

인공위성을 활용한 우리나라 관할해역 표층수온의 시공간 변동 특성

Spatial and Temporal Variations of Sea Surface Temperature Around Korean Peninsula using Satellite-derived Data

김보라* · 손승현** · 류종성***

Bo Ra Kim · Seung Hyun Son · Jong Seong Ryu

요약 본 연구는 기후변화에 의한 우리나라 바다의 표층수온의 장기 변동을 해역별로 파악하여 관리에 유용한 정보를 제공하기 위해 수행되었다. 우리나라 전체 해역을 18개의 세부 해역으로 나누고, 2003년 1월부터 2019년 12월까지 인공위성을 이용해 관측한 표층수온의 매월 평균값을 산출하였다. Aqua 위성에서 탑재된 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 센서와 Suomi National Polar-Orbiting Partnership (SNPP) 위성에서 탑재된 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 센서에서 취득한 자료를 사용하였다. 해역별로 월평균 표층수온의 장기간 변동을 살펴본 결과 2011년은 전체 해역에서 낮은 평균수온을 보였으며, 2015년에는 제주를 거쳐 동해 남부와 동해 연안을 따라 상대적으로 낮은 평균수온을 나타내어 쿠로시오 해류에 의한 영향이 있었음을 시사하였다. 해역별 표층수온 증가 경향을 분석한 결과 서해 외해역, 울산-포항 연안, 영덕-울진 연안, 양양-고성 연안, 울릉도·독도 해역에서 표층수온이 점진적인 증가 경향을 보였다. 3년 이동평균 추세를 분석한 결과 대부분의 해역들의 표층수온 증가 추세를 보였으며, 특히 최근 들어 양양-고성 연안의 표층수온이 가장 빠르게 증가하였다. 인공위성은 장기간에 걸쳐 넓은 공간의 표층수온을 관측하는데 적합하며, 동일한 조건에서 지역별 표층수온의 변동양상이 상이하게 나타나는 것을 확인하였고, 이러한 과학적 증거에 기반하여 지역의 특성에 적합한 수온 관리 대책을 마련해야 할 것이다.

키워드 기후변화, 표층수온, 인공위성, 수온상승, 장기변동

Abstract This study was conducted to understand the changes in SST (sea surface temperature) due to climate change and to provide useful information for management in Korean waters. The Korean waters were divided into 18 regions, and the long-term SST variability was calculated based on satellite data for each region. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) and VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) satellite SST data of NASA (National Aeronautics and Space Administration) were utilized to analyze the long-term spatiotemporal variations of SST in Korean waters. The mean SST of 18 regions were calculated for every month from January 2003 to December 2019. The results show that the SST for each area, the SST of the coastal regions and offshore of Jeju Island were relatively higher. On the other hand, the SST of the coastal area and offshore of the West Sea (Yellow sea) of Korea were relatively lower. The trends of SST in the offshore of the West Sea, Ulsan-Pohang coast, Yeongdeok-Uljin coast, Yangyang-Goseong coast, Ulleungdo and Dokdo areas show the increase in temperature. Furthermore, the analyzed result of the three-years moving average of SST increased in most of the areas, while the SST of the Yeongdeok-Uljin coast and Yangyang-Goseong coast were relatively rapidly increased. In conclusion, the satellite-derived SST data show the increase in temperature in the entire Korean waters. However, the degree of increase in the SST varies from region to region. Thus, in order to efficiently manage the increase in water temperature in Korean waters, effective management plans based on proper scientific analysis would be needed.

Key words Climate change, Sea surface temperature, Satellite, Temperature increase, Long-term variations

Received: 2020.06.27, Revised: 2020.07.02, Accepted: 2020.07.02

* 안양대학교 해양연구소(Research Institute of Oceanography, Anyang University), borakim0629@gmail.com (주저자)

