

ORIGINAL ARTICLE

울산신항 연안해역에서 수온과 염분의 계절변동

강주현 · 임창혁¹⁾ · 조수길¹⁾ · 권철휘²⁾ · 김상우*

국토해양환경기술단 환경모니터링연구소, ¹⁾선박해양플랜트연구소 친환경해양개발연구본부, ²⁾국토해양환경기술단

Seasonal Variations of Water Temperature and Salinity in the Coastal Waters around Ulsan New Port

Ju-Hyun Kang, Chang Hyuck Lim¹⁾, Su-gil Cho¹⁾, Chul-Hui Kwoun²⁾, Sang-Woo Kim*

Environmental Monitoring Research Institute, Land & Ocean Environmental ENG, Suwon 16690, Korea

¹⁾*Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Daejeon 34103, Korea*

²⁾*Land & Ocean Environmental ENG, Suwon 16690, Korea*

Abstract

In this study, the seasonal variations of water temperature and salinity were investigated in the coastal waters around Ulsan New Port using quarterly observations at 11 stations from 2020 to 2023. Meteorological and river discharge data showed that precipitation-driven freshwater inflow strongly influenced salinity variations. Low temperature and high salinity occurred in winter due to decreased air temperature and reduced river inflow, whereas high temperature and low salinity were observed in summer with increased rainfall and river discharge. An anomalous low-temperature (<16°C) and high-salinity (>33.4 psu) water mass appeared in the bottom layer during summer 2021, which was attributed to coastal upwelling that restricted the intrusion of East Korea Warm Current (EKWC) surface water. TS diagram analysis showed that the water masses were mainly composed of EKWC surface and middle waters, with the latter dominating during the upwelling period. Strong stratification and low-salinity layers near the coast in summer reflected the influence of freshwater input. These results suggest that the hydrographic conditions in the coastal waters of Ulsan New Port are controlled by the combined effects of freshwater inflow, the EKWC, and coastal upwelling.

Key Words : Ulsan New Port, Seasonal variation, Temperature and salinity, East Korea Warm Current, Coastal upwelling

1. 서 론

동해 남부에 있는 울산신항 주변 해역은 수심이 비교적 얇고 북쪽과 서쪽에서 태화강, 외항강 및 회야강 등을 통한 담수 유입과 동쪽 외해에서는 동한난류의 영향을 받는 개방형의 만이다. 주변 지역은 국가산업단지, 석유화학단지, 공업단지, 조선소 등 크고 작은 많은 단

지가 위치한 임해공업지역이다. 특히 울산과 온산의 인근 지역에 다수의 산업단지 밀집으로 여기서 배출되는 생활하수 및 공업폐수로 인하여 만 내에 부영양화가 가속되었다. 이에 해양수산부는 2000년 2월 울산항을 포함한 주변의 해상 면적 56.56 km²와 육상 면적 144.29 km² 지역을 특별관리해역 지정과 함께 해양환경 개선을 위하여 태화강 및 만 내 주변의 해양오염 등에 대한

Received 29 September, 2025; Revised 17 October, 2025;

Accepted 20 October, 2025

*Corresponding author : Environmental Monitoring Research Institute of the Land & Ocean Environmental ENG, Suwon 16690, Korea
Phone : +82-31-695-3433

E-mail : ksangw@landocean.co.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

조사가 많이 이루어지고 있다(MOF, 2000; Choi et al., 2005; Kim, 2011; You et al., 2012; Hwang et al., 2014; Baek et al., 2014; Sun et al., 2015).

울산신항은 외해의 동쪽에서 동한난류의 영향을 받고 있고, 만 내의 북쪽과 서쪽 아래에는 태화강과 외항강 등의 담수가 유입되고 있다. 이 만 주변에서 3년(2013~2015) 동안 조사한 표층의 수온과 염분은 각각 8.5~26.2°C, 13.5~34.4 psu이었고, 염분은 태화강 담수량의 증감과 계절적 강수량 변화에 따라 염분구배의 차이가 나타나고 있다(Lee and Baek, 2017). 해수유통의 특징은 하계 및 동계 모두 창조와 낙조 시의 흐름은 각각 남서 및 북동 방향이고, 하계와 동계에 각각 낙조류와 창조류가 우세하게 나타난다(Shin et al., 2006; Park et al., 2010). 창조류는 울산만 북동쪽인 울산 본항에서 남향하여 울산만 입구로 흐르고, 낙조류는 창조류와 반대로 울산만 남쪽에서 동진하여 방어진을 지나 북동쪽으로 흐른다. 이 해역의 해류는 동한난류의 영향으로 북동류가 우세하고, 낙조 시는 해류와 조류의 방향이 일치하여 북동류가 증가한다. 한편, 창조 시는 반대 방향으로 전체 해류가 감소한다.

울산 연안해역을 대상으로 한 기존 연구들은 주로 울산항 주변 해역에서 현장 조사와 수치모델 등을 이용한 해양오염물질과 해양생태계의 변동 등에 대해 많이 수행되었다(Shin et al., 2001; Choi et al., 2005; Yoon et al., 2009; Kim, 2011; You et al., 2012; Hwang et al., 2014; Baek et al., 2014; Sun et al., 2015; Lee et al., 2016). 이들 연구 중에서 Yoon and Jeong(2019)에 의하면, 울산 연안해역의 식물플랑크톤 군집 특성이 계절에 따른 영향보다는 담수 유입, 저층 해수의 용승 등 수리적 특성에 의해 지배되고 있음을 나타내었다. 따라서 이 해역은 강에 의한 담수의 영향, 외해에서 연안으로 집안 및 이안하는 동한난류의 영향, 바람이나 지형 등의 영향에 의한 연안용승과 같은 현상 등이 복합적으로 작용하고 있는 것을 알 수 있다(Lee et al., 2003; Kim et al., 2010; Jeong et al., 2013; Kim et al., 2017). 이 해역 주변의 연구는 현재까지 수온 및 염분을 포함한 해수유통에 대하여 일부 수치모델과 단기적인 현장 관측에 의존한 연구만 수행되었고, 체계적인 조사를 바탕으로 한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 울산신항 주변 해역에서 4년(2020~2023) 동안 계절별로 조사한 수온과 염분 자료를 이용하여 이 해역의 해양환경 특성을 파악하

였다. 여기서 제시된 결과는 향후 이 해역 주변에 산재한 산업단지 등에서 배출되는 오염물질 등의 기원 추적에 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 울산만 주변 해역에 있는 태화강 등에 의한 담수와 외해수의 동한난류 영향에 따른 수온과 염분의 공간 변동 특성을 파악하기 위하여 Idronaut CTD (Ocean seven 304 plus, Brugherio, Italy)로 총 11개 정점에서 4년(2020~2023) 동안 계절별(2, 5, 8, 11월)로 표층과 저층의 공간적인 분포를 조사하였다(Fig. 1).

