



Original Article

2015년 한국 연안 수온과 염분의 시공간적 분포 특성

박미옥^{1,2} · 이용우^{1,†} · 안정보¹ · 김성수¹ · 이석모²

¹해양환경관리공단 해양수질팀

²부경대학교 생태공학과

Spatiotemporal Distribution Characteristics of Temperature and Salinity in the Coastal Area of Korea in 2015

Mi-Ok Park^{1,2}, Yong-Woo Lee^{1,†}, Jung-Bo Ahn¹, Seong-Soo Kim¹, and Suk-Mo Lee²

¹Marine Environment Monitoring Team, Korea Marine Environment Management Corporation, Busan, 49111, Korea

²College of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

한국 연안의 347개 정점에서 2015년에 계절별로 측정된 수온 및 염분 자료를 이용하여 시공간적 분포 양상을 살펴보고 있다. 수온의 공간적 분포 양상은 겨울(2월)에 동해안에 비해 서해안에서 상대적으로 낮은 경향이 뚜렷하게 나타났다. 겨울에 인천연안의 평균 수온은 2.87 °C, 제주도에 위치한 표선연안이 평균 15.23 °C로 연안별로 5배 이상 차이를 보였다. 2015년 여름에 주변해역보다 수온이 낮은 냉수대는 기장-울산연안(약 20 °C 이하)에서 형성되었다. 염분의 공간적 분포는 연중 동해안에 비해 담수의 유입이 많고 조석의 강한 서해안에서 상대적으로 낮았다. 동해안의 최북단에 위치한 거진연안의 연평균 염분은 약 33.3, 서해중부연안에 위치한 인천연안의 연평균 염분이 약 31.1였다. 수온의 수직분포 양상은 표층수에서 8월에 20 °C 이상의 높은 수온이 나타났으며, 동해안의 경우 수심 약 10 m 내외에서 형성하였다. 동해안에서는 난류수와 한류수가 만나는 전선대가 형성되었으며, 5월에 따뜻한 수괴와 차가운 수괴가 혼합되는 경계 수층에서 염분이 증가하는 양상을 보였다. 수심이 상대적으로 낮은 남해안과 서해안에서는 동해안에 비해 연중 수직혼합이 활발하게 일어나는 것으로 나타났다.

Abstract – Seawater temperature and salinity were measured to investigate spatial and temporal distribution at 347 stations off coasts nationwide in each season of 2015. The spatial distribution of surface seawater temperatures showed a distinct trend, with relatively low temperatures off the western coasts compared to the eastern coasts of Korea in February. The average temperature off the coasts of Incheon during the winter was 2.87 °C, while the average temperature off the coasts of Jeju Island was 15.23 °C, showing more than a 5-fold difference. In the summer of 2015, cold water mass, which are waters with lower temperatures than the surrounding waters, formed off the Gijang-Ulsan coasts (at approximately 20 °C and below). The salinity was relatively lower off the western coasts, which have greater discharge of fresh water and high tide than the eastern coasts, throughout the year. The coasts of Geojin, located at the far north of the eastern coast, had an annual average salinity of approximately 33.3, while the coasts of Incheon, located in the western coast, had an annual average of approximately 31.1. A vertical distribution trend in seawater temperature was observed in the surface waters, with a high temperature of over 20 °C in August. That was observed within approximately 10 m depths in the eastern coast. Off the eastern coast, a frontal zone forms, in which warm and cold currents meet, and increasing salinity was observed in the boundary water layer during May where the warm and cold water masses mixed. Off the southern and western coasts, vertical mixing occurred more actively throughout the year compared to the eastern coast.

Keywords: Temperature(수온), Salinity(염분), Coastal area of Korea(한국 연안), ODV program(ODV 프로그램)

†Corresponding author: wblueseas@koem.or.kr

1. 서 론

해양에서 수온과 염분을 포함한 물리적 인자들은 수괴의 안정성 및 해수의 순환과 연관되어 화학물질의 공간적 분포에 영향을 줄 뿐만 아니라 해양생물의 성장, 이동 등에 중요한 역할을 하고 있어 해양에서 일어나고 있는 다양한 현상들을 이해하기 위해서 기본적으로 조사가 이루어지고 있다(Beşiktepe *et al.*[2003]; Kim *et al.*[2007]; Bashevkin and Pechenik[2015]).

우리나라는 삼면이 바다로 이루어져 있으며, 동해안, 남해안, 서해안은 서로 다른 해양학적 특성을 보이고 있다. 동해안은 대한해협으로부터 유입되는 대마난류와 북쪽으로는 우리나라 연안을 따라 남하하는 북한난류의 영향을 받고 있는 해역으로 두 해류가 만나 북위 약 37°N 부근에서 전선대가 형성된다(Chang *et al.*[2002], [2004]; Choi *et al.*[2009]). 또한 동해안에서는 매년 여름에 남풍계열의 바람이 우세한 시기에 연안 용승으로 인해 냉수대가 발생한다(Lee[1983]; Lee and Na[1985]). 남해안은 쿠로시오의 지류인 대마난류의 직접적인 영향을 받고 있으며, 특히 여름에는 중국 대륙에 위치한 양자강 등으로부터 유입되는 담수의 영향을 받고 있다(Kim *et al.*[1998]; Lee[1999]). 또한 리아스식 해안으로 많은 섬들이 존재하고 있어 양식활동이 활발하게 이루어지고 있다. 서해안은 반폐쇄적 형태의 해역으로 북쪽으로는 발해만과 남쪽으로는 동중국해와 연결되어 있으며, 대마난류의 지류가 우리나라 서해안을 따라서 북상하는 흐름이 관측되고 있다(Ichikawa and Beardsley[2002]).

한국 연안의 수온과 염분의 시공간적 분포는 북부와 남부해역 뿐만 아니라 동해안과 서해안에서도 상당한 차이를 보인다. Kang and Jin[1984]은 겨울에 서해안의 표층 평균 수온은 유사한 위도상에 있는 동해안의 표층 수온보다 낮고, 수온의 연교차 또한 서해안에서 훨씬 크다고 보고하였다. 겨울에 서해안의 기온 역시 동해안의 기온보다 낮고 다른 계절에 비해 기온 차이가 큰 것으로 알려져 있다(Lee[2003]). Min and Kim[2006]은 한국 연안 표층 수온의 경년 변동과 장기변화를 살펴본 결과, 동해안에서 수온의 선형 증가 추세가 크게 나타나고, 한국 남서 해역에서 상대적으로 작은 것으로 보고하였다. 그러나 조사 자료수의 부족으로 한국 연안 해역의 전반적인 표층 수온 분포 및 변화 양상을 파악하기에는 한계가 있었다. Jeong *et al.*[2003]은 국립수산물과학원에서 장기 관측한 정선관측자료와 연안정지관측자료를 이용하여 연근해의 수층별 수온과 염분의 장기변화 양상을 살펴보았다.

최근 외양역에서 위성자료와 현장조사를 통해서 얻은 수온과 염분의 분포 양상에 대한 많은 자료들이 보고되고 있으나(Kim *et al.*[1999]; Park *et al.*[2007]; Jung[2008]), 현장조사를 통한 조사는 주로 국지적으로 연구가 진행되고 있으며, 비슷한 시기에 동해안, 남해안, 서해안에서 수온과 염분의 공간적 분포 특성 및 계절적 변화에 대해 보고된 결과는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한국 연안 347개 정점에서 2015년 계절별, 연안별 자료를 이용하여 (1) 표층 수온과 염분의 시공간적 분포 양상을 살펴보고, (2) 연안별로 최외곽에 위치하고 있는 정점들

을 연결하여 동해안, 남해안, 서해안에 대한 수온, 염분의 수층별 분포 양상을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

한국 주변 연안에서 수온과 염분의 계절별 수직, 수평분포 양상을 살펴보기 위해서 347개 정점에서 2015년 2월, 5월, 8월, 11월에 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 현장조사는 남해안과 서해안의 경우 해양환경관리공단 소속의 아라미 2호와 1호를 각각 이용하였으며, 동해안은 동해수산연구소의 탐구 12호를 이용하였다.

수온과 염분은 현장에서 CTD(Seabird 19plus, Sea-Bird electronics Inc., USA)를 이용하여 관측하였다(initial accuracy: conductivity 0.005 S/m, temperature 0.005°C). 동해안, 남해안, 서해안을 따라 수온과 염분의 수직 분포 양상을 살펴보기 위해서 조사 정점 중 연안별로 가장 외곽에 위치한 정점들을 연결하여 수온과 염분의 수직 분포 양상을 살펴보았다(동해안: 거진연안~온산연안 23개 정점, 남해안: 진도연안~기장연안 17개 정점, 서해안: 인천연안~진도연안 19개 정점)(Fig. 2).

