

Letter

## 천리안위성 해수면온도 자료 기반 동북아시아 해수고온탐지(2012-2021)

우중호<sup>1)</sup> · 정대성<sup>2)</sup> · 심수영<sup>2)</sup> · 김나연<sup>3)</sup> · 박성우<sup>3)</sup> · 손은하<sup>4)</sup> · 김미자<sup>5)</sup> · 한경수<sup>6)\*</sup>

### Marine Heat Waves Detection in Northeast Asia Using COMS/MI and GK-2A/AMI Sea Surface Temperature Data (2012-2021)

Jongho Woo<sup>1)</sup> · Daeseong Jung<sup>2)</sup> · Suyoung Sim<sup>2)</sup> · Nayeon Kim<sup>3)</sup> ·  
Sungwoo Park<sup>3)</sup> · Eun-Ha Sohn<sup>4)</sup> · Mee-Ja Kim<sup>5)</sup> · Kyung-Soo Han<sup>6)\*</sup>

**Abstract:** This study examines marine heat wave (MHW) in the Northeast Asia region from 2012 to 2021, utilizing geostationary satellite Communication, Ocean, and Meteorological Satellite (COMS)/ Meteorological Imager sensor (MI) and GEO-KOMPSAT-2A (GK-2A)/Advanced Meteorological Imager sensor (AMI) Sea Surface Temperature (SST) data. Our analysis has identified an increasing trend in the frequency and intensity of MHW events, especially post-2018, with the year 2020 marked by significantly prolonged and intense events. The statistical validation using Optimal Interpolation (OI) SST data and satellite SST data through T-test assessment confirmed a significant rise in sea surface temperatures, suggesting that these changes are a direct consequence of climate change, rather than random variations. The findings revealed in this study serve the necessity for ongoing monitoring and more granular analysis to inform long-term responses to climate change. As the region is characterized by complex topography and diverse climatic conditions, the insights provided by this research are critical for understanding the localized impacts of global climate dynamics.

**Keywords:** Marine heat wave detection, Sea surface temperature, COMS/MI, GK-2A/AMI, OISST

Received November 24, 2023; Revised November 28, 2023; Accepted December 3, 2023; Published online December 31, 2023

<sup>1)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학과 석/박사과정생(Combined MS/PhD Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>2)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학과 박사후요생(PhD Candidate, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>3)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학과 석사과정생(Master Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>4)</sup> 국가기상위성센터 위성기획과 선임연구원(Senior Researcher, Satellite Planning Division, National Meteorological Satellite Center, Daejeon, Republic of Korea)

<sup>5)</sup> 국가기상위성센터 위성기획과 연구사(Researcher, Satellite Planning Division, National Meteorological Satellite Center, Daejeon, Republic of Korea)

<sup>6)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학과 교수(Professor, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

\* Corresponding author: Kyung-Soo Han (kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**요약:** 본 연구는 2012년부터 2021년까지 동북아시아 해역에서 발생한 해수고온현상을 Communication, Ocean, and Meteorological Satellite (COMS)/Meteorological Imager sensor (MI)와 GEO-KOMPSAT-2A (GK-2A)/Advanced Meteorological Imager sensor (AMI) 정지궤도 위성 해수면온도 자료를 통해 탐지하였다. 특히 2018년 이후 및 2020년에 해수고온현상의 빈도와 강도가 눈에 띄게 증가하였음을 발견하였다. Optimal Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) 자료와 천리안위성 자료를 활용한 T-test 통계적 검증은 해수면 온도가 통계학적으로 유의미하게 상승했다는 것을 확인시켜 주었으며, 이는 기후 변화의 직접적 영향이라는 결론을 뒷받침한다. 이 연구 결과는 해수고온현상의 지속적인 모니터링과 정밀한 분석의 중요성을 강조한다. 복잡한 지형과 다양한 기후 조건을 가진 동북아시아에서 이루어진 연구는 글로벌 기후 변화가 지역 환경에 미치는 영향을 이해하는 데 있어 중요한 통찰을 제공한다.

