

National Ocean Satellite Center

Algorithm Theoretical Basis Document

표층수온
(Sea Surface Temperature)

Version 2.2

해양수산부
국립해양조사원
Korea Hydrographic and Oceanographic Agency
Ministry of Oceans and Fisheries
Republic of Korea

목 차

1. 개요	1
1.1. 목적	1
1.2. 대상자	1
1.3. 내용 요약	1
1.4. 문서 개정내역	2
1.5. 약어목록	3
2. 알고리즘 소개	4
2.1. 개요	4
2.2. 이론적 배경	4
2.3. 알고리즘 흐름도	5
2.4. 입력자료	7
2.5. 산출물	12
3. 산출물 비교 및 검증	5
3.1. 비교 및 검증 자료	5
3.2. 검증 방법	16
3.3. 비교 및 검증 결과분석	7
4. 특이사항	21
4.1. 성능 및 제한점	21
4.2. 개선을 위한 사전 계획	21
5. 참고문헌	22
6. 부록	22

표 목 차

<표 1-1>	수정 이력	2
<표 1-2>	약어 설명	3
<표 2-1>	표층수온 합성장 입력자료 정보	7
<표 2-2>	표층수온 합성장 생산에 사용되는 관측 정점 정보	0 1
<표 2-3>	표층수온 합성장 최종 산출물 정보(NetCDF 파일구조)	2 1
<표 2-4>	표층수온 합성장 최종 산출물 속성(메타) 정보	3 1
<표 2-5>	표층수온 합성장 최종 산출물 변수 정보	4 1
<표 3-1>	검증자료 및 비교군 정보	5
<표 3-2>	검증지수 계산식	6
<표 3-3>	검증지수	6
<표 3-4>	해양과학기지자료와의 검증지수	7 1
<표 3-5>	정선해양관측자료와의 검증지수	8 1
<표 3-6>	iQuam과의 검증지수	9

그 림 목 차

[그림 2-1]	KHOA SST 알고리즘 흐름도	6
[그림 2-2]	AMI SST 시간자료 예시	8
[그림 2-3]	AMSR2 SST 자료 예시	8
[그림 2-4]	GMI SST 자료 예시	8
[그림 2-5]	VIIRS SST 자료 예시	9
[그림 2-6]	MODIS SST 자료 예시	9
[그림 2-7]	표층수온 합성장 예시(2021년 6월 16일)	21
[그림 2-8]	표층수온 합성장 속성 정보 예시	41
[그림 3-1]	타 표층수온 합성장과의 공간분포 비교	61
[그림 3-2]	상관분석	7
[그림 3-3]	오차 공간분포 비교	7
[그림 3-4]	해양과학기지자료와의 상관분석	81
[그림 3-5]	정선해양관측자료와의 상관분석	81
[그림 3-6]	iQuam과의 상관분석	9
[그림 3-7]	iQuam과의 공간분포 비교	9

1. 개요

- 본 알고리즘 설명서(Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD)에서는 GeoKOMPSAT-2A (GK-2A) 위성의 Advanced Meteorological Imager (AMI) 센서와 다중위성 및 관측자료로부터 표층수온 일일 합성장을 산출하기까지의 전 과정을 간략하게 설명한다.
- 1장에서는 ATBD의 목적, 대상자, 내용 요약, 문서 개정내역, 약어목록 정보에 대한 간략한 설명을 포함한다.
- 2장에서는 표층수온 합성장 산출 알고리즘 흐름도와 알고리즘 수행에 필요한 입력자료를 제시하고, 이론적 배경 및 사용 방법론을 설명한다. 또한, 산출물에 대한 현황을 소개한다.
- 3장에서는 산출물에 대한 비교 및 검증 방법과 그 결과를 서술한다.
- 4장에서는 개발된 알고리즘의 성능 및 제한점을 제시하고, 향후 개선 계획을 설명한다.

1.1. 목적

- 한반도 근해에서 정확도 높은 표층수온 합성장을 생산하기 위하여 GK-2A AMI, NOAA-20 VIIRS, Terra MODIS, GCOM-W1 AMSR2, GPM GMI의 5종 위성과 국가해양관측망, 기상청 해양부이, 국립수산물과학원 어장정보의 3종 현장 관측자료를 이용하여 표층수온 합성장을 산출하며, 이 과정에 필요한 물리적 배경과 수치계산 과정을 간략하게 설명한다.

1.2. 대상자

- 본 기술문서는 표층수온 합성장을 산출하는 알고리즘의 이론적 배경 및 사용법에 대한 정보 수요가 있는 사람들을 대상으로 하며, 구체적인 내용은 참고문헌 학습이 필요하다.

1.3. 내용 요약

- 알고리즘 소개: 본 산출물 생산에 적용된 알고리즘에 대한 생성순서, 입력자료 종류, 이론적 배경 및 산출 방법을 소개한다.
- 산출물 비교 및 검증: 본 산출물과 동일한 항목의 기존 자료 비교 결과를 제시하고, 현장 관측 등과의 검증 결과를 제시한다.
- 현업 적용 결과: 국립해양조사원 웹페이지를 통한 서비스 현황과 현업 활용 내용을 소개한다.
- 향후 개발 계획: 품질개선을 위한 향후 계획을 제시한다.

1.4. 문서 개정내역

<표 1-1> 수정 이력

문서버전	수정내용	수정일	작성자
1.0	초안 작성	2021.07.13.	국가해양위성센터
1.1	알고리즘 흐름도 수정 입력자료 설명 수정 검증결과 추가 산출물 속성정보 추가 산출물 생산 스케줄 수정	2021.08.31.	국가해양위성센터
2.0	국립수산과학원 관측자료 추가 2종 위성자료 추가 알고리즘 개선 파일명 및 속성정보 개선	2021.11.25.	국가해양위성센터
2.1	내용 수정 및 보완	2022.10.18.	국가해양위성센터
2.2	파일명 및 속성정보 개선 검증결과 추가	2022.11.14.	국가해양위성센터

1.5. 약어목록

<표 1-2> 약어 설명

약어	설명
AMI	Advanced Meteorological Imager
GK-2A	GeoKOMPSAT-2A
SST	Sea Surface Temperature
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
GCOM-W1	Global Change Observation Mission 1st
AMSR2	Advanced Microwave Scanning Radiometer 2
GPM	Global Precipitation Measurement
GMI	GPM Microwave Imager
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NASA	National Aeronautics and Space Administration
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	NASA Jet Propulsion Laboratory

2. 알고리즘 소개

2.1. 개요

- 현재 주로 사용하고 있는 국외 표층수온 합성장은 전구 영역 자료이므로 우리나라 근해의 수온 특성을 잘 보여주지 못하며, 연안에서 오차가 큰 것으로 알려져 있다.
- 표층수온 자료를 사용하기 위해서는 지속적으로 공백 없는 표층수온 자료의 생산이 필요하며, 우리나라 주변을 지속적으로 관측하고 있는 정지 관측 위성인 GK2A AMI와 보다 고해상도(1 km 이하) 적외선 센서 자료인 NOAA-20 VIIRS, Terra MODIS와 함께 구름 영향이 없는 마이크로웨이브 센서(GCOM-W1 AMSR2, GPM GMI)를 포함한 다중위성 기반의 표층수온 합성장을 생산하였다.
- 또한 한반도 근해에서의 정확도 확보를 위하여 국가해양관측망, 기상청 해양부이, 국립수산물학원 현장관측자료를 이용하여 표층수온 합성장을 산출하였다.

2.2. 이론적 배경

- 표층수온 합성에 사용한 최적내삽법은 OSTIA, OISST, Blended SST, 한국해양과학기술원 등에서 널리 사용되는 자료동화기법이다.
- 최적내삽법은 구름의 영향 등으로 관측이 어려운 결측 부분을 주변에 있는 시공간적 관측값을 이용하여 객관적으로 내삽하여 계산하는 방법으로, 표층수온 합성장은 이러한 결측 부분에 대해서도 오차를 최소화하면서 시공간적으로 새로운 표층수온을 산출할 수 있다(박경애 외, 2009).
- 3차원 최적내삽법은 [식 2-1]과 같이 표현할 수 있다. [식 2-1]의 A(관측오차공분산)는 관측 자료벡터의 자기 상관(autocorrelation) 행렬이고, y는 관측값, C(배경오차공분산)는 식 [식 2-2]와 같이 계산한다. 여기서 d_x 와 d_y 는 각각 동서방향과 남북방향의 거리이고, t는 시간이다.

$$X = CA^{-1}y \quad [\text{식 2-1}]$$

$$C(r) = \exp(-r^2) \\ r^2 = \left(\frac{\Delta d_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_t}{L_t}\right)^2 \quad [\text{식 2-2}]$$

- 합성하고자 하는 격자 주변의 자료에 최적내삽법을 사용할 때, 일정 시간 규모 L_t 와 공간 규모 L_x , L_y 를 설정해 주어야 하며, 각 규모는 각 방향으로의 해양 현상의 규모에 해당한다. 표층수온 합성에 사용한 해양현상 규모는 공간적으로 합성하고자 하는 격자로부터 150 km, 시간적으로 1일을 설정하였으며, 연속적인

강수 해역 등에서 발생하는 불연속 문제를 해결하기 위해서 AMSR2는 3일 자료를 사용한다. 합성 타겟 시간은 12 UTC이다. 이런 조건에서 전체 합성 영역에 대하여 내삽 할 시공간 영역을 이동하면서 표층수온을 산출하였다.