수온과 염분의 변동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기상 요소는 온산 지방기상청에서 조사한 1일 평균 기온, 풍속 및 강수량 자료를 기상청에서 제공하는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)에서 4년(2020~2023) 동안 수집한 것을 이용하였다. 하계 동한난류가 본 연구해역에 미치는 영향을 보기 위하여 T-S diagram으로 분석하였다. 여기서 동한난류 표층수와 중층수는 Jeong et al.(2013)이 제시한 수온과 염분을 기준으로 각각 20°C 이상과 33.8 psu 이하, 12~17°C와 34.2~34.6 psu로 하였다(Table 1). 또한, 동해남부 해역에서 하계에 발생한 냉수대는 NOAA 위성에서 2021년 7월 10~20일 동안 관측한 개별 영상을 분석하였다. NOAA 위성 영상은 국립수산과학원의 e-연구바다(<https://www.nifs.go.kr/portal/>)에서 제공하는 자료로 10일 평균 영상을 생성하였다. 그리고 본 연구에서는 육지 인근의 Sta. 7과 태화강 입구 외해에 있는 Sta. 10에서 계절에 따른 연도별 수온과 염분의 시계열 변화로 연안용승에 의한 외해수의 영향과 하천수에 의한 담수의 영향을 조사하였다. 수온과 염분의 공간 분포는 4년(2020~2023)간 계절별 평균한 자료로 수평 분포도와 연직단면도를 작성하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기상 요소의 연도별 월별 변동

울산만 주변 해역의 기상 요소를 분석하기 위하여 연구해역 인근에 있는 온산 지방기상청에서 조사한 월별 평균 기온, 풍속, 강수량과 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공한 태화교 방출 하천수 유량의

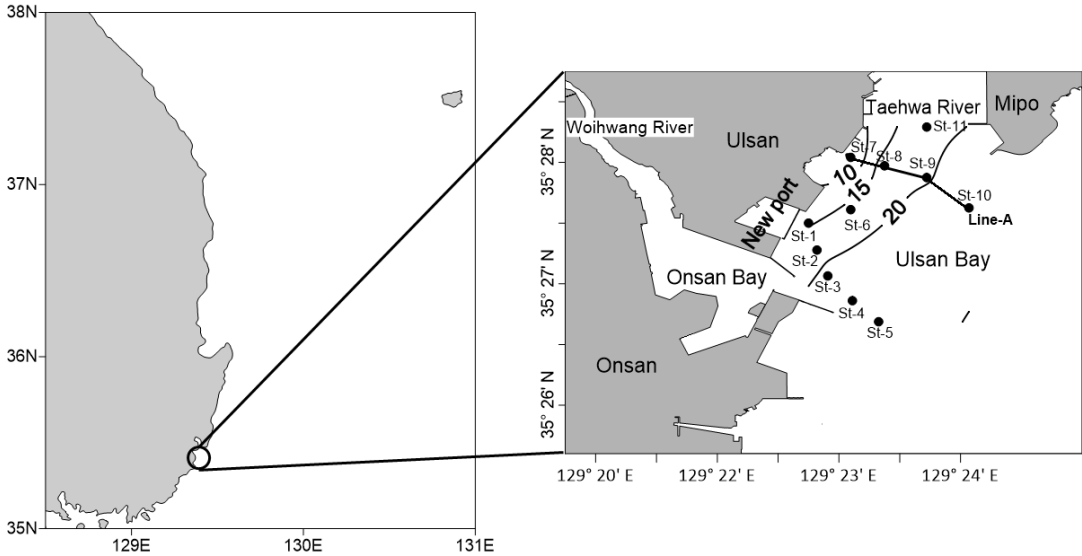


Fig. 1. Study site at Ulsan bay in the south eastern coast of Korea. Observations of water temperature and salinity are conducted at 11 stations. The contour lines represent the average water depth during the period of 4-year (2020~2023).

Table 1. Characteristics of water masses based on the distribution of temperature and salinity in the southern East Sea. EKWC-SW and EKWC-MW denote the surface and mid-layer waters of the East Korea Warm Current, respectively

Water mass	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Density (σ_t)
EKWC-SW	> 20	< 33.80	< 23.85
EKWC-MW	12-17	34.20-34.60	24.9-26.28

월별 합을 Fig. 2에 나타내었다. 기온은 동계에서 하계로 갈수록 증가하였고, 하계에서 추계로 갈수록 감소하는 계절변동이 뚜렷하였다. 바람 자료의 풍속은 1월과 9월에 4 m/s 이상으로 상대적인 강한 바람이 나타났고, 춘계와 하계인 6~8월과 추계인 10~12월에 약하였다. 강수량은 연도별 차이는 있지만 하계인 6~8월과 추계인 10월에 상대적으로 많았다. 하천수 유량은 강수량의 변동과 유사하게 6~8월과 10월에 크게 나타났다. 각 기상 인자 사이의 선형 상관계수를 보면, 기온과 강수량 및 하천수 유량이 각각 0.58, 기온과 풍속이 -0.39, 강수량과 풍속이 -0.23, 강수량과 하천수 유량이 0.83으로 나타났다. 여기서 강수량과 하천수 유량이 가장 상관이 높았고, 상대적으로 상관이 높은 기온과 강수량 및 유량은 기온이 하강하는 갈수기인 추계와 동계

에 적은 강수량에 의해 하천수 유량도 적었고, 기온이 상승하는 홍수기인 하계는 많은 강수량과 함께 하천수 유량이 많았다. 강수량과 바람의 관계는 전체적으로 바람이 적은 시기에 강수량이 많았다. 연도별로는 강수량이 2020년 7월에 약 703 mm로 가장 많았으나, 이때 풍속은 2.6 m/s로 약하였다. 특히, 태풍 등과 관련된 9월의 풍속은 강했지만, 강수량은 상대적으로 적었다.

3.2. 수온과 염분의 계절 및 경년 변동

연도별 계절에 따른 표층과 저층에서 수온과 염분의 값을 Table 2에 나타내었다. 그리고 표·저층에서 수온과 염분은 연도별 변동과 전 정점에서 4년(2020~2023) 동안 평균한 계절변동을 Fig. 3에 나타내었다.

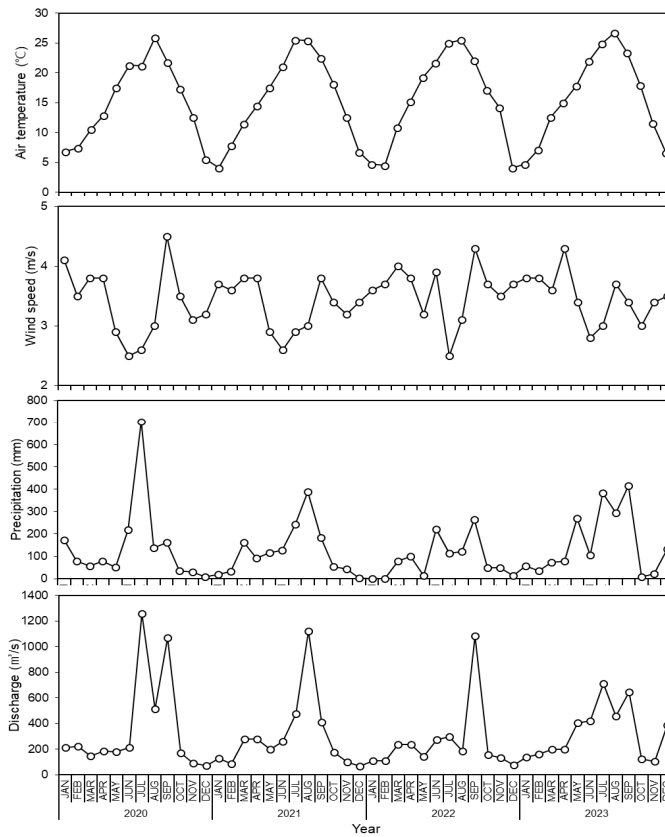


Fig. 2. Monthly variations in air temperature (upper), wind speed (upper-middle), and precipitation (lower-middle), discharge (lower) from 2020 to 2023.