** CIRA at NOAA/NESDIS/STAR, Fort Collins, CO, USA, oceancolor.son@gmail.com

*** 안양대학교 해양바이오시스템공학과(Department of Marine Biotechnology, Anyang University), jsryu90@gmail.com (교신저자)

1. 서론

산업혁명 이후 급속한 산업화로 인한 막대한 양의 온실가스 배출은 기후 시스템에 영향을 미쳤다. 이러한 영향은 해양산성화, 수온 상승, 물 순환의 변화, 빙하의 감소, 그리고 해수면 상승 등을 야기시켰다(IPCC 2014). 국제사회는 탄소배출 감축에 대한 국제 질서를 논의하고자 1988년 UN 총회 결의에 따른 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하여 기후변화 저감과 적응에 관한 각국의 협력을 모색하고 있다. 우리나라는 저탄소녹색성장기본법에 따라 기후변화 영향평가 및 적응대책을 수립하여 시행 중이다. 기후변화가 바다에 미치는 영향은 크게 해양산성화, 해수면상승, 수온상승 등을 들 수 있다. 특히, 폭염 등으로 인한 이상수온은 해양생태계에 미치는 영향이 지대하여 해양생태계 관리 및 보존에 관한 법률 제9조에 특별히 관심을 기울여야 하는 환경항목으로 새롭게 추가된 바 있다.

우리나라 해역의 표층 수온은 1969년부터 2004년까지 연간 0.01-0.06℃ 증가했다(민 등, 2006). 해양에서의 수온 변화는 해양 및 수산생태계에 영향을 미치며(Chang et al., 2000), 수온 상승은 난대성 어종의 확장을 나타내는 지표가 될 수도 있다(윤 등, 2007). 그간 연구된 표층수온의 장기간 변동은 대부분 해역 전체의 표층수온 상승이나 일부 해역에 한정되어 있었다. 우리나라 해역은 일반적으로 서해, 남해, 동해로 구분하고 있으나 해양학적 구분이 아니며, 퇴적 지형의 기복이 심하고(민 등, 2006), 지역에 따른 수온 변화 경향은 단순하지 않고 다양한 변동을 보인다(김 등, 2011). 따라서 지역에 따른 장기간 수온변동의 패턴을 이해하는 것은 해양학적 측면과 관리적 측면에서 매우 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 세분화된 해역을 대상으로 장기간 표층수온 변동을 관찰하기 위해 인공위성 관측 자료를 활용하였다. 인공위성은 넓은 해역을 동시에 관측할 수 있어 선박을 이용한 해양조사의 단점을 보완할 수 있다(민 등, 2010). 현재 인공위성으로 산출할 수 있는 항목 중에서 비교적 신뢰도가 높은 것은 수온, 부유퇴적물 등이다. 엽록소-a는 맑은 바다(Case 1)에서는 신뢰도가 높으나, 탁한 바다(Case 2)에서는 신뢰도가 낮다(Kim et al., 2017). 또한, 육상에서 기인하는 유기물을 간접적으로 지시하는 용존유기물(Colored Dissolved Organic Matters)과 용존산소 등 수질항목을 예측할 수 있는 인공위성 알고리즘을 개발하는 연구가 진행 중이다(Kim et al., 2017, Kim et al., 2020).

본 연구는 우리나라 바다 표층수온의 장기간 변동을

해역별로 파악하여 관리에 유용한 정보를 제공하기 위해 수행되었다. 2004년에 해양수산부에서 해양환경관리를 위해 고시한 해역구분의 이론을 활용하여 우리나라 전체 해역을 18개의 세부 해역으로 나누고 인공위성에서 산출한 장기간 표층수온의 변동 특성을 해역별로 분석하였다.

2. 재료 및 방법

영해와 배타적경제수역을 포함하는 우리나라 관할 해역 전체를 대상으로 지리적, 해양학적 특성에 따라 18개 해역으로 구분하였다. 서해는 연안과 외해를 나누고, 위도에 따라 세분하였다. 남해는 연안을 따라 4개로 나누었고 외해는 고려하지 않았다. 제주해는 연안과 외해를 나누고, 동중국해를 별도로 구분하였다. 동해는 연안과 외해를 구분하고, 위도에 따라 연안 4개, 외해 3개로 나누었다. 구분된 18개 해역별로 해역내 표층수온의 월평균값을 산출하였다(Fig. 1).