2.3. 알고리즘 흐름도

■ 표층수온 합성장 산출 영역

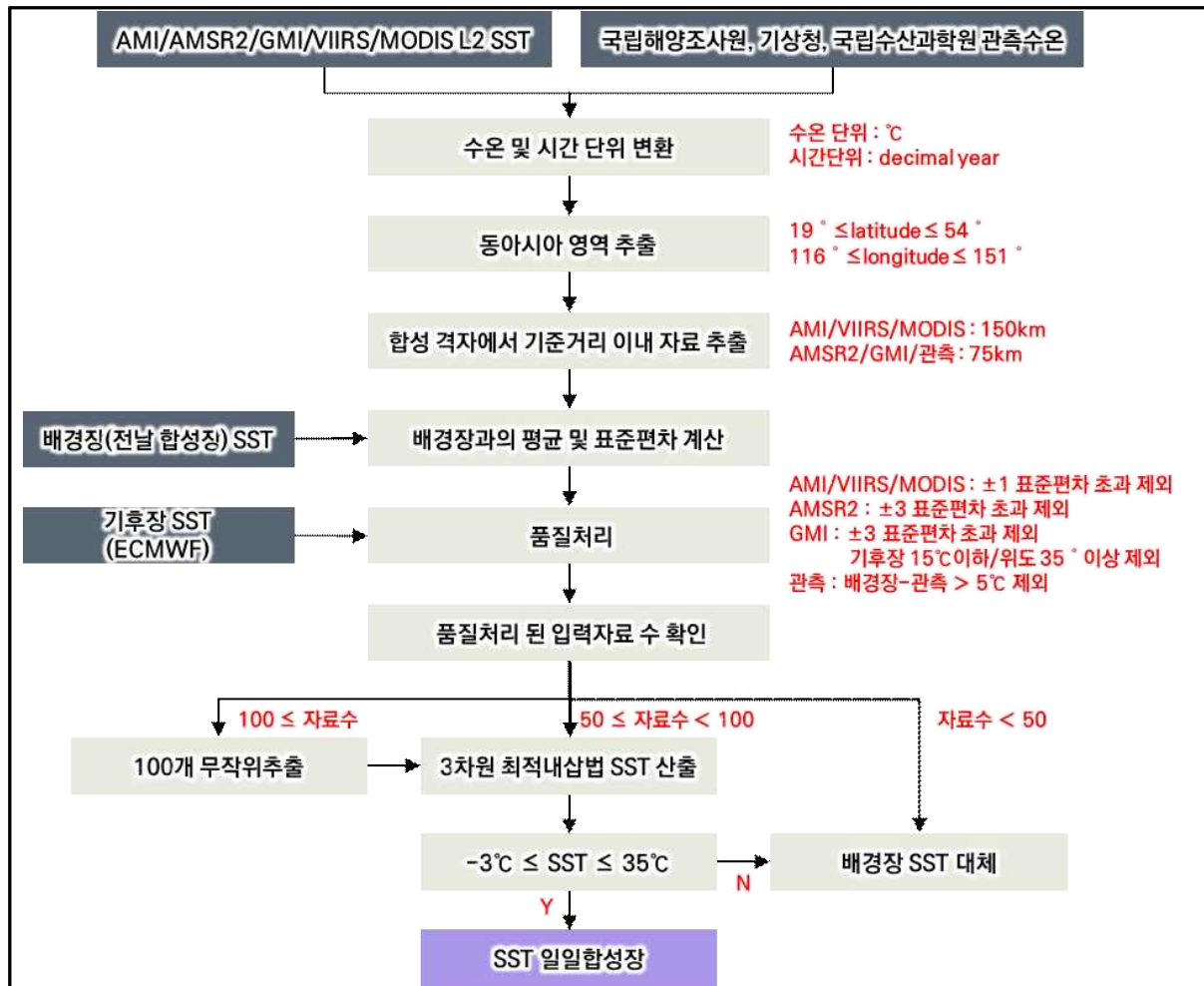
- 황동중국해와 동해 전체, 쿠로시오 까지를 포함하는 동아시아 영역인 20 ~ 53 °N, 117 ~ 150 °E에 대하여 산출한다.

■ 입력자료 전처리 및 품질처리

- 5종 위성과 현장관측자료에 대하여 수온 단위를 °C로, 시간 단위를 십진법(decimal year)으로 동일하게 변환하고, 계산 시간 단축을 위하여 필요한 영역의 자료만 추출한다.
- 산출격자 주변 150 km 영역에 포함되는 AMI/VIIRS/MODIS 자료에 대하여 배경장과의 평균 및 표준편차를 계산하고 ±1 표준편차 초과 자료는 제거한다.
- 산출격자 주변 75 km 영역에 포함되는 AMSR2 자료에 대하여 배경장과의 평균 및 표준편차를 계산하고 ±3 표준편차 초과 자료는 제거하고, 오차값을 보정한다.
- 산출격자 주변 75 km 영역에 포함되는 GMI 자료에 대하여 배경장과의 평균 및 표준편차를 계산하고 ±3 표준편차 초과 자료는 제거하고, 오차값을 보정한다. 단 GMI 자료는 저온에서 오차가 큰 것으로 알려져 있으므로, 수온 기후값이 15 °C 이상인 경우에만 사용하며, 위도 35 °이상 해역에서 오차가 크므로 위도 35 °이하에서만 사용한다(Hee-Young Kim et al., 2018).
- 산출격자 주변 75 km 영역에 포함되는 현장관측자료에 대하여 배경장과의 차이가 5°C 이상의 자료는 제거한다.
- 평균은 [식 2-3], 표준편차는 [식 2-4]를 이용하였다.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad [\text{식 2-3}]$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad [\text{식 2-4}]$$



[그림 2-1] KHOA SST 알고리즘 흐름

■ 표층수온 합성장 생산

- 산출격자에 사용하는 품질처리 된 자료의 수가 100개 이상이면 계산 시간 단축을 위하여 무작위추출법(random sampling)을 통하여 100개의 자료만 선택한 후 3차원 최적내삽법을 이용하여 표층수온을 계산한다.
- 표본 수가 부족한 경우(자료 수가 50개 미만인 경우)와 3차원 최적내삽으로 계산된 표층수온이 -3°C 미만이거나 35°C 초과일 경우에는 배경장의 수온값을 적용하여 이상값을 제거한다.
- 만약 수신 장애 등의 문제로 입수되지 않은 입력자료가 있다면 제외하고 입수된 입력자료만을 이용한다.

■ 산출물 후처리

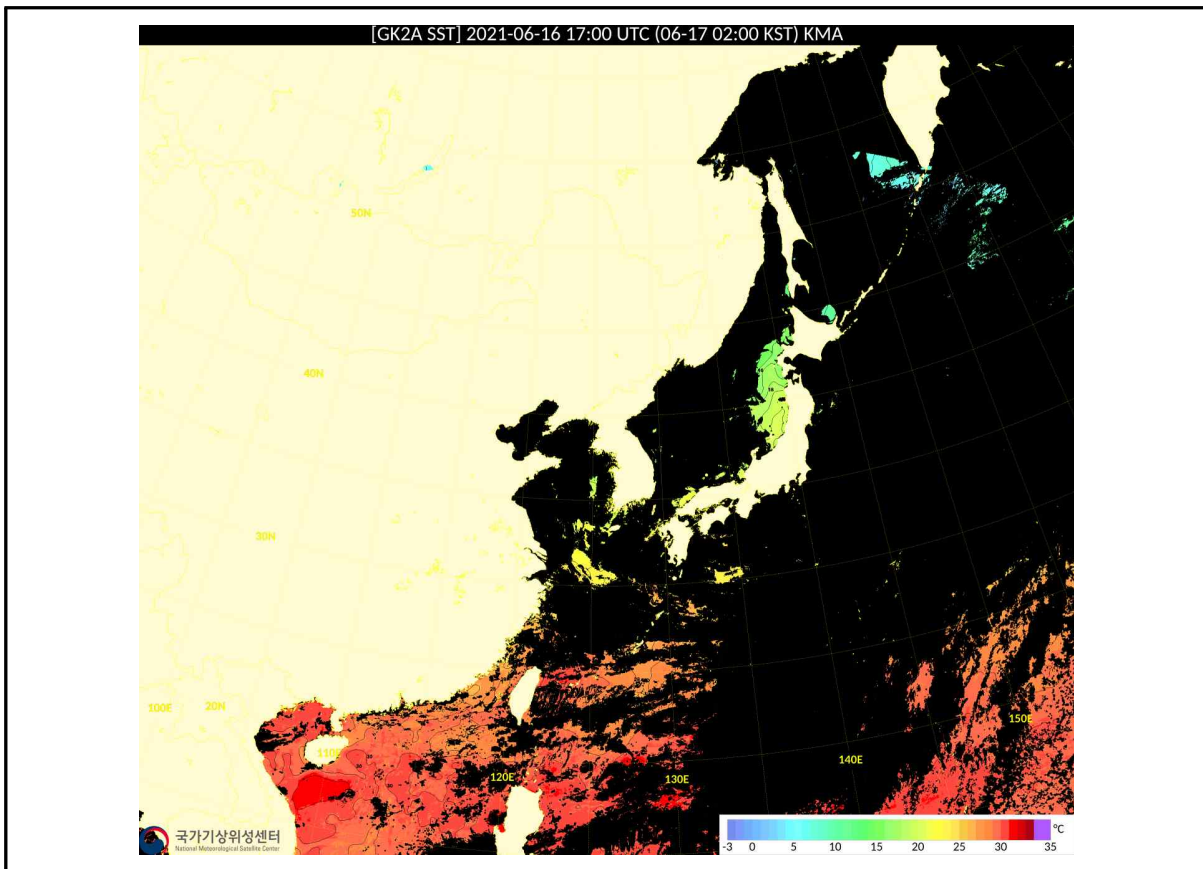
- 위도, 경도, 시간, 표층수온 변수와 사용된 입력자료, 생산기관, 생성날짜 등의 속성 정보를 포함하여 산출물을 Network Common Data Form(NetCDF) 형식으로 출력한다.
- 산출물 확인을 위하여 png 형식의 이미지를 생산한다.

