

GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis
Document

청천 복사량
(CSR)

이규태, 조일성
강릉원주대학교

Version 1.0

2019. 04. 24.



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	전천 및 청천 복사량 각각 작성	0.3.0.1	2018.04.01.	이규태, 조일성
0.2	계산방법 변화 (이동평균 -> 평균)	0.4.0.1	2018.11.01.	이규태, 조일성
0.3	ATBD 수정	0.5.5.1	2019.03.01.	이규태, 조일성
1.0	ATBD 수정	0.6.3.0	2019.04.24.	이규태, 조일성

<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	4
2.3.1 L1B	4
2.3.2 L2	5
2.3.3 보조 자료	5
2.4 이론적 배경	6
2.5 수학적 설명	7
2.6 산출물	7
3. 모의자료 및 검증	8
3.1 모의 입력자료 및 검증자료	8
3.2 검증 방법	10
3.3 검증 결과	10
4. 현업운영 시 고려사항	14
4.1 수치계산 고려사항	14
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항	14
4.3 품질 평가 및 진단	14
4.4 예외사항 처리	14
4.5 검증 알고리즘	14
5. 가정 및 제한	19
5.1 성능	19
5.2 예상 센서 성능	19
5.3 개선을 위한 사전 계획	19

6. 참고문헌	20
---------------	----

<표 목차>

표 2.3.1. CSR 기본 입력 자료	5
표 2.3.2. CSR 보조 입력 자료	6
표 2.6.1. CSR 산출 자료	7
표 3.1.1. CSR 모의 입력 자료	8
표 3.1.2. AMI와 AHI 중심 파장 및 공간 해상도	9
표 4.5.1. 2017년 8월 1일 0000UTC JMA CSR과 이 연구와의 통계 분석 결과	18

<그림 목차>

그림 2.2.1. CSR 알고리즘 흐름도	3
그림 2.2.2. CSR 16 × 16 영역의 청천화소 비율	4
그림 2.4.1. 수증기 채널(Ch. 8-10)의 투과율	6
그림 3.3.1. 2017년 08월 01일 0000UTC CSR 단파 채널(Ch. 1-6)	10
그림 3.3.2. 2017년 08월 01일 0000UTC CSR 장파 채널(Ch. 7-16)	11
그림 4.5.1. 2017년 08월 01일 0000UTC JMA 및 이 연구의 CSR	15

약어표

AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
CLD	Cloud Mask
CSR	Clear Sky Radiation
CTP	Cloud Top Pressure
GK-2A	Geostationary Korea Multi-Purpose Satellite 2A
JMA	Japan Meteorological Agency
KMA	Korea Meteorological Administration
NWP	Numerical Weather Prediction

1. 개요

청천 복사량(Clear Sky Radiance; CSR)은 하늘의 맑은 영역에 대한 복사량을 의미하고 그에 대한 위성관측 화소(pixel)를 16×16 (약 $32 \text{ km} \times 32 \text{ km}$) 평균하여 산출한다. 이때 단파영역(Ch. 1-6)과 장파영역(Ch. 7-16)에 대한 청천 복사량 산출 결과는 각각 반사율(Reflectance) 및 밝기온도(Brightness Temperature)로 표시된다.

그리고 복사는 육지와 해양의 경우 분명하게 구별되므로 이 연구에서는 육지와 해양 화소를 구분하여 산출된다.

1.1 목적

2014년 10월 7일 MTSAT-2의 후속위성으로 일본의 차세대 기상위성인 Himawari-8이 발사되어 운영단계에 접어들었고 우리나라도 기존의 천리안 위성의 후속으로 차세대 위성 Geo-KOMPSAT (GK-2A)을 2018년 발사하였다. 즉 기존의 천리안 위성보다 채널수와 공간 해상도가 크게 증가한 GK-2A의 CSR 알고리즘 개발 결과는 수치모델의 입력자료로서 중요하게 사용될 목적 (Kazumori, 2014; Laurence et al., 2016)으로 개발된다.

1.2 사용자

이 보고서는 산출물인 CSR의 물리적인 근거에 대한 이해를 필요로 하거나 현재 현업에서 수치예보 모델(Numerical Weather Prediction, NWP)을 이용하는 사용자에게 제공된다.