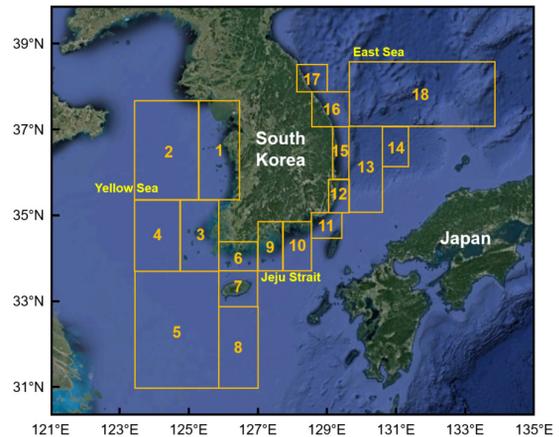


Figure 1. Map showing the study area around Korean Peninsula comprising eighteen sea areas to retrieve sea surface temperatures from satellite

표층수온 자료를 얻기 위해 미항공우주국 (NASA)의 웹사이트 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)에서 제공하는 Aqua 위성에 탑재된 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 센서와 Suomi National Polar-Orbiting Partnership (SNPP) 위성에 탑재된 VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 센서의 해양 표층 수온(SST: Sea Surface Temperature) 자료를 활용하였다. 18개로 구분된 해역에 대해 2003년 1월부터 2019년 12월까지 매월 평균값을 산출하였다. 매월 평균값을 얻기 위해 해당 기간

(2003년-2019년) 동안 연구해역을 관측한 모든 레벨 2 (level-2) 자료를 처리하여 월별 합성 평균 수온자료를 만들었고, 그룹에 의해 가려진 픽셀은 평균값 계산에서 제외하였다. 2003년 1월부터 2011년 12월까지의 수온자료는 MODIS 11 μ m 와 12 μ m band를 이용하였으며 (Minnett et al., 2004), 2012년 1월부터 2019년 12월까지의 자료는 VIIRS 3.7 μ m M12 band를 이용하였다.

표층수온의 장기간 변동 추세를 통계적으로 분석하기 위해 회귀분석, 이동평균을 분석하였으며, 분석도구는 마이크로소프트 엑셀을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해역별 평균 표층수온

2003년부터 2019년까지 16년간 자료의 월별 표층수온을 18개 해역으로 나누어 전체 평균을 하여, 해역별로 평균 표층수온을 비교하였다(Table 1).

Table 1. Mean, standard deviation, maximum and minimum values of sea surface temperature from January 2003 to December 2019 in 18 sea areas of Korea

Area	Mean and standard deviation(°C)	Seasonal values (°C)	
		Max.	Min.
Area 01	14.4±7.5	28.3	2.9
Area 02	15.4±7.3	29.7	5.6
Area 03	18.8±6.6	28.4	5.6
Area 04	16.7±6.7	29.9	7.0
Area 05	18.8±6.1	30.7	9.9
Area 06	17.5±5.2	28.7	10.8
Area 07	19.9±4.7	30.6	13.2
Area 08	20.8±5.0	31.5	12.8
Area 09	18.0±5.1	29.2	11.1
Area 10	18.8±5.0	29.9	12.2
Area 11	18.9±4.8	30.1	12.3
Area 12	18.5±4.8	29.6	11.8
Area 13	18.4±5.0	29.6	10.6
Area 14	17.6±5.4	28.9	9.3
Area 15	17.4±4.9	28.8	9.4
Area 16	16.8±5.3	28.2	8.4
Area 17	15.8±6.0	27.8	5.3
Area 18	17.0±5.6	28.4	7.9

우리나라의 2003년부터 2019년까지 전체 평균 표층수온은 17.6±5.9°C를 보였으며, 최고 온도가 31.5°C, 최저 온도가 2.9°C의 수온을 보였다.

평균 표층수온이 가장 높은 해역은 제주 남쪽 외해역(Area 08)으로 20.8±5.0°C를 보였으며, 연간 최고 온

도 또한 31.5°C로 18개 해역 중 가장 높았다. 제주 남쪽 외해역과 인접한 제주 서쪽 외해역(Area 05)과 제주 연안(Area 07)의 평균 온도가 각각 18.8±6.6°C와 19.9±4.7°C로 다른 해역에 비해 대체적으로 높은 평균 수온을 보였다.

평균 표층수온이 가장 낮은 해역은 서해 연안(Area 01)으로 14.4±7.5°C를 보였으며, 연간 최저 온도가 2.9°C로 18개 해역 중 가장 낮았다. 서해 외해역(Area 02) 역시 평균 온도 15.4°C로 다른 해역에 비해 대체적으로 낮은 평균 수온을 보였다.

우리나라 주변 해역의 표층수온은 제주도 주변 연안과 제주 외해 부근이 높은 평균 수온을 보이며, 쿠로시오 해류의 영향권에 있는 남해와 동해는 중간 정도의 평균 수온을 나타냈고, 겨울철 북서계절풍의 영향을 받는 서해 연안과 서해 외해 부근이 낮은 연평균 수온을 보였다.