연구해역의 수온과 기온과의 상관성을 살펴보기 위해 기상청에서 제공하는 동해, 울산, 목포, 인천, 서귀포 기상관측소의 기온결과를 활용하였다(KMA[2015a], [2015b], [2015c], [2015d]). 수온과 염분의 수직 및 수평분포 양상을 살펴보기 위해서 ODV(Ocean Data View) 프로그램을 이용하여 도시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 수온, 염분의 수평 분포 양상

한국 연안에서 2015년 2월(겨울), 5월(봄), 8월(여름), 11월(가을)에 표층수 중 연안별 수온과 염분의 시공간적 분포 양상을 살펴보았다. 한국 연안은 66개 연안으로 구분하였으며(해양환경관리법에 따른 해양환경측정망 구성·운영계획 고시, 2015), 연안별 수온과 염분의 평균 자료는 Table 1과 2에 정리하였다. 우리나라 연안은 수심, 해류(난류), 탁도, 조위, 기후 등의 해역별 특성을 고려하여 5개의 생태구로(동해생태구, 대한해협생태구, 서남해역생태구, 서해중부생태구, 제주생태구) 구분하여 해양환경 상태를 조사하고 있다(Rho *et al.*[2012]). 생태구별로 한국 연안을 구분하면 동해생태구는 거진연안~영일만, 대한해협생태구는 구룡포연안~여수연안, 서남해역생태구는 여자만~전주포연안, 서해중부생태구는 군산연안~인천연안, 제주생태구는 제주연안~한림연안으로 나눌 수 있다(Fig. 1).

생태구별로 표층 수온은 각각 5.25~25.77(연평균: 14.93±5.91)°C, 5.79~27.85(연평균: 16.69±5.68)°C, 3.87~28.31(연평균: 16.20±7.26)°C, 1.86~27.58(연평균: 14.64±7.92)°C, 13.25~27.14(연평균: 19.43±4.36)°C 범위였다. 연평균 표층 수온은 제주생태구에서 가장 높았고(19.43°C), 서해중부생태구에서 가장 낮았다(14.64°C). 제주생태구는 연중 대마난류의 직접적인 영향을 받고 있어 연평균 표층 수온이 높고, 서해중부생태구는 상대적으로 고위도에 위치하고 있으며 동해생태구

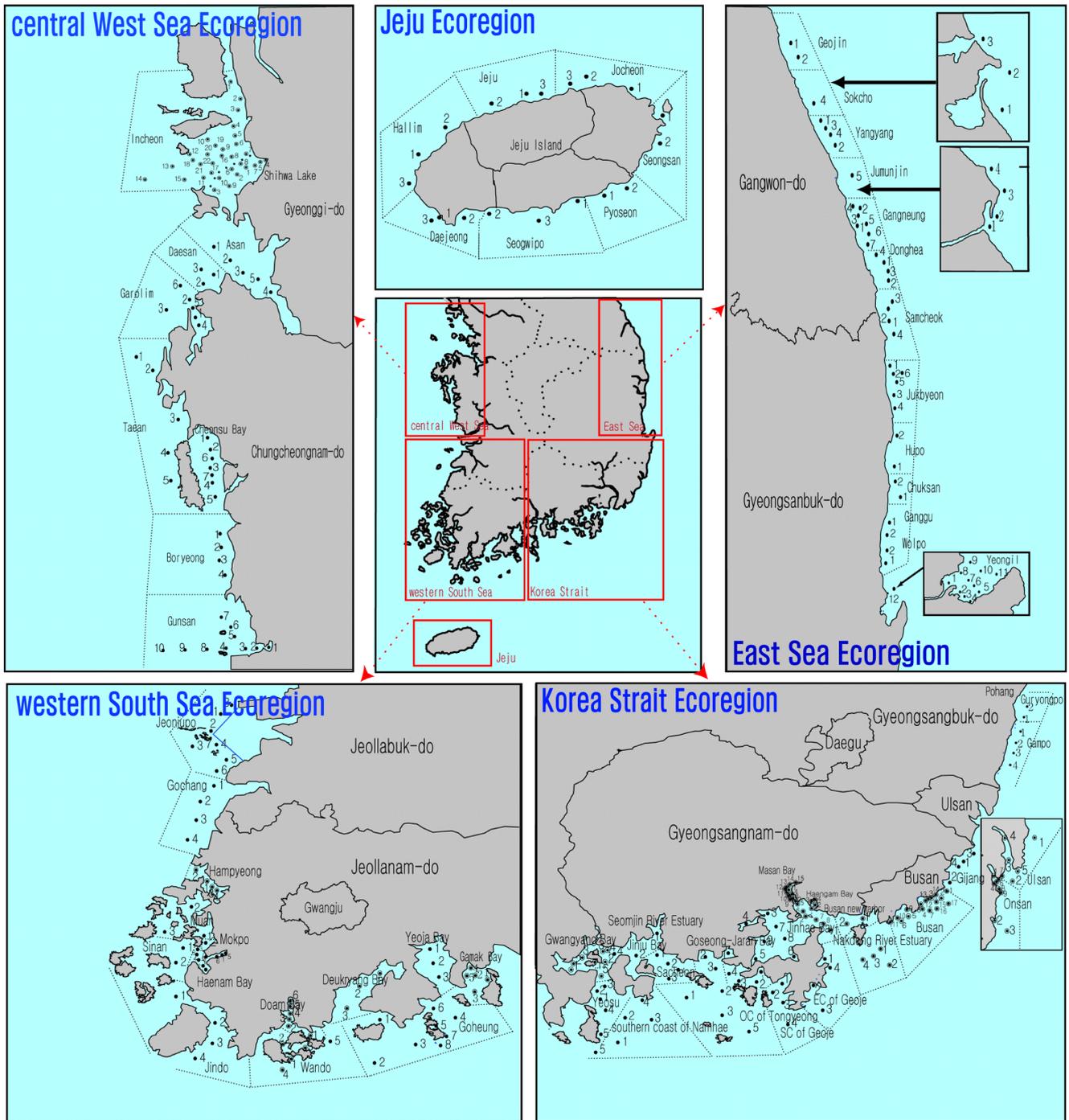


Fig. 1. A Map showing the sampling locations in the coastal area of Korea.

에 비해 수심이 낮아 수온의 변동폭이 크고(표준편차: 7.92 °C) 겨울에 수온이 가장 낮았다. 반면 제주생태구에서 표층 수온의 계절별 변동폭이 가장 적었다(표준편차: 4.36 °C). 한국 연안 347개 정점의 계절별 표층 평균 수온은 여름(평균: 24.52±2.60 °C)이 겨울(평균: 7.97±3.36 °C)에 비해 약 3배 높았다. 겨울에 연안별 평균 수온의 차이는 약 13.37 °C, 여름에는 약 11.80 °C로 연안별 변동폭이 상대적으로 크게 나타났다. 연안별 표층 평균 수온은 겨울(2월)에

는 시화호(평균: 1.86 °C)에서 가장 낮았고 제주도연안에 위치한 표선연안(평균: 15.23 °C)에서 가장 높았다. 여름(8월)에는 기장연안(평균: 16.51 °C)에서 가장 낮았고, 고창연안(평균: 28.31 °C)에서 가장 높았다. 2015년 겨울에 동해연안(평균: 8.65 °C)의 표층 평균 수온은 비슷한 위도상에 위치하는 인천연안(평균: 2.87 °C)의 표층 수온에 비해 약 3배 이상 높았고, 여름에는 동해연안(평균: 25.14 °C)과 인천연안(평균: 25.09 °C)에서 표층 수온은 유사하였다(Fig. 3). 두