**주요어:** 해수고온탐지, 해수면온도, COMS/MI, GK-2A/AMI, OISST

## 1. 서론

기후는 수십억 년 동안 변화를 겪어왔으나 최근 수십 년 동안 변화의 속도와 특성이 상당히 가속화되고 있고 여러 연구에서 평균 기온 상승, 극한 기상 현상의 급증, 해수면 온도의 변동 등 기후 변화에 대한 강력한 증거를 제시한다(Hansen et al., 2010). 특히 해수고온현상은 장기간에 걸쳐 비정상적으로 따뜻한 해수가 나타나는 극단적 현상이다(Hobday et al., 2016). 최근 전 세계적으로 강력한 해수고온현상들이 많이 나타나며(Benthuyzen et al., 2018; Hughes et al., 2018), 지난 세기 동안 연간 해수고온현상의 일수가 50% 이상 증가했다(Oliver et al., 2018). 이러한 해수고온현상이 장기간 지속되는 것은 해양 생태계 및 기후 변화에 큰 위협이 된다(Thomsen et al., 2019). 특히 복잡한 지형과 다양한 기후 조건을 특징으로 하는 동북아시아는 지구 기후 변화를 측정하는 중요한 지역으로 인식되고 있어(Ren et al., 2021) 해수고온현상에 대한 탐지와 분석이 요구된다.

이에 고해상도 및 장기간 관측 위성 기반 해수면온도 자료의 활용을 통해 해수고온현상의 시간적 추세와 공간적 패턴을 포괄적으로 파악하는 것이 필수적이다(Huang et al., 2021). 대표적인 위성기반 해수면온도 자료로 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)의 Daily Optimal Interpolated Sea Surface Temperature version 2 (DOISSTv2; Banzon et al., 2016; Reynolds et al., 2007)는 전 세계 해수고온현상 탐지 연구에서 널리 사용되었고 최근에는 더 높은 공간해상도의 위성 기반 탐지가 이루어지고 있다(Gentemann et al., 2017; Heidemann and Ribbe, 2019).

따라서 본 단보에서는 우리나라의 정지궤도 위성 COMS/MI와 GK-2A/AMI 해수면온도 자료를 활용하여 2012년부터 2021년까지 동북아시아 지역의 해수고온현상을 탐지하고 해수면온도 상승에 대한 통계적 검증을 수행하였다. 또한 연구 결과를 통해 동북아시아 지역의 기후변화에 대한 통찰 및 Case Study 대상을 제시하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서 해수고온탐지를 하기 위해 국가기상위성센터에서 제공하는 COMS/MI의 15분 주기로 제공되는 북반구 확장 영역 4 km 공간해상도의 해수면온도 매 정시 자료를 2012년 1월부터 2019년 12월까지 사용하였다. GK-2A/AMI은 10분 주기로 제공되는 동아시아 영역의 2 km 공간해상도의 해수면온도의 매 정시 자료를 2020년 1월부터 2021년 12월까지 사용하였다. 연구 영역은 두 자료의 공통 범위인 위도 15°N-50°N, 경도 105°E-150°E의 동북아시아를 대상으로 설정하여 분석하였다.

해수고온탐지 방법으로는 Hobday et al. (2016)이 제시한 방법에 따라 (1) 5일 이상 지속되고 (2) 기준 기후값의 90% 백분위수 임계 값을 넘는 해수면온도를 보이며 (3) 시작과 끝이 명확할 때의 해당하는 조건을 해수고온현상이라 정의 내려 동북아시아 관심지역을 분석하였다. 또한 해수면온도의 상승에 대한 평가를 위해 NOAA OISSTv2의 2018~2020년 자료를 활용하여 30년 평년 기후 값을 구하고 천리안위성 기반 해수면온도

평균 값과 T-test 통계적 검정을 통하여 실제로 해수면 온도가 통계적으로 유의미하게 상승하였는지 평가하였다.

### 3. 결과

총 10년의 연구기간 중에 위성 관측 기반 자료로 해수고온현상이 나타난 이벤트는 15건이며, 발생한 시기는 연구기간 중 비교적 최근으로 2018년도 이후로 나타나고 있다(Fig. 1). 2018년도 이전의 해수면온도의 시계열 상 분포는 5일 이상의 임계 값을 넘는 시기들이 존재하지 않으며, 연구 기간 내에서 위성 관측 기반 해수면 온도 상승의 추세가 확인된다. 연도 별 이벤트 발생 빈도는 2018년 1건, 2019년 1건, 2020년 11건, 2021년 2건이 나타났으며 계절적으로는 겨울철 4건, 봄철 2건, 여름철 5건, 가을철 4건으로 봄철을 제외하고 계절적 발생 빈도 수에는 큰 차이가 없지만 여름철 해수고온현상이 다른 계절에 비해 지속 일수가 길게 나타나는 것으로 탐지되

었다. 특히 2020년도에 해수고온현상이 대체적으로 모든 계절에 걸쳐 가장 많이 발생하였고, 2020년의 7월 10일부터 7월 28일까지 19일 동안의 해수고온현상과 2020년 8월 3일부터 8월 31일까지 29일 동안의 해수고온현상이 이어지며 2020년 여름을 통틀어 극심한 해수고온현상이 나타났던 것으로 보인다(Table 1).

