# National Ocean Satellite Center

## Algorithm Theoretical Basis Document

## 해수면온도

## (Sea Surface Temperature)

Version 2.3

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 ····· 15**
3.1. 비교 및 검증 자료 ····· 15
3.2. 검증 방법 ····· 16
3.3. 비교 및 검증 결과분석 ····· 17

**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> 해수면온도 합성장 입력자료 정보 ····· 7
<표 2-2> 해수면온도 합성장 생산에 사용되는 관측 정점 정보 ····· 10
<표 2-3> 해수면온도 합성장 최종 산출물 정보(NetCDF 파일구조) ····· 12
<표 2-4> 해수면온도 합성장 최종 산출물 속성(메타) 정보 ····· 13
<표 2-5> 해수면온도 합성장 최종 산출물 변수 정보 ····· 14
<표 3-1> 검증자료 및 비교군 정보 ····· 15
<표 3-2> 검증지수 계산식 ····· 16
<표 3-3> 검증지수 ····· 16
<표 3-4> 해양과학기지자료와의 검증지수 ····· 17
<표 3-5> 정선해양관측자료와의 검증지수 ····· 18
<표 3-6> iQuam과의 검증지수 ····· 19

# 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] 해수면온도 합성장 예시(2021년 6월 16일) ····· 12
[그림 2-8] 해수면온도 합성장 속성 정보 예시 ····· 14
[그림 3-1] 타 해수면온도 합성장과의 공간분포 비교 ····· 16
[그림 3-2] 상관분석 ····· 17
[그림 3-3] 오차 공간분포 비교 ····· 17
[그림 3-4] 해양과학기지자료와의 상관분석 ····· 18
[그림 3-5] 정선해양관측자료와의 상관분석 ····· 18
[그림 3-6] iQuam과의 상관분석 ····· 19
[그림 3-7] iQuam과의 공간분포 비교 ····· 20

# 1. 개요

■ 본 알고리즘 설명서(Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD)에서는 GeoKOMPSAT-2A (GK-2A) 위성의 Advanced Meteorological Imager (AMI) 센서와 다종위성 및 관측자료로부터 해수면온도 일일 합성장을 산출하기까지의 전 과정을 간략하게 설명한다.

■ 1장에서는 ATBD의 목적, 대상자, 내용 요약, 문서 개정내역, 약어목록 정보에 대한 간략한 설명을 포함한다.

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

## 1.2. 대상자

■ 본 기술문서는 해수면온도 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<br>입력자료 설명 수정<br>검증결과 추가<br>산출물 속성정보 추가<br>산출물 생산 스케줄 수정 | 2021.08.31. | 국가해양위성센터 |
| 2.0 | 국립수산과학원 관측자료 추가<br>2종 위성자료 추가<br>알고리즘 개선<br>파일명 및 속성정보 개선 | 2021.11.25. | 국가해양위성센터 |
| 2.1 | 내용 수정 및 보완 | 2022.10.18. | 국가해양위성센터 |
| 2.2 | 파일명 및 속성정보 개선<br>검증결과 추가 | 2022.11.14. | 국가해양위성센터 |
| 2.3 | 국문판 용어 변경<br>(표층수온 → 해수면온도) | 2023.04.10. | 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 해수면온도 합성장은 전구 영역 자료이므로 우리나라 근해의 수온 특성을 잘 보여주지 못하며, 연안에서 오차가 큰 것으로 알려져 있다.

■ 해수면온도 자료를 사용하기 위해서는 지속적으로 공백 없는 해수면온도 자료의 생산이 필요하며, 우리나라 주변을 지속적으로 관측하고 있는 정지 관측 위성인 GK2A AMI와 보다 고해상도(1 km 이하) 적외센서 자료인 NOAA-20 VIIRS, Terra MODIS와 함께 구름 영향이 없는 마이크로웨이브 센서(GCOM-W1 AMSR2, GPM GMI)를 포함한 다종위성 기반의 해수면온도 합성장을 생산하였다.

■ 또한 한반도 근해에서의 정확도 확보를 위하여 국가해양관측망, 기상청 해양부이, 국립수산과학원 현장관측자료를 이용하여 해수면온도 합성장을 산출하였다.

## 2.2. 이론적 배경

- 해수면온도 합성에 사용한 최적내삽법은 OSTIA, OISST, Blended SST, 한국해양과학 기술원 등에서 널리 사용되는 자료동화기법이다.
- 최적내삽법은 구름의 영향 등으로 관측이 어려운 결측 부분을 주변에 있는 시공간적 관측값을 이용하여 객관적으로 내삽하여 계산하는 방법으로, 해수면온도 합성장은 이러한 결측 부분에 대해서도 오차를 최소화하면서 시공간적으로 새로운 해수면온도를 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.

$$X = CA^{-1}y \qquad \text{[식 2-1]}$$

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

- 합성하고자 하는 격자 주변의 자료에 최적내삽법을 사용할 때, 일정 시간 규모 $L_t$와 공간 규모 $L_x$, $L_y$을 설정해 주어야 하며, 각 규모는 각 방향으로의 해양현상의 규모에 해당한다. 해수면온도 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 해수면온도를 산출하였다.

