GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis Document

지표면 상향장파복사 (ULR)

장정필, 이규태
강릉원주대학교

Version 1.1

2019. 10. 02.

국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서	수정내용	과학코드	수정일	작성자

버전		버전		
0.1	ULR 산출을 위한 초기 버전 (1차 내용)	0.1.0.1	2016.01.01.	조은수, 이규태
0.2	ULR 산출 알고리즘 개발 내용 추가 (2차 내용)	0.2.0.1	2017.01.01.	정현석, 이규태
0.3	ULR 산출 알고리즘 개발 내용 추가 (3차 내용; GK-2A/AMI 모의 자료 이용)	0.3.0.1 0.4.0.1	2018.01.01.	정현석, 이규태
0.4	ATBD 수정 및 보완	0.5.5.1	2018.11.01.	김부요, 정현석, 이규태
0.5	ATBD 수정	0.5.5.1	2019.03.01.	김부요, 이규태
1.0	ATBD 수정	0.5.5.1	2019.04.24.	김부요, 이규태
1.1	ATBD 수정	0.6.1.1	2019.10.02	장정필, 이규태

<목차>

1. 개요 1

1.1 목적 1

1.2 사용자 1

1.3 내용 1

1.4 관련 문서 1

2. 알고리즘 소개 2

2.1 개요 2

2.2 알고리즘 흐름도 2

2.3 입력자료 3

2.3.1 L1B 3

2.3.2 L2 3

2.3.3 보조 자료 3

2.4 이론적 배경 3

2.5 수학적 설명 6

2.6 산출물 7

3. 모의자료 및 검증 8

3.1 모의 입력자료 및 검증자료 8

3.2 검증 방법 8

3.3 검증 결과 8

4. 현업운영 시 고려사항 13

4.1 수치계산 고려사항 13

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항 13

4.3 품질 평가 및 진단 13

4.4 예외사항 처리 13

4.5 검증 알고리즘 13

5. 가정 및 제한 14

5.1 성능 14

5.2 예상 센서 성능 14

5.3 개선을 위한 사전 계획 14

6. 참고문헌 15

<표 목차>

표 2.6.1. ULR 산출 자료 ····· 7

표 3.3.1. 광대역 방출률에 따른 ULR 산출 결과와 CERES 자료의 비교 결과 (2017년 8월 5일과 7일 사례) ····· 12

<그림 목차>

그림 2.2.1. ULR 산출 알고리즘 흐름도 ····· 2
그림 2.4.1. ULR의 요소: 지표면에서 방출되는 장파복사와 DLR의 반사 성분 ····· 4
그림 3.3.1. 2017년 8월 5일 0000 UTC ULR (a)과 1200 UTC의 ULR (b) ····· 9
그림 3.3.2. 2017년 8월 7일 0000 UTC ULR (a)과 1200 UTC의 ULR (b) ····· 9
그림 3.3.3. 2017년 8월 5일 CERES ULR (a)과 GK-2A AMI ULR의 %차이 (b) 및 산점도 (c) ····· 10
그림 3.3.4. 2017년 8월 7일 CERES ULR (a)과 GK-2A AMI ULR의 %차이 (b) 및 산점도 (c) ····· 11

약어표

ABI	Advanced Baseline Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CERES	Clouds and the Earth′s Radiant Energy System
CERES-FSW	the Cloud and the Earth′s Radiant Energy System-Gridded Radiative Fluxes and Clouds
DLR	Downward Longwave Radiation
GEWEX-SRB	Global Energy and Water cycle Experiment-Surface Radiation Budget
GK-2A	Geo-KOMPSAT 2A
ISCCP-FD	the International Satellite Cloud Climatology Project-Flux Data
LST	Land Surface Temperature
LSE	Land Surface Emissivity
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
SST	Sea Surface Temperature
UCSB	University of California, Santa Barbara
ULR	Upward Longwave Radiation

1. 개요

지표면 복사 수지 중 하나인 ULR은 지표면에서 방출되는 장파복사와 DLR의 지표면 반사 성분의 합으로 정의된다. ULR은 대기와 해양/지면과의 에너지 교환에서 핵심 요소이고 (Hatzianastassiou et al., 1999) 지표면 열적 상태 및 지표면 온도를 나타내며 (Cheng et al., 2016) 수문학과 생태학 등을 구분하는 중요 자료로 사용된다. 즉 ULR은 국지적 그리고 지역적 및 전 지구적 규모에 대한 시·공간 변화 및 장기적인 변동 분석 결과는 여러 분야에서 중요하게 사용되기 때문에 위성 원격 탐사를 위한 ULR 알고리즘 개발은 중요한 의미를 제공한다.

1.1 목적

이 기술서는 천리안 위성의 후속으로 차세대 기상위성인 GK-2A AMI에 의한 화소 단위의 지표면 상향장파복사 (ULR) 산출 알고리즘을 이론적 배경에서부터 산출 과정과 특성 등에 대한 자세한 내용을 제공하는데 목적이 있다.