3.2 해역별 표층수온의 장기변동

시계열 그래프를 이용하여 18개 해역의 연평균 표층수온 자료의 장기변동을 비교 분석 하였다.

서해 연안(Area 01), 서해 외해역(Area 02), 서남해 연안(Area 03), 서남해 외해역(Area 04), 제주 서쪽 외해역(Area 05), 진도-장흥 연안(Area 06), 제주 연안(Area 07), 보성-여수 연안(Area 09), 남해-거제 연안(Area 10) 등 9개 해역의 경우, 시계열 그래프가 비슷한 곡선을 나타냈으며, 2011년에 표층수온이 가장 낮았다. 실제로 2011년 1월 전국 평균기온이 평년보다 3.7°C 낮았으며, 2월 초까지 지속되었다(한 등, 2011). 그러나 대한해협 주변에 위치하는 창원-부산 연안(Area 11)과 울산-포항 연안(Area 12)은 2011년이 다른 년도에 비해 낮은 온도를 보였지만, 대마난류의 영향으로 평균 수온이 대체적으로 높았다(민 등, 2006) (Fig. 2).

동해 연안에 위치하는 영덕-울진 연안(Area 15), 삼척-강릉 연안(Area 16), 양양-고성 연안(Area 17) 등 3개의 해역의 경우 연구기간 동안 연평균 온도의 변동 폭이 다른 해역에 비해 컸으며, 특히 양양-고성 연안의 경우 연평균 표층 온도가 14.55~17.50°C로 가장 큰 범위를 보였다. 이들 해역은 동해 중부에 위치하는데 이 해역은 한류와 난류가 만나 전선을 이루는 지역으로 전선의 위치가 매년 바뀌기 때문에(Park et al., 2007) 연평균 표층수온의 변동폭이 크게 나타난 것으로 보인다(Fig. 2).