2.4. 입력자료

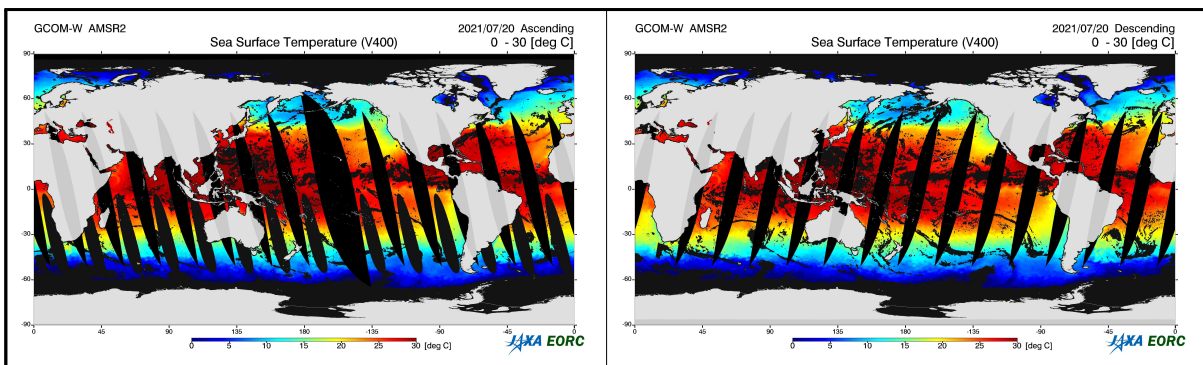
- GK-2A AMI, NOAA-20 VIIRS, Terra MODIS, GCOM-W1 AMSR2, GPM GMI의 5종 위성자료와 국가해양관측망과 기상청, 국립수산물과학원 수온자료를 사용한다.

<표 2-1> 표층수온 합성장 입력자료 정보

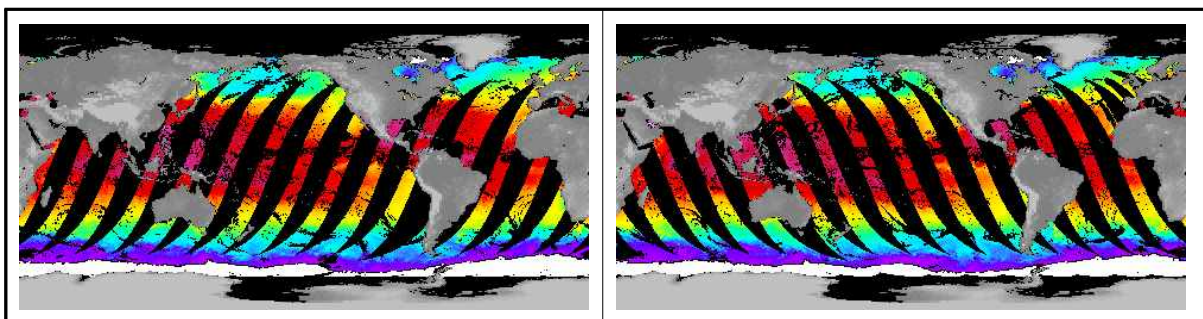
구분	자료명		해상도	수집 간격
위성 자료	AMI / GK-2A L2 SST (적외 센서)	기상청 국가기상위성센터 (대한민국)	2 km / 10분	1시간 간격
	VIIRS / NOAA-20 L2 SST (적외 센서)	NOAA(미국)	750 m / 1-2일	1일 1회
	MODIS / Terra L2 SST (적외 센서)	NASA(미국)	1 km / 0.5일	1일 1회
	AMSR2 / GCOM-W1 L2 SST (마이크로파 센서, 6.9 GHz)	JAXA(일본)	0.25 ° / 2일	1일 4회
	GMI / GPM L2 SST (마이크로파 센서, 10.7 GHz)	NASA/JAXA (미국/일본)	0.25 ° / 2일	1일 1회
관측 자료	조위관측소 수온 (46개)	국가해양관측망	1시간 간격	1일 간격
	해양부이 수온 (31개)		1시간 간격	1일 간격
	해양기상부이 수온 (21개)	기상청	1시간 간격	1일 간격
	어장정보 수온 (117개소)	국립수산물과학원	1시간 간격	1일 간격