1.2 사용자

이 알고리즘의 개선과 산출물의 활용 및 유지·보수를 목적으로 하는 자를 대상으로 한다.

1.3 내용

이 알고리즘 분석서에는 알고리즘 개요와 산출 과정 및 결과 그리고 관련 가정 및 비상계획 등의 내용이 포함된다.

1.4 관련 문서

이 알고리즘은 GOES-R ABI ATBD ULR (2010)에 근거한다.

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

ULR은 LST, SST, DLR 그리고 광대역 방출률 산출을 위해 LSE를 입력자료로 사용하여 산출된다. 즉 ULR은 지표면/해수면에서 방출되는 적외복사 (LSE와 LST 및 SST의 함수)와 대기 및 구름에서 지표면/해수면으로 방출하는 적외복사 (DLR) 항으로 구별되며 두 항 모두 지표면/해수면의 광대역 방출률 (Broadband Emissivity)과 관계된다. 따라서 지표면/해수면의 광대역 방출률은 Wang et al. (2005) 및 Tang et al. (2011)의 방법에 근거하여 ULR을 산출한다.

2.2 알고리즘 흐름도

ULR 산출 알고리즘의 흐름도는 그림 2.2.1에 나타내었다. 즉, 협대역 방출률 (LSE, 채널 11번, 13번, 15번)을 입력하여 미리 구축해 놓은 다중선형회귀모형으로 지표면의 광대역 방출률 (해양은 0.971로 고정; Lee et al., 2010)을 계산하고 LST와 SST 그리고 DLR을 이용하여 ULR을 산출한다.

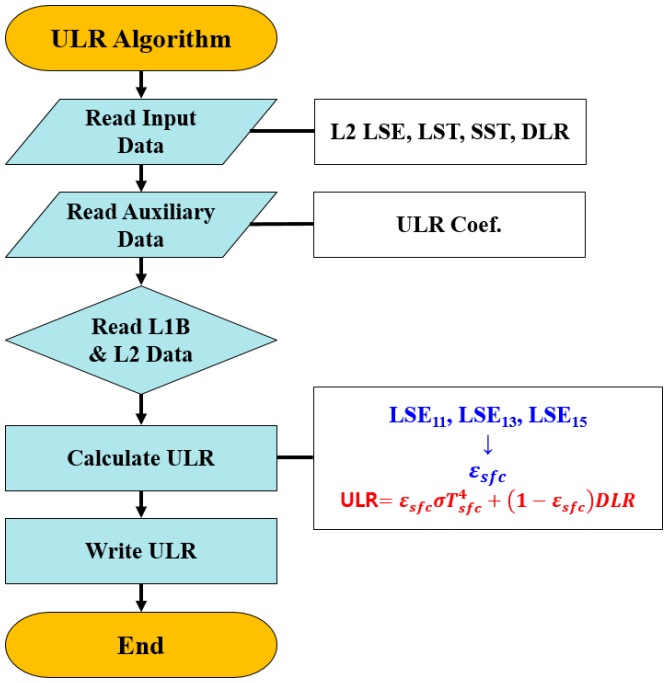


그림 2.2.1. ULR 산출 알고리즘 흐름도.

1) Read ancillary data

Lat/Lon, Land/Sea mask, Land Cover Type 그리고 다중선형회귀모형의 계수 자료를 불러들인다.

2) Read GK-2A/AMI products

ULR 산출을 위해 필요한 선행산출물인 LSE, LST, SST 그리고 DLR을 불러들이고 이들 선행산출물 자료가 없을 경우 ULR 산출을 하지 않는다.

3) Calculate Broadband Emissivity

입력자료로 사용되는 선행산출물 중 LSE 자료와 미리 구축한 회귀모형을 이용하여 광대역 방출률을 산출하는 단계이다.

4) Calculate ULR

선행산출물 및 광대역 방출률을 이용하여 ULR을 계산하는 단계이다.

5) Write ULR

ULR을 출력하는 단계이다.

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

ULR 산출에 L1B 자료를 입력자료로 사용하지 않는다.

2.3.2 L2

GK-2A L2 산출물인 LSE, LST, SST, DLR 자료가 입력된다.

2.3.3 보조 자료

위·경도 및 지표면 특성 (land/sea mask, 지표 타입) 자료가 사용된다.

2.4 이론적 배경

1) 지표면 상향장파복사

ULR은 그림 2.4.1과 같이 지표면에서 방출되는 장파복사와 DLR의 반사 성분의

합으로 나타낸다. 즉 지표면의 온도가 T일 경우 지표면이 방출하는 적외복사는 슈테판-볼츠만 (Stefan-Boltzmann) 법칙과 지표면 방출률을 적용하여 $\varepsilon\sigma T^4$ (σ: 슈테판-볼츠만 상수, 5.670×10^{-8} Wm^{-2} K^{-4})로 표시되고 DLR의 지표면 반사 성분은 DLR과 광대역 반사율 (R_{LW})의 곱으로 계산되기 때문에 다음의 식 (2.4.1)과 같이 나타낼 수 있다.

