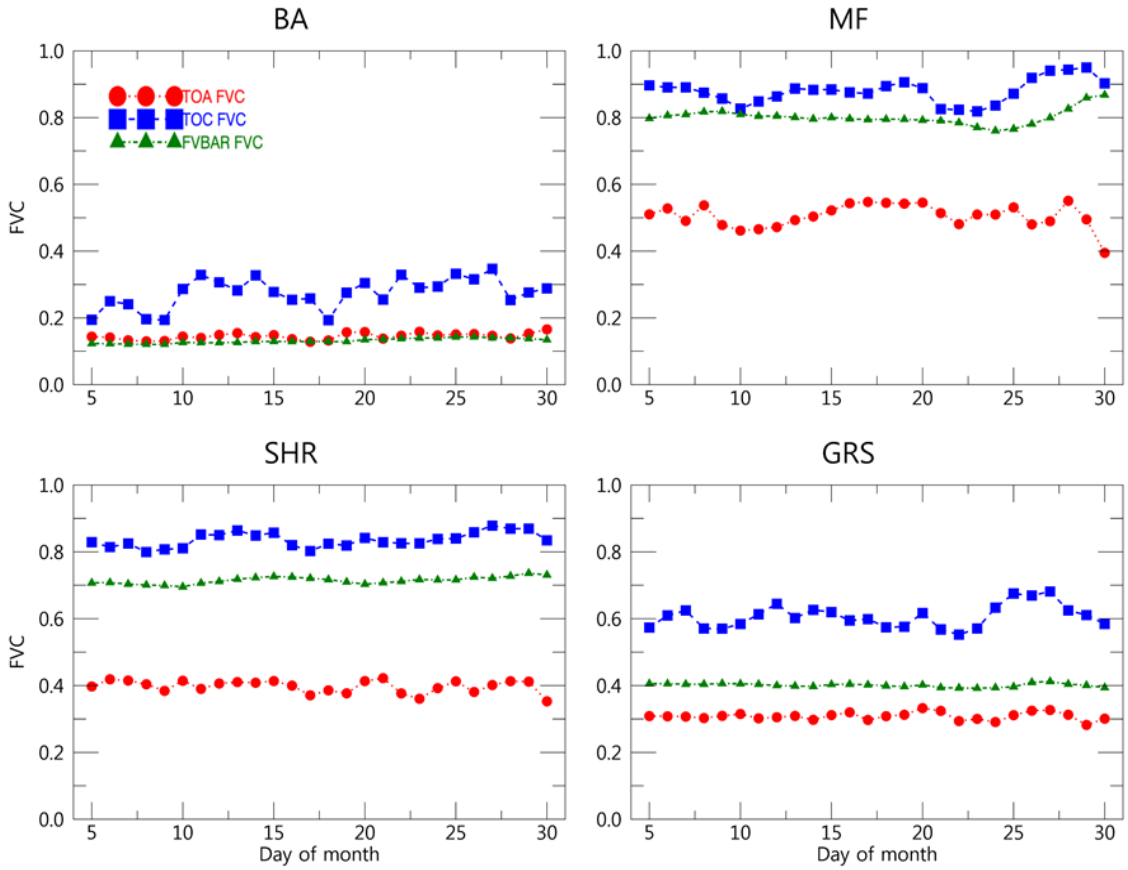


그림 3.10. 지표 타입에 따른 평균 FVC 시계열 분포, 사막(barren, BA), 초원(Grass, GRS), 혼유림(Mix forest, MF), and 관목지(Shrub, SHR).

3.3.3 NDVI 검증 결과

식생지수의 검증에 사용된 자료는 2016년 8월 01일, 2016년 8월 11일, 2016년 8월 21일의 PROBA-V S10 NDVI 자료이며, 단순 일대일 검증결과는 RMSE 0.08 (VZA < 55°) & RMSE 0.10 (VZA ≥ 55°)으로 나타나 당해 연도 목표정확도에 도달하지 못하였다. 이에 본 알고리즘 산출물 및 검증자료에 대해 QC flag를 적용하여 검증을 다시 수행하였다. 두 자료 모두 검증 픽셀을 기준으로 3*3 배열에 한하여 표준편차 0.03 인 공간적으로 균질한 픽셀을 대상으로 하였다. 검증 결과 표 3.4와 같이 RMSE 0.026, bias –1.43E-08(VZA < 55°) & RMSE 0.045, bias 1.34E-08 (VZA ≥ 55°)로 산출되어 당해 연도 목표 정확도를 만족하였다(그림 3.11, 그림 3.12). 현재 식생이 다른 지표 타입에 비해 적게 분포하는 지역인 사막(BA) 및 초