1.3 내용

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

1.4 관련 문서

GEO-KOMPSAT-2A (GK-2A) Advanced Meteorological Imager (AMI) Algorithm Theoretical Basis Document for Radiance (2016)

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

CSR은 각 채널별 위성관측 화소를 이용하여 산출한다. 즉 주어진 영역에 대하여 화소를 16×16 평균하여 산출되나 육지와 해양이 구별되고 청천 화소를 구분하기 위해 CLD 자료가 필요하며 추가적으로 수증기 채널 (Ch. 8-10)은 하층운 구별을 위해 CTP 자료가 이용된다. 결과 표출을 위하여 GK-2A/AMI의 L1B 자료가 이용되고 이 L1B자료는 Digital Number (DN; Weng and Quattrochi, 2007) 값으로 표시되기 때문에 국가기상위성센터에서 제공되는 변환 계수를 이용하여 반사율 및 밝기온도로 변환하여 사용한다. 또한 CSR의 시간해상도는 10분이며 공간해상도는 2 km이나 다른 채널 자료보다 상대적으로 고 해상도인 채널 1-4에 대해서는 2 km로 공간 일치하였다.

2.2 알고리즘 흐름도

앞서 언급한 바와 같이 CLD 정보를 통해 청천 화소와 구름 화소를 구분하여 최종적으로 청천 화소를 이용하게 된다. 추가적으로 수증기 채널은 CTP 정보를 통해 하층운에 대하여 청천으로 취급하여 계산하게 되며 CSR의 산출 과정은 아래 그림 2.2.1과 같다.

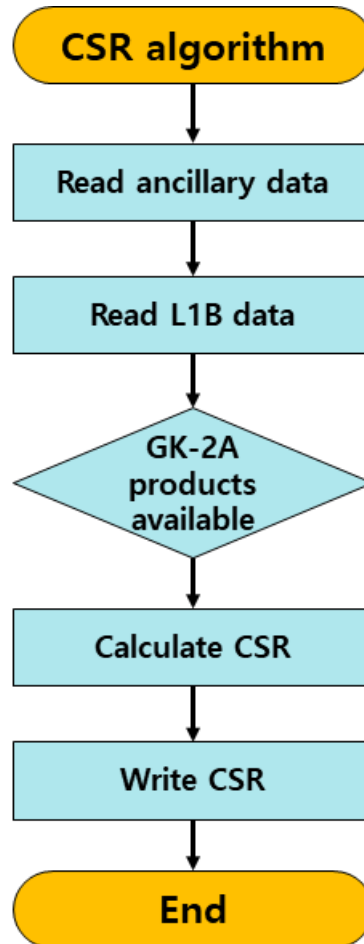


그림 2.2.1. CSR 알고리즘 흐름도.

1) 보조자료 읽기 (Read ancillary data)

위·경도와 Land/Sea mask의 자료를 읽어오는 단계이다.

2) L1B 자료 읽기 (Read L1B data)

CSR 산출에 필요한 채널 1-16번의 L1B 자료를 읽어오는 단계이다.

3) GK-2A 산출자료 읽기 (GK-2A products available)

CSR 산출을 위해 추가적으로 필요한 CLD와 CTP 자료를 읽어오는 단계이다.

4) CSR 계산 (Calculate CSR)

3)의 CLD 정보를 이용하여 청천 화소가 구분되고 16×16 평균을 하여 CSR 을 계산한다. 즉 중심격자를 기준으로 총 246 화소 (16×16 ; 그림 2 참조) 중 청천

화소만을 이용해 평균하며 계산에 사용된 화소의 비율(단위: %)을 Flag로 나타낸다. 그리고 수증기 채널(Ch. 8-10)의 경우는 하층운 구별을 위하여 CTP 정보가 이용되며 이와 관련된 사항은 ‘2.4절 이론적 배경’ 부분에 상세히 설명되어 있다.

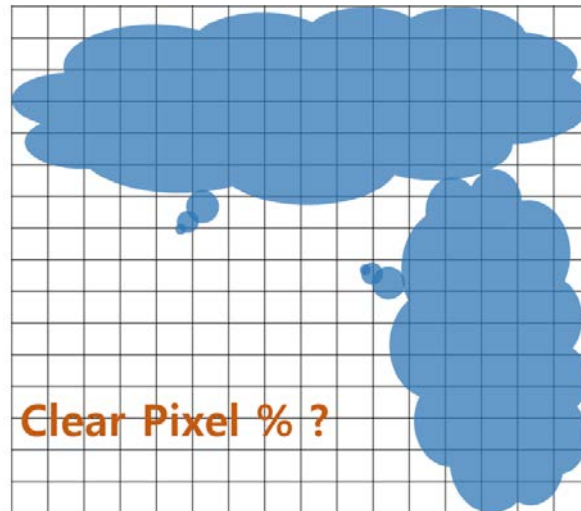


그림 2.2.2. CSR 16×16 영역의 청천화소 비율.