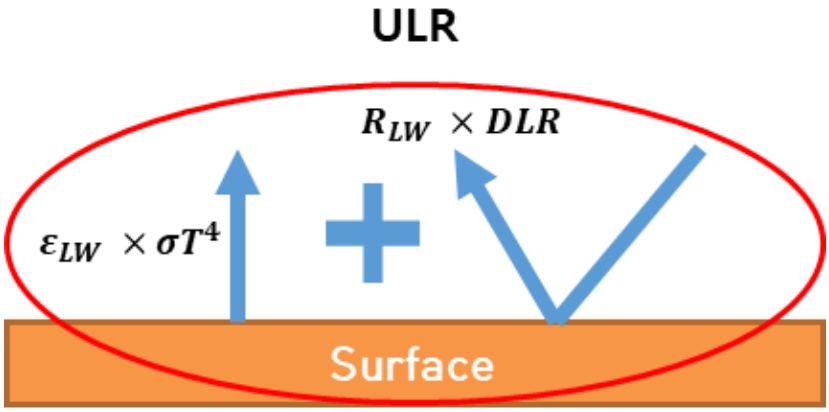


그림 2.4.1. ULR의 요소: 지표면에서 방출되는 장파복사와 DLR의 반사 성분.

$$\text{ULR} = \varepsilon_{LW}\sigma T^4 + R_{LW} \times \text{DLR} \quad (2.4.1)$$

ULR: 지표면에서 방출되는 상향장파복사조도 (Wm^{-2})

DLR: 지표면의 하향장파복사조도 (Wm^{-2})

ε_{LW}: 지표면 광대역 방출률

R_{LW}: 지표면 광대역 반사율 (R_{LW} = 1-ε_{LW})

T: 지표면 온도 (K)

또한 광대역 반사율 (R_{LW})은 키르히호프 법칙 및 에너지 보존 법칙에 따라 $R_{LW} = 1 - \varepsilon_{LW}$로 나타낼 수 있기 때문에 식 (2.4.1)은 다음의 식 (2.4.2)로 표시될 수 있다.

$$\text{ULR} = \varepsilon_{LW}\sigma T^4 + (1 - \varepsilon_{LW}) \times \text{DLR} \quad (2.4.2)$$

2) 광대역 방출률

지표면의 광대역 방출률은 Wang et al. (2005)과 Tang et al. (2011)의 방법에 근거하여 다음의 내용과 같은 다중선형회귀모형으로 계산하였다. 즉 흑체에서 방출하는 복사에너지는 다음의 식 (2.4.3)과 같이 스테판-볼츠만 법칙 및 플랑크 (Plank) 함수로 나타낼 수 있다.

$$B_b(\mathrm{T}) = \sigma T^4 = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)-1\right]} d\lambda \tag{2.4.3}$$

여기서 h는 플랑크 상수 (6.63×10^{-34} J S), C는 빛의 속도 (2.998×10^{6} m s^{-1}), λ는 파장 (μm) 그리고 k는 볼츠만 상수 (1.38×10^{-23} J K)이다. 그러나 지표면의 방출률 (ε)을 고려 할 경우 식 (2.4.4)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathrm{B(T)} = \int_0^{\infty}\int_0^{2\pi} \varepsilon(\lambda,\theta) \frac{2hc^2}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)-1\right]} d\Omega d\lambda \tag{2.4.4}$$

여기서 Ω와 $\varepsilon(\lambda,\theta)$는 각각 입체각과 파장 및 시야각에 따른 방출률을 의미하고 광대역 방출률 (ε_b)을 적용할 경우 식 (2.4.4)는 다음의 식 (2.4.5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\mathrm{B(T)} = \varepsilon_b \sigma T^4 \tag{2.4.5}$$

여기서 ε_b는 광대역 방출률이고 식 (2.4.5)으로부터 광대역 방출률 (ε_b)는 다음의 식 (2.4.6)와 같이 정의된다.

$$\varepsilon_b = \frac{B(T)}{\sigma T^4} \tag{2.4.6}$$

그리고 식 (2.4.3)과 식 (2.4.4) 그리고 식 (2.4.6)을 이용하면 광대역 방출률과 위성 센서의 채널별 협대역 방출률은 다음의 식 (2.4.7)과 식 (2.4.8)로 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon_b = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) B_b(\lambda,T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_b(\lambda,T) d\lambda} \quad (2.4.7)$$