원(GRS) 지역에서 식생지수 값에 비해 높은 RMSE가 발생하고 있다. 이는 위의 설명과 마찬가지로 6S 기반의 지표면 반사도를 사용하여 식생지수를 산출할 경우, 식생이 적은 지역에서 과대 추정하는 경향이 나타나는 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 센서 자체의 관측특성 (geometry, SRF 등)으로 인한 차이로 발생하였다. 하지만 선행 연구에서 한반도 지역을 대상으로 극궤도-정지궤도 위성 기반 NDVI 값들을 비교하였을 경우, RMSE가 약 0.1 ~ 0.15로 산출된다고 나타나 본 알고리즘의 검증결과가 유효한 것으로 판단된다(Park et al.,2013; Yeom and Kim,2013; Park et al.,2014; Ke et al.,2015). 식생지수는 단순 장면분석 보다 위성 천정각 및 지표 타입에 따라 나타나는 시계열 패턴의 유사성이 더욱 중요하다. 향후 VIIRS 등 타 위성 자료를 검증자료로 추가 및 장기간의 자료를 확보하여 시계열 패턴 비교를 실시하고, 추가 분석을 통한 알고리즘 산출 수준 및 문제점을 평가하여 지속적인 개선이 사료된다.

표 3.4. 식생지수 검증 결과

	목표정확도	달성정확도
RMSE	0.03 (VZA < 55°)	0.026 (VZA < 55°)
	0.07 (VZA ≥ 55°)	0.045 (VZA ≥ 55°)

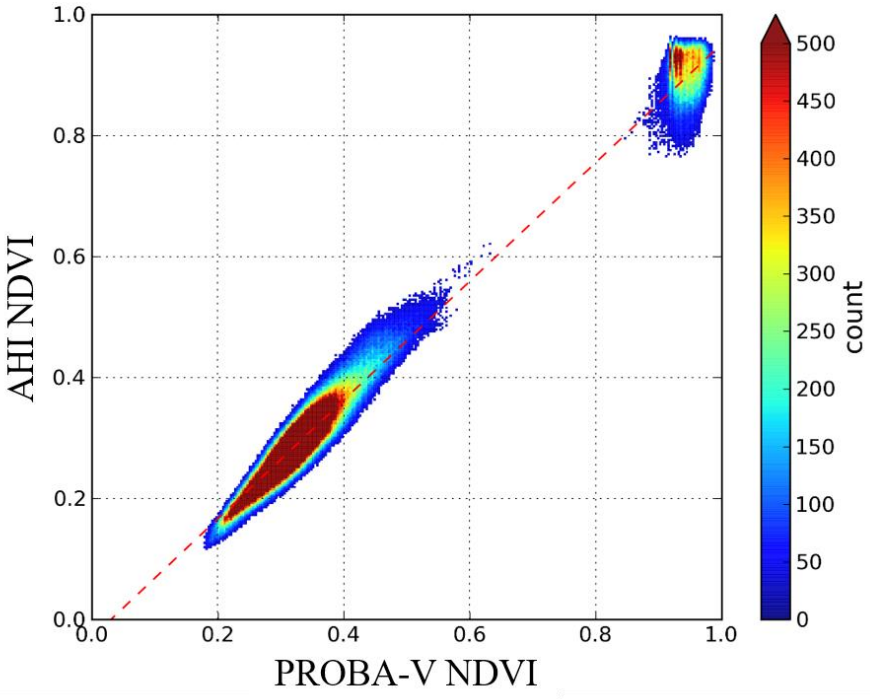


그림 3.11. Himawari NDVI 및 PROBA-V NDVI 비교 결과(VZA 55° 이하)