4년(2020~2023) 평균 계절별 수온은 동계(12.5℃)와 추계(15.9℃)에 계절별 수온 차는 있지만 표·저층의 값이 같았고, 춘계와 하계로 갈수록 표·저층 간의 수온차가 컸다(Table 2와 Fig. 3). 춘계에서 하계는 수온이 저층보다 표층에서 높았고, 층별 수온의 차이는 각각 2℃와 3.5℃로 하계가 크게 나타났다. 특히, 하계는 타 계절에 비하여 표층에서 고수온과 저염분을 나타내어 Fig. 2에 제시된 바와 같이 하천의 담수 영향이 반영된 것 같다. 4계절 평균 연도별 수온은 표층이 저층보다 높았고, 최저와 최고 수온은 각각 2021년과 2023년에 나타났다. 다른 해에 비하여 표·저층의 수온이 2021년에 상대적으로 낮았던 것은 이 시기에 연구해역을 포함한 인근 해역에서 하계에 발생한 연안용승에 의한 냉수의 영향인 것으로 생각된다. 국립수산과학원은 매년 6~9월 사이에 해양자료속보를 통하여 냉수대 주의보와 경

보를 발령하고 있다. 이 시기에 연구해역 주변인 울기와 감포 해역은 매년 연안용승에 의한 냉수대의 발생과 소멸이 반복되고 있다(Lee et al., 2003; Kim et al., 2010; Min et al., 2018; Kim et al., 2019; Seo et al., 2025). 국립수산과학원에서 발표한 해양자료속보(제 6018호와 제6031호, 2021)에 의하면, 2021년 하계는 본 조사 시기(7월 16일)를 포함하여 냉수대 주의보가 13일(7.6~18) 동안 지속되었다. 이 시기의 수온을 NOAA 위성에서 7월 10일에서 20일까지 관측한 매일 수온 영상으로 분석한 결과(Fig. 4), 본 연구해역은 조사 당일 이전부터 계속하여 외해보다 낮은 수온을 보였다. 그리고 매일 관측한 영상을 10일 동안 평균한 수온 영상에서도 외해역에 비하여 약 5℃ 이상의 차이가 명확하게 나타났다. 이 냉수의 발생 원인은 주로 남풍 계열의 바람에 의한 에크만 수송으로 표층의 해수를 외해로

Table 2. Annual mean water temperature and salinity in surface and bottom layers by season, averaged across all stations

Year	Winter				Spring				Summer				Fall			
	Surface		Bottom		Surface		Bottom		Surface		Bottom		Surface		Bottom	
	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.	Temp.	Sal.
2020	13.3	33.55	13.5	33.79	17.9	33.58	15.2	34.06	22.2	31.54	19.3	32.57	15.5	33.34	15.3	33.64
2021	14.0	33.87	13.4	34.40	15.4	33.48	14.1	33.88	19.0	32.36	12.9	33.83	15.1	33.53	15.0	33.72
2022	11.5	33.94	11.5	34.04	14.6	33.83	14.1	34.07	22.6	32.07	18.6	33.04	18.7	33.48	18.6	33.68
2023	11.3	33.73	11.5	33.96	18.8	32.95	15.4	33.82	26.0	31.10	25.0	32.21	14.4	33.30	14.7	33.65
Mean	12.5	33.77	12.5	34.05	16.7	33.46	14.7	33.96	22.5	31.77	19.0	32.91	15.9	33.41	15.9	33.67

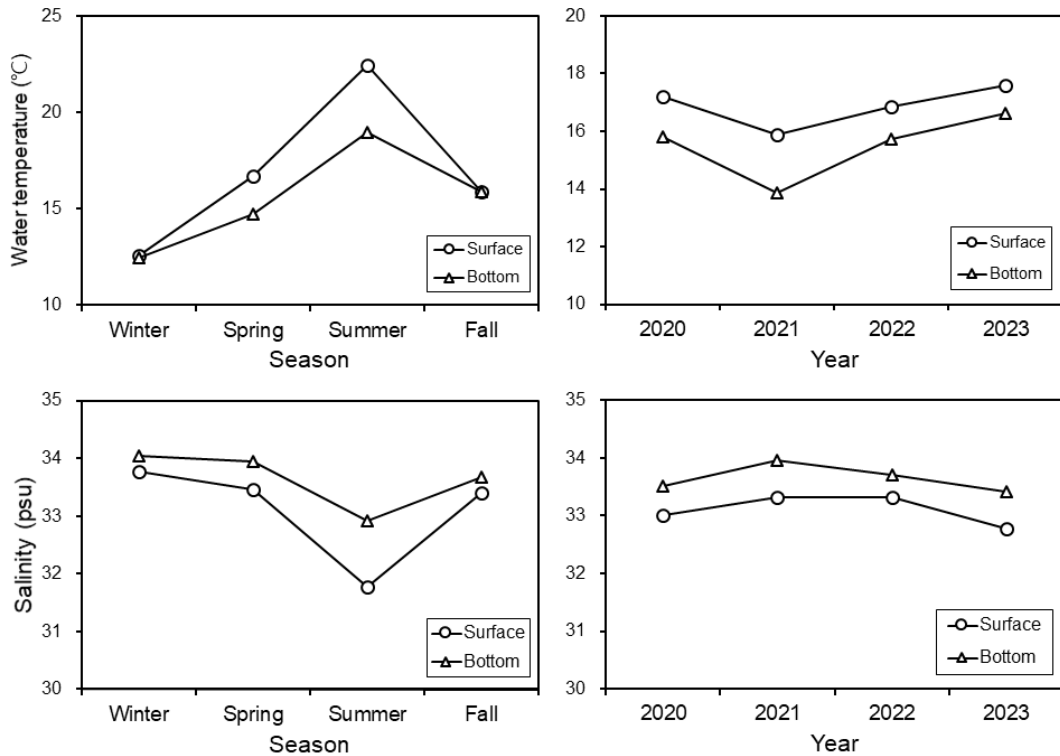


Fig. 3. Mean seasonal (left) and interannual (right) variations of temperature (upper) and salinity (lower) in the surface and bottom layers during 2020~2023.

이동시킴과 동시에 그 아래의 영양염이 풍부한 찬 저층수를 표층으로 끌어 올린다(Lee et al., 1998; Kim et al., 2010; Min et al., 2018). 따라서 2021년 하계 저수온은 연안용승에 의한 영향을 받은 것으로 판단된다.

4년(2020~2023) 평균 계절별 염분은 수온과 반대로 동계에서 하계로 갈수록 표·저층의 염분이 감소하였으

나, 하계에서 추계로 갈수록 다시 증가하였다(Table 2와 Fig. 3). 전 계절에 걸쳐서 표층의 염분은 저층보다 낮았고, 하계에 표층의 가장 저염분은 강수에 의한 하천수의 영향으로 생각된다(Fig. 2). 표·저층에서 염분의 계절변동 값은 하계에 표층에서 31.77 psu, 저층에서 32.91 psu로 다른 계절에 비하여 가장 낮았고, 그 외 계

절은 약 33.5 psu 이상이 나타났다. 4계절 평균 연도별 염분은 2023년이 타 연도에 비하여 상대적으로 저염분이었다. 여기서 2023년 저염분의 원인을 분석하기 위하여 연도별 하계(7~9월)의 기온, 바람 및 강수량의 변동을 분석하였다(Fig. 5). 연도별 기온은 약 23~25°C로 2023년에 가장 높았고, 바람은 3.2~3.4 m/s로 매년 비슷하였다. 강수량은 2020년과 2023년에 상대적으로 많았고, 최소와 최대는 각각 2022년(115 mm)과 2023년(295.5 mm)에 나타났다. 여기서 2023년의 저염분은 많은 강수량에 의한 하천수의 담수 영향이 반영된 것 같다. 그리고 2021년의 저층은 다른 해에 비하여 염분이 가장 높았는데 이것은 외해역의 고염분이 영향을 미친 것으로 생각된다.