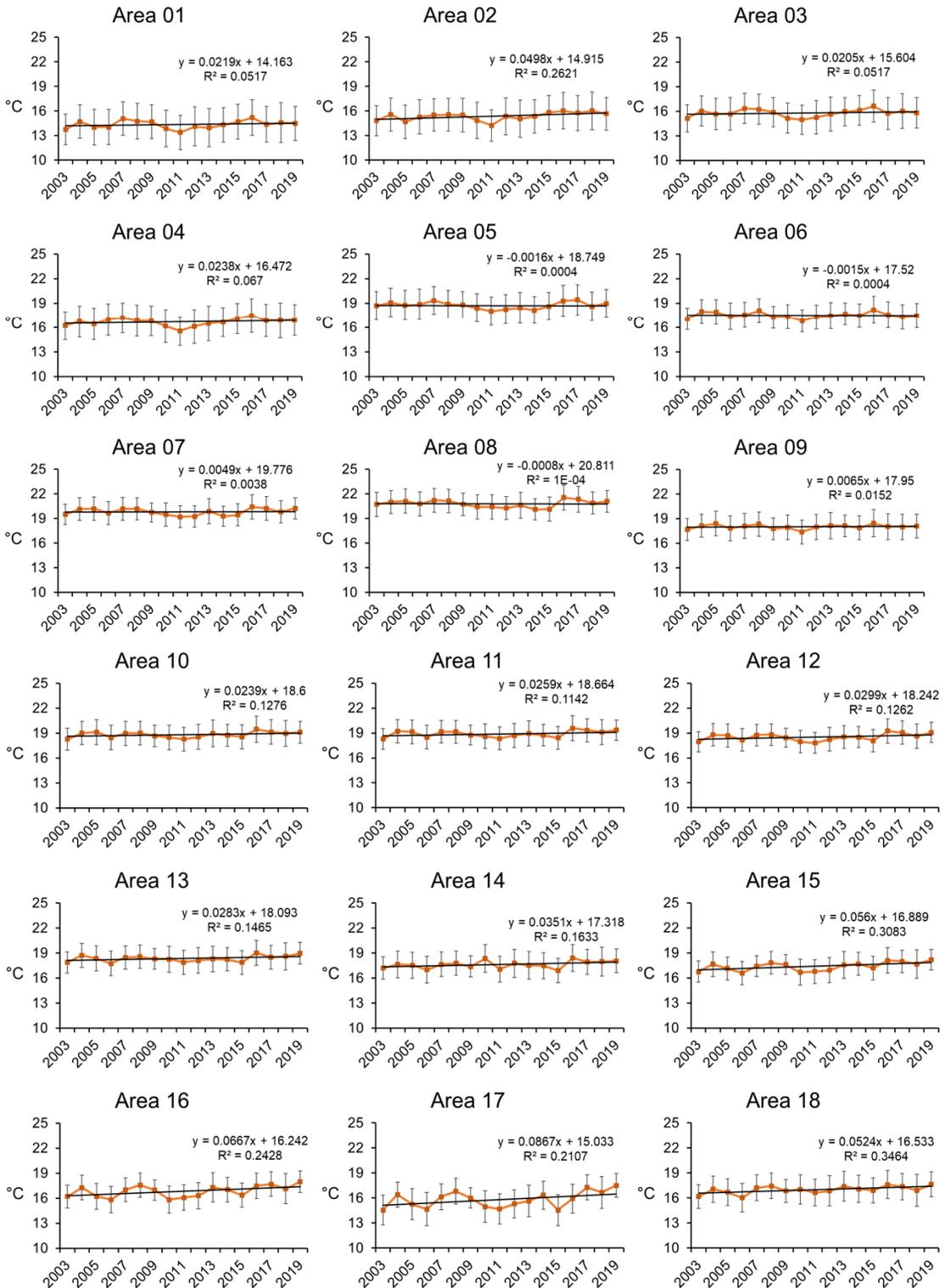


Figure 2. Long-term variations of sea surface temperatures from 2003 to 2019 in 18 sea areas of Korea, representing annual mean (dot) and standard error (bar).

3.3 해역별 표층수온 증가

18개 해역의 연평균 표층수온 시계열 자료를 회귀분석하여, 표층수온 증가 경향의 통계적 유의성을 평가하였다(Table 2). 회귀분석 자료에서 18개 해역 중 5개 해역의 연도별 표층수온이 유의하게 증가하는 경향을 보였는데, 이 중 1개의 해역은 서해 외해역(Area 02)이고, 나머지 4개 해역은 동해 부근으로 울산-포항 연안(Area 15), 영덕-울진 연안(Area 16), 양양-고성 연안(Area 17), 그리고 울릉도·독도 해역(Area 18)이었다.

Table 2. Result of regression analysis of annual mean of sea surface temperatures from 2003 to 2019 in 18 sea area

Area	Slope	y-intercept	R ²	p
Area 01	0.022	14.16	0.05	0.38
Area 02	0.050	14.92	0.26	0.04
Area 03	0.021	15.60	0.05	0.38
Area 04	0.024	16.47	0.07	0.32
Area 05	-0.002	18.75	0.00	0.94
Area 06	-0.002	17.52	0.00	0.94
Area 07	0.005	19.78	0.00	0.81
Area 08	-0.001	20.81	0.00	0.97
Area 09	0.007	17.95	0.02	0.64
Area 10	0.024	18.60	0.13	0.16
Area 11	0.026	18.66	0.11	0.18
Area 12	0.030	18.24	0.13	0.16
Area 13	0.028	18.09	0.15	0.13
Area 14	0.035	17.32	0.16	0.11
Area 15	0.056	16.89	0.31	0.02
Area 16	0.067	16.24	0.24	0.04
Area 17	0.087	15.03	0.21	0.06
Area 18	0.052	16.53	0.35	50.01

서해 외해역(Area 02)은 매년 0.05도 증가하는 것으로 나타났으며, 회귀직선의 기울기는 유의하였다(p=0.04).

울산-포항 연안(Area 15)은 매년 0.056도 증가하였으며, 기울기는 유의하였다(p=0.02). 영덕-울진 연안(Area 16)은 기울기가 0.067로 통계적으로 유의한 회귀직선 기울기 중에서 가장 큰 것으로 나타났다(p=0.04). 양양-고성 연안(Area 17)은 기울기가 0.087로 18개 해역 중에서 가장 컸으나, p값이 0.06으로 유의하지 않았다. 그러나 이 해역의 기울기 값이 다른 해역에 비해 상대적으로 큰 값을 보여 표층수온이 증가에 대해 관심을 기울일 필요가 있다고 판단된다. 울릉도·독도 해역(Area 18)은 표층수온이 매년 약 0.052도 증가하였으며, p값은 0.01로 통계적으로 유의하였다.