5) CSR 출력 (Write CSR)

CSR를 출력하는 단계이다.

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

표 2.3.1은 이 연구를 통하여 개발된 알고리즘의 표출을 위하여 사용되는 GK-2A/ AMI의 L1B 자료 정보이다.

표 2.3.1. CSR 기본 입력 자료.

채널	중심파장(μm)	배열
1	0.470	11000 × 11000
2	0.511	11000 × 11000
3	0.640	22000 × 22000
4	0.856	11000 × 11000
5	1.380	5500 × 5500
6	1.610	5500 × 5500
7	3.830	5500 × 5500
8	6.241	5500 × 5500
9	6.952	5500 × 5500
10	7.344	5500 × 5500
11	8.592	5500 × 5500
12	9.625	5500 × 5500
13	10.403	5500 × 5500
14	11.212	5500 × 5500
15	12.364	5500 × 5500
16	13.310	5500 × 5500

2.3.2 L2

N/A

2.3.3 보조 자료

CSR 산출을 위한 보조 자료는 표 2.3.2와 같다.

표 2.3.2. CSR 보조 입력 자료.

이름	해상도	배열
Lat/Lon	2 km	5500 × 5500
Land/Sea mask	2 km	5500 × 5500
Cloud mask (CLD)	2 km	5500 × 5500
Cloud Top Pressure (CTP)	2 km	5500 × 5500

2.4 이론적 배경

CSR은 GK-2A의 각 채널 자료에 대하여 주어진 화소를 16×16 평균하여 계산되나 육지와 해상의 복사량 차이 때문에 해안 근처의 경우 평균되는 화소의 수가 일정하지 않을 수 있다. 즉 해안 근처에서 중심 화소가 육지/해안일 경우 이에 해당하는 화소들만을 이용해 계산되어 진다.

CLD 및 CTP를 이용하여 하층운도 청천 화소로 분리되고 이 경우 CLD 및 CTP 자료 정확도에 따라 CSR의 성능이 결정된다. 수증기 채널(Ch. 8-10)의 경우 그림 2.4.1과 같이 청천에 대한 대기 하층에 투과율이 0에 가까워진다 (Imai and Uesawa, 2016). 이러한 경향은 수증기 채널별로 다르기 때문에 복사모델 결과를 이용하여 채널별 경계 기압을 설정하였고 CTP가 경계 기압 아래에 있을 경우 구름 화소가 아닌 청천 화소로 설정된다.

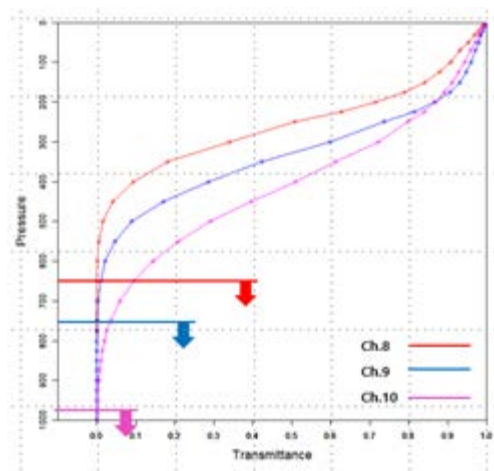


그림 2.4.1. 수증기 채널(Ch. 8-10)의 투과율.

2.5 수학적 설명

N/A

2.6 산출물

채널 1-16의 CSR과 표준편차 및 전체 화소 중 청천 화소의 비율로 표 2.6.1과 같이 표출된다.

표 2.6.1. CSR 산출 자료.

변수	설명
CSR	16 × 16 화소 중 청천 화소 평균, 시간 해상도 약 10분
Standard deviation	CSR 표준편차
Ratio	청천 화소 비율 (단위: %)

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

CSR의 산출을 위한 모의 입력자료는 2017년 08월 01일 0000 UTC Himawari-8/AHI 센서의 L1B 자료와 Land/sea mask, CLD 및 CTP 이다. 그리고 L1B 자료는 변환 계수를 사용하여 단파에 대하여 반사율 그리고 장파는 밝기온도로 변환하여 사용한다(표 3.1.1 참조).