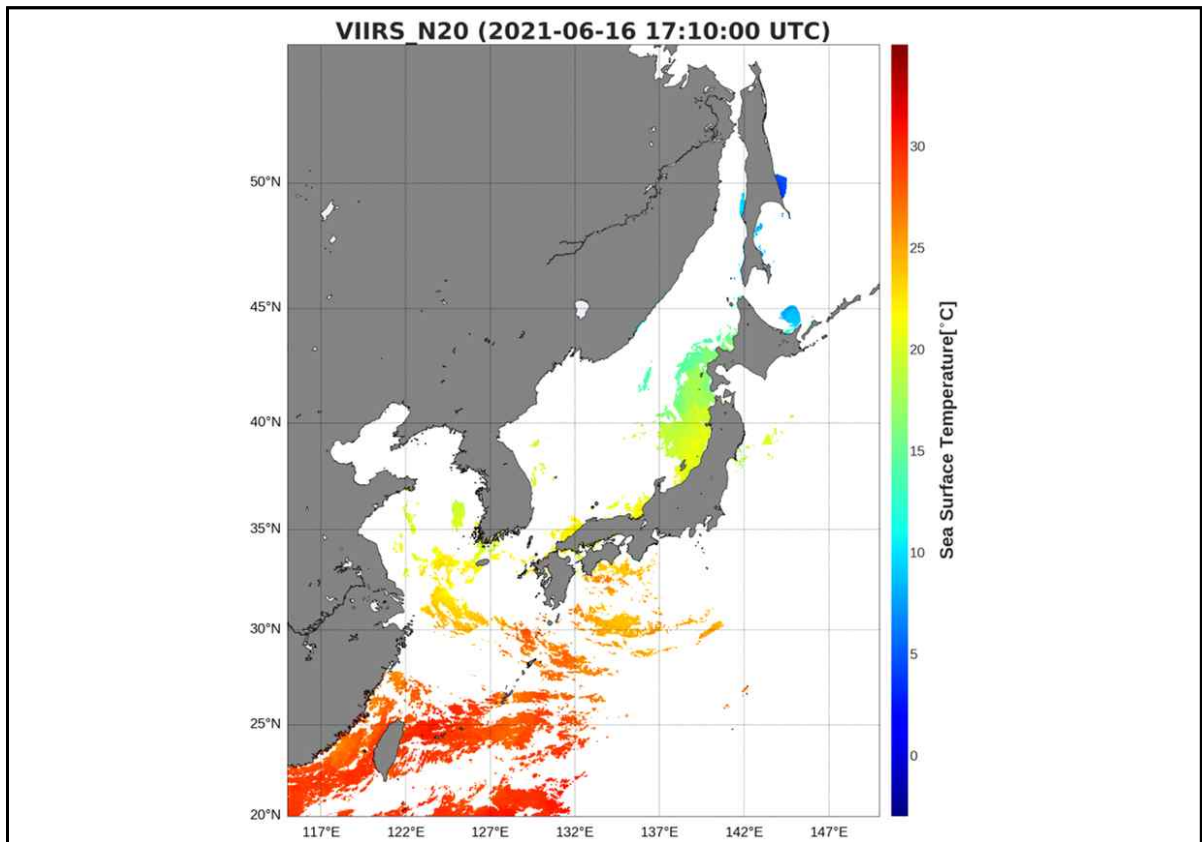
[그림 2-2] AMI SST 시간자료 예시



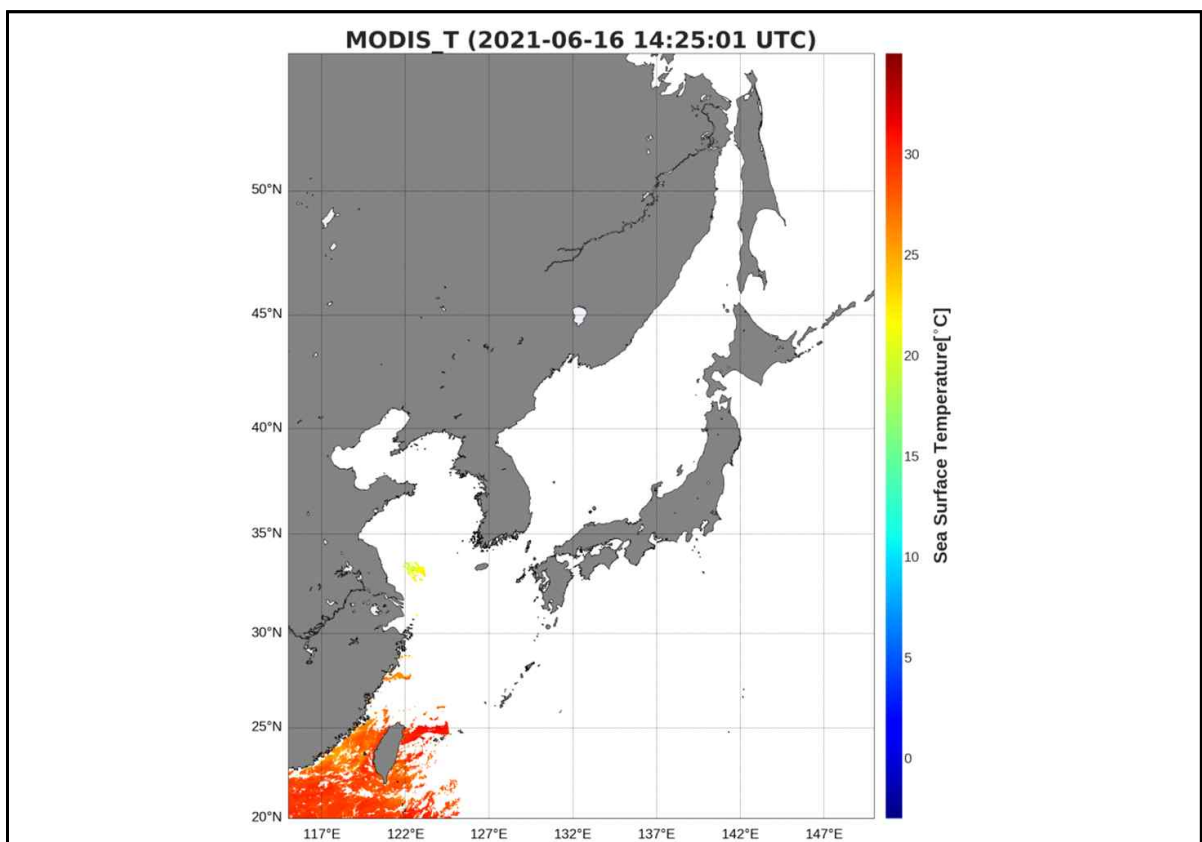
[그림 2-3] AMSR2 SST 자료 예시



[그림 2-4] GMI SST 자료 예시



[그림 2-5] VIIRS SST 자료 예시



[그림 2-6] MODIS SST 자료 예시

<표 2-2> 표충수는 합성장 생산에 사용되는 관측 정점 정보

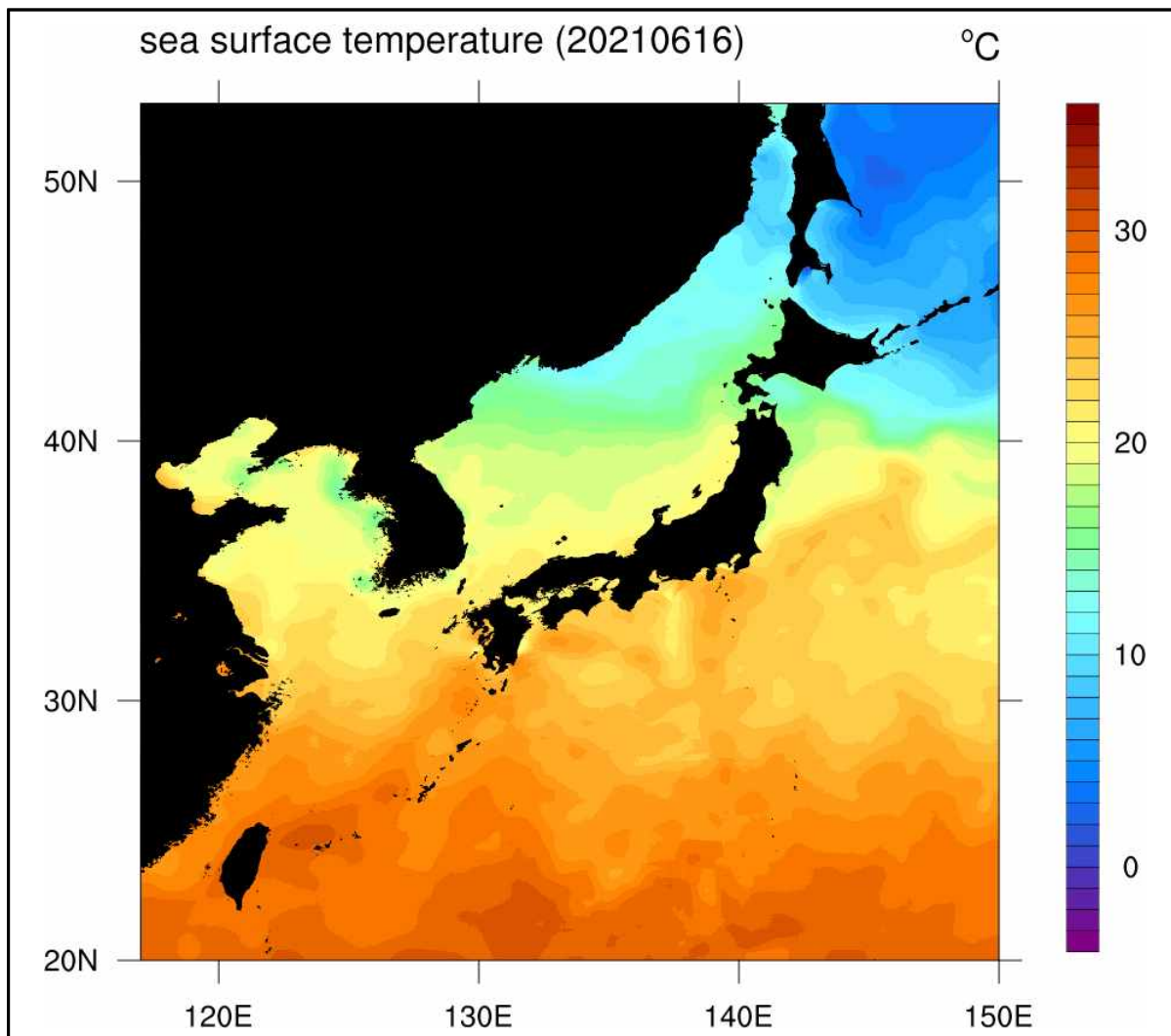
점정ID	정점명	위도	경도	구분	점정ID	정점명	위도	경도	구분
618440	가덕도	35.0242	128.8108	국립해양 조사원 해양관측부이 (46)	PTDJ	평택당진항	37.1367	126.5408	국립해양 조사원 해양관측부이 (31)
417820	강화대교	37.7319	126.5222		GSHG	군산항	35.9842	126.5088	
556851	거문도	34.0283	127.3089		GYHG	광양항	34.8597	127.7928	
626800	거제도	34.8014	128.6992		JMBE	중문해수욕장	33.2345	126.4096	
404300	경인항	37.5608	126.6011		ICHG	인천항	37.3894	126.5331	
548893	고흥발포	34.4811	127.3428		GIHG	경인항	37.5234	126.5921	
545711	광양	34.9036	127.7547		WDHG	완도항	34.3251	126.7632	
573400	군산	35.9756	126.5631		SANGWANG	상왕등도	35.6525	126.1943	
409891	굴업도	37.1944	125.995		UIDO	우이도	34.5441	125.8003	
356870	대산	37.0075	126.3528		SAENGIL	생일도	34.2587	126.9603	
240806	동해항	37.4947	129.1439		TAEAN	태안항	37.0067	126.2702	
630651	마산	35.21	128.5889		YEOSU	여수항	34.7947	127.8081	
699835	모슬포	33.2144	126.2511		TONGYEONG	통영항	34.7733	128.46	
530350	목포	34.7797	126.3756		MASAN	마산항	35.1032	128.6318	
240050	목호	37.5503	129.1164		BUSANNEW	부산항신항	35.0438	128.7618	
355844	보령	36.4064	126.4861		BUSAN	부산항	35.0918	129.0853	
158650	부산	35.0964	129.0353		GAMCHEON	감천항	35.0528	129.0031	
618821	부산항신항	35.0775	128.7847		GYEONGPO	경포대해수욕장	37.8089	128.9319	
664240	삼천포	34.9242	128.0697		JJSO	제주남부	32.0904	126.9659	
697010	서귀포	33.24	126.5617		KOST	대한해협	34.919	129.1213	
325894	서천마량	36.1289	126.4953		JJEA	남해동부	34.2225	128.419	
699903	성산포	33.4747	126.9278		JJHH	제주해협	33.9118	126.4921	
217800	속초	38.2072	128.5942		ULNE	울릉도북동	38.0074	131.5526	
445310	안산	37.1922	126.6472		ULNW	울릉도북서	37.7427	130.6012	
357945	안흥	36.6736	126.1322		BRDO	백령도	-	-	
573819	이청도	36.1172	125.9847		YPDO	연평도	-	-	
550070	여수	34.7472	127.7656		KKNW	경기만북서	-	-	
513800	영광	35.4261	126.4206		DHMP	동해중부	-	-	
404170	영종대교	37.5456	126.5844		22101	덕적도	37.24	126.02	기상청 해양기상부이 (21)
409870	영흥도	37.2394	126.4286		22185	인천	37.09	125.43	
537800	완도	34.3156	126.7597		22108	외연도	36.25	125.75	
799801	울릉도	37.4914	130.9136		22102	칠발도	34.79	125.78	
695851	울산	35.5019	129.3872		22184	신안	34.73	126.24	
579910	위도	35.6181	126.3017		22186	부안	35.66	125.81	
400031	인천	37.4519	126.5922		22191	서해170	36.13	124.06	
406800	인천송도	37.3381	126.5861		22192	서해206	34	123.26	
325903	장항	36.0069	126.6875		22193	가거도	34.03	125.22	
690704	제주	33.5275	126.5431		22194	홍도	34.75	125.25	
539800	진도	34.3778	126.3086		22103	거문도	34	127.5	
680050	추자도	33.9619	126.3003		22104	거제도	34.77	128.9	
357914	태안	36.9131	126.2389		22188	통영	34.39	128.23	
650804	통영	34.8278	128.4347		22184	추자도	33.79	126.14	
451821	평택	36.9669	126.8228		22107	마라도	33.08	126.03	
791601	포항	36.0472	129.3839		22187	서귀포	33.13	127.02	
767800	후포	36.6775	129.4531		22105	동해	37.48	129.95	
535951	흑산도	34.6842	125.4356		22106	포항	36.35	129.78	
HUBE	해운대해수욕장	35.149	129.1702	국립해양 조사원 해양관측부이 (31)	21229	울릉도-독도	37.45	131.11	
TONG	통영남부	34.5694	128.3661		22189	울산	35.35	129.84	
DABE	대전해수욕장	36.2741	126.4578		22190	울진	36.91	129.87	