3.4 이동평균의 변동 양상

3년 이동평균 분석을 통해 표층수온 증가 추세를 살펴해보았다. 2003년부터 2019년까지 연평균 표층수온을 이용하여 3년간 이동 평균을 구한 후 그래프로 나타냈다(Fig. 3).

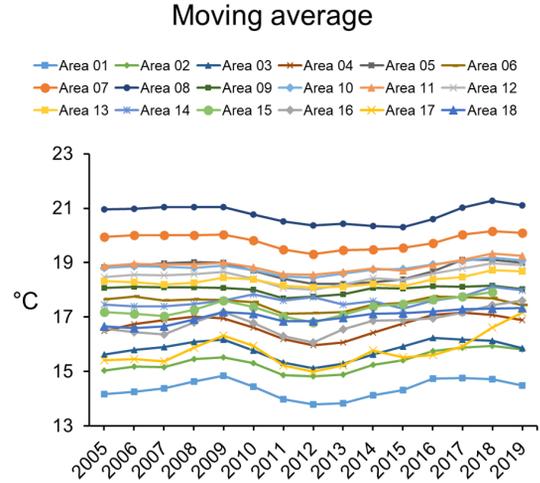


Figure 3. Three-year moving average of sea surface temperatures from 2003 to December 2019 in 18 sea areas of Korea.

18개의 해역 중 보성-여수 연안(Area 09), 동해 외해역(Area 14), 영덕-울진 연안(Area 16), 양양-고성 연안(Area 17) 등 4개 해역을 제외하고 대부분의 해역들은 2005년에서 2009년까지 3년 이동평균의 경향이 증가하는 양상을 보이다가 2009년에서 2012년까지 감소한 후에 2019년까지 다시 지속적으로 표층수온이 증가하는 경향을 보였다.

보성-여수 연안(Area 09)의 경우 3년 이동평균 그래프가 다른 해역에 비해 상대적으로 일정한 경향을 보여 표층수온의 온도 증가를 보이지 않았다.

동해 외해역(Area 14)의 경우 3년 이동평균 그래프가 다른 해역들과 비교하여 다른 경향을 보였다. 대부분의 해역들은 표층수온이 증가하다 감소하다가를 반복하는 패턴을 보였는데 동해 외해역은 변동폭이 상대적으로 작게 나타났다.

영덕-울진 연안(Area 16)과 양양-고성 연안(Area 17)은 3년 이동평균의 변동이 컸으며, 특히 2016년부터 최근 2019년까지 가파르게 온도가 증가하는 경향을 보였다.

4. 결론

2003년부터 2019년까지 16년간 한반도의 공간 분포 특성에 따른 표층수온 장기변동을 비교하기 위해서 인공위성자료를 활용하였다. 공간 분석을 위해 해역별 특성에 따라 18개 해역으로 구분하여, 각 해역 간의 연간 표층수온을 비교 분석하였다.

해역별로 평균 표층수온을 비교한 결과 한반도 주변 해역의 표층수온은 위도가 낮은 제주도 주변 연안과 제주 외해 부근이 높은 평균 수온을 보이며, 서해의 연안과 서해 외해 부근이 낮은 평균 수온을 보이는 것을 확인하였다.

해역별 표층수온의 장기변동을 분석 한 결과 서해, 제주도, 남해서부에 위치한 9개 해역과 동해 연안과 외해역에 위치한 3개 해역의 장기변동 변화가 비슷한 경향을 보였다. 해역별 표층수온 증가 경향을 분석한 결과 18개 해역 중 5개 해역인 서해 외해역(Area 02), 울산-포항 연안(Area 15), 영덕-울진 연안(Area 16), 양양-고성 연안(Area 17), 울릉도·독도 해역(Area 18)의 표층수온이 유의한 증가를 보였다. 3년 이동평균 추세를 분석한 결과 대부분의 해역들에서 표층수온 증가 추세를 확인하였으며, 영덕-울진 연안(Area 16), 양양-고성 연안(Area 17)의 표층수온이 상대적으로 빠르게 증가하였다.