표 3.1.1. CSR 모의 입력자료.

자료	배열
AHI Channel 1. L1B	11000 × 11000
AHI Channel 2. L1B	11000 × 11000
AHI Channel 3. L1B	22000 × 22000
AHI Channel 4. L1B	11000 × 11000
AHI Channel 5. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 6. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 7. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 8. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 9. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 10. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 11. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 12. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 13. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 14. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 15. L1B	5500 × 5500
AHI Channel 16. L1B	5500 × 5500
Cloud mask	5500 × 5500
Cloud Top Pressure	5500 × 5500
Land/Sea mask	5500 × 5500

다음의 표 3.1.2는 GK-2A/AMI와 Himawari-8/AHI의 채널별 중심파장과 해상도를 나타낸 것이다. 이 표에서와 같이 GK-2A와 Himawari-8은 마찬가지로 16개의 채널을 가지나 GK-2A는 2.30 μm 채널이 없는 반면 Himawari-8이 없는 1.38 μm 채널을 가진다.

표 3.1.2. AMI와 AHI의 중심 파장 및 공간 해상도.

채널	중심파장 (μm)		해상도
	AMI	AHI	
1	0.470	0.470	1 km
2	0.511	0.510	1 km
3	0.640	0.640	0.5 km
4	0.856	0.860	1 km
5	1.380	1.600	2 km
6	1.610	2.300	2 km
7	3.830	3.900	2 km
8	6.241	6.200	2 km
9	6.952	6.900	2 km
10	7.344	7.300	2 km
11	8.592	8.600	2 km
12	9.625	9.600	2 km
13	10.403	10.400	2 km
14	11.212	11.200	2 km
15	12.364	12.400	2 km
16	13.310	13.300	2 km

CSR 검증 자료로는 JMA의 HIMAWARI/AHI에서 산출되는 CSR 자료가 활용된다.

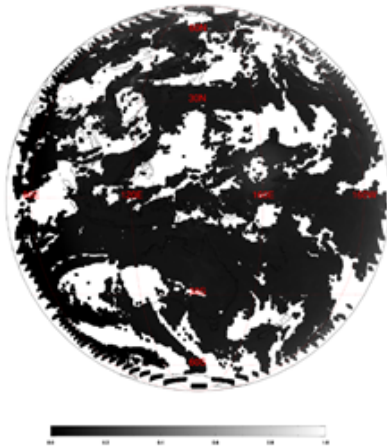
3.2 검증 방법

GK-2A/AMI CSR은 JMA의 HIMAWARI/AHI에서 산출된 CSR과 비교검증된다. 즉 HIMAWARI/AHI CSR (Kazumori, 2018)의 경우 장파영역에 대해서만 산출하고 있기 때문에 이 연구 결과인 CSR은 장파영역에 대해서만 비교검증된다.

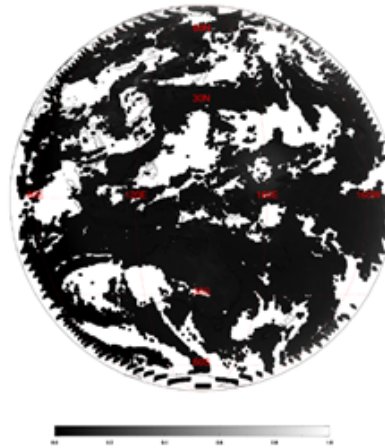
3.3 검증 결과

2017년 08월 01일 0000UTC의 전체(Full disk)영역에 대한 단파와 장파 채널에 대한 CSR은 그림 3.3.1 및 3.3.2에 나타내었다.