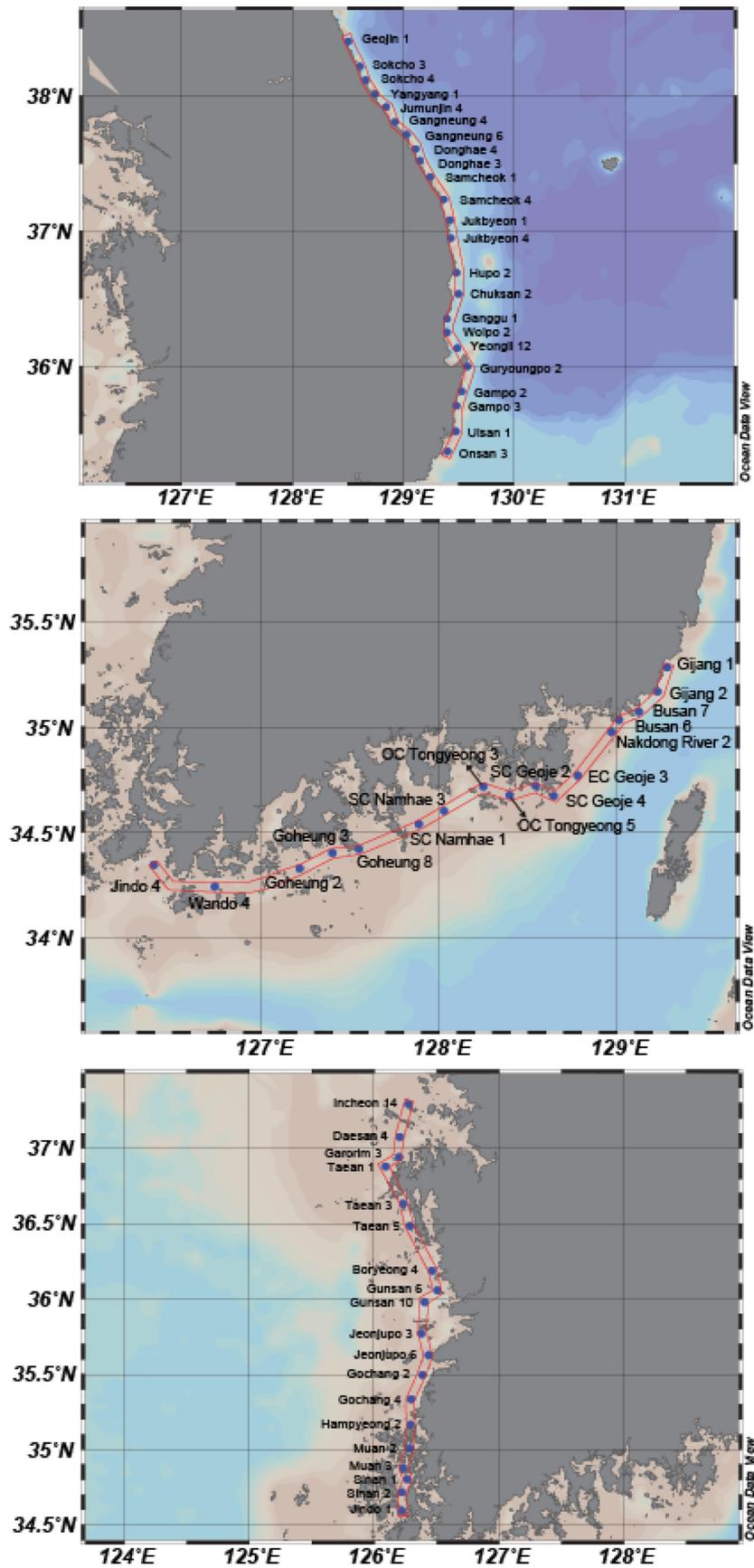


Fig. 2. A station map showing the vertical distribution of temperature and salinity in the coastal area of Korea.

Table 1. Average temperature (°C) in surface seawater in the coastal area of Korea in 2015

Ecoregion	Coastal area	Feb.	May	Aug.	Nov.	Aver.
East Sea	Geojin	5.25	10.01	21.89	13.41	12.64
	Sokcho	5.50	10.23	25.77	13.93	13.86
	Yangyang	7.04	10.40	25.61	13.85	14.22
	Jumunjin	7.18	11.90	25.00	13.65	14.43
	Gangneung	5.50	11.92	25.32	13.63	14.09
	Donghae	8.65	12.88	25.14	12.25	14.73
	Samcheok	9.10	12.30	24.12	14.22	14.94
	Jukbyeon	10.51	13.80	23.97	15.77	16.01
	Hupo	10.02	15.83	23.05	16.03	16.23
	Chuksan	9.71	15.89	20.83	16.06	15.62
	Ganggu	9.58	15.92	20.35	16.21	15.51
	Wolpo	9.63	15.81	23.12	16.24	16.20
	Yeongil	8.95	16.44	23.08	13.68	15.54
	Korea Strait	Guryongpo	9.29	15.57	25.20	15.55
Gampo		12.61	15.23	25.15	15.80	17.19
Ulsan		10.02	14.53	17.28	16.66	14.62
Onsan		10.29	13.94	16.60	16.83	14.42
Gijang		12.26	13.75	16.51	17.90	15.11
Busan		11.86	14.82	19.72	16.76	15.79
Nakdong River Estuary		11.50	15.82	21.44	17.93	16.67
Busan New harbor		8.56	15.34	21.94	17.79	15.91
Haengam Bay		6.99	18.79	27.85	17.76	17.85
Masan Bay		6.62	18.21	26.03	17.56	17.11
Jinhae Bay		6.67	17.87	26.58	17.76	17.22
Eastern coast of Geoje		11.69	15.14	24.23	18.02	17.27
Southern coast of Geoje		10.26	16.31	24.88	17.57	17.26
Tongyeong		8.02	18.62	25.33	17.34	17.33
Outer coast of Tongyeong		9.66	16.77	23.86	17.91	17.05
Goseong-Jaran Bay		6.78	19.60	26.89	17.18	17.61
Sacheon		7.39	17.58	24.14	17.76	16.72
Jinju Bay		5.79	19.73	27.07	17.20	17.45
Southern coast of Namhae		9.24	16.93	24.88	17.54	17.15
Gwangyang Bay		7.22	18.85	26.82	17.76	17.66
Yeosu	7.44	16.86	25.25	17.53	16.77	
Western South Sea	Gamak Bay	5.37	19.32	26.19	16.73	16.90
	Yeoja Bay	4.38	19.81	27.65	15.96	16.95
	Goheung	7.61	17.07	24.68	16.76	16.53
	Deukryang Bay	5.63	18.75	26.30	16.16	16.71
	Wando	9.45	15.54	22.34	16.13	15.86
	Doam Bay	6.74	17.54	25.31	15.74	16.33
	Jindo	7.05	15.43	22.39	15.84	15.17
	Haenam Bay	4.96	17.06	25.12	16.08	15.80
	Mokpo	5.33	17.34	24.93	16.19	15.95
	Sinan	6.04	15.57	23.75	16.00	15.34
	Muan	4.95	17.97	27.34	15.61	16.47
	Hampyeong	3.87	18.15	28.14	15.39	16.39
	Gochang	4.29	18.03	28.31	15.87	16.62
	Jeonjupo	4.73	16.23	26.33	15.91	15.80

Table 1. Continued

Ecoregion	Coastal area	Feb.	May	Aug.	Nov.	Aver.
Central West Sea	Gunsan	4.82	16.05	27.58	15.45	15.97
	Boryeong	4.68	15.21	26.90	16.53	15.83
	Cheonsu Bay	4.88	15.35	27.14	16.14	15.88
	Taeon	4.23	12.08	24.49	16.41	14.30
	Garolim	3.66	9.68	21.85	16.56	12.94
	Daesan	3.31	11.12	23.47	17.31	13.80
	Asan	2.96	12.49	23.69	16.36	13.88
	Incheon	2.87	13.32	25.09	17.02	14.57
	Shihwa Lake	1.86	14.84	26.19	15.34	14.56
Jeju	Jeju	13.25	16.75	25.06	20.22	18.82
	Jocheon	13.55	17.32	23.40	19.68	18.49
	Seongsan	14.68	18.22	23.97	19.66	19.13
	Pyoseon	15.23	17.52	26.92	20.37	20.01
	Seogwipo	14.83	17.65	27.14	21.80	20.36
	Daejeong	14.25	17.18	26.35	21.16	19.74
	Hallim	13.95	16.79	26.16	21.06	19.49

Table 2. Average contents of salinity in surface seawater in the coastal area of Korea in 2015

Ecoregion	Coastal area	Feb.	May	Aug.	Nov.	Aver.
East Sea	Geojin	34.01	33.86	32.67	32.80	33.33
	Sokcho	34.02	33.84	32.12	31.56	32.88
	Yangyang	34.14	33.96	32.34	31.79	33.05
	Jumunjin	34.12	34.05	32.45	31.91	33.13
	Gangneung	34.07	34.02	32.91	32.85	33.46
	Donghae	34.05	34.09	32.94	33.02	33.52
	Samcheok	34.13	34.07	33.16	33.48	33.71
	Jukbyeon	34.19	33.98	33.38	33.64	33.80
	Hupo	34.21	33.98	33.48	33.70	33.84
	Chuksan	34.21	33.93	33.51	33.67	33.83
	Ganggu	34.21	33.92	33.51	33.67	33.83
	Wolpo	34.21	34.04	33.44	33.67	33.84
	Yeongil	34.17	33.86	33.45	32.85	33.58
Korea Strait	Guryongpo	34.22	33.70	32.13	33.48	33.38
	Gampo	34.20	33.83	32.16	33.53	33.43
	Ulsan	33.57	32.88	32.84	32.26	32.89
	Onsan	33.74	33.28	33.31	32.53	33.21
	Gijang	34.20	33.82	33.67	32.76	33.61
	Busan	34.00	32.94	33.08	32.78	33.20
	Nakdong River Estuary	33.93	29.88	32.73	32.55	32.27
	Busan New harbor	32.94	31.63	32.72	32.51	32.45
	Haengam Bay	32.89	31.50	31.71	31.80	31.98
	Masan Bay	32.50	28.40	31.15	31.52	30.89
	Jinhae Bay	32.61	30.78	32.02	31.72	31.78
	Eastern coast of Geoje	34.08	32.90	31.94	32.07	32.75
	Southern coast of Geoje	34.03	32.81	32.56	32.32	32.93
	Tongyeong	33.56	32.89	32.75	32.34	32.89
	Outer coast of Tongyeong	33.95	32.99	32.57	32.36	32.97
	Goseong-Jaran Bay	33.46	32.72	32.39	32.20	32.69
	Sacheon	33.30	32.56	32.37	32.05	32.57
	Jinju Bay	33.14	31.46	31.68	31.86	32.04
	Southern coast of Namhae	33.98	32.86	32.26	32.18	32.82
	Gwangyang Bay	32.89	31.31	31.20	31.27	31.67
Yeosu	33.59	32.26	31.71	31.87	32.36	