계절변동에서 나타난 수온과 염분은 동계에 기온 하강과 하천수 유입 감소로 저온·고염을 보였고, 2021년을 제외한 하계에 기온 상승과 하천수 유입에 의한 고온·저염으로 일반적인 연안 및 만 내 해역의 전형적인 계절적 특성이 나타났다(Choo and Yoon, 2015; Lee and Baek, 2017; Lee et al., 2024). 특히, 연 변동은 다른 해에 비해 2021년의 표·저층에서 수온이 가장 낮았고, 이때의 염분은 다른 해와 다르게 저층에서 33.8 psu 이상의 고염분이 나타났다.

2021년의 하계에 나타난 저수온과 고염분 발생을 조사하기 위하여 육지 인근 Sta. 7과 외해의 Sta. 10에서 4년(2020~2023) 동안 계절에 따른 수온과 염분의 시계열 변화를 살펴보았다(Fig. 6). 시계열 변화에서 동계는 2개 정점 모두 2020~2021년에서 2022~2023년으로 갈수록 수온이 낮았다. 염분은 표층보다 저층이 상대적으로 높았고, 표층은 Sta. 7보다 Sta. 10에서 약간 높았다. 춘계는 표층에서 2020년과 2023년이 2021~2022년보다 수온이 약간 높았고, 염분은 동계와 같이 대체로 Sta. 10과 저층에서 약간 높았다. 하계는 2021년을 제외하고 2020년에서 2023년으로 갈수록 2개 정점 모두 표·저층의 수온이 증가하였다. 염분은 표층이 저층보다 저염분이었고, 표·저층 모두 Sta. 7이 Sta. 10보다 그 농도가 낮았다. 그리고 2020년과 2023년은 표·저층에서 2022년의 강수량이 적었던 해보다 저염분이 뚜렷하게 나타났다. 이것은 Fig. 5에 제시한 하계 강수량의 연 변동뿐만 아니라 외부 요인에 의한 영향도 포함되어 있을 것으로 생각된다. 또한, 2021년에 대한 수온과 염분을 보면, 수온은 2개 정점 모두 다른 해에 비하여 표층에서 3~5°C, 저층에서 5~10°C 이상의 수온 차가 나타났다.

염분은 표층에서 다른 해에 비하여 높았으나, 저층보다 명확하지는 않았다. 저층은 외해역에서 영향을 받은 33.8 psu 이상의 고염분이 뚜렷하게 나타났다. Yoon and Jeong(1999)에 의하면, 울산 주변 해역은 하계에 연안용승과 하천 등에 의한 담수 유입 등의 영향이 있으며, 하계에 나타나는 저수온과 고염분은 연안용승과 관련 있음을 시사하였다. 따라서 본 연구 해역은 강에 의한 담수의 영향, 외해의 동한난류 영향, 바람이나 지형 등의 영향에 의한 연안용승과 같은 현상 등이 복합적으로 작용하고 있는 것을 알 수 있다(Lee et al., 2003; Jeong et al., 2013; Kim et al., 2010; Lee and Baek, 2017; Kim et al., 2019).

2020년과 2023년에 나타난 저염분의 원인을 강수에 의한 하천수의 영향 외에 외부 요인을 조사하기 위하여 연도별 계절에 따른 수온(T)-염분(S) diagram을 분석하였다. 수괴 분석은 등밀도선 위의 TS diagram에 동한난류 표층수(--, 수온 20°C 이상, 염분 33.8 psu 이하), 동한난류 중층수(▨, 수온 12~17°C, 염분 34.2~34.6 psu)로 구분하여 분석하였다(Fig. 7).

연도별 TS diagram을 등밀도 선상에서 보면, 2020년은 동계와 춘·추계 일부가 동한난류 중층수 수괴였고, 춘·추계 및 하계 일부는 동한난류 표층수와 중층수의 중간 수괴로 나타났다. 그 외 하계는 대부분이 동한난류 표층수의 수괴로 나타났다. 2021년 동계와 춘·추계의 중·저층은 동한난류 중층수, 그 외의 춘·추계는 동한난류 표층수와 중층수의 중간 수괴로 나타났다. 하계는 표층 일부에서 동한난류 표층수의 수괴가 나타났으나 대부분이 동한난류 표층수와 중층수의 중간 형태였다. 그러나 하계의 저층은 수온과 염분이 각각 11.8~13.4°C와 33.8~34.1 psu로 동한난류 중층수의 등밀도 선내에 분포하였다. 이 연도에는 동한난류 표층수의 특징이 거의 나타나지 않았다. 따라서 하계 저층은 Fig. 4와 Fig. 6에 제시한 바와 같이 연안용승에 의한 찬 저층수의 영향으로 저온·고염의 동한난류 중층수의 수괴 특징이 나타난 것으로 판단된다. 2022년은 동계와 춘계가 모두 동한난류 중층수, 춘계와 하계 일부는 동한난류 표층수와 중층수의 중간 수괴를 보였다. 그리고 하계 대부분은 동한난류 표층수의 수괴 특징이 나타났다. 2023년은 동계와 추계 대부분과 춘계 일부가 동한난류 중층수, 그 외 추계 일부와 춘계 대부분은 동한난류 표층수와 중층수의 중간 수괴를 보였다. 하계는 표층과 저층에서 모두 동한난류 표층수의 특징이 나타났다.

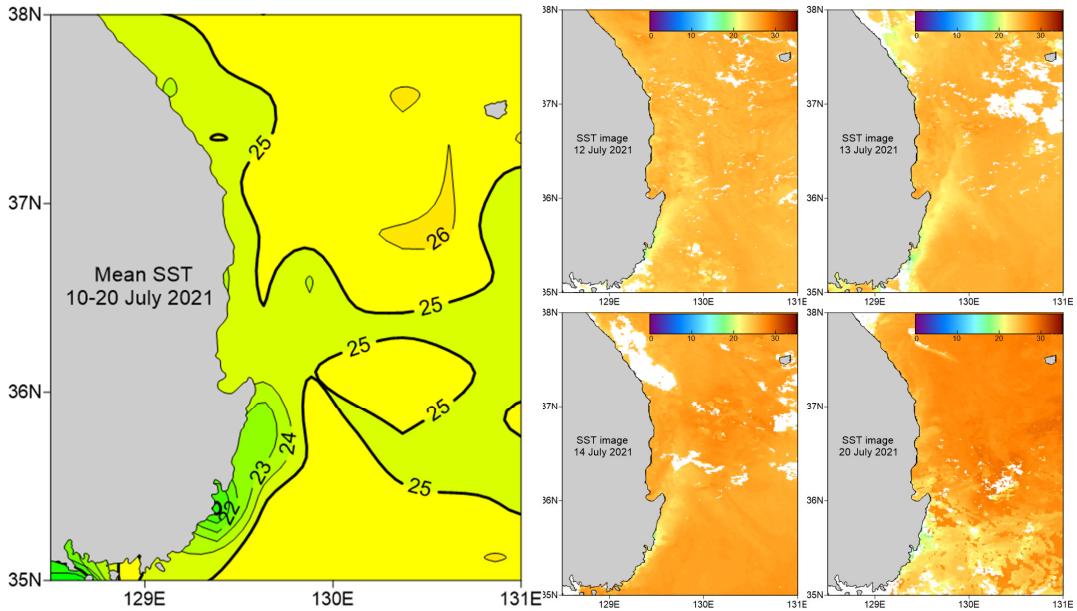


Fig. 4. Mean sea surface temperature (SST) image derived from NOAA satellite data (left) for 10~20 July 2021, and daily SST images (right) on 12~14 and 20 July 2021, provided by NIFS.