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\int_{\lambda_S}^{\lambda_e} f_{ch} \varepsilon(\lambda) B_b(\lambda,T) d\lambda}{\int_{\lambda_S}^{\lambda_e} f_{ch} B_b(\lambda,T) d\lambda} \quad (2.4.8)$$

식 (2.4.7)에서 λ_1과 λ_2는 각각 광대역 파장영역의 시작과 끝을 의미하고 식 (2.4.8)에서 ε_{ch}는 위성 센서의 채널별 협대역 방출률이며 λ_S와 λ_E는 각각 센서 채널파장의 시작과 끝이다. 그리고 f_{ch}는 센서 채널에 대응하는 분광반응 함수 (Spectral Response Function)이다. 광대역 방출률 식 (2.4.7)과 센서의 채널별 협대역 방출률 식 (2.4.8)을 선형 결합 (Ogawa et al., 2002, 2003)하면 이 연구에서 사용된 광대역 방출률의 최종 식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\varepsilon_b = \sum_{ch=1}^{n} a_{ch} \varepsilon_{ch} + c \quad (2.4.9)$$

2.5 수학적 설명

광대역 방출률 계산을 위한 회귀모형 식 (2.4.9)을 도출하기 위하여 식 (2.4.7)과 (2.4.8)의 결과 값이 필요하고 MODIS UCSB의 방출률 자료와 ASTER spectral library의 반사율 자료가 사용된다. MODIS UCSB 자료의 경우 물, 눈, 얼음, 토양, 광물, 식생 그리고 인위적 물질의 종류로 총 155가지로 구성되어있고 ASTER 자료는 물, 눈, 얼음, 토양, 광물, 식생, 바위와 같은 자연계 물질 및 인위적 물질뿐만 아니라 달의 토양과 운석 물질 등 2,400개 이상의 자료로 구성되어 있다 (Baldridge et al., 2009). 그러나 ASTER 자료는 반사율 (ρ_λ)로 제공되기 때문에 키르히호프 법칙을 따라 다음의 식 (2.5.1)과 같이 방출률 (ε_λ)로 변환하여 사용하였다.

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda \quad (2.5.1)$$

그리고 식 (2.4.8)의 결과 획득을 위해 AMI 채널 11번과 13번 그리고 15번을 활용하였다. 즉, 지표면 (Land) 정보 획득을 위해서 인공위성 관측 채널 자료 중 대기의

영향을 받지 않도록 대기의 창 영역 파장을 이용하는 것이 유리하기 때문에 이 알고리즘에서는 AMI 채널 중 대기의 창 영역인 채널 11번과 13번 그리고 15번을 이용하였다.

결과적으로 MODIS UCSB와 ASTER 자료를 통해 계산된 광대역 방출률과 AMI 채널 11번과 13번 그리고 15번에 대한 협대역 방출률을 이용하여 다중선형회귀모형을 구축하였고 최종적인 경험식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_b = a_0 + a_1\varepsilon_{11} + a_2\varepsilon_{13} + a_3\varepsilon_{15} \quad (2.5.2)$$

여기서 $a_0 - a_3$은 회귀계수이고 ε_{11}, ε_{13}, ε_{15}는 AMI 채널 11번과 13번 그리고 15번의 협대역 방출률 (LSE)이다. 따라서 이 알고리즘에서는 GK-2A 관측 영역에 맞추어 2 km × 2 km로 생산된 MODIS 지표면 분류 자료 (17종)를 참고하여 해당 지역의 지표면 분류에 따라 이 연구에서 분류된 회귀식 (물, 눈과 얼음, 식생, 도시, 사막 총 5종)으로 방출률을 산출한다.

2.6 산출물

최종적으로 출력되는 산출물의 정보는 표 2.6.1과 같다.

표 2.6.1. ULR 산출 자료.

변수	설명
ULR	공간 해상도 2 km × 2 km의 반구 영역, 시간 해상도 약 10분
Quality_flag1	0: Bad (value < 0 Wm^{-2} or value > 900 Wm^{-2}) 1: Good (0 Wm^{-2} ≤ value ≤ 900 Wm^{-2})
Quality_flag2	0: Bad (VZA > 70°) 1: Good (VZA ≤ 70°)

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

ULR 산출을 위해서 영상 장면분석/표면 그룹의 LSE와 LST 그리고 SST를 제공받았고 복사/에어로솔 그룹의 DLR 자료를 제공 받아 모의자료로 사용하였다. 이들 입력자료들은 GK-2A AMI와 유사한 AHI의 자료를 활용하여 산출된다.

검증을 위해 사용된 자료는 극 궤도 위성인 Terra에 탑재된 CERES의 SSF XTRK Edition4A ULR 자료를 사용하였다. 이 자료는 CERES의 관측시각 내에서 20 km × 20 km의 공간해상도로 관측을 수행한다. CERES 복사량 자료는 구름 탐지 정확도가 매우 우수하여 다른 복사량 자료보다 정확도가 높아 많은 연구에 활용된다.