Table 2. Continued

Ecoregion	Coastal area	Feb.	May	Aug.	Nov.	Aver.
Western South Sea	Gamak Bay	33.41	32.41	32.14	32.01	32.49
	Yeoja Bay	32.94	30.25	31.08	31.35	31.41
	Goheung	33.85	32.66	32.31	32.13	32.73
	Deukryang Bay	33.22	31.04	31.83	31.95	32.01
	Wando	33.89	32.83	32.38	32.31	32.85
	Doam Bay	33.03	30.29	31.53	31.74	31.65
	Jindo	33.37	32.91	32.08	32.02	32.60
	Haenam Bay	30.61	31.02	30.97	30.02	30.66
	Mokpo	30.19	27.03	30.04	29.13	29.09
	Sinan	32.66	32.60	31.84	31.40	32.12
	Muan	31.89	31.81	31.35	31.40	31.61
	Hampyeong	31.93	32.29	31.92	31.90	32.01
	Gochang	31.86	32.04	31.73	31.71	31.84
	Jeonjupo	31.52	31.03	31.20	31.29	31.26
Central West Sea	Gunsan	27.85	28.23	29.84	30.13	29.01
	Boryeong	32.11	31.43	31.65	32.13	31.83
	Cheonsu Bay	32.09	31.74	31.64	32.07	31.89
	Taeon	32.08	31.89	31.83	32.08	31.97
	Garolim	32.07	31.89	31.87	32.05	31.97
	Daesan	31.87	31.63	31.32	31.99	31.70
	Asan	31.43	31.17	30.80	31.22	31.16
	Incheon	31.35	31.17	30.22	31.47	31.05
Jeju	Shihwa Lake	29.63	30.91	28.72	30.53	29.95
	Jeju	34.11	33.35	32.00	33.28	33.19
	Jocheon	34.28	32.98	32.42	32.39	33.02
	Seongsan	34.40	32.81	32.15	32.90	33.06
	Pyoseon	34.40	33.22	31.32	33.23	33.04
	Seogwipo	34.13	33.01	31.46	33.67	33.07
	Daejeong	34.02	33.29	31.99	33.20	33.13
	Hallim	34.30	33.27	31.99	33.42	33.24

연안의 평균 수온 차이는 여름보다 겨울에 크게 나타났다.

동일한 시기에 동해 기상관측소와 인천 기상관측소에서 관측한 기온 자료 또한 겨울에 동해가 인천보다 약 2.15°C 높았고, 여름에는 오히려 동해가 인천보다 약 0.59°C 낮았다(Table 3). Lee[2003]에 의하면 겨울에는 동해안의 기온이 서해안의 기온보다 높았고, 기온 분포와 유사하게 동해안의 표층 수온이 유사한 위도상에 위치한 서해안의 표층 수온보다 높다고 보고하였다(Kang and Jin[1984]).

여름(8월)에는 대한해협생태구에 위치한 울산-기장연안(평균: 16.80°C)에서 주변해역(갑포연안 평균: 25.15°C)의 수온보다 약

8°C 이상 낮은 20°C 이하의 냉수대가 발생하였다. 동해안에서는 여름에 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불어올 때 냉수대가 발생 하는 것으로 알려져 있으며, 냉수대의 위치와 범위는 매년 다르게 나타난다(Kim and Kim[1983]; Suh *et al.*[2001]).

2월, 5월, 8월, 11월의 표층 수온 자료와 기상관측소에서 측정한 월별 평균 기온 자료를 이용하여 생태구별로 주요연안인 동해연안, 울산연안, 목포연안, 인천연안, 서귀포연안에서 표층 수온과 기온 변동성에 대한 상관관계를 살펴보았다(Table 3). 기온은 수온과 밀접한 관계를 가지고 있으나, 대기와 해수의 비열차로 인하여 태양

Table 3. Air and surface seawater temperature (°C) in the coastal area of Korea in 2015

Coastal area	Surface seawater temp. (°C)				Observation station	Air temp. (°C)			
	Feb.	May	Aug.	Nov.		Feb.	May	Aug.	Nov.
Donghae	8.65	12.88	25.14	12.25	Donghae	3.36	18.50	25.24	11.00
Ulsan	10.02	14.53	17.28	16.66	Ulsan	4.53	19.96	26.40	12.40
Mokpo	5.33	17.34	24.93	16.19	Mokpo	3.22	17.71	25.91	12.22
Incheon	2.87	13.32	25.09	17.02	Incheon	1.21	16.97	25.83	9.40
Seogwipo	14.83	17.65	27.14	21.80	Seogwipo	8.10	19.05	26.23	15.37

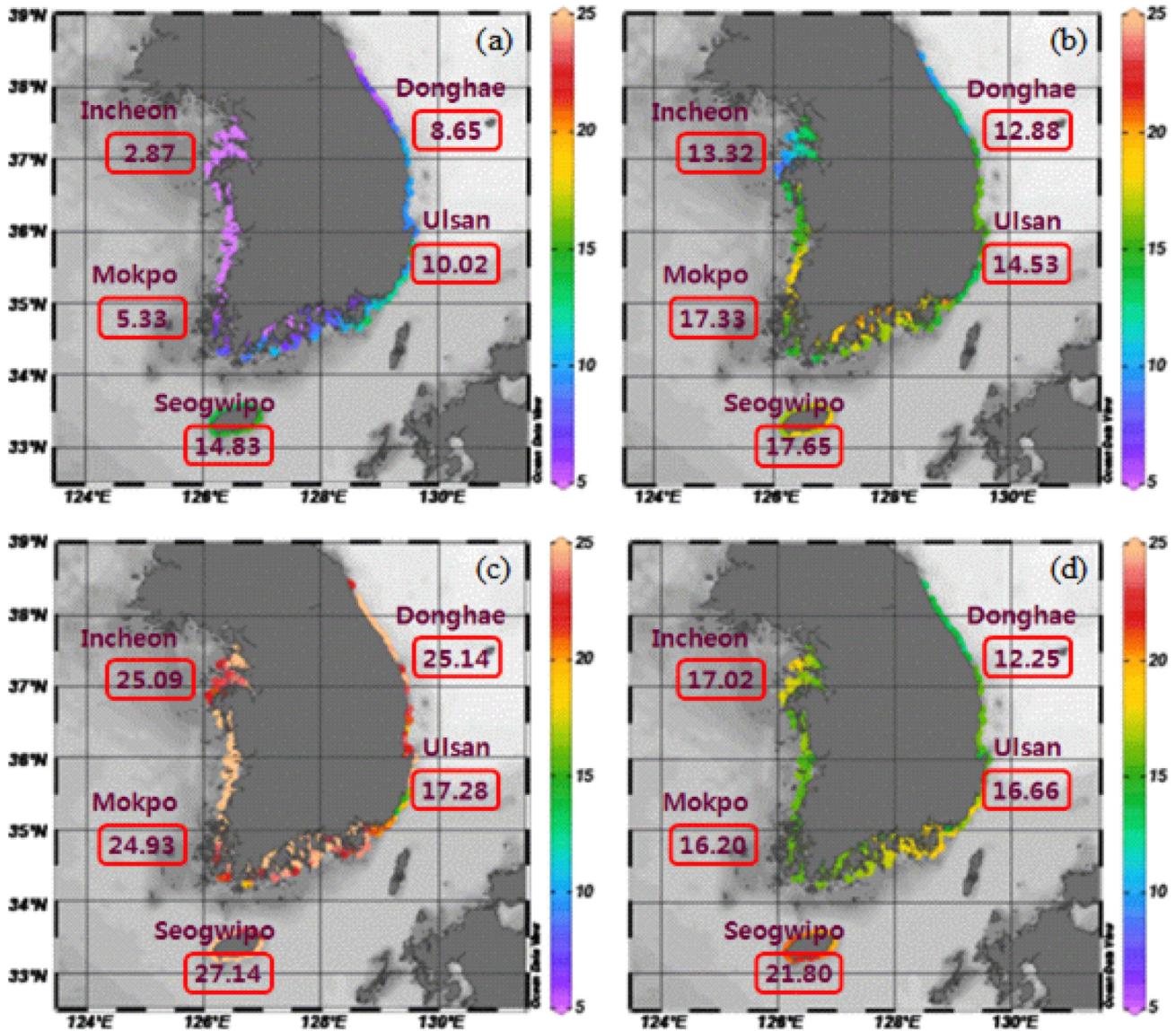


Fig. 3. The horizontal distributions of temperature (°C) in (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November in the coastal area of Korea in 2015.