<표 2-2(계속)> 표충수온 합성장 생산에 사용되는 관측 정점 정보

점정ID	정점명	위도	경도	구분	점정ID	정점명	위도	경도	구분
fmdka	무안_도리포	35.1547	126.3457	국립수산 과학원 어장정보 (117)	fgsj3	고흥_소록도	34.5049	127.1228	국립수산 과학원 어장정보 (117)
egsi4	군산_신시도	35.8168	126.4422		fgsl4	고흥_신촌	34.4738	127.1017	
emp67	목포	34.7892	126.3653		fgyl4	고흥_연소	34.4365	127.1181	
fmoj7	목포_외달	34.7752	126.299		fgjk5	고흥_장수	34.57712	127.1298	
fmsj7	무안_성내	34.9144	126.3482		fgkh5	고흥_화도	34.50298	127.1461	
fbn69	백령도	37.9505	124.7295		bgrf8	곤리도	34.8054	128.3217	
br001	보령_효자도	36.4158	126.4333		bnre7	나로도	34.4102	127.525	
sj086	서산_지곡	36.8935	126.3524		eng5c	남해_강진	34.8739	127.952	
fsch6	서산_창리	36.6163	126.3717		fnm5b	남해_미조	34.7255	128.0497	
fsdk7	신안_다물도	34.7346	125.4494		fbdk4	보성_동울	34.6648	127.0976	
fsdk6	신안_다수	34.59197	126.1335		fbyl6	보성_울포	34.6453	127.1108	
fshl6	신안_대리	34.5679	126.0336		fbhl7	보성_해평	34.72887	127.2221	
fsdl7	신안_도초	34.6574	125.9773		ejj47	서제주	33.3103	126.1521	
fshl7	신안_사리	34.639	125.4218		fygl4	여수_군내	34.6179	127.7123	
fssk8	신안_사치	34.7405	126.0566		fydl4	여수_대울	34.6098	127.7944	
fsaj7	신안_안좌	34.683	126.1365		fysl4	여수_송고	34.5474	127.7236	
esafc	신안_압해	34.8483	126.2248		km001	여수_신월	34.6858	127.7071	
fsej7	신안_어의	35.1095	126.1994		fysk9	여수_신월2	34.719	127.7138	
fshl6	신안_읍동	34.7623	126.132		fyjkc	여수_제도	34.5903	127.6583	
fsuj7	신안_하의	34.6262	126.0079		fyhl7	여수_항대	34.6476	127.6863	
fshj7	신안_흑산	34.6626	125.3913		yj087	여수_화태	34.586	127.7172	
fyyl4	영광_염산	35.1738	126.3439		fwgf1	완도_가교	34.4347	126.8083	
fwjfl	완도_대정원도	34.2719	126.4108		fwgk8	완도_고마	34.4091	126.7148	
fjgk8	진도_가사	34.4893	126.0671		fwgk5	완도_군외	34.39053	126.644	
fjgl6	진도_금갑	34.3836	126.2754		wk094	완도_금일	34.3786	127.0654	
fjdl4	진도_도목	34.3997	126.3158		wn087	완도_노화도	34.2193	126.5549	
fjika	진도_저도	34.5088	126.1724		fwdf1	완도_동백	34.3275	127.035	
fjdfc	진도_전두	34.5376	126.2189		fwdk7	완도_동촌	34.3128	126.8696	
fjkh9	진도_회동	34.3991	126.4035		fwmg3	완도_망남	34.3013	126.768	
ftdk5	태안_대야도	36.4808	126.4202		fwmk5	완도_미라	34.15165	126.6721	
ftpk5	태안_파도리	36.7123	126.147		fwbl6	완도_방축	34.1681	126.483	
fhjj7	함평_석두	35.0901	126.4067		fwbf1	완도_백도	34.1636	126.6269	
fhpiib	함평만	35.09017	126.4067		fwsl6	완도_신흥	34.19	126.9162	
fhml6	해남_문내	34.5902	126.292		fwyl6	완도_예송	34.1434	126.5792	
fjh5a	해남_임하	34.6069	126.2672		fwih6	완도_일정	34.3674	126.9941	
fhdib	흑산도_대둔	34.73297	125.4564		fwjl6	완도_중도	34.2899	126.7388	
bgna3	강릉	37.799	128.9492		wc001	완도_청산	34.1698	126.8547	
bgrh3	고리	35.3186	129.3147		fjnk6	장흥_내저	34.43562	126.8635	
fgbg3	고성_봉포	38.2273	128.6255		fjnk4	장흥_노력	34.4589	126.9696	
fghe8	구룡포_하정	35.9607	129.5497		fjskb	장흥_사촌	34.5916	127.0307	
bgjh3	기장	35.1825	129.2352		fjil6	장흥_이진목	34.4288	126.9278	
bgj8a	기장	35.187	129.227		ejhfc	장흥_회진	34.4699	126.9809	
bngh3	나곡	37.1191	129.3958		tb087	통영_비산도	34.8082	128.4951	
bdch3	덕천	37.1	129.4041		ty005	통영_사랑	34.8088	128.2415	
bse87	삼척	37.3023	129.3127		fts3j	통영_수월	34.8222	128.345	
byy87	양양	38.0827	128.6984		btaga	통영_안정	34.93952	128.4456	
byph3	양포	35.8658	129.5472		ty004	통영_영운	34.7904	128.4293	
byd8a	영덕	36.5737	129.437		btjga	통영_지도	34.9061	128.479	
byyh3	온양	37.0194	129.425		ftp4c	통영_풍화	34.8348	128.3353	
bysh3	월성	35.7177	129.495		fth59	통영_학림	34.7499	128.413	
bjjh3	정자	35.6347	129.495		bthga	통영_황리	34.95091	128.4557	
bjjh3	진하	35.3847	129.368		fhbl6	해남_복일	34.4394	126.7343	
fgmk6	강진_마량	34.4448	126.8133		fhsK7	해남_상마	34.4676	126.4071	
fgsl6	강진_사초	34.4599	126.7691		fhsK5	해남_송호	34.31722	126.5103	
fgg4c	거제_가배	34.7851	128.5664		fhyk7	해남_어란	34.3525	126.4621	
gi086	거제_일운	34.8038	128.7094		fhhk5	해남_학가	34.40513	126.4698	
bgyga	고성_용정	34.9897	128.5009		fhhfc	해남_화산	34.4261	126.4248	
bgjgb	고성_장좌	34.9708	128.4655		fhh16	해남_황산	34.5415	126.3752	
fgdl4	고흥_동촌	34.433	127.2258						

2.5. 산출물

- 최종 산출물은 동아시아 영역(위도 20 ~ 53 °N, 경도 117 ~ 150 °E)의 1 km 공간 해상도를 가지며 단위는 °C로, 1일 1회(2일 전) 생산한다.