또한 각각의 해수고온현상 이벤트들의 지속 일수, 최대 강도, 누적 강도 및 평균 강도의 분석을 통하여 해수고온현상에 대한 특징을 알아보려고 하였다. Fig. 2(a)는 각 이벤트들의 지속 일수를 나타내고 Fig. 3(c)는 이벤트의 지속 기간과 강도를 곱하여 나타낸 누적 강도를 제시한다. 2020년 7월, 8월 여름철 이벤트는 장기간 지속되어 다른 이벤트들보다 누적 강도가 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2(b)는 최대 강도, (d)는 평균 강도로 썬씨 온도로 표시되며 대부분의 이벤트는 약 2.5°C-3.5°C에서 최대 강도를 나타냈으며 평균 강도는 일반적으로 1°C-1.75°C 사이로 나타나지만 2020년 2월 이벤트는 최대 3.5°C를 넘는 최대 강도를 가지고 5일 정도 지속하며 겨울철 짧은 기간 내 강하게 해수고온현상

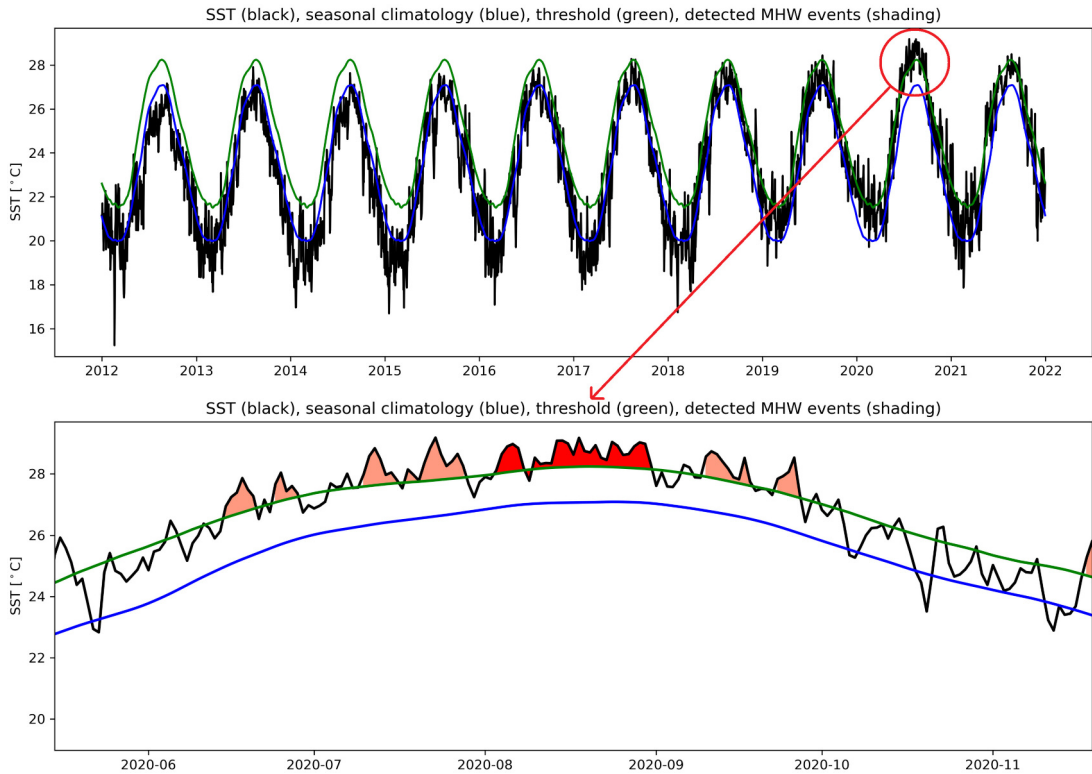


Fig. 1. Marine heat wave time-series detection in Northeast Asia from 2012 to 2021.