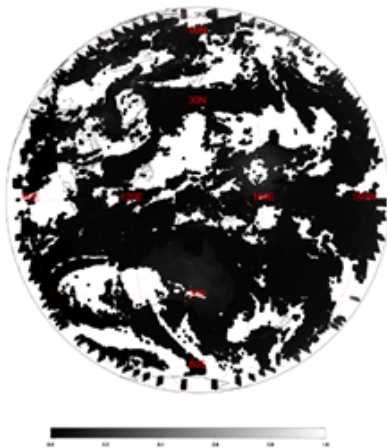
a) Ch. 1



b) Ch. 2



c) Ch. 3



d) Ch. 4

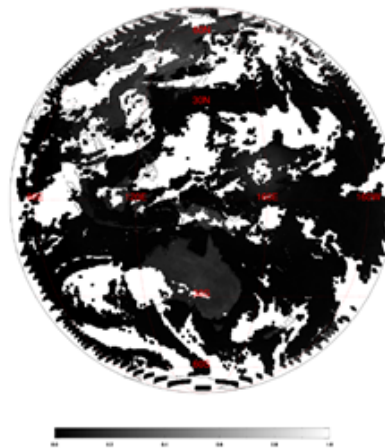
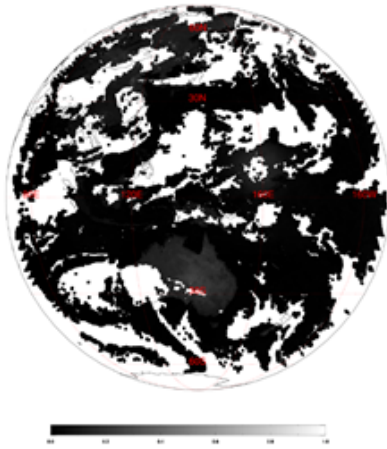


그림 3.3.1. 2017년 08월 01일 0000UTC CSR 단파 채널 (Ch. 1-4).

e) Ch. 5



f) Ch. 6

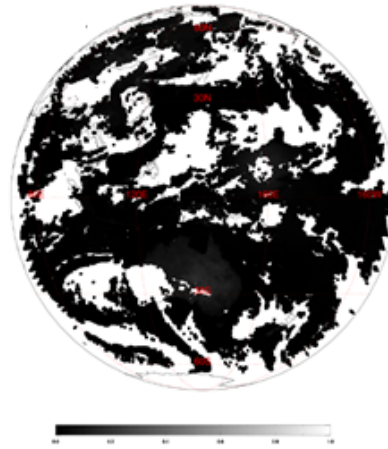
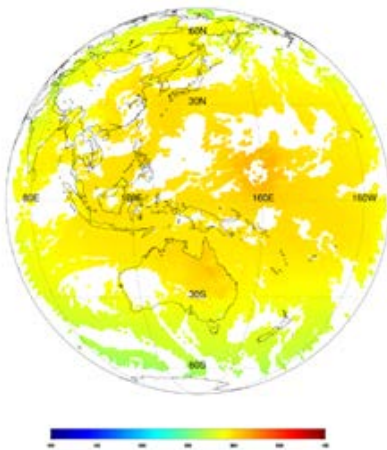


그림 3.3.1. 계속 (Ch. 5-6).

a) Ch. 7



b) Ch. 8

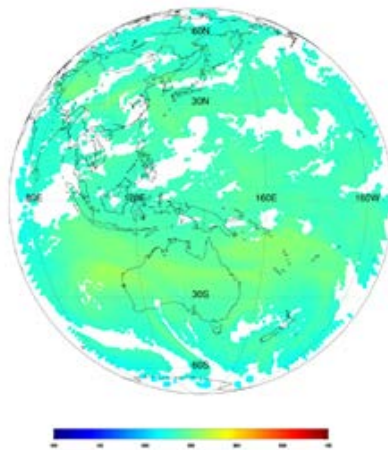
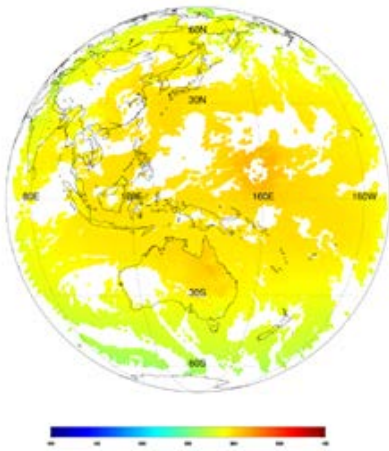
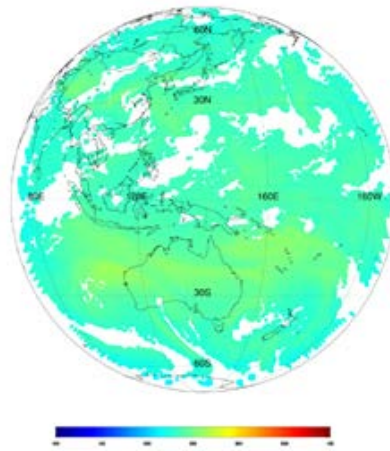


그림 3.3.2. 2017년 08월 01일 0000UTC CSR 장파 채널 (Ch. 7-8).