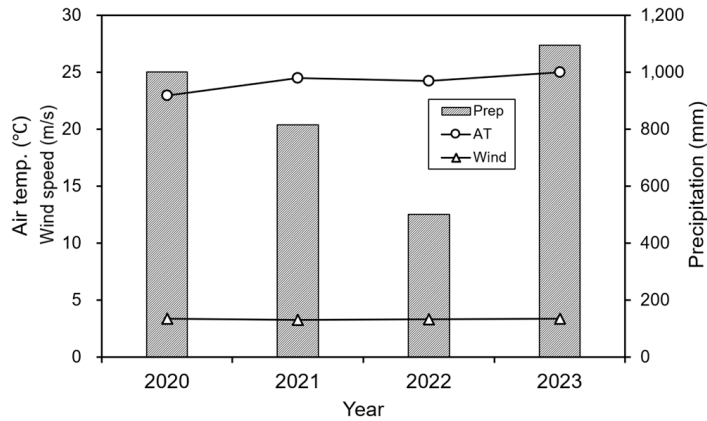


Fig. 5. Interannual variations in monthly mean air temperature, precipitation, and wind speed during the summer observation periods from 2020 to 2023.

결론적으로 TS diagram 분석 결과, 2020년과 2023년 하계의 표층에 나타난 고온·저염 현상은 태화강 주변 하천수 유입의 영향을 받아 다른 해에 비하여 뚜렷하였다. 그리고 2021년 하계는 동한난류 표층수의 영향을 거의 받지 않았고, 동한난류 중층수 기원의 저온·고염(수온 12.9°C, 염분 33.8 psu) 수괴가 나타났다. 이것은 Fig. 4와 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 주변 해

역에서 발생한 연안용승에 의한 냉수가 장벽 역할을 하여 동한난류 표층수가 나타나지 않은 것 같다.

3.3. 수온과 염분의 계절별 수평분포

표·저층에서 4년(2020~2023) 동안 계절별로 연 평균 수온의 수평적인 분포를 Fig. 8에 나타내었다.

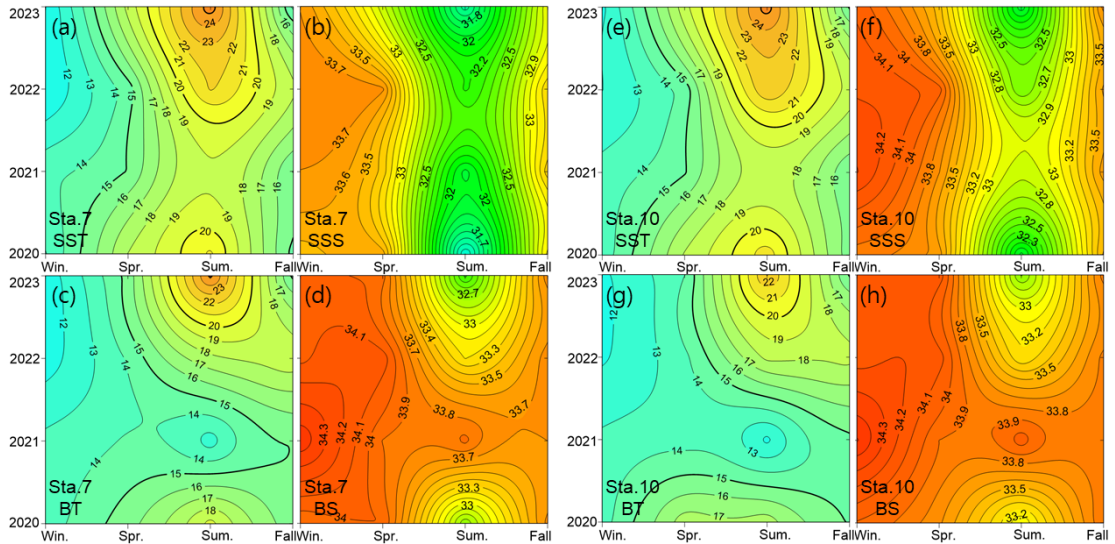


Fig. 6. Time series of surface (a, b, e, f) and bottom (c, d, g, h) temperature (°C) and salinity (psu) at Stations 7 (a-d, left) and 10 (e-h, right) from 2020 to 2023.

동계의 수온은 12~13.5°C로 울산만의 북서쪽 육지 인근 해역에서 상대적으로 표층 수온이 약간 높았으나, 그 외 해역은 동계에 해면 냉각으로 인한 혼합층이 발달로 표·저층의 수온이 거의 균일한 분포를 보였다. 춘계는 표·저층에서 각각 16~17.5°C와 14~16°C로 층별 성층이 형성되었다. 층별 수온은 동계와 유사하게 육지와 인접해 있는 해역에서 약간 높았고, 외해로 갈수록 낮았다. 여기서 춘계는 기온 상승에 따른 해면 가열로 인한 일사량의 증가로 수온이 상승하여 표층이 저층보다 약 1.5~2°C 높았다. 하계는 표·저층에서 각각 21.5~23.5°C와 17.5~21.5°C이었고, 표층이 저층보다 약 2~4°C 수온이 높았다. 이 시기는 강한 일사량의 증가로 인한 표·저층 간의 성층 발달로 수층별 수온 차가 춘계보다 뚜렷하게 나타났다. 그리고 저층은 육지 인접 해역에서 수온 경사가 춘계보다 명확하였다. 추계는 동계보다 수온은 높았지만, 공간적인 분포는 유사하게 전 해역의 표·저층에서 16°C 전후로 균일한 분포를 보였다. 전 계절에 걸쳐서 본 연구 해역의 북서쪽에 있는 울산신항 북방파제 육지 인근이 외해보다 상대적으로 수온이 높은 것은 이 부근에 있는 한국동서발전의 울산발전본부 주변(울산 용잠로)에서 배출되는 온배수의 영향과 관계있을 것으로 생각된다.

표·저층에서 계절별로 연 평균한 염분의 수평적인

분포를 Fig. 9에 나타내었다. 동계는 표·저층에서 각각 33.5~34.1 psu와 33.8~34.2 psu, 춘계는 표·저층에서 33.2~33.8 psu와 33.5~34.1 psu, 하계에 표·저층에서 31.4~32.5 psu와 32.0~33.3 psu, 추계에 표·저층에서 33.1~33.8 psu와 33.3~34.0 psu를 보였다. 표·저층 염분은 동계에 육지 인근에서 외해쪽으로 갈수록 농도가 나타났다. 춘·추계는 동계보다 약간 저농도를 보였으나 표층의 공간적인 분포가 비슷하였다. 저층은 춘계가 추계보다 농도가 높았고, 동계와 추계에 나타나지 않은 육지 인근에서 약한 염분전선이 형성되었다. 한편, 하계는 표·저층 모두 타 계절에 비하여 가장 낮은 염분 농도와 함께 강한 염분전선의 표층과 저층은 각각 육지에서 약간 떨어지거나 인접한 곳에서부터 형성되었다. 특히, 표층이 외해나 저층보다 낮은 농도는 앞서 기술한 바와 같이 하천수에 의한 담수 유입에 의한 영향이 포함된 것으로 생각된다.