인공위성 자료를 활용하여 우리나라 해역의 표층수온 상승을 확인할 수 있었다. 2003년부터 2019년까지 16년 동안 자료를 분석한 결과 지역마다 증가 정도가 상이했다. 이러한 수온 상승 현상이 기후변화와 갖는 관련성에 대해서 추가 연구가 필요하며, 수온 변화와 상승에 대비하기 위해서는 지역적 특성에 따른 관리방안을 마련해야 한다.

감사의 글

논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. 김정철, 김도균 2018. 한국 서해안 표층수 온도와 기온의 상관성 연구. 한국도서(섬)학회, 한국도서 연구 제30권 제1호, 151-172.
2. 민홍식, 김철호, 2006. 한국 연안 표층수온의 경년 변동과 장기변화. Ocean and Polar Research, 28(4), 415-423.
3. 민승환, 김대현, 윤홍주, 2010. NOAA/ AVHRR

자료에 의한 동북아시아해역 표층해수온의 시공간 분석. 한국정보통신학회논문지, 14(12), 2818-2826.

4. 윤석, 장현, 2016. 위성자료를 이용한 동해안 냉수대의 시공간적 변화 분석 연구. Korean Journal of Remote Sensing, Vol.32, No 6, 703-719.
5. 한인성, 서영상, 황재동, 임월애, 윤석현, 이준수, 정찬수, 2011. 2011년 이상한파에 따른 양식생물 대량폐사 원인 및 해역별 수온변동 상이성 고찰. 대한조선훈학회 학술대회자료집, 162-162.
6. 윤이용, 정소정, 윤상철, 2007. 동해연안 수괴의 특성과 장기변동 추이. 한국해양환경공학회지, Vol.10, NO 1, 59-65.
7. 김성중, 우성호, 김백민, 허순도, 2011. 지난 130년간 한반도 근해의 표층 수온 변화 경향. Ocean and Polar Research, 281-290.
8. 손영백, 유주형, 노재훈, 주세종, 김상현, 2012. 남해와 동중국해에서 위성으로 추정된 표층수온 및 클로로필의 장기 변화. Ocean and Polar Research, Vol.32(2) 201-218.
9. IPCC. 2014. 기후변화에 관한 정부가 협의체 (IPCC) 제5차 평가 종합보고서. 47p.
10. Minnett, P.J., Brown, O.B., Evans, R.H., Key, E.L., Kearns, E.J., Kilpatrick, K., Kumar, A., Maillet, K.A., Szciodrak, G., 2004. Sea-surface temperature measurements from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on aqua and terra. In:Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04. Proceedings. 2004 IEEE International. IEEE, pp. 4576-4579.
11. Quanhua Liu, 2014. Removing Solar Radiative Effect from the VIIRS M12 Band at 3.7 μ m for Daytime Sea Surface Temperature Retrievals. Journal of atmospheric and oceanic technology, Boston Vol. 31, Iss. 11, (Nov 2014): 2522-2529.
12. Kyung-Ae Park, David S. Ullman, Kuh Kim, Jong Yul Chung, Kyung-Ryul Kim, 2007. Spatial and temporal variability of satellite-observed Subpolar Front in the East/Japan Sea. Science Direct, 453-470.
13. Chang Ik Chang, Jae Bong Lee, Suam Kim, Jai-Ho Oh, 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. Progress in Oceanography, Vol. 47, 171-190.
14. Sang Heon Lee, Jongseong Ryu, Jung-woo Park, Davin Lee, Jae-Il Kwon, Jingping Zhao,

- SeungHyun Son, 2018. Improved Chlorophyll-a Algorithm for the Satellite Ocean Color Data in the Northern Bering Sea and Southern Chukchi Sea. *Ocean Science Journal*, 53(3), 475-485.
15. Hae-Cheol Kim, Seunghyun Son, Yong Hoon Kim, Jong Seong Khim, Jungho Nam, Won Keun Chang, Jung-Ho Lee, Chang-Hee Lee, Jongseong Ryu, 2017. Remote sensing and water quality indicators in the Korea West coast : Spatio-temporal structures of MODIS-derived chlorophyll-a and total suspended solids. *Marine Pollution Bulletin*, 121, 425-434.
16. Yong Hoon Kim, Seunghyun Son, Hae-Cheol Kim, Bora Kim, Young-Cyu Park, Jungho Nam, Jongseong Ryu, 2020. Application of satellite remote sensing in monitoring dissolved oxygen variabilities: A case study for coastal waters in Korea. *Environment International*, 134, 105-301.