열에 반응하는 속도는 다르며, 또한 육지와 바다에서 발생하는 복사에너지의 영향을 받게 된다(Cho and Lee[2012]). 수온은 해류의 흐름 등 외부요인의 영향을 받게 되고, 지역적으로는 연안 용승 등에 의해 주변해역에 비해 낮은 표층 수괴의 영향을 받기도 한다. 월별로 측정한 지역별 기온과 수온의 상관관계는 주요 조사 해역 별로 좋은 양의 상관관계를 보였다(인천연안: $r^2=0.89$, 목포연안: $r^2=0.98$, 울산연안: $r^2=0.78$, 동해연안: $r^2=0.89$, 서귀포연안: $r^2=0.86$). 외해수와의 교환이 가장 적고 반폐쇄적인 연안의 형태를 보이는 목포연안의 표층 수온과 기온의 상관관계수가 가장 좋았다. 해류(대마난류, 동한난류, 북한한류 등)의 직·간접적인 영향을 받는 서귀포연안과 동해연안, 조석차가 커 외해수와의 혼합이 활발하게 일어나는 인천연안에서 상대적으로 상관성이 낮았으며($r^2=0.86-0.89$), 여름(8월)에 연안 용승으로 인해 냉수괴가 출현했던 울산연안에서 상관관계수가

0.78로 가장 낮았다. 표층 수온은 기온 변화와 밀접한 관계가 있지만 지역적 특성, 해류의 변동 등에 의해서도 변화가 다양하게 나타나기 때문에 좀 더 정확한 원인분석을 위해서는 대기-해양 상호작용 뿐만 아니라 정밀한 해양순환 변화 등의 역학적 분석이 필요하다(Kim *et al.*[2011]).

한국 연안의 계절별 표층 평균 염분은 31.85~32.84 범위를 보였으며, 겨울(평균: 32.84 ± 2.29)에 비해 여름(평균: 31.85 ± 1.52)에 1 정도 낮았다. 정점별 변화폭은 여름(CV: 4.77%)에 비해 겨울(CV: 6.97%)에 상대적으로 컸다. 생태구별 평균 염분의 분포 양상을 살펴보면, 동해생태구의 표층 연평균 염분은 약 33.53으로 유사한 위도상에 위치한 서해중부생태구(31.17)에 비해 상대적으로 높았다. 동해생태구는 큰 강이 없어 담수의 유입이 적고, 서해중부생태구는 다른 해역에 비해 한강, 금강 등 큰 강들이 분포하고 있어 표층 염

분이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다. 연안별로 평균한 염분의 분포양상에서는 여름과 겨울에 각각 32.06 ± 0.94 , 33.17 ± 1.31 로 겨울에 비해 여름에 평균 염분이 낮았으나, 편차는 겨울에 상대적으로 크게 나타났다. 일반적으로 우리나라는 몬순 기후의 영향으로 강수량이 여름에 집중되어 있어 여름에 한국 연안의 평균 염분은 상대적으로 낮으나, 연안별 염분차는 겨울에 상대적으로 크게 나타났다. 계절별로 염분이 가장 낮은 연안은 2월에 군산연안(27.85), 5월에 목포연안(27.03), 8월에 시화호(28.72), 11월에 목포연안(29.13)으로 주로 큰 강이나 하천의 직접적인 영향을 받고 있는 연안에서 가장 낮았다. 연안별 표층 평균 염분이 가장 높은 해역은 2월, 5월, 8월, 11월에 각각 포선연안(34.40), 동해연안(34.09), 기장연안(33.67), 후포연안(33.70)으로 주로 제주연안과 동해안에 위치한 연안에서 상대적으로 높았다. 연안별 겨울과 여름의 평균 염분 차이를 주요 해역별로 살펴보았을 때, 동해연안의 경우 염분차가 약 1.11, 울산연안 0.73, 서귀포연안 2.67, 목포연안 0.15, 인천연안 1.13으로 제

주생태구에 위치해 있는 서귀포연안에서 가장 컸고, 서남해역생태구에 위치한 목포연안에서 염분차가 가장 적었다. 표층 염분의 공간적 분포 양상을 살펴보면, 겨울(2월)에 동해연안(평균: 34.05)의 표층 염분은 같은 위도상의 인천연안(평균: 31.35)의 표층 염분에 비해 3.30 정도 높았고, 여름(8월)에는 동해연안(평균: 32.94)과 인천연안(평균: 30.22)에서 약 2.72 차이를 보였다(Fig. 4).

3.2 수온, 염분의 수직 분포 양상

수온, 염분의 수직 분포 양상을 살펴보기 위해 한국 연안을 동해안(거진연안~온산연안), 남해안(기장연안~진도연안(정점 3)), 서해안(진도연안(정점 1)~인천연안)으로 구분하였다. 동해안 조사 정점의 평균 수심은 약 47 m(23개 정점), 남해안은 약 34 m(17개 정점), 서해안은 약 20 m(19개 정점)였다.

동해안 수온과 염분의 분포 특성을 살펴보기 위해서 정점별 1 m 단위로 측정된 수온과 염분 자료를 하계에 생성된 밀도약층 아래

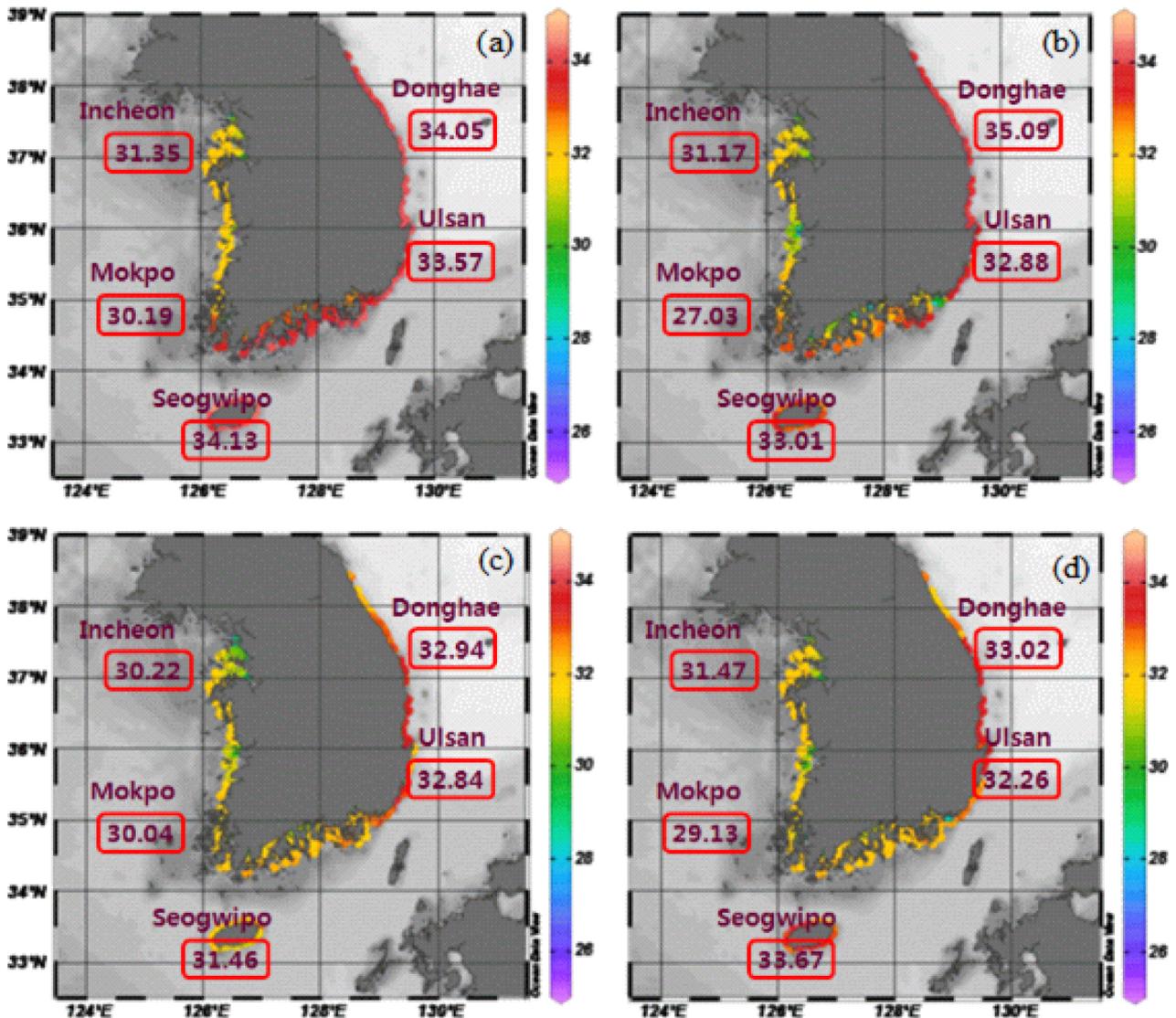


Fig. 4. The horizontal distributions of salinity in (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November in the coastal area of Korea in 2015.