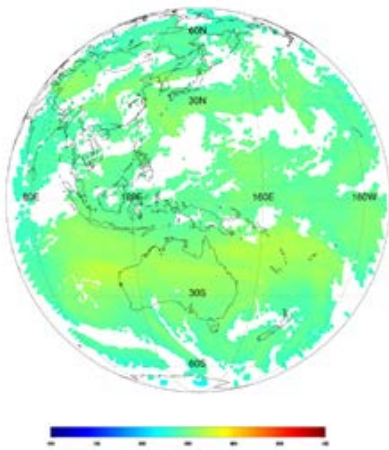
c) Ch. 09



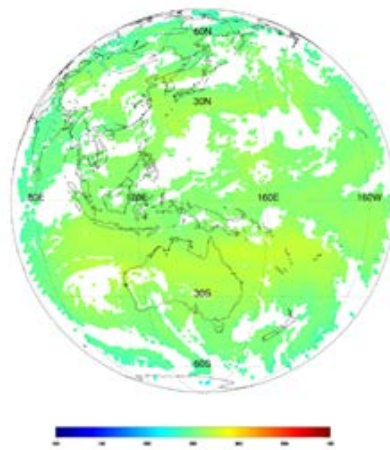
d) Ch. 10



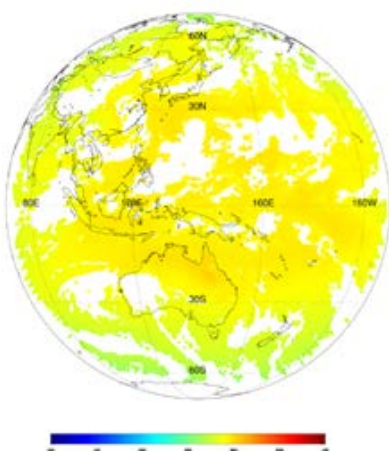
e) Ch. 11



f) Ch. 12



g) Ch. 13



h) Ch. 14

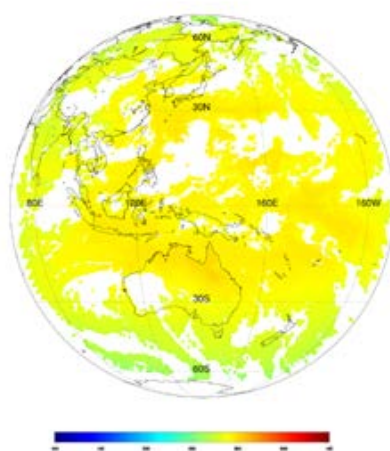
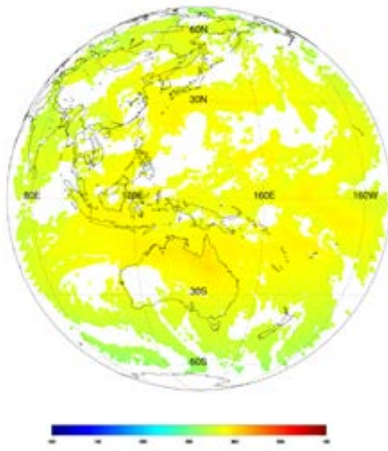


그림 3.3.2. 계속 (Ch. 9-14).

i) Ch. 15



j) Ch. 16

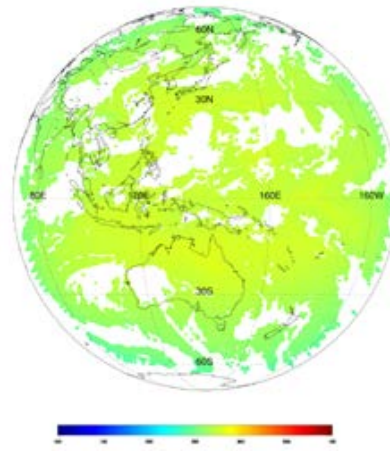


그림 3.3.2. 계속 (Ch. 15-16).