3.2 검증 방법

검증은 Kim and Lee (2018, 2019) 방법에 따라 Terra CERES의 위·경도와 공간해상도 (1° × 1°)를 기준으로 GK-2A ULR 자료를 평균하였고 GK-2A 관측 시각을 기준으로 ±5분 이내의 CERES ULR 자료와 비교 분석하였다.

3.3 검증 결과

모의자료를 이용한 ULR의 산출 결과는 다음 그림 3.3.1과 3.3.2에 나타내었다. 그림 3.3.1과 3.3.2는 각각 2017년 8월 5일과 8월 7일 주간과 야간인 0000 UTC와 1200 UTC 사례이다. 그리고 LST와 SST 산출물은 맑은 영역 (clear sky)에 대해서만 산출되기 때문에 ULR 산출 영역도 맑은 영역으로 제한되었다.

a) b)

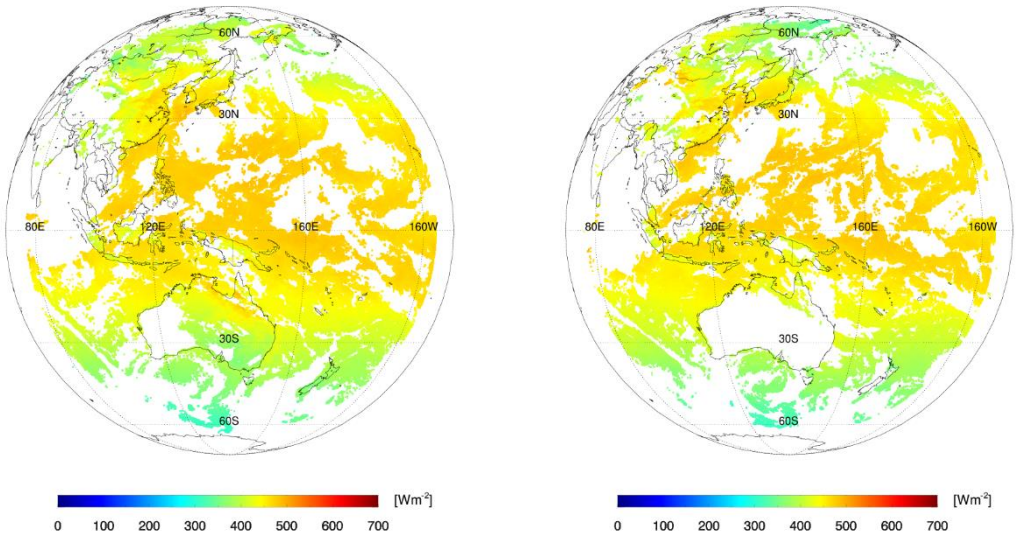


그림 3.3.1. 2017년 8월 5일 0000 UTC ULR (a)과 1200 UTC의 ULR (b).

a) b)

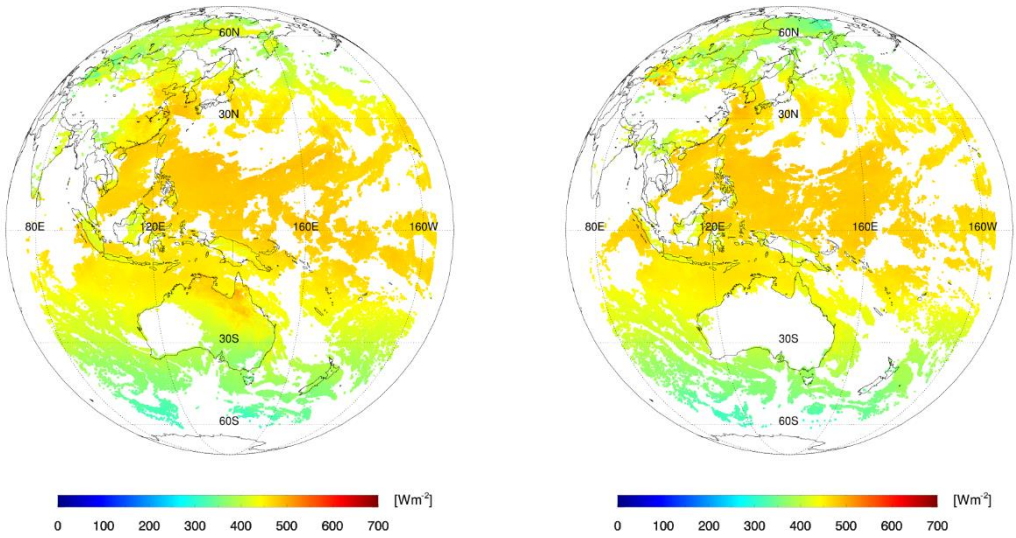
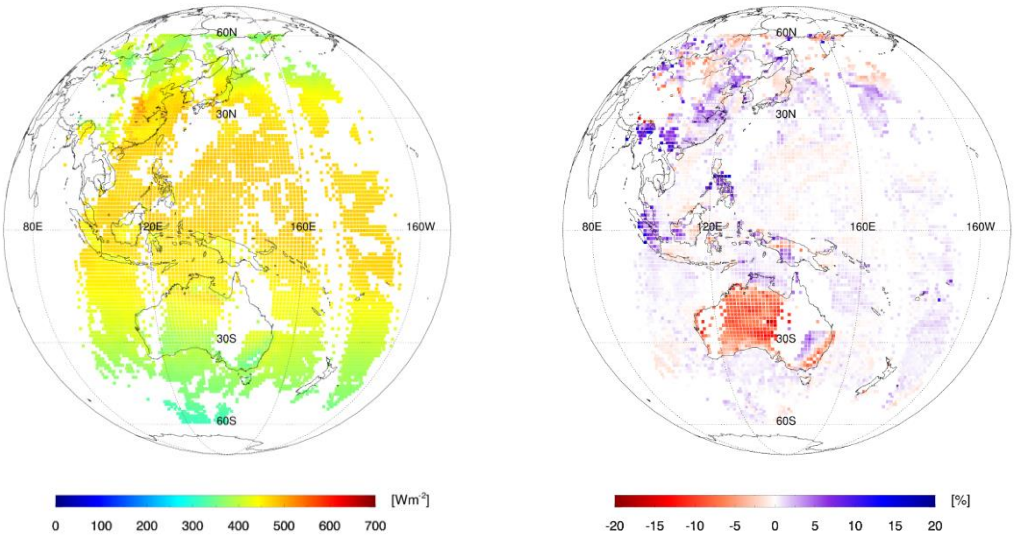