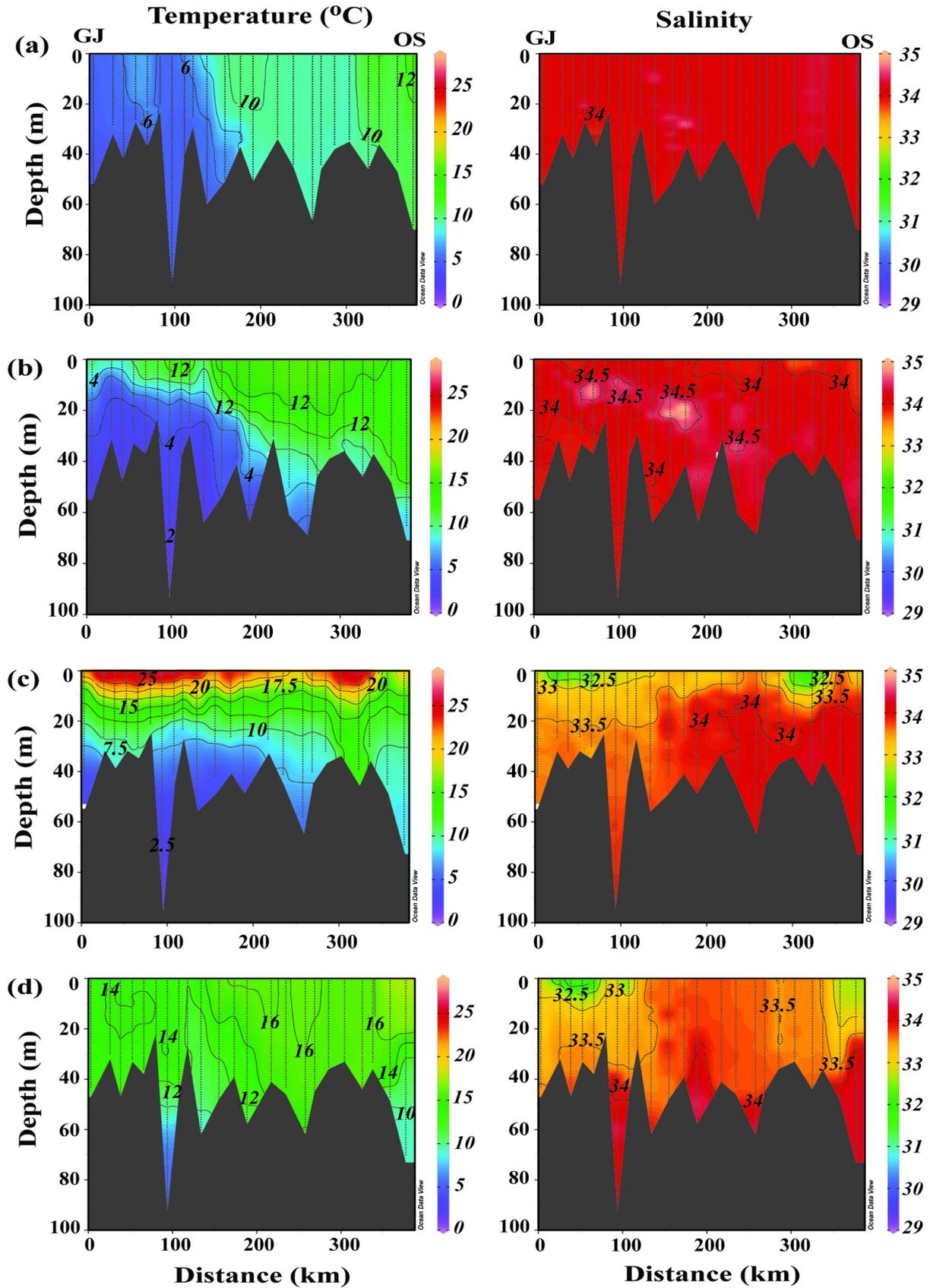


Fig. 5. The vertical distributions of temperature (°C) and salinity in (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November in the eastern coast (from Geojin coast (GJ) to Onsan coast (OS)) of Korea in 2015.

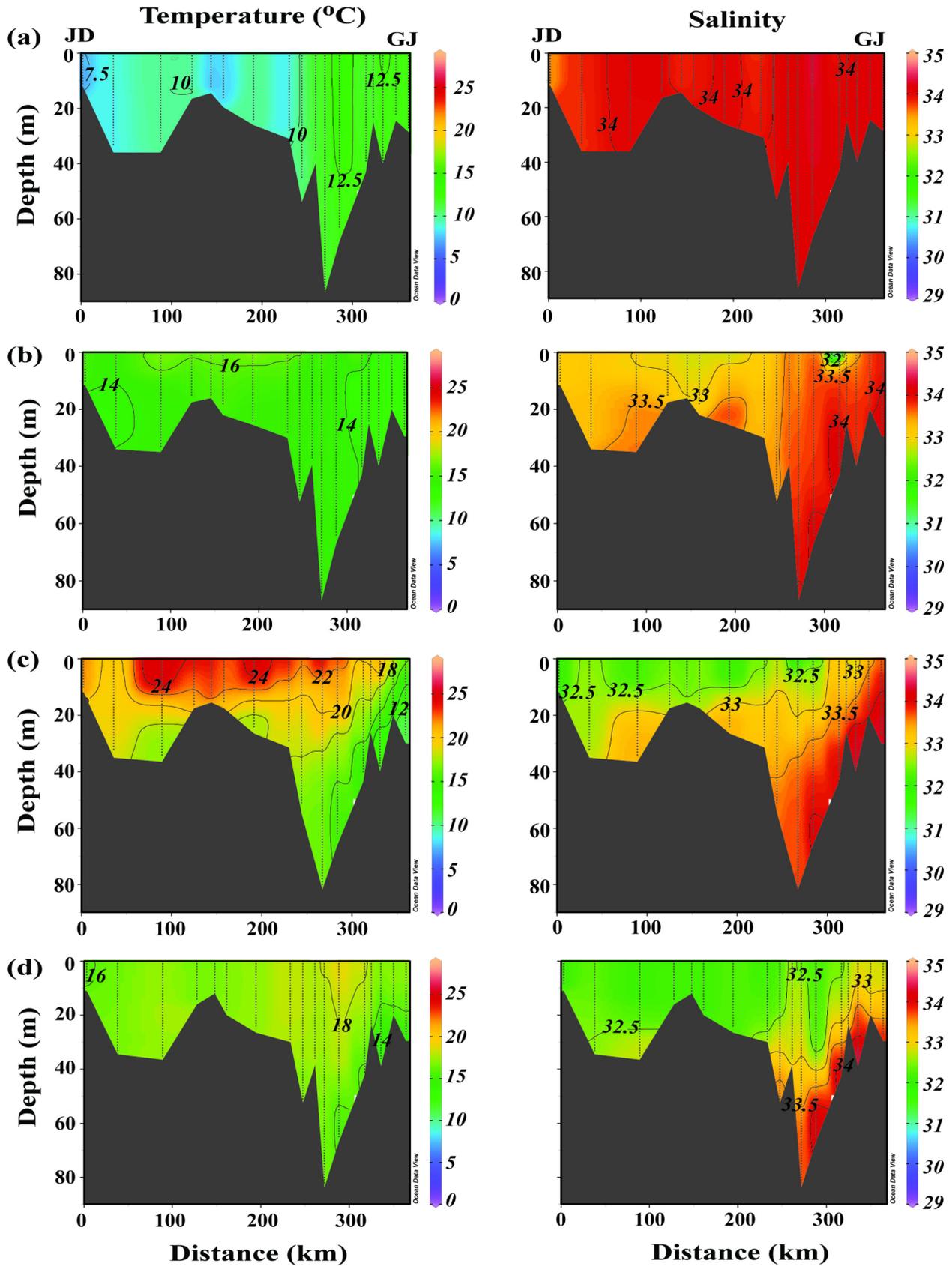


Fig. 6. The vertical distributions of temperature (°C) and salinity in (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November in the southern coast (from Jindo coast (JD) to Gijang coast (GJ)) of Korea in 2015.