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

N/A

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

N/A

4.3 품질 평가 및 진단

CSR은 청천 화소를 이용하여 16×16 평균값으로 산출하고 통계수치(표준편차)를 출력한다. 또한 품질검사를 통한 flag가 제공되며 추가적으로 필요한 정보는 지속적으로 관련부서와 협력하여 수정될 수 있다. 그리고 HIMAWARI/AHI CSR (Kazumori, 2018)의 경우 장파영역에 대해서만 산출하고 있기 때문에 이 연구 결과인 CSR은 장파영역에 대해서 JMA CSR과 비교검증된다.

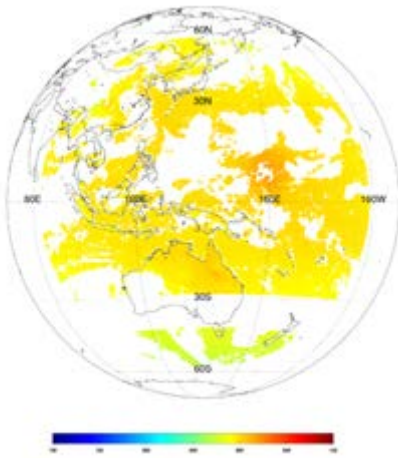
4.4 예외사항 처리

CSR를 산출하기 위해 CLD 자료가 필수적이고 수증기 채널은 추가적으로 CTP 정보가 필요하다. 즉 CLD 자료가 없는 경우 CSR은 산출하지 않고 또한 수증기 채널은 CTP 자료가 없을 경우 CSR이 산출되지 않는다.

4.5 검증 알고리즘

CSR 장파영역 산출 결과를 검증하기 위하여 HIMAWARI/AHI CSR과 비교하여 그림 4.5.1에 나타내었으며 이 통계 결과를 표 4.5.1에 제시하였다 (그림과 표에서 JMA는 HIMAWARI/AHI를 의미함). 그림 4.5.1과 표 4.5.1에서와 같이 두 산출물은 거의 유사하게 나타나고 있고 통계 분석 결과 HIMAWARI/AHI와 이 연구 결과는 모든 채널에 대해서 상관계수가 0.98 이상으로 나타나고 있다. 그리고 HIMAWARI/AHI와 이 연구 결과에 따른 CSR 산출 결과의 RMSE는 전 채널에서 0.47 - 1.09 K이었고 특히 채널 7번은 RMSE가 1.09로 다른 채널과 비교하여 가장 크게 나타났고 채널 16번이 0.47로 가장 낮았다. 그러나 이러한 HIMAWARI/AHI와 이 연구 결과에 따른 CSR 산출 결과의 작은 차이는 CSR 계산을 위한 각각의 구름정보 차이 때문이다.