그림 3.3.2. 2017년 8월 7일 0000 UTC ULR (a)과 1200 UTC의 ULR (b).

이 알고리즘에 의한 ULR 산출 결과 검증을 위하여 극 궤도 위성 CERES 자료와 비교하였다. 그러나 이 알고리즘 결과와 CERES 자료의 공간해상도가 다르기 때문에 이들의 직접적인 비교를 위하여 두 자료를 1° × 1° 간격으로 일치시켜 비교하였다. 그림 3.3.3은 2017년 8월 5일 대한 것으로서 a)는 CERES 자료이고 b)는 CERES 자료와

이 알고리즘 결과의 % 차이 그리고 c)는 산점도이다. 즉 그림 3.3.3에서와 같이 이 알고리즘 결과와 CERES 자료의 차이는 대부분 ±10% 미만이었고 이들의 RMSE는 각각 0.97 Wm^{-2}과 10.47 Wm^{-2}였다.

a) b)



c)

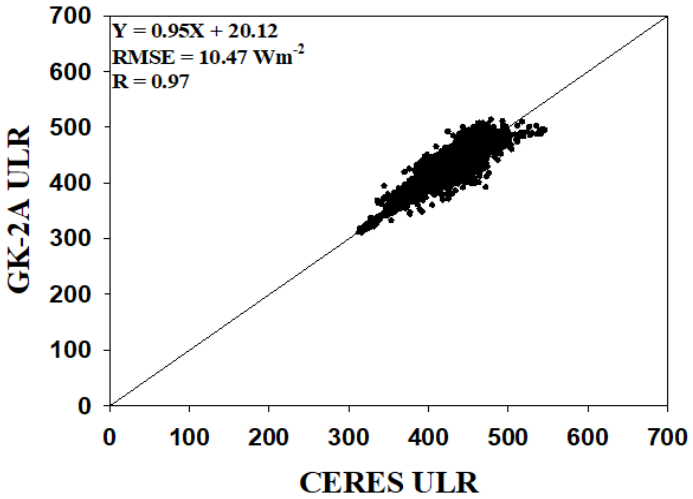
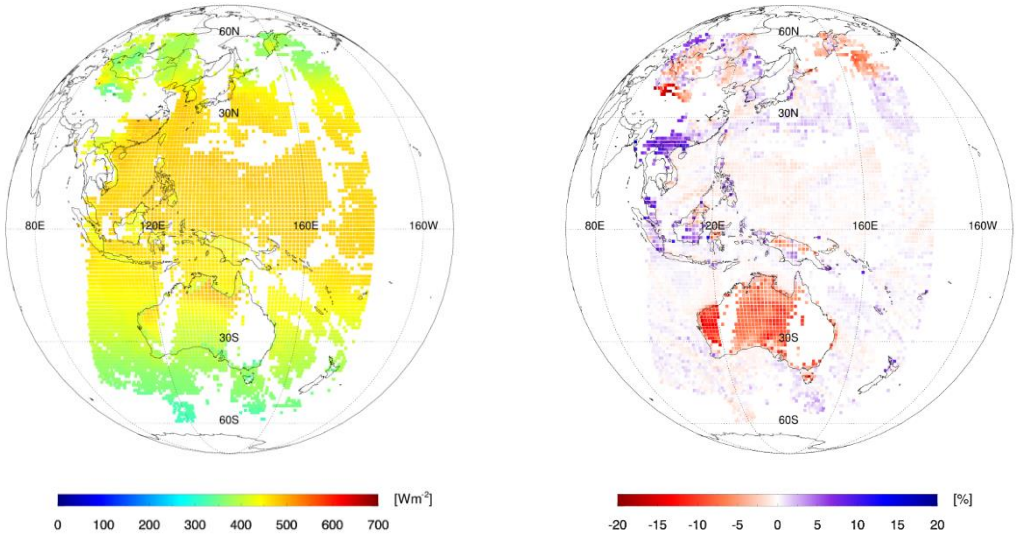