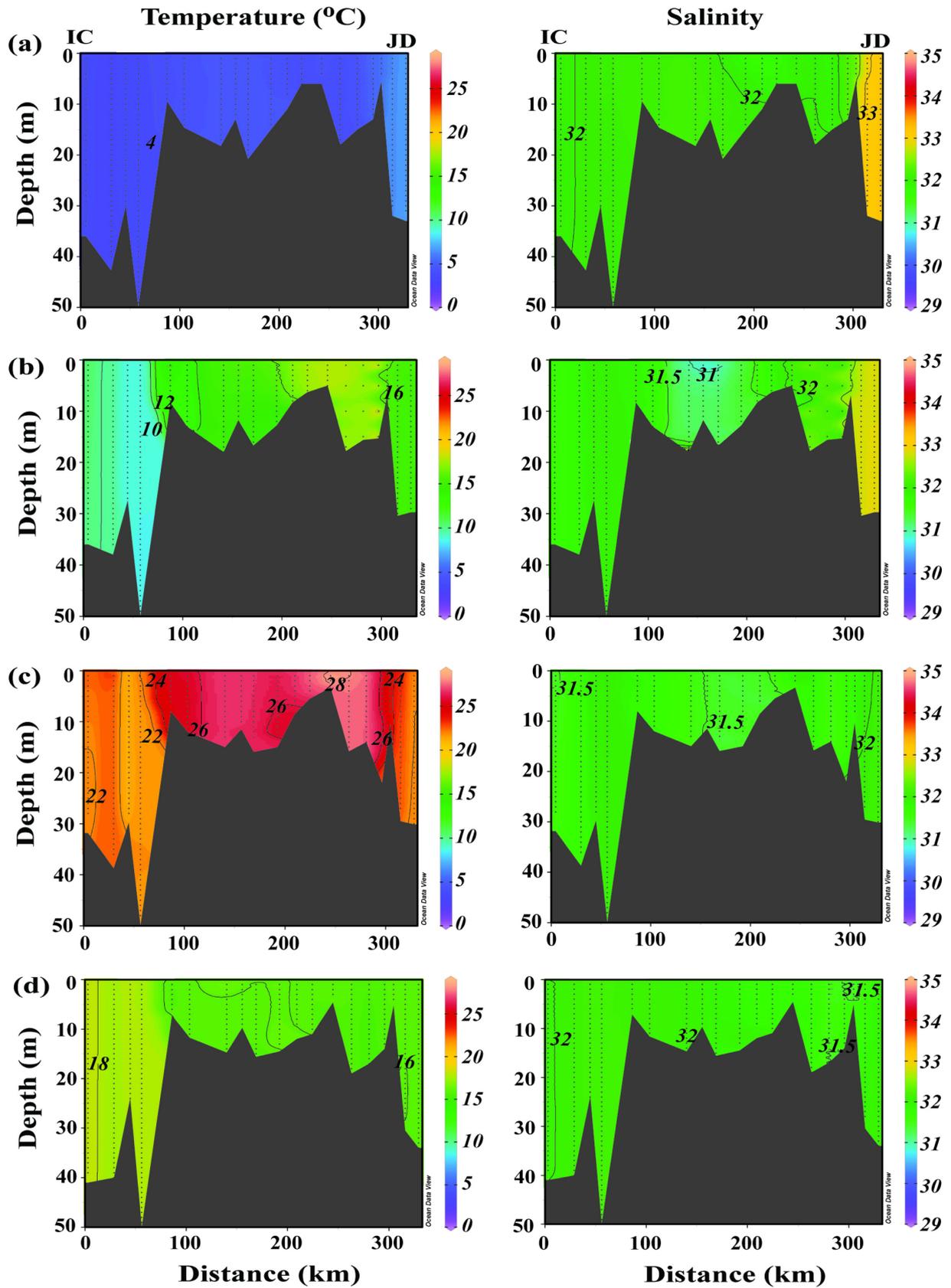


Fig. 7. The vertical distributions of temperature (°C) and salinity in (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November in the western coast (from Incheon coast (IC) to Jindo coast (JD)) of Korea in 2015.

층을 기준으로 표층에서 수심 20 m까지 평균하였다. 동해안에서 조사 정점별로 표층에서 20 m까지 평균한 수온의 전 정점에 대한 평균 수온은 2월, 5월, 8월, 11월에 각각 8.49 ± 2.36 °C, 11.42 ± 3.41 °C, 16.74 ± 1.81 °C, 14.89 ± 1.44 °C로 겨울에 비해 여름에 약 2배 높았으며, 정점간 편차는 5월에 가장 크게 나타났다.

동해안에서 수온의 수직분포 양상은 2월에는 표층수와 아표층수 간 혼합이 활발하게 진행되는 것으로 나타났으며, 동해중부에 위치한 거진연안에서 남쪽으로 약 150 km 지점에서(삼척연안) 한류와 난류가 만나는 전선대가 형성되었다(Fig. 5). 5월에는 남쪽에서 유입되는 따뜻한 수괴와 북쪽의 차가운 수괴가 혼합되는 양상을 보여주고 있으며, 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 따뜻한 수괴의 층 두께가 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 5월에는 4°C 이하의 낮은 수온의 수괴가 포항연안의 저층수에서 나타났다(Fig. 5). 8월이 되면서 표층 수온이 20°C 이상으로 높아졌으며, 수온이 급격하게 변하는 수온약층이 뚜렷하게 나타났다. 11월에 다시 표층수와 아표층수간에 혼합이 활발하게 진행되었다.

동해안에 위치한 정점들의 수심 20 m까지 평균한 염분의 전 정점에 대한 평균 염분은 2월, 5월, 8월, 11월에 각각 34.18 ± 0.08 , 34.16 ± 0.14 , 33.40 ± 0.32 , 33.33 ± 0.36 로 2월에 비해 8월에 약 0.78 낮았으며, 정점간 편차는 8월에 가장 크게 나타났다. 동해안에서 염분의 수직분포 양상은 2월에는 남쪽에서 염분이 상대적으로 높고 북쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 표층수와 아표층수 간 혼합이 활발하게 진행되는 것으로 나타났다. 5월에는 남쪽으로부터 유입되는 따뜻한 수괴와 북쪽에서 남하하는 차가운 수괴가 만나는 경계부분에서 염분이 높게 나타났다. 8월에 염분의 수직분포 양상은 수온의 분포와 다른 양상을 보여주고 있으며, 남쪽에서 형성된 고염수가 아표층을 따라 북쪽으로 유입되는 양상을 보였다. 8월과 11월에는 표층수에서 주변해역에 비해 상대적으로 염분이 낮은 저염수가 나타났다(Fig. 5). 11월에는 표층수와 저층수간 혼합이 활발해지는 것으로 나타났다. 동해안에서는 동한난류와 북한한류가 36~38°N 부근에서 만나 전선대를 형성하고(Kim *et al.*[2009]), 북한한류는 동계보다 하계에 우세한 것으로 보고되고 있다(Lee and Chung[1981]). Kim and Kim[1983]은 북한한류 수괴가 포항 인근 해역까지 남하되는 것으로 보고하였다.

남해안에서 수온의 수직분포 양상은 2월과 11월에는 동해안과 유사하게 표층수와 아표층수간 혼합이 활발하게 진행되는 것으로 나타났으며, 서부연안에 비해 동부연안에서 수온이 상대적으로 높았다(Fig. 6). 정점별 표층에서 수심 20 m까지 평균한 수온에 대한 표준편차가 5월과 11월에 다른 계절에 비해 상대적으로 적어(2월: 1.99°C, 5월: 0.97°C, 8월: 2.59°C, 11월: 0.78°C) 정점별 수온의 변화가 적은 것으로 나타났다. 8월에는 20°C 이상의 고온이 표층에서 수심 약 20 m까지 확장되는 것으로 나타났으며, 주로 남해안의 중앙부에서 관찰되었다.

남해안에서 염분의 수직분포 양상은 2월과 5월에는 서부해역에 비해 동부해역에서 염분이 상대적으로 높은 경향을 보였다. 8월에 수심 10 m 이내의 표층수에서 낮은 염분이 형성되었으며, 낮은 염분

수괴는 특이하게 11월에 저층수까지 확장되는 것으로 나타났다(Fig. 6).

다른 연안에 비해 상대적으로 수심이 낮은 서해안에서 수온의 수직분포 양상은 전 계절에 걸쳐 수층별 수직혼합이 활발하게 일어나는 것으로 나타났다(Fig. 7). 2월에는 전 수층에서 수온이 약 10°C 이하였으며, 8월에는 대부분의 수층에서 20°C 이상의 고수온이 형성되었다. 서해안에서는 대체로 남쪽해역에서 수온이 높았고, 북부해역으로 갈수록 감소하는 양상을 보였다. 5월과 8월에는 태안연안과 가로림연안 정점에서 주변 해역에 비해 상대적으로 낮은 수온이 관측되었다.