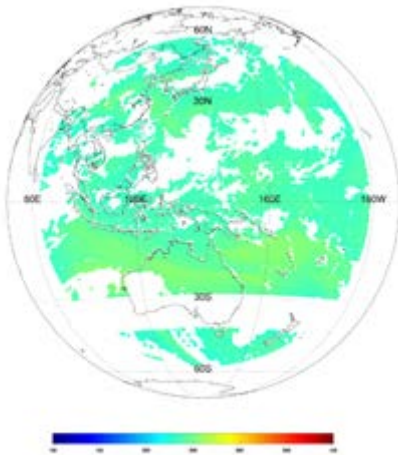
a) JMA Ch. 07



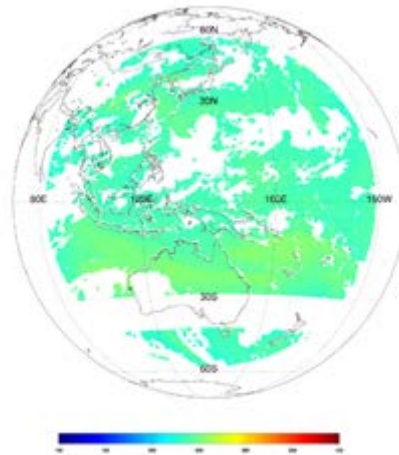
b) GK-2A Ch. 07



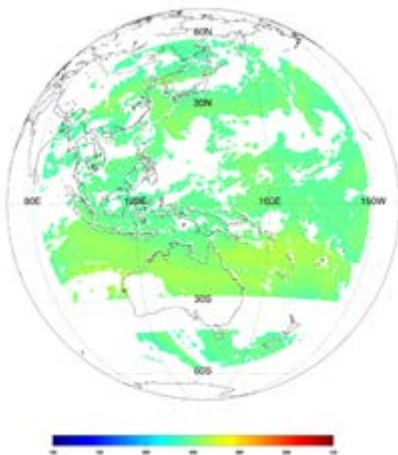
c) JMA Ch. 08



d) GK-2A Ch. 08



e) JMA Ch. 09



f) GK-2A Ch. 09

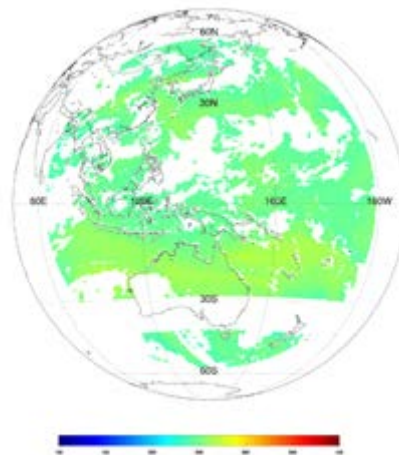
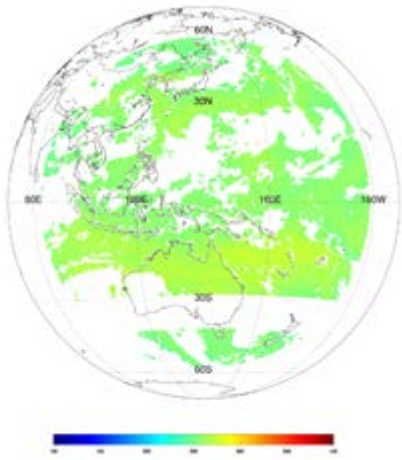


그림 4.5.1. 2017년 08월 01일 0000UTC JMA 및 이 연구의 CSR (Ch. 7-9).

a) JMA Ch. 10



b) GK-2A Ch. 10



c) JMA Ch. 11



d) GK-2A Ch. 11



e) JMA Ch. 12



f) GK-2A Ch. 12



그림 4.5.1. 계속 (Ch. 10-12).

a) JMA Ch. 13



b) GK-2A Ch. 13



c) JMA Ch. 14



d) GK-2A Ch. 14



e) JMA Ch. 15



f) GK-2A Ch. 15



그림 4.5.1. 계속 (Ch. 13-15).

a) JMA Ch. 16



b) GK-2A Ch. 16



그림 4.5.1. 계속 (Ch. 16).

표 4.5.1. 2017년 08월 01일 0000UTC JMA CSR과 이 연구와의 통계 분석 결과.

Channel	R	RMSE	Bias
07	0.98	1.09	-0.17
08	0.99	0.51	0.09
09	0.99	0.54	0.12
10	0.99	0.43	0.09
11	0.99	0.78	0.18
12	0.99	0.51	0.13
13	0.99	0.79	0.19
14	0.98	0.81	0.25
15	0.99	0.72	0.17
16	0.99	0.47	0.14

5. 가정 및 제한

5.1 성능

CSR는 각 채널별 위성관측 자료를 평균한 결과이기 때문에 이 산출물의 성능은 위성 센서의 성능과 구름정보에 좌우된다.

5.2 예상 센서 성능

N/A

5.3 개선을 위한 사전 계획

CSR 산출물은 수치모델의 입력자료로 중요하게 사용되기 때문에 기상청의 관련 부서와 협의 및 추가적 개선이 가능하다.

6. 참고문헌

- Imai, T., and Uesawa, D., 2016. Clear Sky Radiance (CSR) product derived from Himawari-8 data. Meteorological Satellite Center Technical Note, 61, 53-58.
- Kazumori, M. 2014. Satellite Radiance Assimilation in the JMA Operational Mesoscale 4DVAR System. Monthly Weather Review, 142, 1361-1381.
- Kazumori, M., 2018. Assimilation of Himawari-8 Clear Sky Radiance Data in JMA's Global and Mesoscale NWP systems. Journal of the Meteorological Society of Japan, DOI: 10/2151/jmsj. 2018-037.
- Laurence H., Letertre-Danczak, J., Lean, K., Salonon, K., and Bormann, N., 2016. New satellite data reduce forecast errors. ECMWF Newsletter, 148, 8-9.
- Weng, Q., and Quattrochi, D. A., 2007. Urban Remote Sensing. CRC Press, Newyork, 185p.