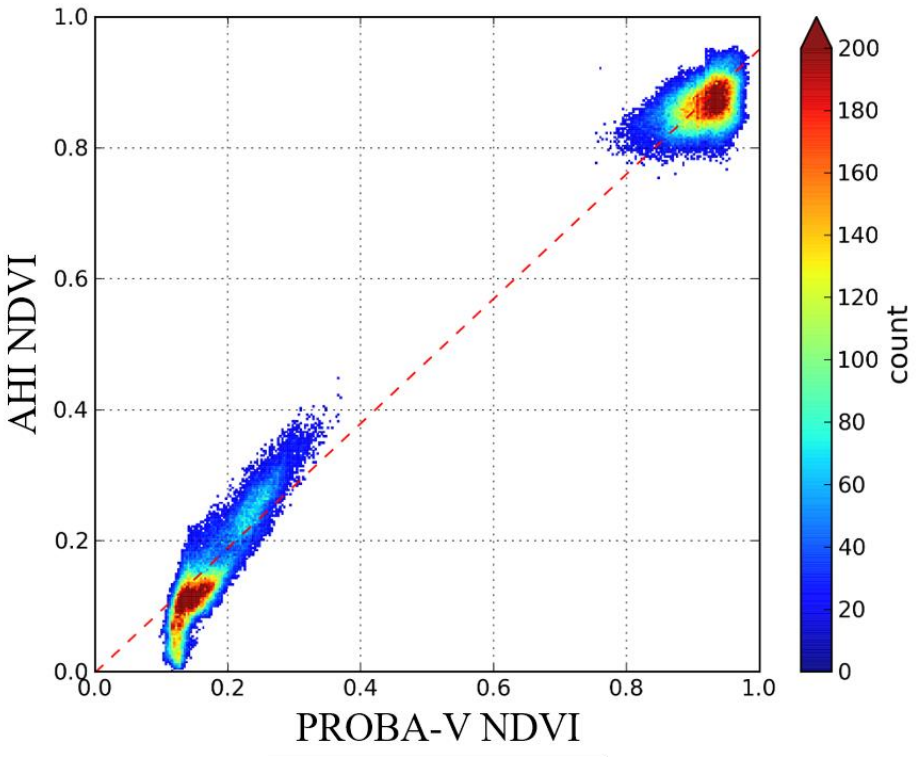


그림 3.12. Himawari NDVI 및 PROBA-V NDVI 비교 결과(VZA 55° 이상)

3.3.4 FVC 검증 결과

식생율의 검증에 사용된 자료는 2016년 8월 3일, 2016년 8월 13일, 2016년 8월 24일의 PROBA-V FVC 자료이며, 단순 일대일 검증결과는 RMSE 0.16 (VZA < 55°) & RMSE 0.17 (VZA > 55°)으로 나타났다. VZA가 55° 이상일 때에는 목표 정확도를 달성하였으나, VZA가 55° 이하 일 때에는 당해 연도 목표정확도에 도달하지 못하였다. 이에 본 알고리즘 산출물 및 검증자료에 대해 QC flag를 적용하여 검증을 다시 수행하였다. 두 자료 모두 검증 픽셀을 기준으로 3*3 배열에 한하여 표준편차 0.03 인 공간적으로 균질한 픽셀을 대상으로 하였다. 검증 결과 표 3.5와 같이 RMSE 0.025, bias –7.61E-09 (VZA < 55°) & RMSE 0.045, bias –8.84E-09 (VZA ≥ 55°)로 산출되어 당해 연도 목표 정확도를 만족하였다(그림 3.13, 그림 3.14). 현재 식생이 다른 지표 타입에 비해 적게 분포하는 지역인 BA 및 GRS 지역에서 높은 값을 산출하였다. 이는 위의 설명과 마찬가지로 6S 기반의 지표면

반사도를 사용하여 식생율을 사용할 경우, 식생이 적은 지역에서 과대 추정하는 경향이 나타나는 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 센서 자체의 관측특성 (geometry, SRF 등)으로 인한 차이로 발생하였다. 식생율은 단순 장면분석 보다 위성 천정각 및 지표 타입에 따라 나타나는 시계열 패턴의 유사성이 더욱 중요하다. 향후 VIIRS 등 타 위성 자료를 검증자료로 추가 및 장기간의 자료를 확보하여 시계열 패턴 비교를 실시하고, 추가 분석을 통한 알고리즘 산출 수준 및 문제점을 평가하여 지속적인 개선이 사료된다.