## 2.3. 알고리즘 흐름도

■ 해수면온도 합성장 산출 영역

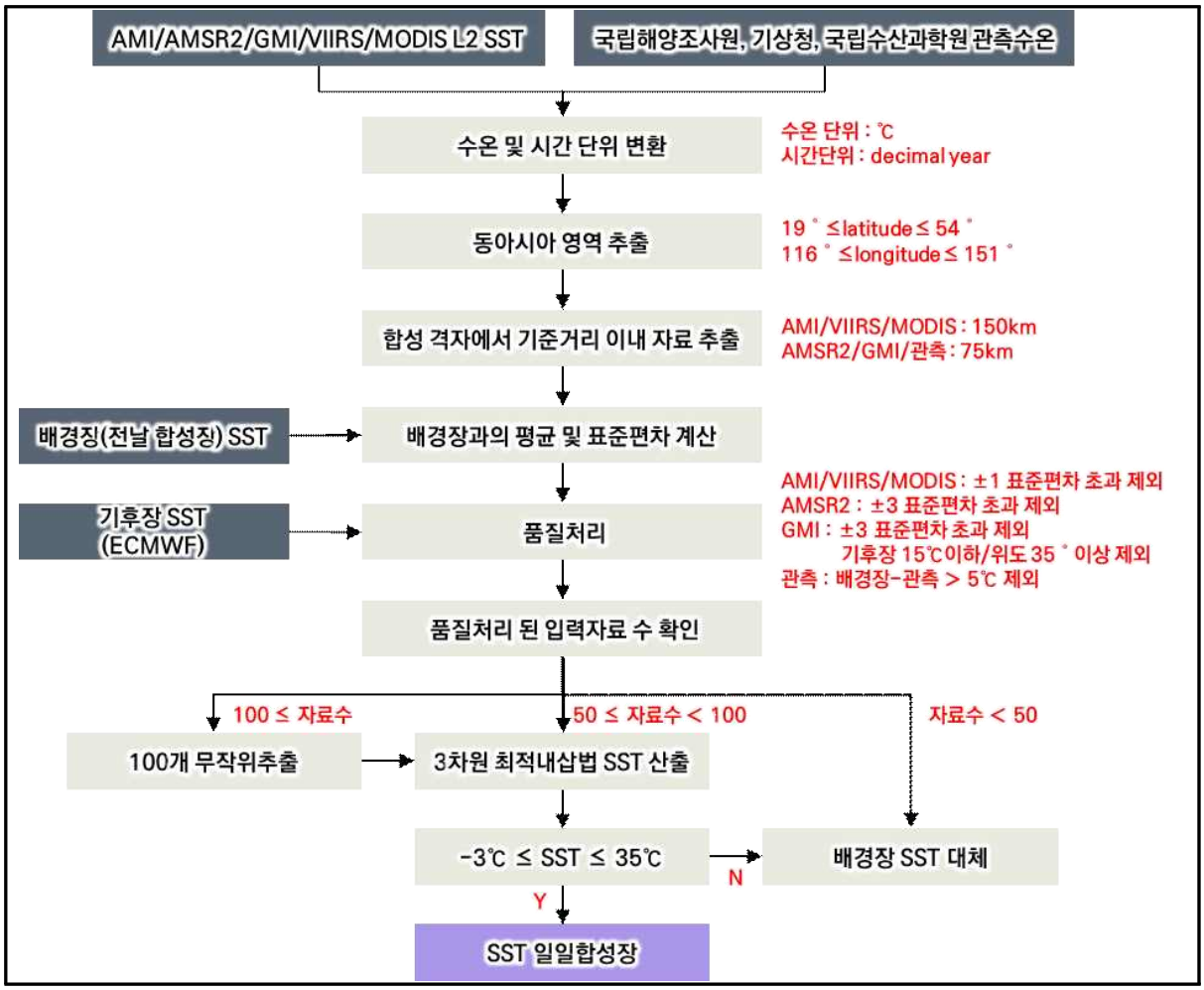
- 황동중국해와 동해 전체, 쿠로시오 까지를 포함하는 동아시아 영역인 20 ~ 53 °N, 117 ~ 150 °E에 대하여 산출한다.

■ 입력자료 전처리 및 품질처리

- 5종 위성과 현장관측자료에 대하여 수온 단위를 ℃로, 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 ℃ 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℃ 이상의 자료는 제거한다.
- 평균은 [식 2-3], 표준편차는 [식 2-4]를 이용하였다.

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

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




[그림 2-1] KHOA SST 알고리즘 흐름

■ 해수면온도 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 해수면온도를 계산한다.
- 표본 수가 부족한 경우(자료 수가 50개 미만인 경우)와 3차원 최적내삽으로 계산된 해수면온도가 -3 ℃ 미만이거나 35 ℃ 초과일 경우에는 배경장의 수온값을 적용하여 이상값을 제거한다.
- 만약 수신 장애 등의 문제로 입수되지 않은 입력자료가 있다면 제외하고 입수된 입력자료만을 이용한다.

■ 산출물 후처리

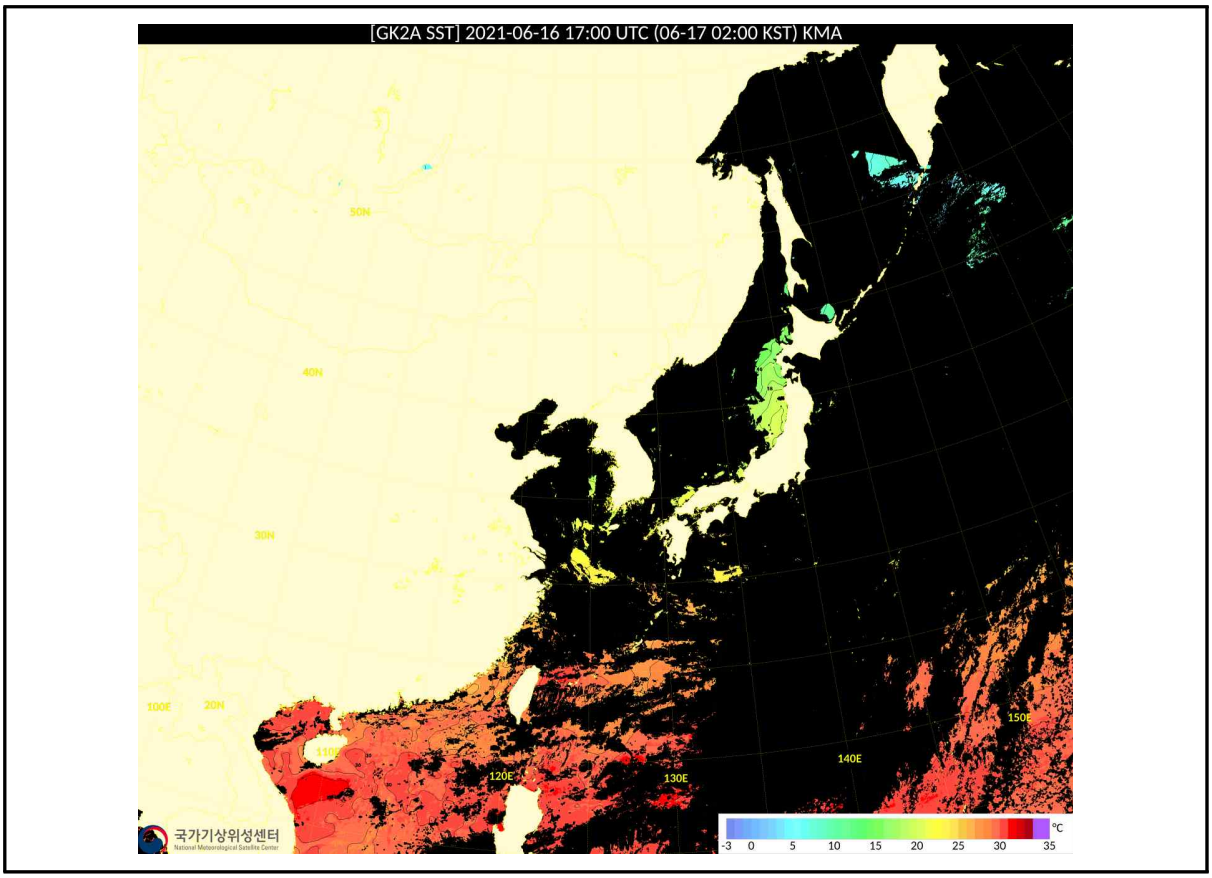
- 위도, 경도, 시간, 해수면온도 변수와 사용된 입력자료, 생산기관, 생성날짜 등의 속성 정보를 포함하여 산출물을 Network Common Data Form(NetCDF) 형식으로 출력한다.
- 산출물 확인을 위하여 png 형식의 이미지를 생산한다.