3.4. 수온과 염분의 계절별 연직분포

육지 인근의 정점 7에서 태화강 입구 외해역에 위치한 정점 10까지 4개 정점(Stas. 7, 8, 9, 10)을 따라, 2020~2023년 동안 평균한 계절별 수온과 염분의 연직 단면도(Line A)를 Fig. 10에 나타내었다.

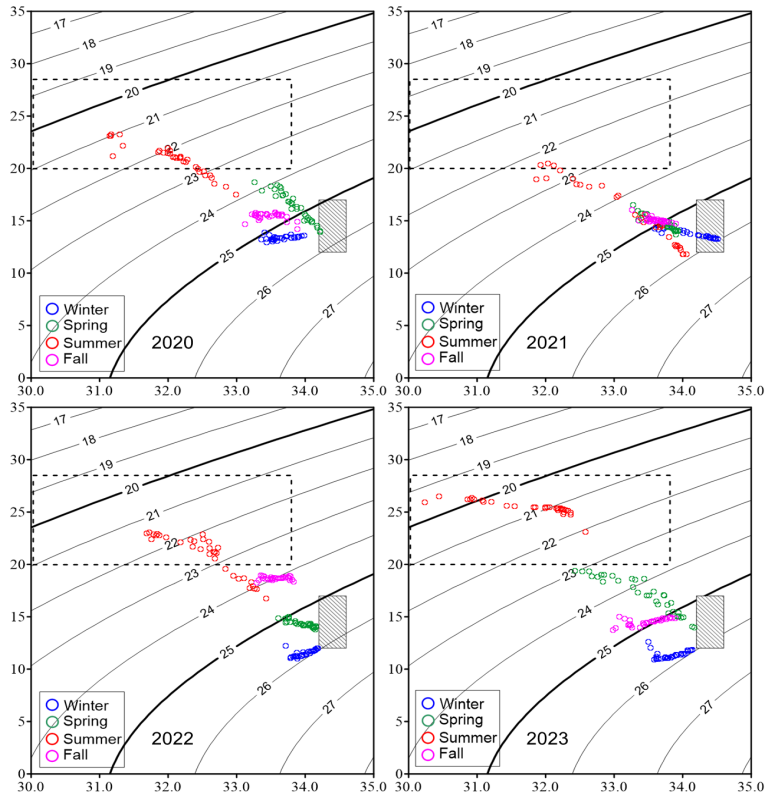


Fig. 7. Interannual seasonal variations of temperature and salinity on the TS diagram with isopycnals, characterized by the East Korea Warm Current surface water (EKWC-SW, --), and middle water (EKWC-MW, ▨).

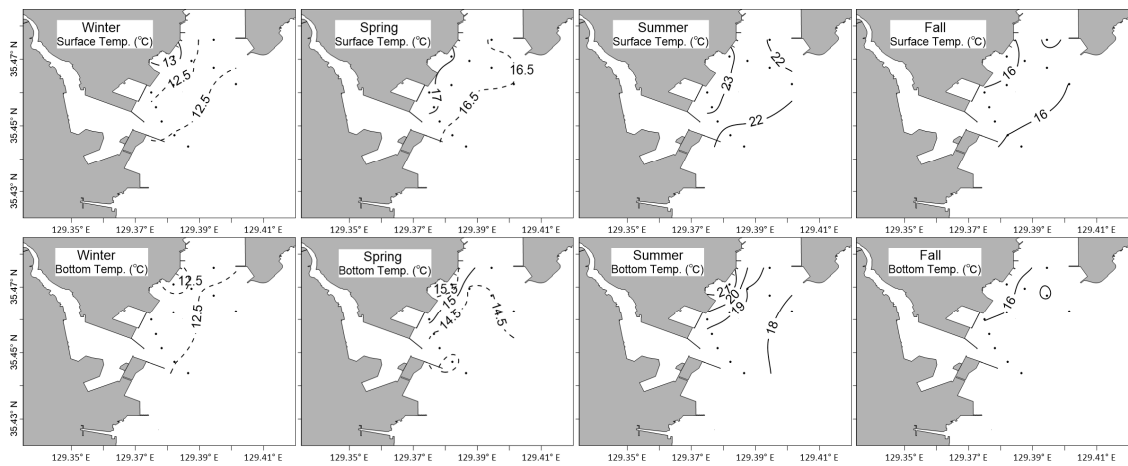


Fig. 8. Horizontal distribution of water temperature (°C) in the surface (upper) and bottom (lower) layers for the mean seasonal from 2020 to 2023.

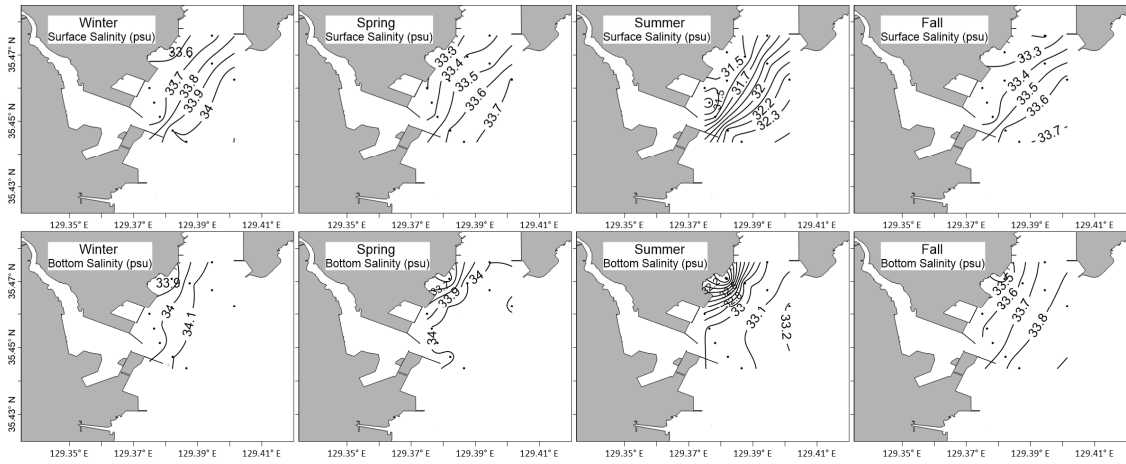


Fig. 9. Horizontal distribution of salinity (psu) in the surface (upper) and bottom (lower) layers for the mean seasonal from 2020 to 2023.