표 3.5. 식생율 검증 결과

	목표정확도	달성정확도
RMSE	0.1 (VZA < 55°)	0.025 (VZA < 55°)
	0.2 (VZA ≥ 55°)	0.045 (VZA ≥ 55°)

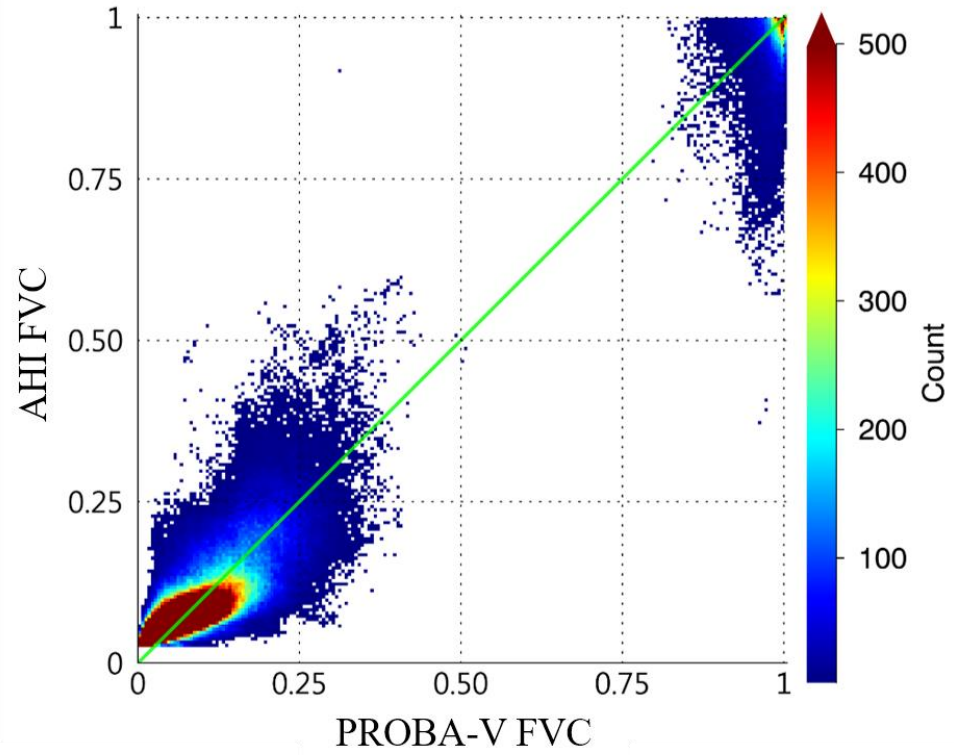


그림 3.13. Himawari FVC 및 PROBA-V FVC 비교 결과(VZA 55° 이하)