그림 3.3.3. 2017년 8월 5일 CERES ULR (a)과 GK-2A AMI ULR의 % 차이 (b) 및 산점도 (c).

그림 3.3.4는 그림 3.3.3과 마찬가지이나 2017년 8월 7일에 대한 것으로서 이 알고리즘 결과와 CERES 자료의 차이는 그림 3.3.3과 마찬가지로 대부분 ±10% 미만

이었고 상관계수는 0.97 그리고 RMSE는 11 Wm^{-2}이었다. 즉, 그림 3.3.3의 8월 5일과 그림 3.3.4의 8월 7일 사례 모두 최종목표 정확도인 RMSE 25 Wm^{-2} 미만이었다.

a) b)



c)

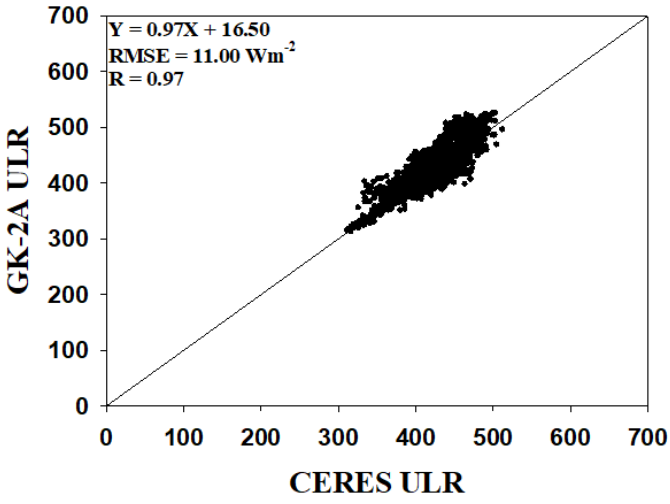


그림 3.3.4. 2017년 8월 7일 CERES ULR (a)과 GK-2A AMI ULR의 % 차이 (b) 및 산점도 (c).

그리고 지표면 광대역 방출률 산출을 위하여 LSE 자료가 필수이나 이 자료가 없는 경우 광대역 방출률을 산출하지 못하여 ULR 산출도 불가하다. 광대역 방출률을 1로

가정하여 앞선 사례 (2017년 8월 5일과 7일)에 대하여 URL을 산출한 후 CERES 자료와 비교한 결과는 표 3.3.1에 제시하였다. 즉, 광대역 방출률을 1로 가정하여 이 알고리즘으로 산출한 URL과 CERES 자료의 상관계수는 0.95, RMSE는 11.63 Wm^{-2} 그리고 편차 (Bias)는 −1.12 Wm^{-2}로 광대역 방출률을 정상적으로 산출하여 계산한 결과와 비교하여 차이가 크지 않았다. 그러나 광대역 방출률을 고정된 상수로 취급할 경우 ULR의 시·공간 변화에 따른 지표면 장파복사 차이가 최대 10% 이상 차이가 나타날 수 있다 (Jin and Liang, 2006). 따라서 ULR을 산출하고자 할 때 LSE 자료가 없을 경우 광대역 방출률 값으로서 고정 상수를 사용하는 것 보다는 월 또는 계절에 따른 적절한 기후값이 필요할 수 있다.

표 3.3.1. 광대역 방출률에 따른 ULR 산출 결과와 CERES 자료의 비교 결과 (2017년 8월 5일과 7일 사례) (Bias와 RMSE 단위는 Wm^{-2}임).

	Bias	RMSE	R
Using Calculated Emissivity	-0.73	10.75	0.97
Using Emissivity = 1	-1.12	11.63	0.95

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

ULR 산출을 위하여 지표면 광대역 방출률 자료가 필수적이고 이에 따라 지속적인 회귀식 보완이 이뤄져야 한다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

지표면 광대역 방출률 산출을 위하여 LSE 자료가 필수이나 LSE 자료가 미 제공될 경우 광대역 방출률을 대체할 수 있는 기후 값 등의 준비 조치가 필요하다.