동계 수온의 연직단면은 육지 인근 Sta. 7의 표층에서 수심 4 m 부근까지 13°C 이상의 수온이 나타났고, 그 외의 Sta. 8과 9에서 12.5°C 이하, 정점 10에서 12.5~13°C로 수층별로 수온 차가 크지 않았다. 염분은 Sta. 7에서 33.5 psu 이하의 저염분이 나타났고, 수온과 달리 외해의 Sta. 10과 수심이 깊어질수록 고염분을 보였다. 춘계는 표층 수온의 증가와 함께 Sta. 7과 Sta. 8의 수심 5 m 이천에서 17°C 이상이었고, Sta. 10쪽의 외해와 수심이 깊어질수록 수온이 약간 감소하였다. 염분은 Stas. 7-9까지 표층에서 33.4 psu 이하의 저염분이 그 이심의 33.7 psu 사이에서 약한 염분약층과 함께 수심이 깊어질수록 고염분을 나타냈다. 하계는 타 계절 및 정점보다 Sta. 7에서 24°C 이상으로 수온이 가장 높았고, 표층에서 저층까지 춘계보다 성층이 뚜렷하게 나타났다. 반면에 염분은 강한 염분약층의 형성으로 농도를 0.2 간격으로 살펴본 결과, Stas. 7-9의 표층에서 수심 10 m 부근까지 강한 염분약층이 나타났다. 그리고 이 염분약층 아래는 표층보다는 고염분이었으나, 타 계절에 비하여 저염분을 보였다. 추계는 동계보다 수온은 높았지만, 연직분포는 16°C 전후로 동계와 같이 수층별로 거의 수온 차가 없었다. 이 시기의 염분은 동계와 춘계보다는 낮았지만, 연직단면은 동계와 유사한 형태를 보였다. 결과적으로 수온의 상승과 하강은 계절적인 특징이 뚜렷하였고, 염분은 계절적인 특징과 함께 하천수의 영향이 표층에 크게 영향을 미치고 있었다. 특히, 하계의 표층 염분은 Fig. 5-6에서 제시한 바와 같이 하천

수에 의한 담수에 의한 영향으로 강한 염분약층이 형성되었다. 그리고 전 계절에 걸쳐서 수온이 Sta. 7에서 상대적으로 약간 높았던 것은 이 부근에서 배출되는 온배수의 영향과 관계있는 것으로 생각된다.

또한, 하계에 특징적으로 나타난 하천수 유입에 따른 담수의 영향과 2021년의 저온·고염 현상을 Fig. 10에서 창조 시의 연직단면으로 살펴보았다. 하계는 창조와 낙조 시 수온 및 염분의 연직단면 유형이 유사하여 본 연구에서는 창조 시만 나타내었다.

연도별 수온과 염분의 특징을 보면, 수온은 2021년을 제외하고 표층의 Stas. 7-8에서 23°C 이상이었고, 수층별 성층은 2021년에 잘 발달하였다. 2023년은 Stas. 7-8의 수심 5 m 이하와 Stas 9-10 전 층에서 거의 25~26°C 사이로 균일한 수온을 보였다. 염분은 31.4 psu 이하의 표층의 저염분이 2022년을 제외하고 2023년은 전 정점에서, 2020년과 2021년은 각각 Stas 7-8과 Stas 8-9에 국한되어 나타났다. 특히, 2021년은 7 m 이하의 수심에서 16°C 이하, 33.4 psu 이상의 고염분으로 Fig. 7에 제시된 바와 같이 동한난류 중층수가 나타났다. 여기서 염분은 표층의 담수 영향에 의한 저염분과 저층의 고염분이 유입하는 형태로 만나면서 5 m 전후에서 강한 염분약층이 형성되었다. 한편, 수온은 다른 해에 비해 수심 10 m 이하에서 15°C 이하의 저수온이 표층 부근 19°C 이상의 수온과 만나면서 다른 해에 비해 상대적으로 강한 성층을 형성하였다. 본 연구 결과는 울산 연안해역에서 해양생물의 변화가 동계와

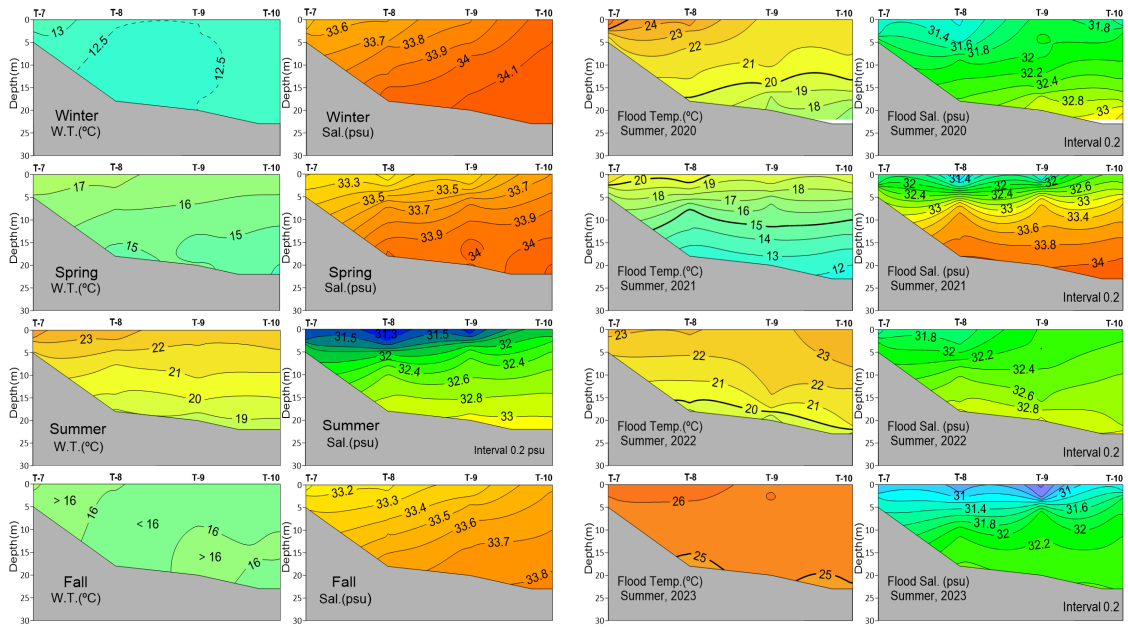


Fig. 10. Vertical sections of temperature and salinity showing the four-year seasonal mean (left) and summer flood-tide interannual variations (right) from 2020 to 2023.

층계보다 하계에 다른 변동을 보이는 원인으로 제시한 하천의 담수 유입과 해수 확산 및 저층 해수의 용승에 영향을 받는 것과 잘 일치하였다(Lee et al., 2016; Yoon and Jeong, 2019).

4. 결론

본 연구에서는 울산신항 주변 해역의 11개 정점에 대해 4년(2020~2023) 동안 연 4회에 걸쳐 수온과 염분의 계절변동 특성을 분석하였다. 먼저, 기상 인자와 하천수 유량과의 상관계수는 강수량과 하천수 유량이 0.83으로 가장 높았고, 이는 하천수의 담수 유입이 연구해역의 염분 농도에 영향을 미치고 있음이 시사되었다. 그리고 수온과 염분의 계절변동은 갈수기인 동계에 기온 하강과 하천수 유입 감소로 저온·고염이었고, 홍수기인 하계에 기온의 상승과 하천수 유입에 의한 고온·저염으로 전형적인 하구역 주변 해역의 특성이 나타났다. 특히, 2021년 하계는 다른 해에 비해 표·저층의 수온이 가장 낮았고, 염분은 저층에서 33.4 psu 이상의 외해수 기원의 고염분이 나타났다. 이 저층의 수괴는 위성영상에서 나타난 바와 같이 본 연구해역 주변에서 발

생한 연안용승에 의한 저층 냉수의 영향을 받아서 이것이 장벽 역할을 하여 동한난류 표층수가 영향을 미치지 못하였다. 염분은 표층 부근에서 하천의 담수 영향에 의한 저염분과 저층에서 유입되는 고염분이 만나면서 강한 염분약층이 형성되었다.