[그림 2-7] 표층수온 합성장 예시(2021년 6월 16일)

<표 2-3> 표층수온 합성장 최종 산출물 정보(NetCDF 파일구조)

구분	내용	비고
latitude	20 ~ 53 °N	픽셀별 WGS84(EPGS:4326) 기준 위경도
longitude	117 ~ 150 °E	
SST	°C	픽셀별 탐지 수온 값

<표 2-4> 표층수온 합성장 최종 산출물 속성(메타) 정보

메타정보	영문명	입력 변수의 예시
위성명	platform	GK2A, NOAA-20, Terra, GCOM-W1, GPM
센서명(sensor)	instrument	AMI, VIIRS, MODIS, AMSR2, GMI
타원체(Ellipsoid) 정보	geographic_Element	WGS84
좌표참조시스템	geographic_crs_name	WGS84, EPSG:4326
좌표계 수평기준 정보	horizontal_datum_name	WGS84
표준시간	Time_Standard	UTC
이미지좌상단 Y	image_upperleft_latitude	53.f
이미지우하단 Y	image_lowerright_latitude	20.f
이미지좌상단 X	image_upperleft_longitude	117.f
이미지우하단 X	image_lowerright_longitude	150.f
Y 좌표 단위	geospatial_lat_units	degree
X 좌표 단위	geospatial_lon_units	degree
생산영역	dataset_area	Z003
입력자료	source	GK2A_AMI_L2SST, NOAA-20_VIIRS_L2SST, Terra_MODIS_L2SST, GCOM-W1_AMSR2_L2SST, GPM_GMI_L2SST, Insitu_KHOA_SST, Insitu_KMA_SST, Insitu_NIFS_SST
알고리즘명	algorithm	KHOA SST
처리 알고리즘 버전	algorithm_version	2.0
공간해상도	spatial_resolution	0.01
X 공간해상도	geospatial_lat_resolution	0.01
Y 공간해상도	geospatial_lon_resolution	0.01
시간해상도	temporal_resolution	1
공간해상도 단위	spatial_resolution_unit	degree
시간해상도 단위	temporal_resolution_unit	day
픽셀 수(X*Y)	Number_of_Pixel	3301*3301
커버리지 시작시간	time_coverage_start	202211140000
커버리지 종료시간	time_coverage_end	202211150000
산출물 이름	product_name	표층수온, SST
산출물 설명	title	표층수온 정보
산출물 파일명	product_file_name	KHOA_SST_L4_Z003_D01_WGS001K_U20221114.nc
산출물 버전	product_version	2.0
산출물 레벨	processing_level	L4
프로젝트명	Project_Name	해양위성정보 종합분석 및 활용지원
배포처 홈페이지	publisher_url	http://www.nosc.go.kr
배포처	publisher_name	KHOA
배포기관 이메일	publisher_email	nosc@korea.kr
생산기관명	creator_name	KHOA
생산기관 홈페이지	creator_url	http://www.khoa.go.kr
생산기관 E-mail주소	creator_email	nosc@korea.kr
파일 포맷 버전	file_format_version	NetCDF 4.0
안내문	comment	-

<표 2-5> 표층수온 합성장 최종 산출물 변수 정보

구분	변수명	배열	단위
경도	lon	3,301	degrees_east
위도	lat	3,301	degrees_north
시간	time	1	hours since 1900-01-01 00:00:00(UTC)
표층수온	sst	3,301 x 3,301	celcius(°C)

```

dimensions:
  lon = 3301 ;
  lat = 3301 ;
  time = 1 ;
variables:
  float lon(lon) ;
    lon:long_name = "longitude" ;
    lon:units = "degrees_east" ;
  float lat(lat) ;
    lat:long_name = "latitude" ;
    lat:units = "degrees_north" ;
  float time(time) ;
    time:long_name = "time" ;
    time:units = "hours since 1900-01-01 00:00:00 UTC" ;
  float sst(time, lat, lon) ;
    sst:long_name = "sea surface temperature" ;
    sst:units = "celcius" ;
    sst:_FillValue = -999.f ;

// global attributes:
  :platform = "GK2A, NOAA-20, Terra, GCOM-W1, GPM" ;
  :instrument = "AMI, VIIRS, MODIS, AMSR2, GMI" ;
  :geographic_Element = "WGS84" ;
  :geographic_crs_name = "WGS84, EPSG:4326" ;
  :horizontal_datum_name = "WGS84" ;
  :Time_Standard = "UTC" ;
  :image_upperleft_latitude = "53.f" ;
  :image_lowerright_latitude = "20.f" ;
  :image_upperleft_longitude = "117.f" ;
  :image_lowerright_longitude = "150.f" ;
  :geospatial_lat_units = "degree" ;
  :geospatial_lon_units = "degree" ;
  :dataset_area = "Z003" ;
  :source = "GK2A_AMI_L2SST, NOAA-20_VIIRS_L2SST, Terra_MODIS_L2SST,
GCOM-W1_AMSR2_L2SST, GPM_GMI_L2SST, Insitu_KHOA_SST, Insitu_KMA_SST, Insitu_NIFS_SST" ;
  :algorithm = "KHOA_SST" ;
  :algorithm_version = "2.0" ;
  :spatial_resolution = "0.01" ;
  :geospatial_lat_resolution = "0.01" ;
  :geospatial_lon_resolution = "0.01" ;
  :temporal_resolution = "1" ;
  :spatial_resolution_unit = "degree" ;
  :temporal_resolution_unit = "day" ;
  :Number_of_Pixel = "3301*3301" ;
  :time_coverage_start = "202211140000" ;
  :time_coverage_end = "202211150000" ;
  :product_name = "표층수온, SST" ;
  :title = "표층수온 정보" ;
  :product_file_name = "KHOA_SST_L4_Z003_D01_WGS001K_20221114.nc" ;
  :product_version = "2.0" ;
  :processing_level = "L4" ;
  :Project_Name = "해양위성정보 종합분석 및 활용지원" ;
  :publisher_url = "http://www.nosc.go.kr" ;
  :publisher_name = "KHOA" ;
  :publisher_email = "nosc@korea.kr" ;
  :creator_name = "KHOA" ;
  :creator_url = "http://www.khoa.go.kr" ;
  :creator_email = "nosc@korea.kr" ;
  :file_format_version = "NetCDF 4.0" ;
  :comment = "-" ;

```

[그림 2-8] 표층수온 합성장 속성 정보 예시

3. 산출물 비교 및 검증

3.1. 비교 및 검증 자료

- 검증자료는 NOAA에서 생산하는 iQuam 자료(품질 처리된 현장관측 표층수온)와 국립해양조사원 한국연안해류조사에서 관측한 CTD 자료, 해양과학기지자료, 국립수산물과학원 정선해양관측자료를 사용한다.
- KHOA SST 성능 비교를 위하여 OSTIA와 MURSST를 함께 검증한다.

<표 3-1> 검증자료 및 비교군 정보

구분	자료명		해상도	수집 간격
검증자료	iQuam(NOAA에서 생산하는 품질처리된 현장관측 표층수온)	NOAA	수시	1개월
	한국연안해류조사 CTD	국립해양조사원	수시	분기
	해양과학기지자료	국립해양조사원	수시	분
	정선해양관측자료	국립수산물과학원	2·4·6·8·10·12월	6회 / 1년
비교군	OSTIA	영국	5 km / 1일	1일
	MURSST	미국	1 km / 1일	1일

※ iQuam(in situ SST Quality Monitor) 자료 : AVHRR, MODIS, VIIRS 등 위성 표층수온(SST) 산출물의 검보정을 위한 현장 관측 SST 후처리 시스템으로, National Centers for Environmental Prediction(NCEP) Global Telecommunication System(GTS)로부터 전송되는 현장관측 SST 데이터를 품질검증(QC)하여 NOAA에서 재배포하는 자료

※ 해양과학기지자료 : 해양에 대한 조사·연구를 목적으로 해역에 설치한 해양구조물로서 관측장비, 부대장비 및 거주시설을 갖추고 관측자가 일정기간 상주할 수 있는 시설물로 3개소(웅진소청초, 신안가거초, 이어도)에서 관측

※ 정선해양관측자료 : 25개선 207개 정점 중 14개 표준 수층 자료로, UNESCO 정부간해양학위원회(IOC)의 해양자료 권장표준에 기반하여 관측자료에 QC flag 처리 후 배포하는 자료

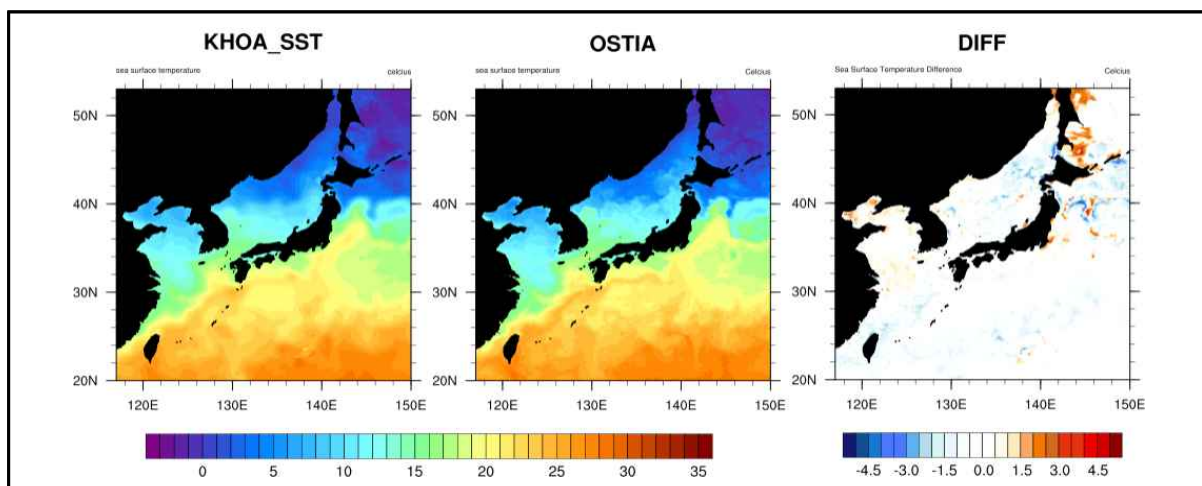
※ OSTIA(Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) : Met Office에서 생산하는 현재 가장 널리 사용되는 표층수온 합성장으로, 전구 영역에 대하여 약 5 km 해상도로 매일 생산되는 1일 합성장

※ MURSST(Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature) : 미국 JPL에서 제공하는 다종의 인공위성 자료와 부이 및 선박 등에서 취득한 현장관측 표층수온 자료를 이용하여 Multi-Resolution Variational Analysis(MRVA) 기법으로 합성한 전구 영역 1 km 해상도의 1일 합성장