4.3 품질 평가 및 진단

이 연구결과는 극 궤도 위성인 Terra 또는 Aqua의 CERES 자료로부터 평가될 수 있고 경우에 따라서는 복사 모델을 통한 결과와도 비교될 수 있다.

4.4 예외사항 처리

이 연구에서 ULR 산출을 위한 필수자료는 LSE, LST, SST 그리고 DLR 자료이다. 이들 중 LSE는 광대역 방출률을 계산하기 위한 것으로서 자료가 없는 경우 광대역 방출률을 기후 값 대치가 가능하나 나머지 변수들이 제공되지 않을 경우 ULR 산출이 불가하다.

4.5 검증 알고리즘

검증은 극 궤도 위성인 Terra 또는 Aqua의 CERES ULR과 함께 GK-2A ULR 자료를 1° × 1° 영역으로 평균하고 GK-2A 관측 시각을 기준으로 ±5분 이내의 CERES ULR 자료와 비교 분석되어야 한다. 또한 이 자료는 VZA이 70° 이내에서 분석되어야 한다. 예를들어 0100 UTC에 산출된 GK-2A ULR는 0055-0105 UTC에 관측된 CERES ULR과 비교분석 될 수 있다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

이 연구에서 산출되는 ULR은 최종목표 정확도 (RMSE 25 Wm^{-2} 미만)를 달성하였고 광대역 방출률 산출을 위한 회귀식의 지속적인 보완과 선행 산출물인 LST와 SST의 개선이 이뤄질 경우 정확성이 크게 향상될 수 있다.

5.2 예상 센서 성능

ULR 산출물은 LSE, LST, SST 그리고 DLR의 입력 자료에 따라 시공간해상도가 결정되고 이 알고리즘을 결과는 CERES와 비교하여 큰 차이 없이 양호하게 산출된다.

5.3 개선을 위한 사전 계획

이 연구의 필수 요소인 광대역 방출률은 선행연구 (Wang et al., 2005; Tang et al., 2011)에 근거하여 회귀식을 생산하였으나 지표피복 자료에 맞춰 회귀식을 세분화할 경우 ULR 산출물의 정확성을 향상시킬 수 있다.

6. 참고문헌

Baldridge, A., Hook, S., Grove, C., and Rivera, G., 2009. The ASTER spectral library version 2.0. Remote Sensing of Environment, 113(4), 711-715.

Cheng, J., Liang, S., Verhoef, W., Shi, L., and Liu, Q., 2016. Estimating the hemispherical broadband longwave emissivity of global vegetated surfaces using a radiative transfer model. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54(2), 905-917.

Hatzuabastassuoiou, N., Croke, B., Kortsalioudakis, N., Vardacas, I., Koutoulaki, K., 1999. A model for the longwave radiation budget of the Northern Hemispgere: Comparison with Earth Radiation Budget Experiment data. Journal of Geophysical Research, 104(8), 9489-9500

Jin, M. and Liang, S., 2006. An improved land surface emissivity parameter for land surface models using global remote sensing observations. Journal of Climate, 19(12), 2867-2881.

Kim, B. Y. and Lee, K. T., 2018. Radiation Component Calculation and Energy Budget Analysis for the Korean Peninsula Region. Remote Sensing, 10(7), 1147.

Kim, B. Y. and Lee, K. T., 2019. Using the Himawari-8 AHI Multi-Channel to Improve the Calculation Accuracy of Outgoing Longwave Radiation at the Top of the Atmosphere. Remote Sensing, 11(5), 589.

Lee, H. T., Laszlo, I., and Gruber, A., 2010. ABI Earth Radiation Budget Upward Longwave Radiation: Surface (ULR). NOAA NESIDS CENTER for SATELLITE APPLICATIONS and RESEARCH, Algorithm Theoretical Basis Document Version 2.0, 39.

Tang, B. H., Wu, H., Li, C., and Li, Z. L., 2011. Estimation of broadband surface emissivity from narrowband emissivities. Optics express, 19(1).

Wan, Z., 1999. MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD). Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara 75.

Wang K., Wan, Z., Wang, P., Sparrow, M., Liu, J., Zhou, X., and Haginoya, S., 2005. Estimation of surface long wave radiation and broadband emissivity using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) land surface temperature/emissivity products. Journal of Geophysical Research, 100, D11109, doi:10.1029/2004JD005566.

Ogawa, K., Schmugge, T., Jacob, F., and French, A., 2002. Estimation of broadband land surface emissivity from multi-spectral thermal infrared remote sensing. Agronomie, 22(6), 695-696.

Ogawa, K., Schmugge, T., Jacob, F., and French, A., 2003. Estimation of land surface window (8– 12 μm) emissivity from multi-spectral thermal infrared remote sensing—A case study in a part of Sahara Desert. Geophysical Research Letters, 30(2).