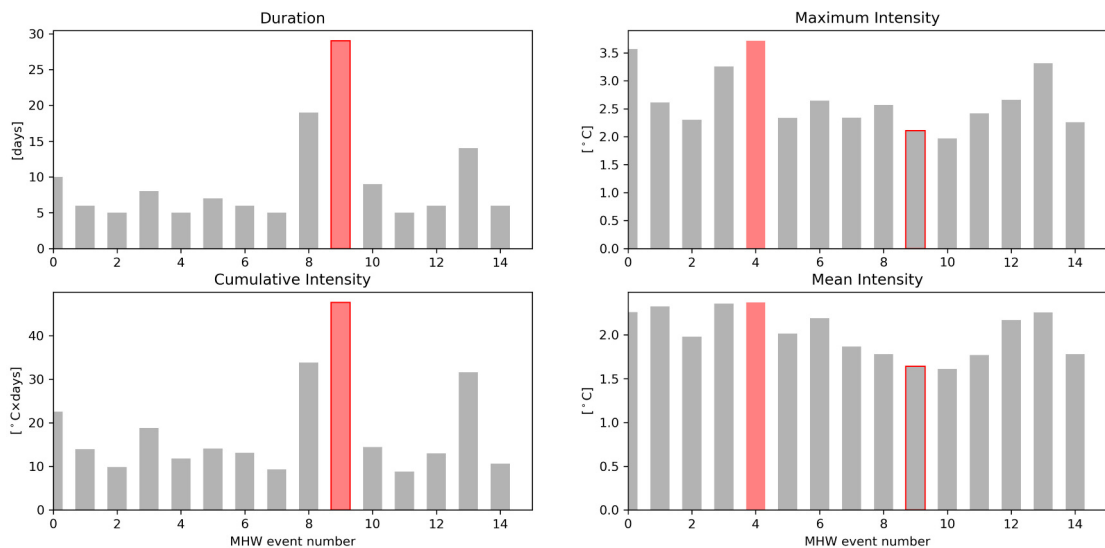
**Table 1.** Event detection of marine heat wave in Northeast Asia

Event	Start	End	Peak	Duration
0	2018-12-03	2018-12-12	2018-12-06	10
1	2019-06-04	2019-06-09	2019-06-07	6
2	2020-01-15	2020-01-19	2020-01-16	5
3	2020-01-23	2020-01-30	2020-01-28	8
4	2020-02-13	2020-02-17	2020-02-16	5
5	2020-03-26	2020-04-01	2020-03-31	7
6	2020-06-15	2020-06-20	2020-06-18	6
7	2020-06-24	2020-06-28	2020-06-25	5
8	2020-07-10	2020-07-28	2020-07-23	19
9	2020-08-03	2020-08-31	2020-08-18	29
10	2020-09-10	2020-09-18	2020-09-11	9
11	2020-09-23	2020-09-27	2020-09-26	5
12	2020-11-18	2020-11-23	2020-11-20	6
13	2021-05-11	2021-05-24	2021-05-16	14
14	2021-10-16	2021-10-21	2021-10-20	6

이 나타난 것으로 보인다. 따라서 동북아시아 해수고온 현상 특징으로는 총 누적 강도는 여름철에 높게 나타나는 반면에 최대 강도는 겨울철에 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

또한 연구지역 내에서 실제로 해수면온도가 유의미하게 상승했는지 평가하기 위해 OISST 자료와 천리안 위성 해수면온도 자료간 T-test를 수행하였다. Fig. 3에서 y축은 확률 밀도를 나타내고 x축은 온도를 나타낸다.

검은색 점선은 OISST 데이터세트의 평균 기온을 나타내며 평균 기온은 22.41°C이다. 파란색 점선과 빨간색 점선은 위성 해수면온도 자료 10년(2012~2021년) 평균 및 최근 5년 평균(2017~2021년)으로 각각 22.37°C, 22.76°C로 나타나 최근 5년의 평균 해수면온도가 높게 나타난다. 통계적 결과로는 t-통계량의 절대값이 클수록 귀무 가설과 차이가 크다는 것을 의미하며 기준 온도와 비교하여 10년 보다 5년 기간에 걸친 해수면온도



**Fig. 2.** Marine heat wave events properties. (a) Marine heat wave duration. (b) Maximum intensity. (c) Cumulative intensity. (d) Mean Intensity.

의 상당한 변화를 암시할 수 있다. 또한 p값이 0으로써 결과가 통계적으로 매우 유의미하며 관찰된 해수면온도 변화가 우연이 아니라는 것을 의미한다.