3.2. 검증 방법

<표 3-2> 검증지수 계산식

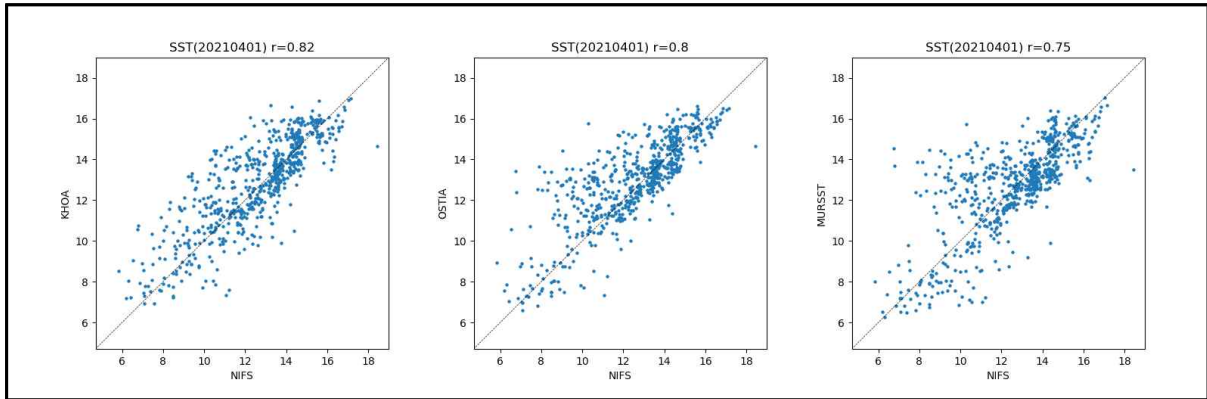
검증지수	정의	계산방법
RMSE 평균제곱근 오차	추정값과 관측값 사이의 평균제곱근 오차 0부터 무한대의 값의 범위를 가지며, 0에 가까울수록 추정값이 정확함을 의미	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$ $F_i : \text{추정값}$ $O_i : \text{관측값}$ $N : \text{자료 수}$
bias 편차	추정값의 신뢰도를 측정하는 요소 추정값이 관측값에서 얼마나 벗어났는지에 대한 평균적인 방향성 의미 0에 가까울수록 추정값이 정확함을 의미 bias > 0 : 과대 추정, bias < 0 : 과소 추정	$bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)$ $F_i : \text{추정값}$ $O_i : \text{관측값}$ $N : \text{자료 수}$
r 상관계수	피어슨 상관계수 사용 두 변수 X, Y 간의 선형 상관관계 정도 의미 r은 +1과 -1 사이의 값을 가짐 양의 상관관계가 있을 때는 r > 0, 음의 상관관계가 있을 때는 r < 0, 상관관계가 없는 경우는 r = 0	$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(N-1)S_X S_Y}$ $\bar{X}, \bar{Y} : X, Y \text{의 평균값}$ $S_X, S_Y : X, Y \text{의 표준편차}$



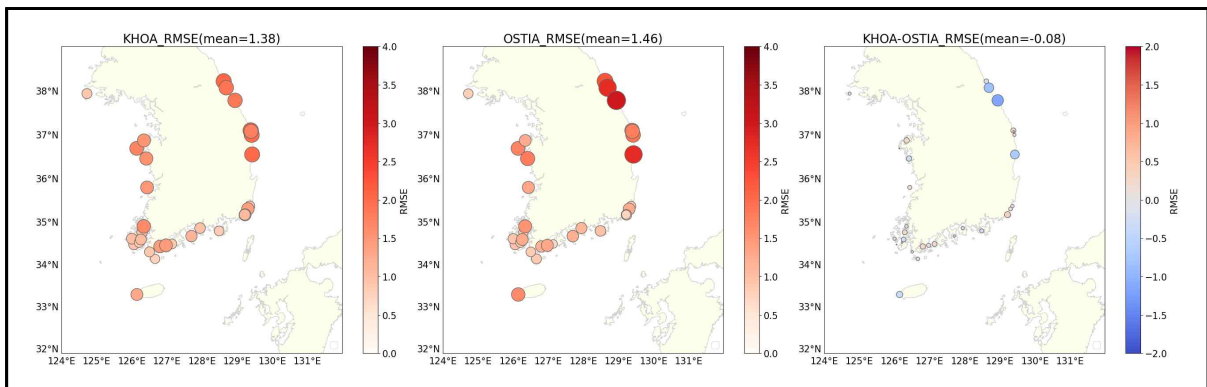
[그림 3-1] 타 표층수온 합성장 속성 정보 예시

<표 3-3> 검증지수

KHOA_SST			OSTIA			MURSST		
RMSE	bias	r	RMSE	bias	r	RMSE	bias	r
1.38	0.29	0.82	1.46	0.45	0.80	1.62	0.11	0.75



[그림 3-2] 상관분석



[그림 3-3] 오차공간분포 비교

3.3. 비교 및 검증 결과분석

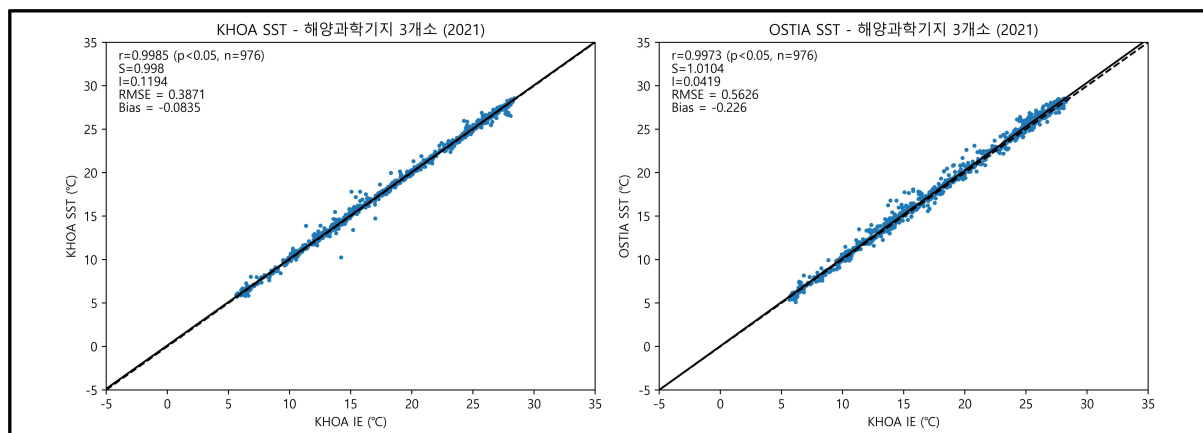
■ 국내 연안 해역

- 기간 : 2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.
- 검증자료 : 해양과학기지자료
- 검증지수 : KHOA SST는 RMSE 0.39 °C, bias -0.08 °C 로 OSTIA RMSE 0.56 °C, bias -0.23 °C 보다 좋은 성능을 나타냈다. KHOA SST 장점인 국내 연안 해역에서의 정확도는 높은 것으로 판단할 수 있다.

<표 3-4> 해양과학기지자료와의 검증지수

KHOA_SST			OSTIA		
RMSE	bias	r	RMSE	bias	r
0.3871	-0.0835	0.9985	0.5626	-0.226	0.9973

- 상관분석 : 합성장 모두 상관계수가 0.99 이상으로 높고 선형관계가 잘 나타났고, KHOA SST가 $r=0.9985$ 로 높았다.



[그림 3-4] 해양과학기지자료와의 상관분석

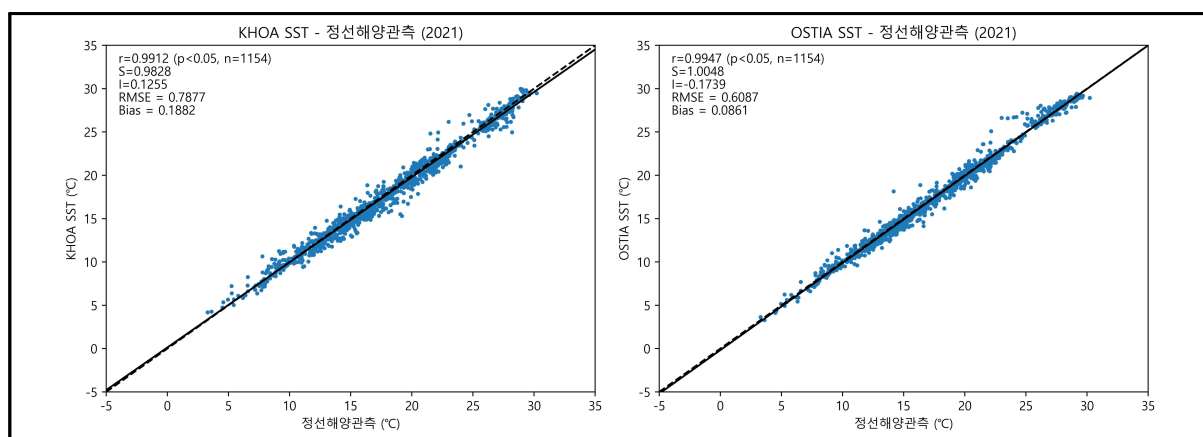
■ 국내 해역

- 기간 : 2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.
- 검증자료 : 정선해양관측자료
- 검증지수 : KHOA SST의 RMSE 0.79 °C, bias 0.19 °C 로 OSTIA보다 0.18 °C RMSE가 컸으나, OSTIA는 외해 현장관측자료를 합성에 포함하므로 이를 감안할 때 KHOA SST의 성능이 좋은 것으로 판단할 수 있다.