## 2.4. 입력자료

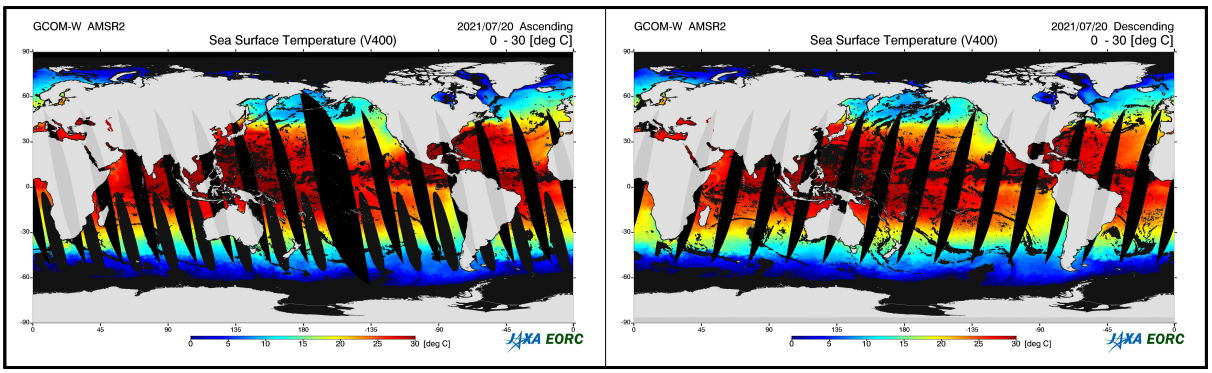
■ GK-2A AMI, NOAA-20 VIIRS, Terra MODIS, GCOM-W1 AMSR2, GPM GMI의 5종 위성자료와 국가해양관측망과 기상청, 국립수산과학원 수온자료를 사용한다.

**<표 2-1> 해수면온도 합성장 입력자료 정보**

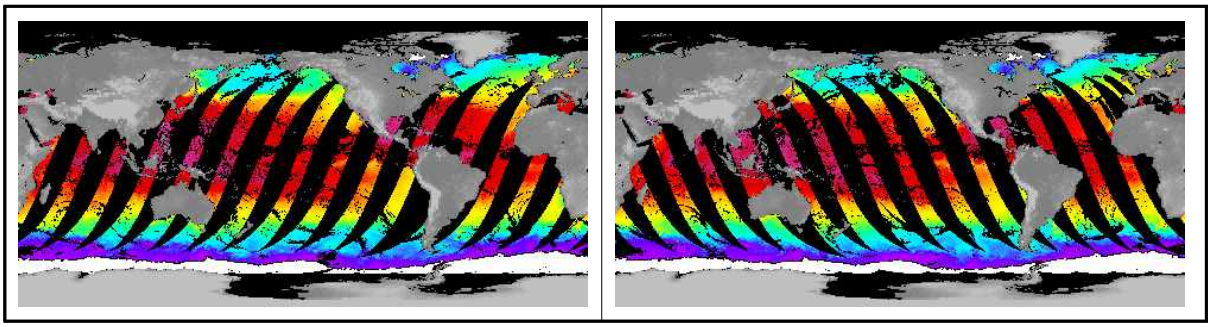
| 구분 | 자료명 | | 해상도 | 수집 간격 |
|---|---|---|---|---|
| 위성 자료 | AMI / GK-2A L2 SST (적외 센서) | 기상청 국가기상위성센터 (대한민국) | 2 km / 10분 | 1시간 간격 |
| | VIIRS / NOAA-20 L2 SST (적외 센서) | NOAA(미국) | 750 m / 1-2일 | 1일 1회 |
| | MODIS / Terra L2 SST (적외 센서) | NASA(미국) | 1 km / 0.5일 | 1일 1회 |
| | AMSR2 / GCOM-W1 L2 SST (마이크로파 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) | 국립수산과학원 | 1시간 간격 | 1일 간격 |