서해안에서 염분의 수직분포 양상은 2월에는 북부해역에 비해 남부해역에서 염분이 상대적으로 높았으며, 모든 계절에 수직혼합이 활발하게 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 5월에는 서해 중앙부에서 주변해역 보다 상대적으로 낮은 염분대가 형성되었다. 서해는 반폐쇄적인 해역일 뿐만 아니라 수심이 낮아 조석차가 커 연중 표층수와 저층수의 수직 혼합이 활발하게 일어나고 있는 것으로 판단된다(Lü *et al.*[2010]).

4. 결 론

한국 연안에 대한 수온과 염분의 시공간적 분포 양상을 살펴보기 위해서 2015년 2월, 5월, 8월, 11월에 347개 정점에서 CTD profiler를 이용하여 현장조사를 실시하였다. 한국 연안의 계절별 표층 평균 수온은 겨울(평균: 약 7.97°C)에 비해 여름(평균: 약 24.52°C)에 약 3배 높았다. 2월에 유사한 위도상에 위치하는 서해안의 인천연안(평균: 약 2.87°C)과 동해안의 동해연안(평균: 약 8.65°C)의 평균 수온은 3배 이상 차이를 보였다. 제주도에서 위치한 표선연안(평균: 약 15.23°C)에서는 인천연안에 비해 5배 이상 높았다. 동해안의 기상-울산연안에서는 8월에 주변해역보다 수온이 낮은(20°C 이하) 냉수대가 발생하였다. 주요연안(동해연안, 울산연안, 목포연안, 인천연안, 서귀포연안)에서 기온과 수온 사이의 상관관계는 약 0.78 이상으로 좋은 양의 상관관계를 보였다. 한국 연안의 계절별 표층 평균 염분은 겨울(약 32.84)에 비해 여름(약 31.85)에 약 1 낮았다. 유사한 위도상에 위치하는 동해연안(연평균: 33.3)의 염분은 서해연안(연평균: 31.1)에 비해 상대적으로 높았다. 계절별 수온의 수직분포 양상은 8월에 표층수에서 20°C 이상의 높은 수온이 형성되었으며, 동해안에서는 표층에서 수심 약 10 m까지 20°C 이상의 수온이 형성되었다. 동해안에서는 난류수와 한류수가 만나는 전선대가 형성되었으며, 5월에는 북쪽으로 표층을 따라 난류수가 유입되는 양상이 뚜렷하게 나타났으며, 차가운 수괴와의 경계가 북부해역에서 남부해역으로 갈수록 깊어지는 양상을 보였다. 남해안(8월 제외)과 서해안에서는 연중 수직혼합이 활발하게 일어나고 있는 것으로 나타났다.

후 기

이 연구는 해양환경측정망 운영 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 많은 도움을 주신 해양수질팀 직원분들께 감사드립니다.

References

- [1] Bashevkin, S.M. and Pechenik, J.A., 2015, "The interactive influence of temperature and salinity on larval and juvenile growth in the gastropod *Crepidula fornicata* (L.)", J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 470, 78-91.
- [2] Beşiktepe, S.T., Lermusiaux, P.F.J. and Robinson, A.R., 2003, "Coupled physical and biogeochemical data-driven simulations of Massachusetts Bay in late summer: real-time and postcruise data assimilation", J. Mar. Syst., Vol. 40-41, 171-212.
- [3] Chang, K.I., Hogg, N.G., Suk, M.S., Byun, S.K., Kim, Y.G. and Kim, K., 2002, "Mean flow and variability in the southwestern East Sea", Deep-Sea Res. I, Vol. 49, 2261-2279.
- [4] Chang, K.I., Teague, W.J., Lyu, S.J., Perkins, H.T., Lee, D.K., Watts, D.R., Kim, Y.B., Mitchell, D.A., Lee, C.M. and Kim, K., 2004, "Circulation and currents in the southwestern East/Japan Sea: Overview and review", Prog. Oceanogr., Vol. 61, 105-156.
- [5] Cho, H.Y. and Lee, K.H., 2012, "Development of an air-water temperature relationship model to predict climate-induced future water temperatures in estuaries", J. Environ. Engineer, Vol. 138, 570-577.
- [6] Choi, B.J., Haidvogel, D.B. and Cho, Y.K., 2009, "Interannual variation of the polar front in the Japan/East Sea from summertime hydrography and sea level data", J. Mar. Syst., Vol. 78, 351-362.
- [7] Ichikawa, H. and Beardsley, R.C., 2002, "The current system in the Yellow and East China Seas", J. Oceanogr., Vol. 58, 77-92.
- [8] Jeong, H.D., Hwang, J.D., Jung, K.K., Heo, S. and Sung, K.T., 2003, "Long term trend of change in water temperature and salinity in coastal waters around Korean peninsula", J. Korean Soc. Mar. Environ. & Safety, Vol. 9, 59-64.
- [9] Jung, S., 2008, "Spatial variability in long-term changes of climate and oceanographic conditions in Korea", J. Environ. Biol., Vol. 29, 519-529.
- [10] Kang, Y.Q. and Jin, M.S., 1984, "Seasonal variation of surface temperatures in the neighbouring seas of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 19, 31-35.
- [11] Kim, Y.H., Chang, K.I., Park, J.J., Park, S.K., Lee, S.H., Kim, Y.G., Jung, K.T., and Kim, K., 2009, "Comparison between a reanalyzed product by 3-dimensional variational assimilation technique and observations in the Ulleung Basin of the East/Japan Sea", J. Mar. Sys., Vol. 78, 249-264.
- [12] Kim, S.S., Go, W.J., Jo, Y.J., Lee, P.Y. and Jeon, K.A., 1998, "Low salinity anomaly and nutrient distribution at surface waters of the South Sea of Korea during 1996 summer", J. Korean Soc. Oceanogra., Vol. 3, 165-169.
- [13] Kim, C.H. and Kim, K., 1983, "Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 18, 73-83.
- [14] Kim, K., Kim, Y.G., Cho, Y.K., Takematsu, M. and Volkov, Y., 1999, "Basin to basin and year-to-year variation to temperature and salinity characteristics in the East Sea (Sea of Japan)", J. Oceanogr., Vol. 55, 103-109.
- [15] Kim, S.J., Woo, S.H., Kim, B.M. and Hur, S.D., 2011, "Trends in sea surface temperature (SST) change near the Korean peninsula for the past 130 years", Ocean and Polar Res., Vol. 33, 281-290.
- [16] Kim, S., Zhang, C.I., Kim, J.Y., Oh, J.H., Kang, S. and Lee, J.B., 2007, "Climate variability and its effects on major fisheries in Korea", Ocean Sci. J., Vol. 42, 179-192.
- [17] Korea Meteorological Administration, 2015a, "Monthly weather report in Feb."
- [18] Korea Meteorological Administration, 2015b, "Monthly weather report in May"
- [19] Korea Meteorological Administration, 2015c, "Monthly weather report in Sep."
- [20] Korea Meteorological Administration, 2015d, "Monthly weather report in Nov."
- [21] Lee, J.C., 1983, "Variation of sea level and sea surface temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer", J. Oceanol. Soc. Kor., Vol. 18, 149-160.
- [22] Lee, T., 1999, "Characteristics of nutrients distribution in summer and winter in the South Sea", J. Korean Soc. Oceanogra., Vol. 4, 371-382.
- [23] Lee, S., 2003, "Difference of air temperature between the west and east coast regions of Korea", J. Korean Meteor. Soc., Vol. 39, 43-57.
- [24] Lee, J.C. and Chung, W., 1981, "On the seasonal variations of the surface current in the Eastern Sea of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 16, 1-11.
- [25] Lee, J.C. and Na, J.Y., 1985, "Structure of upwelling off the southeast coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 20, 6-19.
- [26] Lü, X., Qiao, F., Xia, C., Wang, G. and Yuan, Y., 2010, "Upwelling and surface cold patches in the Yellow Sea in summer: Effects of tidal mixing on the vertical circulation", Cont. Shelf Res., Vol. 30, 620-632.
- [27] Min, H.S. and Kim, C.H., 2006, "Interannual variability and long-term trend of coastal sea surface temperature in Korea", Ocean and Polar Res., Vol. 28, 415-423.
- [28] Park, K.A., Ullman, D.S., Kim, K., Chung, J.Y. and Kim, K.R., 2007, "Spatial and temporal variability of satellite-observed subpolar front in the East/Japan Sea", Deep-Sea Res. I, Vol. 54, 453-470.
- [29] Rho, T.K., Lee, T.S., Lee, S.R., Choi, M.S., Park, C., Lee, J.H., Lee, J.Y. and Kim, S.S., 2012, "Reference values and water quality assessment based on the regional environmental characteristics", J. Korean Soc. Oceanogra., Vol. 17, 45-58.
- [30] Suh, Y.S., Jang, L.H. and Hwang, J.D., 2001, "Temporal and spatial variations of the cold waters occurring in the eastern coast of the Korean peninsula in summer season", J. Korean Fish. Soc., Vol. 34, 435-444.

Received 15 September 2017

Revised 27 October 2017

Accepted 8 November 2017