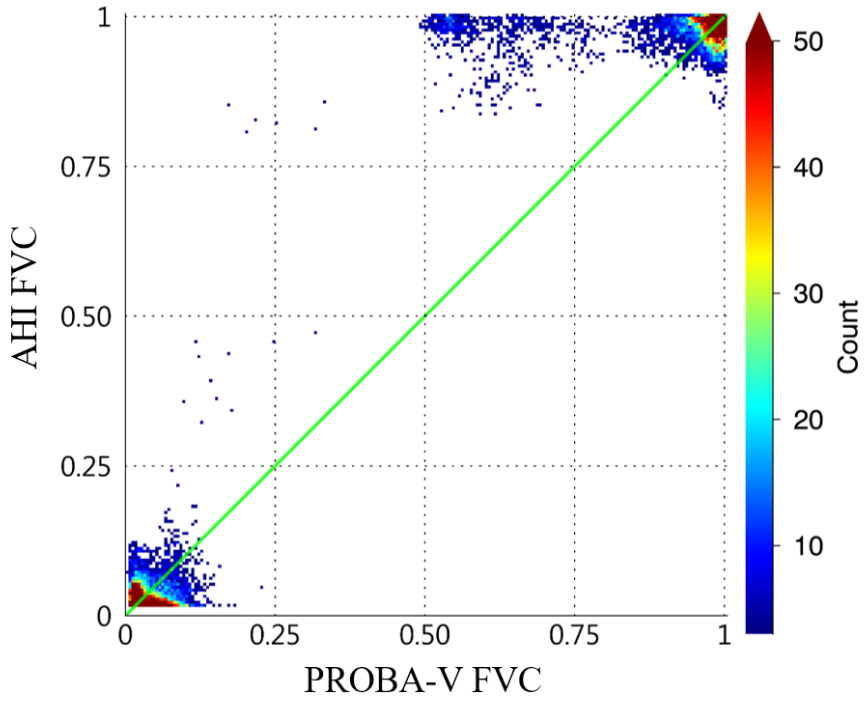


그림 3.14. Himawari FVC 및 PROBA-V FVC 비교 결과(VZA 55° 이상)

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

본 알고리즘은 GK-2A 지표면 반사도(SAL)의 중간 산출물인 정규화 반사도(FVBAR)를 기반으로 산출되기 때문에 해당 자료의 확인이 중요하다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

식생지수/식생율 산출 알고리즘에서는 기본적으로 GK-2A 지표면 반사도(SAL)의 중간 산출물인 정규화 반사도(FVBAR)의 청색, 적색, 근적외 채널 자료가 산출된 이후에 작동하도록 설계하였다.

4.3 품질 평가 및 진단

식생지수/식생율 알고리즘에서는 각각의 산출물에 해당하는 품질 관리(QC) 자료를 제공한다. QC에는 산출물의 품질뿐 만 아니라 육/해상 구분, 각도 성분이 포함되어 있다.

4.4 예외사항 처리

식생지수/식생율 알고리즘에 필요한 입력 자료의 품질을 모두 확인한다. 해당 입력자료의 품질이 나쁘더라도 그 데이터를 활용하여 식생지수를 산출하며 플레그를 지정한다. 자료가 존재하지 않는 픽셀에 대하여 fill value로 지정한다.

4.5 검증 알고리즘

모의자료를 이용하여 산출된 식생지수/식생율의 검증 내용은 4.3에 언급되어 있다. 현재 확보된 모의자료의 제공 기간이 짧아 시계열 자료에 대한 검증은 진행하지 않았다. 향후 자료가 확보가 되면, 각도 및 지표타입에 따른 식생지수/식생율의 시계열 상 나타나는 시계열 패턴에 대한 분석이 이루어져야 한다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

식생지수/식생율의 성능은 반사도(청색, 적색, 근적외) 및 구름 및 적설의 유무, 대기 상태, 각도에 따른 지표의 이방성 효과 등 다양한 요소에 영향을 받는다. 하지만 본 알고리즘에서 사용한 정규화 반사도(FVBAR)는 위의 요소를 모두 고려하여 산출되었다. 따라서 본 알고리즘은 FVBAR 품질에 대한 영향을 받는다고 가정하였다.

5.2 예상 센서 성능

현재 식생지수/식생율 알고리즘은 Himawari-8/AHI 자료를 모의자료로 활용하여 개발되었다. AHI는 AMI와 유사한 채널을 보유하고 있지만 중심파장이 같은 채널이라도 센서 자체의 관측 특성(geometry, Spectral Response Function 등)으로 인한 차이가 발생할 수 있다.

5.3 개선을 위한 사전 계획

산출물 개선을 위한 사전계획은 다음과 같다.

- 실시간 FVC 산출을 위한 NDVImin, NDVImax 설정

  · Option 1- 1년 산출 후 설정

  · Option 2- 6개월 산출 후 설정

  · Option 3- 계절별(1월, 4월, 8월, 10월) 산출 후 설정

- 10분 간격의 cloud mask 확보 후 추가적으로 Himawari-8 / AHI 자료를 사용하여 식생지수/식생율 산출

- 단순 scene 비교가 아닌, 위성 천정각 및 지표타입에 따라 시계열 패턴 비교 분석 실시

- 타 위성자료 확보 후 추가 검증 수행

6. 참고문헌

Baret, F., Hagolle, O., Geiger, B., Bicheron, P., Miras, B., Huc, M., ... & Roujean, J. L. (2007). LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION: Part 1: Principles of the algorithm. Remote sensing of environment, 110(3), 275-286.