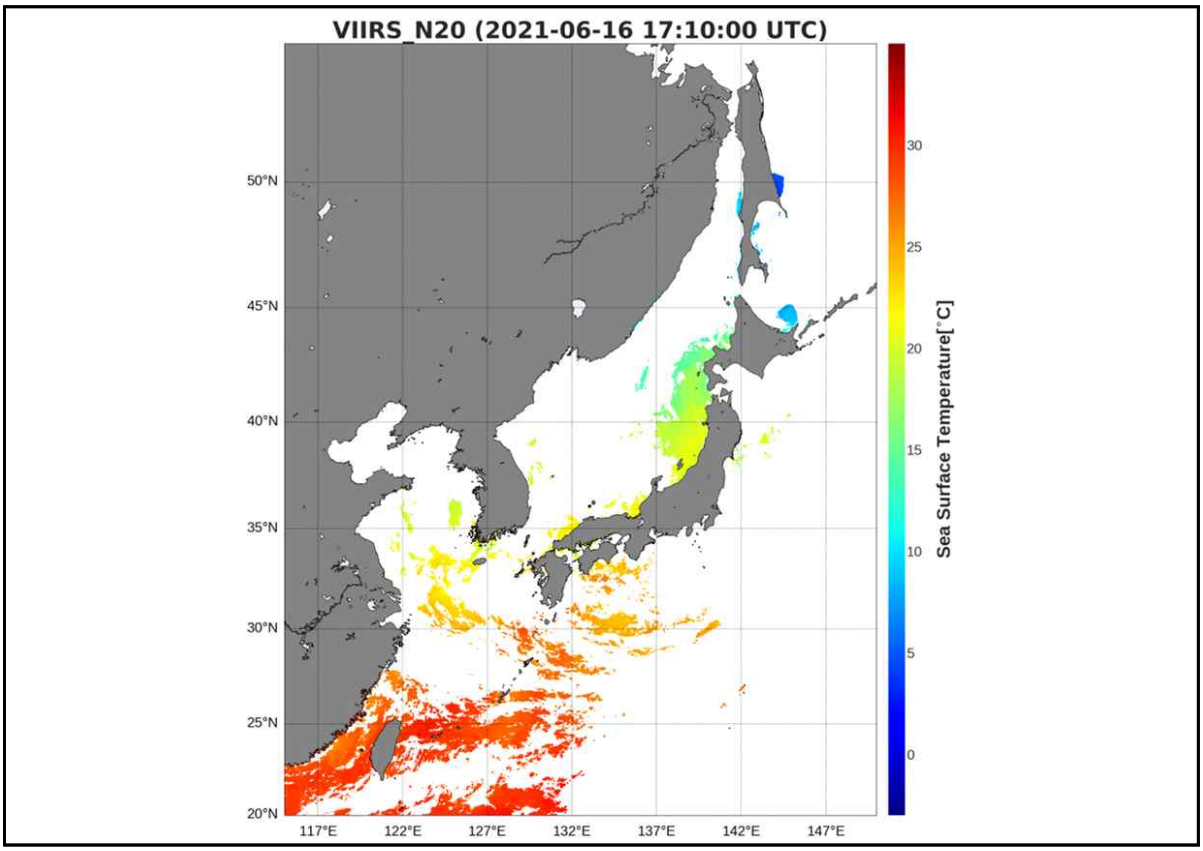

[그림 2-2] AMI SST 시간자료 예시



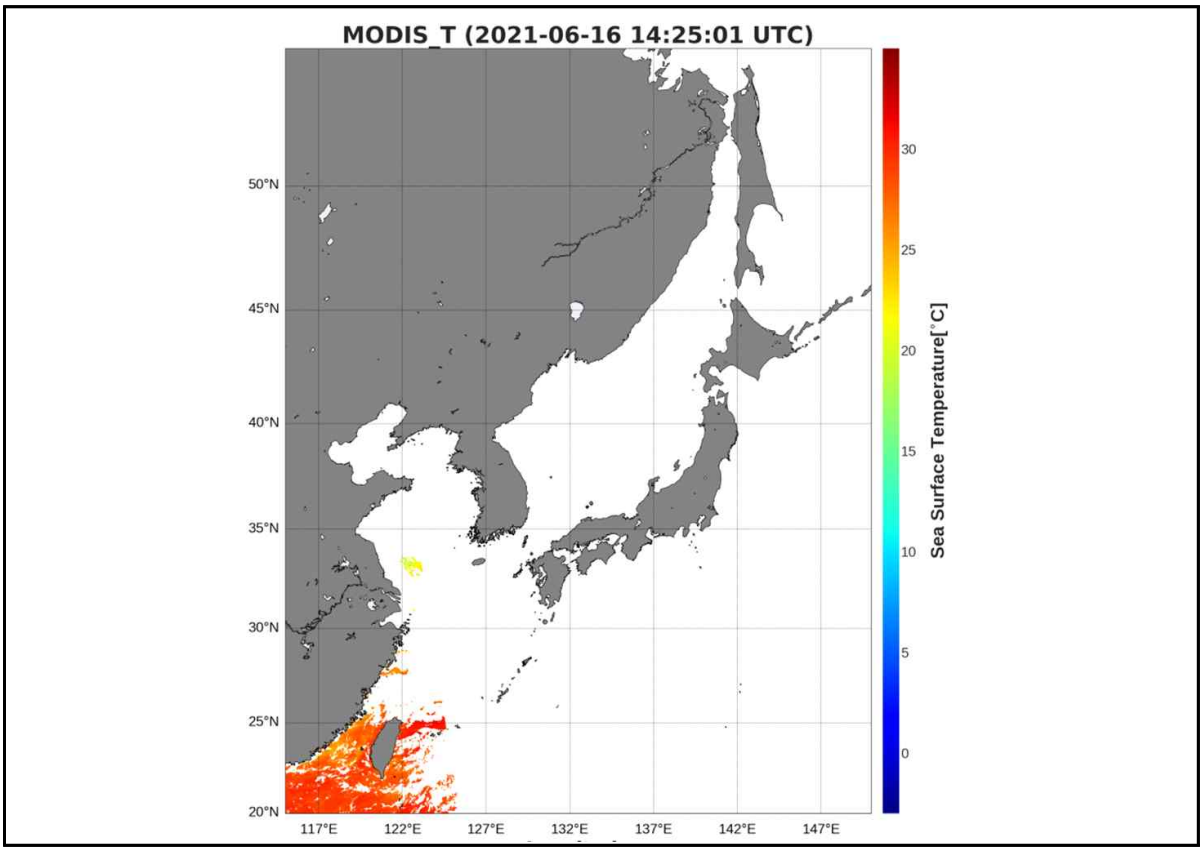

[그림 2-3] AMSR2 SST 자료 예시



[그림 2-4] GMI SST 자료 예시




[그림 2-5] VIIRS SST 자료 예시




[그림 2-6] MODIS SST 자료 예시

<표 2-2> 해수면온도 합성장 생산에 사용되는 관측 정점 정보

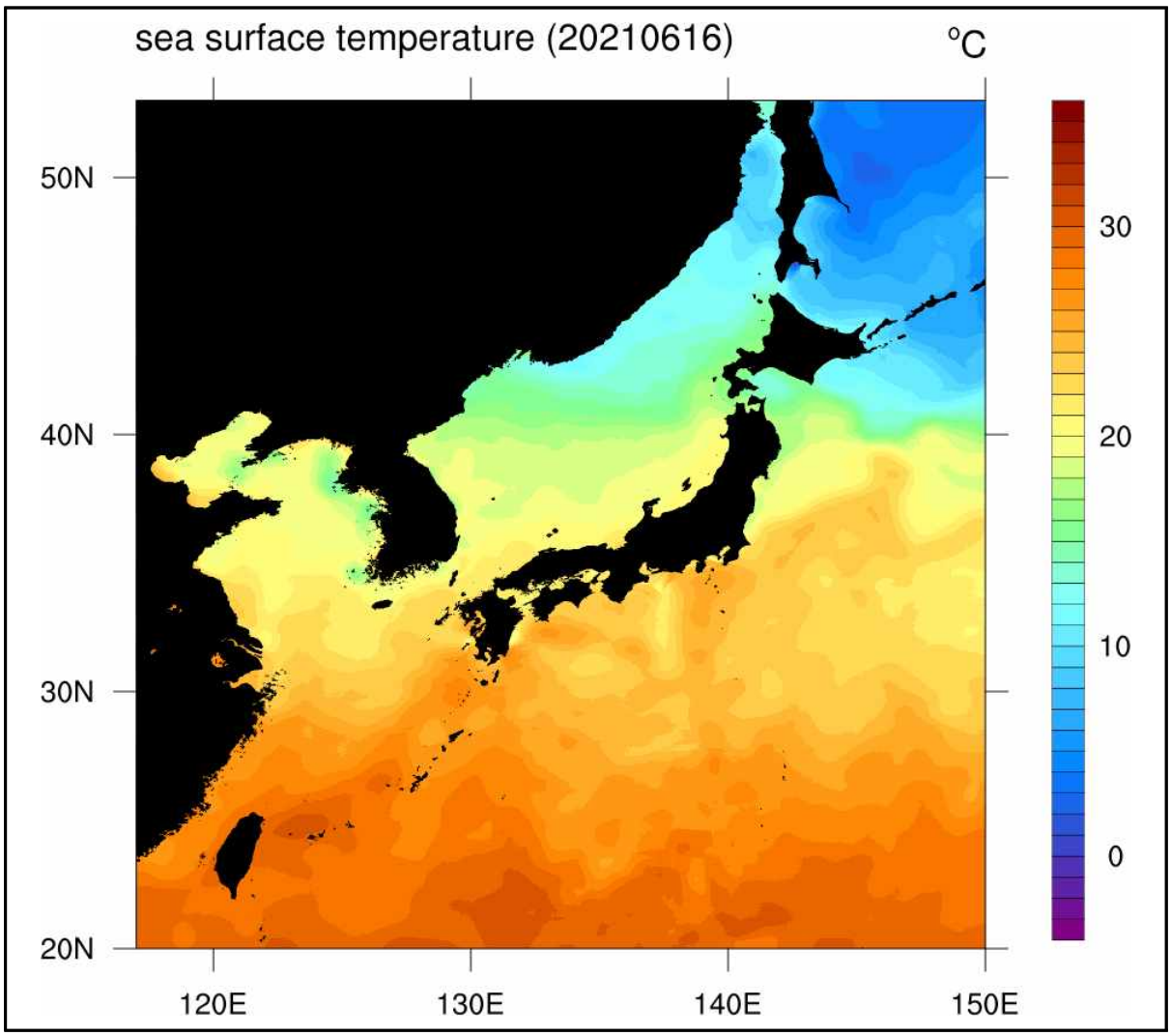
| 점정ID | 정점명 | 위도 | 경도 | 구분 | 점정ID | 정점명 | 위도 | 경도 | 구분 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 618440 | 가덕도 | 35.0242 | 128.8108 | 국립해양조사원 조위관측소 (46) | PTDJ | 평택당진항 | 37.1367 | 126.5408 | 국립해양조사원 해양관측부이 (31) |
| 417820 | 강화대교 | 37.7319 | 126.5222 | | GSHG | 군산항 | 35.9842 | 126.5088 | |
| 556851 | 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 | 묵호 | 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 | 어청도 | 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 | 국립해양조사원 해양관측부이 (31) | 21229 | 울릉도-독도 | 37.45 | 131.11 | |
| TONG | 통영남부 | 34.5694 | 128.3661 | | 22189 | 울산 | 35.35 | 129.84 | |
| DABE | 대천해수욕장 | 36.2741 | 126.4578 | | 22190 | 울진 | 36.91 | 129.87 | |

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

| 점정ID | 정점명 | 위도 | 경도 | 구분 | 점정ID | 정점명 | 위도 | 경도 | 구분 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| fmdka | 무안_도리포 | 35.1547 | 126.3457 | 국립수산과학원 어장정보 (117) | fgsj3 | 고흥_소록도 | 34.5049 | 127.1228 | 국립수산과학원 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 | | fghk5 | 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 | | fbdka | 보성_동율 | 34.6648 | 127.0976 | |
| fsdk6 | 신안_다수 | 34.59197 | 126.1335 | | fbyl6 | 보성_율포 | 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_대율 | 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 | |
| fwjf1 | 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 | |
| fjjka | 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 | |
| fjhk9 | 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 | |
| fhpib | 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 | | fjnka | 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 사량 | 34.8088 | 128.2415 | |
| bsc87 | 삼척 | 37.3023 | 129.3127 | | ftsj3 | 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 | |
| bjhh3 | 진하 | 35.3847 | 129.368 | | fhbl6 | 해남_북일 | 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 | | fhhl6 | 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 ℃로, 1일 1회(2일 전) 생산한다.