울산신항 주변 해역의 수온과 염분의 계절변동은 특이 해황을 제외하고 하구역 주변 해역의 전형적인 특성이 나타났다. 이 해역은 홍수기인 하계에 강수량 증가에 의한 담수 영향이 지배적으로 나타나 표층 부근에서 저염분이 강하게 나타났다. 그러나 본 연구 결과처럼 동일 계절점에도 해양환경 변화의 차이는 장마나 태풍, 연안 용승 등과 같은 기상과 해양의 변동 발생과 관계있다. 이러한 현상과 함께 연구해역 주변에 있는 산업단지에서 유입되는 오염 물질 등을 포함한 담수의 유입은 해양 환경뿐만 아니라 해양생물에게도 직접적인 영향을 미칠 것이다. 향후, 본 연구에서 조사된 울산신항 주변 해역의 수온과 염분에 따른 계절변동과 함께 장기적인 해양환경 자료의 축적이 이루어지면 이 해역에 서식하는 해양생물 및 오염 물질의 기원을 추적하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부의 재원으로 선박해양플랜트연구소의 기본사업인 “선박해양 디지털 전환 지원을 위한 디지털서비스 플랫폼 개발(PES5580)”의 세부과제인 “해양에너지 적지 분석을 위한 가상실계 기술 개발(PES5583)”에 의해 수행되었습니다. 본 연구를 위해 해양환경 조사에 적극적으로 협조해 준 (주)국토해양환경기술단 해양물리부 직원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Baek, S. H., Choi, M. K., Lee, I. S., Lee, J. H., Hwang, D. W., Kim, S. Y., 2014, Temporal and spatial distribution of butyltin compounds in marine sediments from Ulsan Bay, Korea, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19, 1-7.
- Choi, J. W., Seo, J. Y., Lee, C. H., Ryu, T. K., Sung, C. G., Han, G. M., Hyun, S. M., 2005, Spatial distribution patterns of macrobenthic communities during winter and summer in the Masan Bay Special Management Area, southern coast of Korea, *Ocean and Polar Res.*, 27, 381-395.
- Choi, M., Choi, H. G., Kim, S. S., Moon, H. B., 2005, Evaluation of sewage-derived organic matter using fecal sterols in the sediments from Ulsan Bay and adjacent areas, *J. Environ. Sci. Int.*, 14, 23-32.
- Choo, H. S., Yoon, E. C., 2015, Temporal and spatial variations of sea surface temperature in Jinju Bay in the south coast of Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 21, 315-326.
- Hwang, D. W., Lee, I. S., Choi, M., Choi, H. G., 2014, Distribution and pollution assessment of organic matter and trace metals in surface sediment around Ulsan harbor, *J. Korean Soc. Environ. Analysis*, 17, 146-160.
- Jeong, H. D., Kim, S. W., Kwon, K. Y., Lim, J. W., Kwoun, C. H., 2013, Oceanographic features around aquaculture areas of the eastern coast of Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 19, 334-344.
- Kim, D. M., 2011, Scenario analysis of dioxins behaviors in Ulsan Bay of Korea using EMT-3D model, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 17, 89-96.
- Kim, J. Y., Han, I. S., Ahn, J. S., Park, M. H., 2019, Long-term Trend Analysis of Cold Waters along the Eastern Coast of South Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 25, 581-588.
- Kim, S. W., Go, W. J., Kim, S. S., Jeong, H. D., Yamada, K., 2010, Characteristics of ocean environment before and after coastal upwelling in the southeastern part of Korean peninsula using an in-situ and multi-satellite data, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 16, 345-352.
- Lee, D. K., Kwon, J. I., Hahn, S. B., 1998, The wind effect on the cold water formation near Gampo-Ulgi coast, *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 359-371.
- Lee, J. C., Kim, D. H., Kim, J. C., 2003, Observations of coastal upwelling at Ulsan in summer 1997, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 18, 149-160.
- Lee, M., Baek, S. H., 2017, Distributional characteristics of *Escherichia coli* based on seasonal rainfall variations and extension of freshwater pollutant sources by salinity gradients at Ulsan Bay of Korea facing East Sea, *J. Korea Aca.-Ind. Coop. Soc.*, 18, 632-640.
- Lee, M. J., Kim, D., Kim, Y. O., Sohn, M., Moon, C. H., Baek, S. H., 2016, Seasonal phytoplankton growth and distribution pattern by environmental factor changes in inner and outer bay of Ulsan, Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 21, 24-35.
- Lee, N. D., You, H. J., Kwoun, C. H., Kim, S. W., 2024, Seasonal variations of water temperature and salinity in the vicinity of the Nakdong river estuary, *J. Environ. Sci. Int.*, 33, 819-838.
- Min, S. H., Park, M. O., Kim, S. W., Han, I. S., Kim, W. K., Park, Y. J., 2018, Correlation between SST and CDOM during summer coastal upwelling along the Southeast coast of Korea, *J. Coastal Res.*, 85, 1471-1475.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2000, Designation of environmental conservation areas and special management areas, MOF Notice No. 2000-3.
- Oh, H., Kim, G., Kim, Y. S., Park, J., Jang, C. J., Min, Y., Jun, H., Jeong, J., 2023, Classification and causes of East Asian marine heatwaves during boreal summer, *J. Climate*, 36, 1435-1449.
- Park, S. E., Hong, S. J., Lee, W. C., Jung, R. H., Cho, Y. S., Kim, H. C., Kim, D. M., 2010, Summer water quality management by ecological modelling in Ulsan Bay, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 16, 1-9.
- Seo, H. S., Ryu, T. G., Kim, D. S., 2025, Occurrence of cold-water masses along the Ulgi coast due to a change in the path of the East Korean Warm Current, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 31, 11-21.

- Shin, B. S., Kim, K. H., Pyun, C. K., 2006, The prediction of water quality in Ulsan area using material cycle model, *J. Ocean Eng. and tech.*, 20, 55-62.
- Shin, H. C., Yoon, S. M., Koh, C. H., 2001, Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan Bay and Onsan Bay, eastern coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 6, 180-189.
- Sun, C. I., Kim, D. J., Lee, Y. W., Kim, S. S., 2015, Pollution and ecological risk assessment of trace metals in surface sediments of the Ulsan-Onsan coast, *J. Korean Soc. Mar. Environ. and Energy*, 18, 245-253.
- Yoon, S. P., Jung, R. H., Kim, Y. J., Kim, S. K., Choi, M. K., Lee, W. C., Oh, H. T., Hong, S. J., 2009, Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 14, 102-117.
- Yoon, Y. H., Jeong, D. S., 2019, Spatio-temporal distributions of phytoplankton community and It's variation characteristics in the Ulsan coastal waters, southern East Sea of Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 22, 159-171.
- You, Y. S., Lee, J. H., Par, J. C., Kim, D. M., Cho, H. S., 2012, Distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine waters of Ulsan coast, Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safe.*, 18, 398-405.
-
- Division Director. Ju-Hyun Kang
Environmental Monitoring Research Institute, Land & Ocean Environmental ENG
kjjh1013@naver.com
 - Senior Engineer. Chang Hyuck Lim
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)
ckdgur1092@kriso.re.kr
 - Senior Engineer. Su-gil Cho
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)
sgcho@kriso.re.kr
 - CEO. Chul-Hui Kwoun
Land & Ocean Environmental ENG
kwounch@hanmail.net
 - Director of Research Institute. Sang-Woo Kim
Environmental Monitoring Research Institute, Land & Ocean Environmental ENG
ksangw@landocean.co.kr