<표 3-5> 정선해양관측자료와의 검증지수

KHOA_SST			OSTIA		
RMSE	bias	r	RMSE	bias	r
0.7877	0.1882	0.9912	0.6087	0.0861	0.9947

- 상관분석 : 합성장 모두 상관계수가 0.99 이상으로 높고 선형관계가 잘 나타났고, OSTIA가 $r=0.9947$ 로 높았다.



[그림 3-5] 정선해양관측자료와의 상관분석

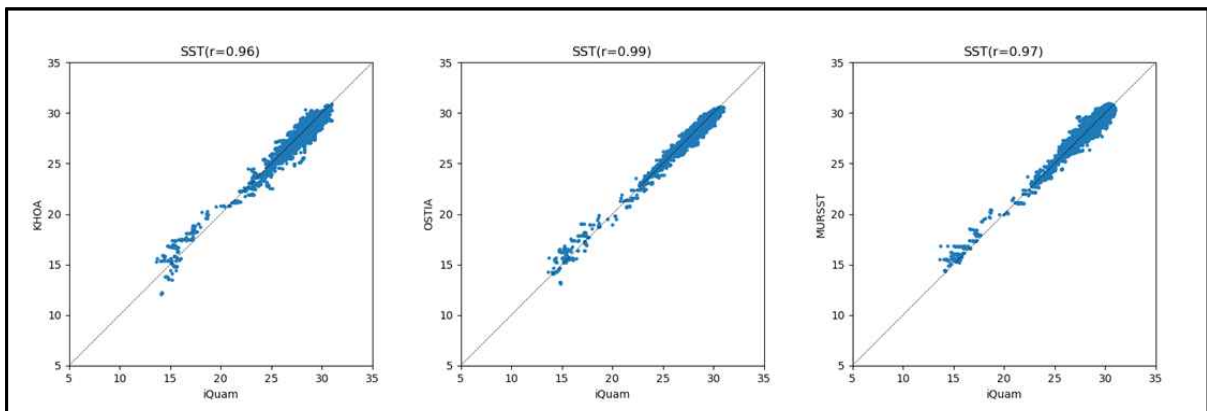
■ 국외 해역

- 기간 : 2021. 7. 1. ~ 2021. 7. 31.
- 검증자료 : iQuam
- 검증지수 : KHOA SST의 RMSE 0.54 °C, bias -0.2 °C 로 비교적 좋은 성능을 나타냈다. OSTIA보다 0.25 °C, MURSST 보다 0.1 °C RMSE가 컸으나, 이 두 합성장은 현장관측자료를 합성에 포함하므로 이를 감안할 때 KHOA SST의 성능이 좋은 것으로 판단할 수 있다.

<표 3-6> iQuam과의 검증지수

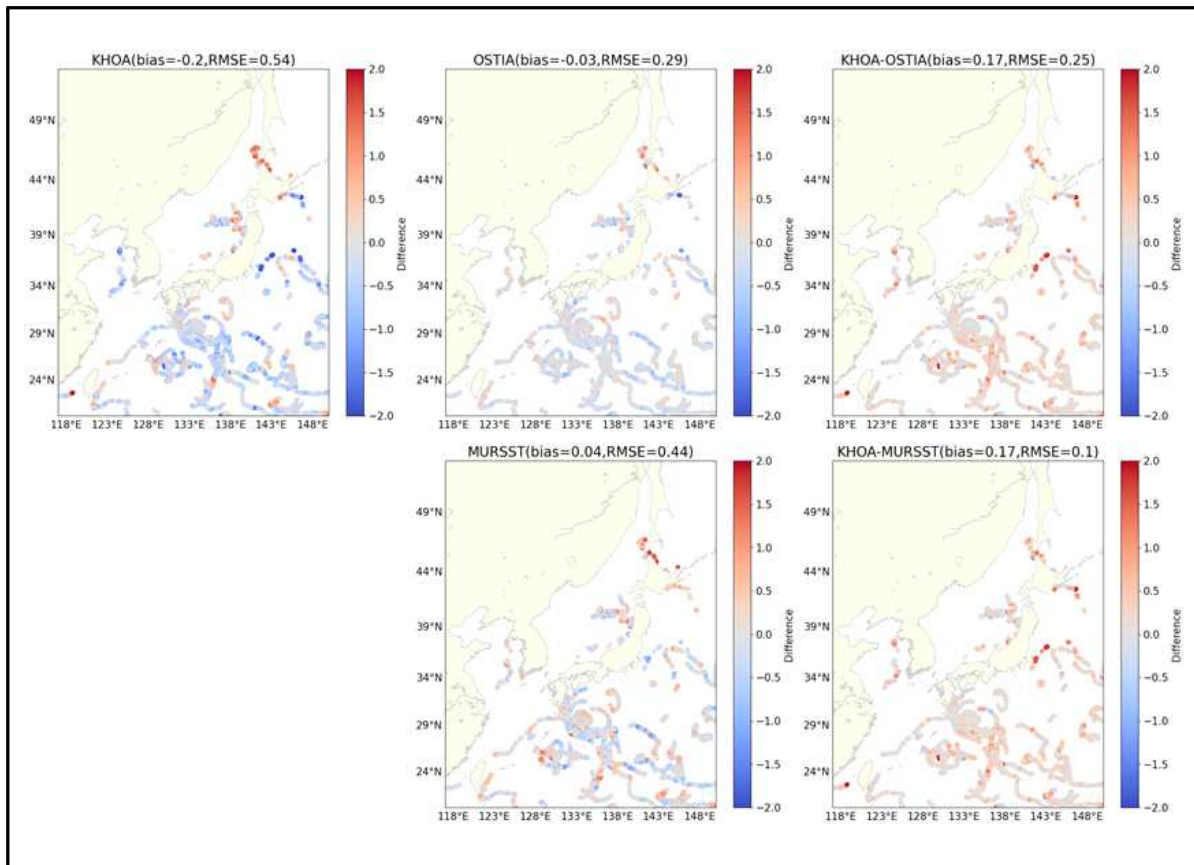
KHOA_SST			OSTIA			MURSST		
RMSE	bias	r	RMSE	bias	r	RMSE	bias	r
0.54	-0.20	0.96	0.29	-0.03	0.99	0.44	0.04	0.97

- 상관분석 : 세 SST 합성장 모두 상관계수가 0.96 이상으로 높고 선형관계가 잘 나타났고, OSTIA가 $r=0.99$ 로 가장 높았다.



[그림 3-6] iQuam과의 상관분석

- 공간분포 비교 : KHOA SST는 위도 39 °이상에서 양의 오차, 그 이하에서 대부분 음의 오차를 보였다. OSTIA와 MURSST는 합성 시 현장관측자료를 포함하므로 bias가 매우 작았고, KHOA SST는 타 합성장에 비해 일본 동쪽 전선 해역에서 오차가 더 크게 나타났다.



[그림 3-7] iQuam과의 공간분포 비교

4. 특이사항

4.1. 성능 및 제한점

- KHOA SST 알고리즘 성능의 제한점은 다음과 같다.
- 1) 표층수온 합성장의 정확도는 대부분 입력자료로 사용되는 5종 위성과 3종 현장관측 자료의 성능과 구름탐지 정보와 밀접한 관련이 있다. 구름탐지 정확도가 떨어지면 구름 영역에 대해 표층수온을 계산하여 값이 낮게 나타나거나 구름이 아닌 영역을 계산에서 제외하여 정보의 손실이 발생할 수 있다.
- 2) 산출에 필요한 입력자료가 누락되지 않고 수집되어야 한다.
- 3) 표층수온 배경장으로 활용되는 전날 KHOA SST가 존재해야 알고리즘이 수행된다.
- 4) KHOA SST는 최소 1개월 이상의 운영을 통한 안정화 이후 성능을 평가해야 한다.

4.2. 개선을 위한 사전 계획

- 표층수온 합성장 생산에 사용되는 적외선센서, 마이크로웨이브 센서, 현장관측자료 등의 입력자료는 서로 다른 관측 깊이를 가진다. 이러한 관측 깊이 차이에 의한 온도차를 보정하기 위해서 피층-표층 수온차의 변동 특성을 분석하고 이를 보정할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.
- 바람, 일사 등의 대기 영향 및 시간자료의 사용으로 수온의 일변동 정보가 포함되어 있으므로, 일변동 제거를 위한 주야간 온도차 보정 기술의 개발이 필요하다.

5. 참고문헌

김희영 외, 2016, 북서태평양 GCOM-W1/AMSR2 해수면온도 검증 및 오차 특성, Korean Journal of Remote Sensing, Vol.32, No.6, pp.721~732.

박경애·김영호, 2009, 인공위성 해수면온도 3-D 최적 내삽 합성장 생산 방법과 한계점, Jour. Korean Earth Science Society 30(2), pp.223~233.

Hye-Jin Woo and Kyung-Ae Park, 2020, Inter-Comparisons of Daily Sea Surface Temperatures and In-Situ Temperatures in the Coastal Regions, remote sensing, 12, 1592

Kim et al., 2018, Validation of Sea Surface Temperature (SST) from Satellite Passive Microwave Sensor (GPM/GMI) and Causes of SST Errors in the Northwest Pacific, Korean Journal of Remote Sensing, Vol.34, No.1, pp.1~15.

https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/gmi_core

https://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/documents/ATBD/ATBD_AMSR2_SoilMoisture_v1.0.pdf

6. 부록

해당 사항 없음