[그림 2-7] 해수면온도 합성장 예시(2021년 6월 16일)

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

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

<표 2-4> 해수면온도 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_longuitude | 117.f |
| 이미지우하단 X | image_lowerright_longuitue | 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 | 해수면온도, SST |
| 산출물 설명 | title | 해수면온도 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> 해수면온도 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) |
| 해수면온도 | sst | 3,301 x 3,301 | celcius(℃) |

```
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_longuitude = "117.f" ;
                :image_lowerright_longuitue = "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 = "해수면온도, SST" ;
                :title = "해수면온도 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] 해수면온도 합성장 속성 정보 예시

# 3. 산출물 비교 및 검증

## 3.1. 비교 및 검증 자료

- 검증자료는 NOAA에서 생산하는 iQuam 자료(품질 처리된 현장관측 해수면온도)와 국립해양조사원 한국연안해류조사에서 관측한 CTD 자료, 해양과학기지자료, 국립수산과학원 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 해수면온도) | NOAA | 수시 | 1개월 |
| | 한국연안해류조사 CTD | 국립해양조사원 | 수시 | 분기 |
| | 해양과학기지자료 | 국립해양조사원 | 수시 | 분 |
| | 정선해양관측자료 | 국립수산과학원 | 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 해수면온도(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(옹진소청초, 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