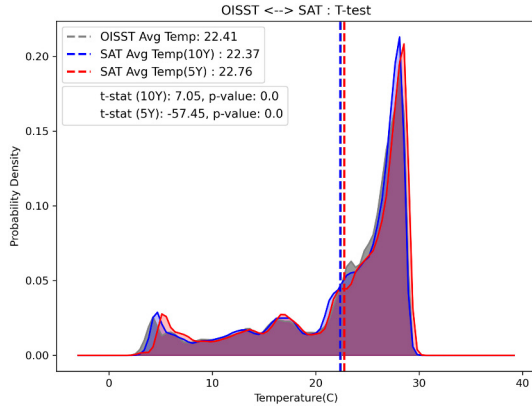


Fig. 3. Sea surface temperature T-test and probability density function comparison analysis.

#### 4. 결론

본 연구는 동북아시아 지역 2012년부터 2021년까지의 최근 해수고온현상의 탐지와 그 특성을 위성 데이터를 기반으로 기후 변화의 현실적 영향을 이해하고자 하였다. 탐지 결과 해수고온현상은 2018년 이후 나타났고, 특히 2020년에 발생한 해수고온현상의 빈도와 강도가 과거와 비교하여 현저히 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 OISST 자료와 천리안위성 해수면온도 자료를 사용한 통계적 검증은 해수면온도의 상승이 우연한 변동이 아닌 유의미한 변화임을 강조한다. 이러한 변화는 해양 생태계에 중대한 영향을 미칠 뿐만 아니라 지역 기후 변화의 중요한 지표로 작용한다. 따라서 이 연구는 기후 변화에 대응하기 위한 정책 결정과 해양 관리 전략을 수립하는 데 있어 중요한 근거 자료를 제공한다. 또한, 해수고온현상의 지속적인 모니터링과 더욱 정밀한 분석이 필요함을 시사하며, 이는 장기적인 기후 변화 대응 계획에 중요한 참고사항이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사사

본 연구는 국가기상위성센터의 ‘기상위성예보지원 및 융합서비스 기술개발’ 과제의 지원으로 수행되었음 (KMA2020-00123).

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

#### References

Banzon, V., Smith, T. M., Chin, T. M., Liu, C., and Hankins, W., 2016. A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth System Science Data*, 8(1), 165–176. <https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016>

Benthuyzen, J. A., Oliver, E. C. J., Feng, M., and Marshall, A. G., 2018. Extreme marine warming across tropical Australia during austral summer 2015–2016. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(2), 1301–1326. <https://doi.org/10.1002/2017JC013326>

Gentemann, C. L., Fewings, M. R., and García-Reyes, M., 2017. Satellite sea surface temperatures along the West Coast of the United States during the 2014–2016 northeast Pacific marine heat wave. *Geophysical Research Letters*, 44(1), 312–319. <https://doi.org/10.1002/2016GL071039>

Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., and Lo, K., 2010. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 48, RG4004. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>

Heidemann, H., and Ribbe, J., 2019. Marine heat waves and the influence of El Niño off southeast Queensland, Australia. *Frontiers in Marine*

- Science*, 6, 56. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00056>
- Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. et al., 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>
- Huang, Z., Feng, M., Beggs, H., Wijffels, S., Cahill, M., and Griffin, C., 2021. High-resolution marine heatwave mapping in Australasian waters using Himawari-8 SST and SSTAARS data. *Remote Sensing of Environment*, 267, 112742. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112742>
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Dietzel, A., Eakin, C. M. et al., 2018. Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, 556, 492–496. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>
- Oliver, E. C., Donat, M. G., Burrows, M. T., Moore, P. J., Smale, D. A., Alexander, L. V. et al., 2018. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, 9, 1324. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>
- Ren, G., Chan, J. C., Kubota, H., Zhang, Z., Li, J., Zhang, Y. et al., 2021. Historical and recent change in extreme climate over East Asia. *Climatic Change*, 168, 22. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03227-5>
- Reynolds, R. W., Smith, T. M., Liu, C., Chelton, D. B., Casey, K. S., and Schlax, M. G., 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, 20(22), 5473–5496. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1>
- Thomsen, M. S., Mondardini, L., Alestra, T., Gerrity, S., Tait, L., South, P. M. et al., 2019. Local extinction of bull kelp (*Durvillaea* spp.) due to a marine heatwave. *Frontiers in Marine Science*, 6, 84. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00084>