Baret, F., Pavageau, K., Béal, D., Weiss, M., Berthelot, B., & Regner, P. (2006). Algorithm theoretical basis document for MERIS top of atmosphere land products (TOA_VEG). INRA-CSE, Avignon.

Brown, M. E., Pinzón, J. E., Didan, K., Morisette, J. T., &Tucker, C. J. (2006). Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors.Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 44(7), 1787-1793.

Chen, P. Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., & Kiniry, J. R. (2003). Evaluating different NDVI composite techniques using NOAA-14 AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 24(17), 3403-3412.

Fensholt, R., Sandholt, I., Stisen, S., & Tucker, C. (2006). Analysing NDVI for the African continent using the geostationary meteosat second generation SEVIRI sensor. Remote Sensing of Environment, 101(2), 212-229.

García-Haro, F. J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J., & Martínez, B. (2005, September). Operational derivation of vegetation products in the framework of the LSA SAF project. In Proceedings of 2005 EUMETSAT

Meteorological Satellite Conference (pp. 247-254). Darmstad: Eumetsat.

Gobron, N., Mélin, F., Pinty, B., Verstraete, M. M., Widlowski, J. L., &Bucini, G. (2001). A global vegetation index for SeaWiFS: Design and applications. InRemote Sensing and Climate Modeling: Synergies and Limitations (pp. 5-21). Springer Netherlands.

Gutman, G., & Ignatov, A. (1998). The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. International Journal of remote sensing, 19(8), 1533-1543.

Holben, B. N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. International journal of remote sensing, 7(11), 1417-1434

Hurcom, S. J., & Harrison, A. R. (1998). The NDVI and spectral decomposition for semi-arid vegetation abundance estimation. International Journal of Remote Sensing, 19(16), 3109-3125.

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Plaza, A., Guanter, L., Moreno, J., &Martínez, P. (2009). Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. Sensors, 9(2), 768-793.

Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. Remote Sensing of Environment, 164, 298-313.

Kim, I. H., Han, K. S., & Kim, S. I. (2011). Vegetation Interannualvariavility Over Korea Using 10-Years 1KM NDVI Data. Korean Journal of Remote Sensing, 27(1), 17-24.

Lacaze, R., Roujean, J. L., &Goutorbe, J. P. (1999). Spatial distribution of Sahelian

land surface properties from airborne POLDER multiangular observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012),104(D10), 12131-12146.

Li, F., Kustas, W. P., Prueger, J. H., Neale, C. M., & Jackson, T. J. (2005). Utility of remote sensing-based two-source energy balance model under low-and high-vegetation cover conditions. Journal of Hydrometeorology, 6(6), 878-891.

Nagol, J. R., Vermote, E. F., & Prince, S. D. (2009). Effects of atmospheric variation on AVHRR NDVI data. Remote Sensing of Environment, 113(2), 392-397.

Park, J. K., Kim, B. S., Oh, S. Y., & Park, J. H. (2013). Applicability of Vegetation Indices from Terra MODIS and COMS GOCI Imageries. Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers, 55(6), 47-55.

Park, J., Baik, J., Kim, S. J., & Choi, M. (2014). Application of Normalized Vegetation Index for Estimating Hydrological Factors in the Korea Peninsula from COMS. Journal of Korea Water Resources Association, 47(10), 935-943.

PROBA-Vand, 2014. V. G. T. Gio Global Land Component-Lot I" Operation of the Global Land Component".

Romanov, P. and Tian, Y. (2010). GOES-R Advanced Base Algorithm Theoretical Green Vegetation.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., &Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1-137.

Vermote, E., Justice, C. O., & Bréon, F. M. (2009). Towards a generalized

approach for correction of the BRDF effect in MODIS directional reflectances. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(3), 898-908.

Xiao, J., & Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. Remote Sensing of Environment, 98(2), 237-250

Yeom, J. M., &Kim, H. O. (2013). Feasibility of using Geostationary Ocean Colour Imager (GOCI) data for land applications after atmospheric correction and bidirectional reflectance distribution function modelling. International journal of remote sensing, 34(20), 7329-7339.

Zeng, X., Dickinson, R. E., Walker, A., Shaikh, M., DeFries, R. S., & Qi, J. (2000). Derivation and evaluation of global 1-km fractional vegetation cover data for land modeling. Journal of Applied Meteorology, 39(6), 826-839.