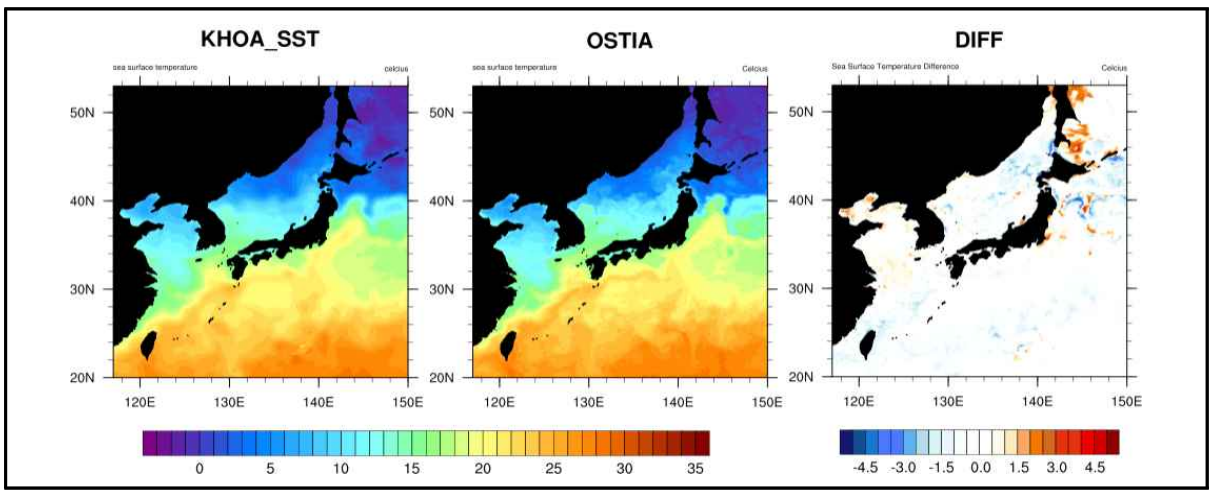
※ OSTIA(Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) : Met Office에서 생산하는 현재 가장 널리 사용되는 해수면온도 합성장으로, 전구 영역에 대하여 약 5 km 해상도로 매일 생산되는 1일 합성장

※ MURSST(Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature) : 미국 JPL에서 제공하는 다종의 인공위성 자료와 부이 및 선박 등에서 취득한 현장관측 해수면온도 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**

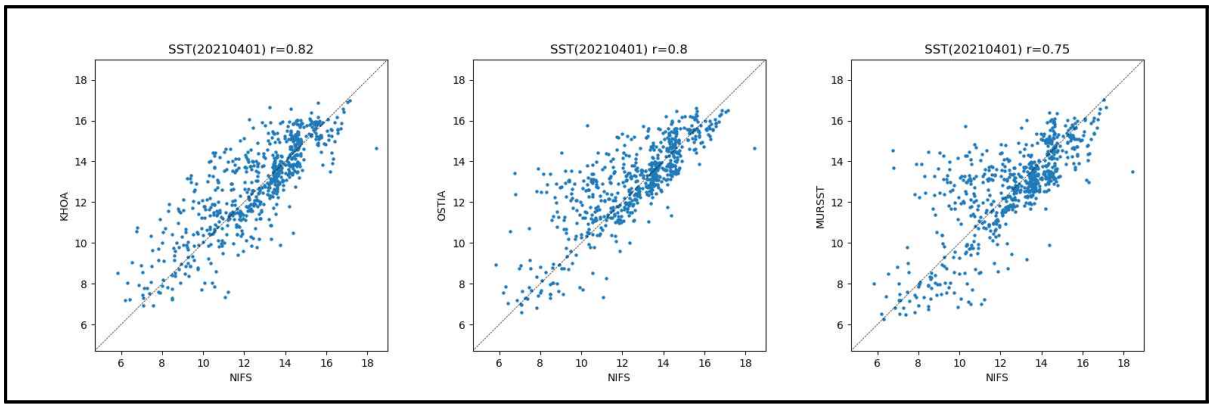
| 검증지수 | 정의 | 계산방법 |
|---|---|---|
| RMSE<br>평균제곱근<br>오차 | 추정값과 관측값 사이의 평균제곱근 오차<br>0부터 무한대의 값의 범위를 가지며, 0에 가까울수록<br>추정값이 정확함을 의미 | $RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(F_i-O_i)^2}$<br>$F_i$ : 추정값<br>$O_i$ : 관측값<br>$N$ : 자료 수 |
| bias<br>편차 | 추정값의 신뢰도를 측정하는 요소<br>추정값이 관측값에서 얼마나 벗어났는지에 대한<br>평균적인 방향성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



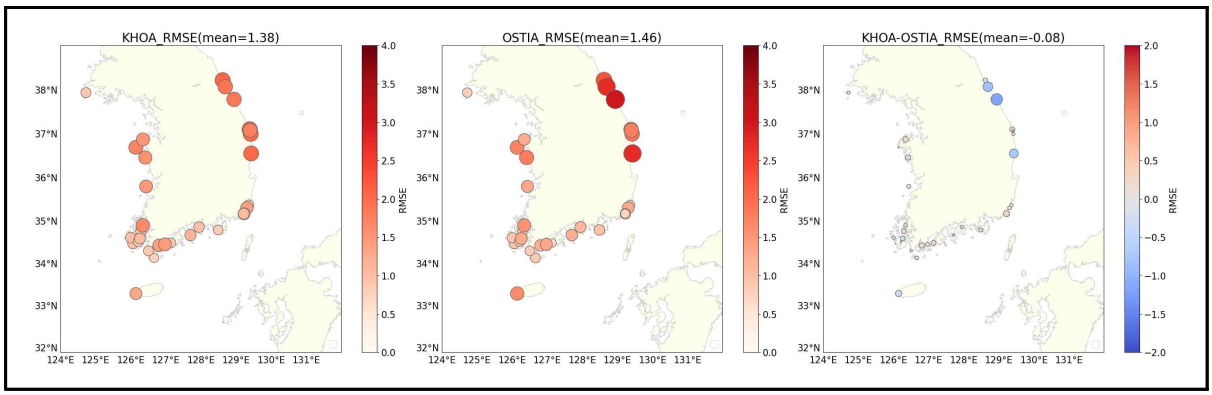

[그림 3-1] 타 해수면온도 합성장 속성 정보 예시

**<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

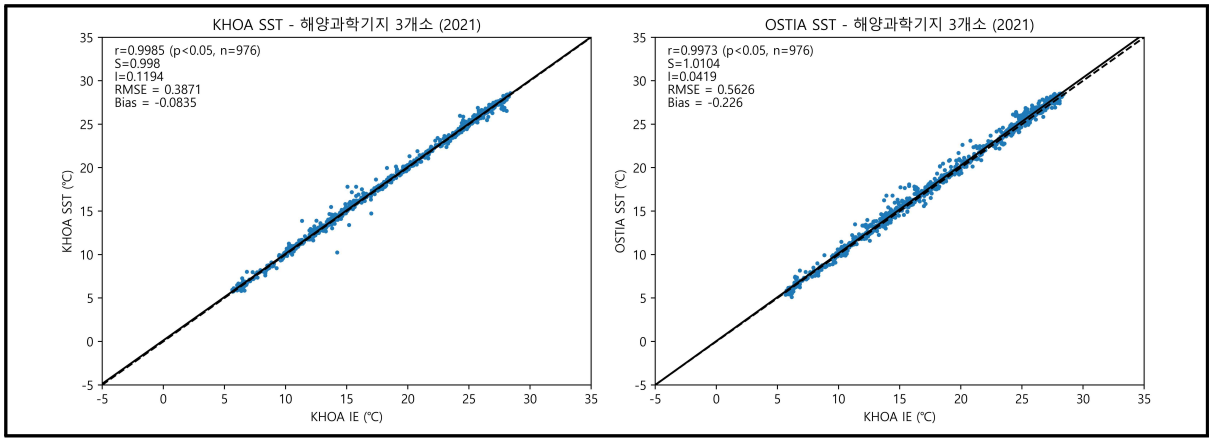
■ 국내 연안 해역

- 기간 : 2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.
- 검증자료 : 해양과학기지자료
- 검증지수 : KHOA SST는 RMSE 0.39 ℃, bias −0.08 ℃ 로 OSTIA RMSE 0.56 ℃, bias −0.23 ℃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=0.9985로 높았다.




[그림 3-4] 해양과학기지자료와의 상관분석

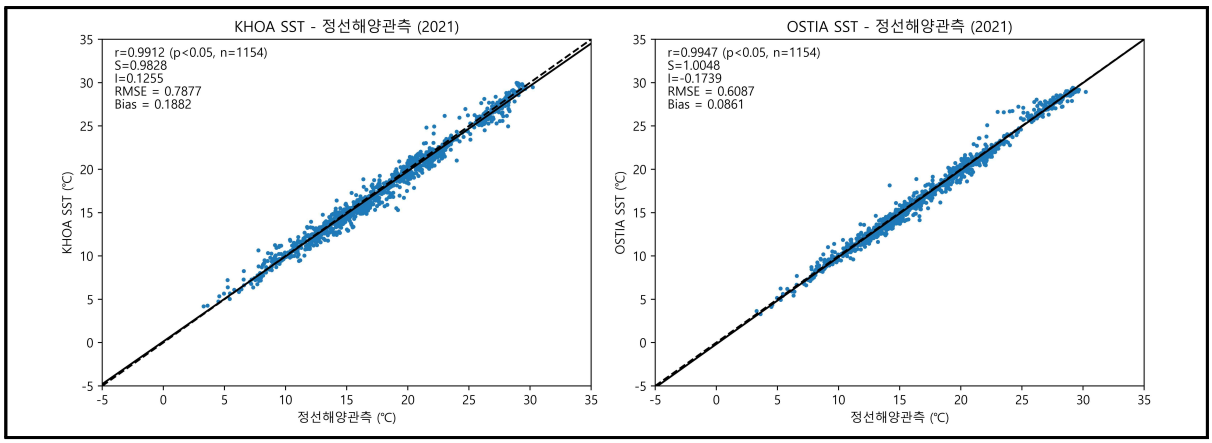
■ 국내 해역

- 기간 : 2021. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.
- 검증자료 : 정선해양관측자료
- 검증지수 : KHOA SST의 RMSE 0.79 ℃, bias 0.19 ℃ 로 OSTIA보다 0.18 ℃ 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=0.9947로 높았다.




[그림 3-5] 정선해양관측자료와의 상관분석

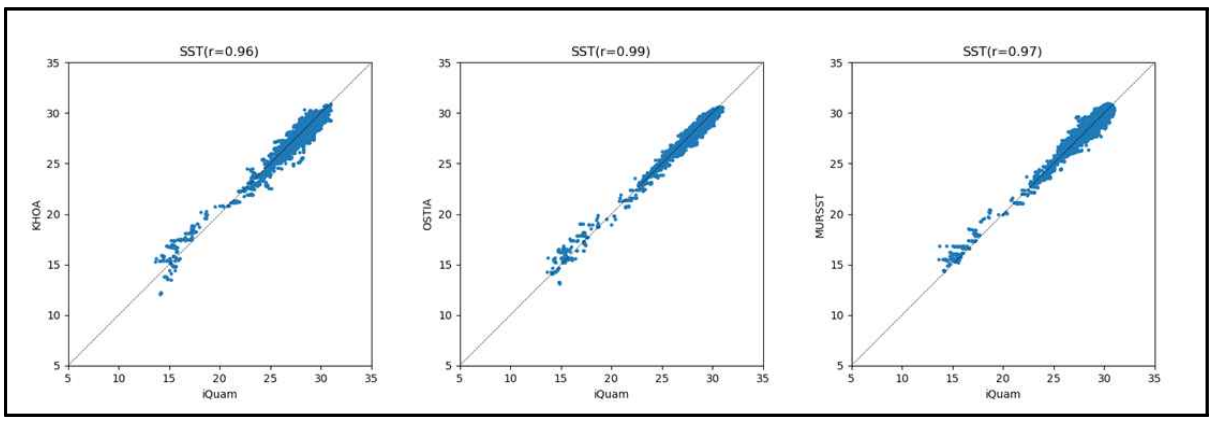
■ 국외 해역

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

**<표 3-6> iQuam과의 검증지수**

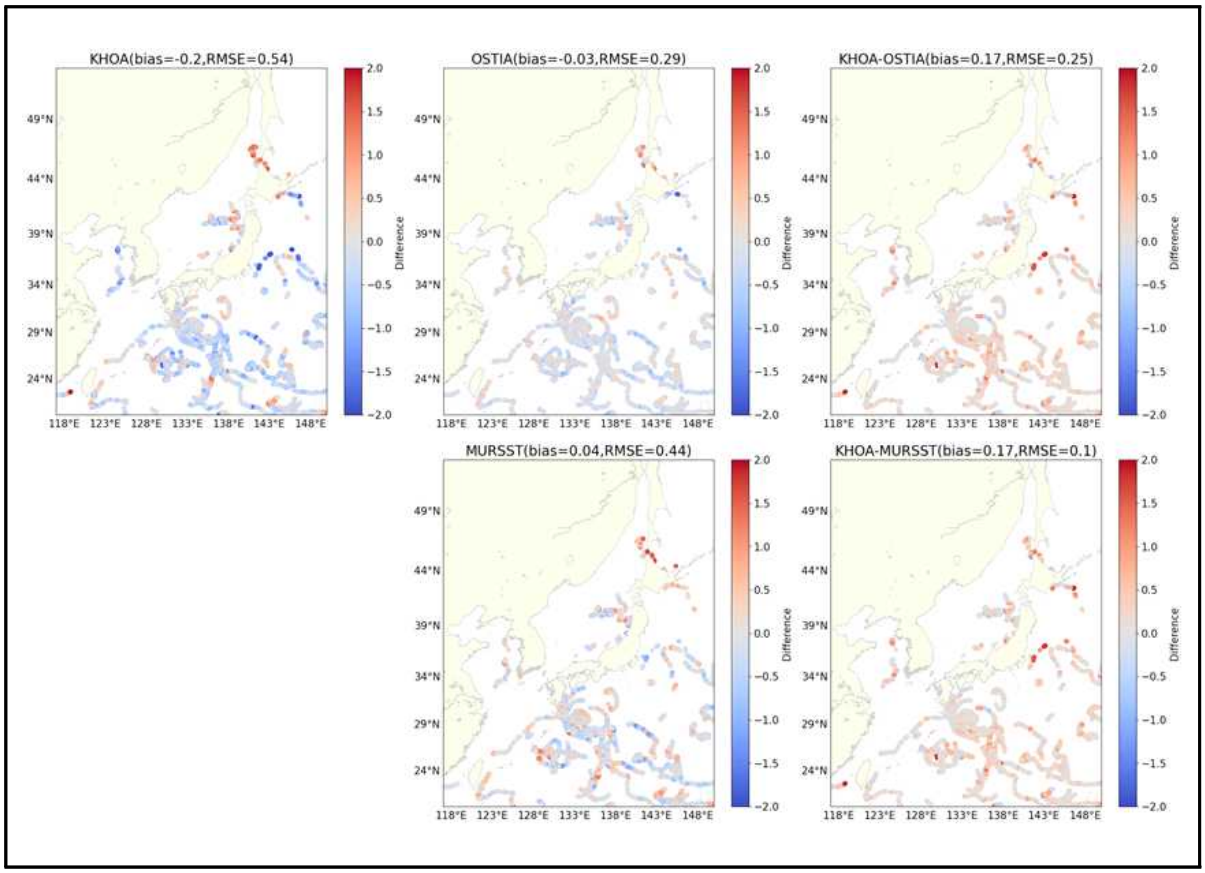
| KHOA_SST | | | OSTIA | | | MURSST | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RMSE | bias | r | RMSE | bias | r | RMSE | bias | r |
| 0.54 | -0.20 | 0.96 | 0.29 | -0.03 | 0.99 | 0.44 | 0.04 | 0.97 |

- 상관분석 : 세 SST 합성장 모두 상관계수가 0.96 이상으로 높고 선형관계가 잘 나타났고, OSTIA가 r=0.0.99로 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) 해수면온도 합성장의 정확도는 대부분 입력자료로 사용되는 5종 위성과 3종 현장관측 자료의 성능과 구름탐지 정보와 밀접한 관련이 있다. 구름탐지 정확도가 떨어지면 구름 영역에 대해 해수면온도를 계산하여 값이 낮게 나타나거나 구름이 아닌 영역을 계산에서 제외하여 정보의 손실이 발생할 수 있다.
2) 산출에 필요한 입력자료가 누락되지 않고 수집되어야 한다.
3) 해수면온도 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

- 해수면온도 합성장 생산에 사용되는 적외센서, 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