



Original Article

동해 연안(울릉분지)의 최근 10년간 해양환경 변화

윤상철¹ · 윤석현¹ · 심무준² · 윤이용^{3,†}

¹국립수산과학원 기후변화연구과

²(주)대양환경기술

³가톨릭관동대학교 공과대학 보건환경학과

Characteristics and Variation Trend of Water Mass in Offshore of the East Coast of Korea During Last 10 years

Sang Chol Yoon¹, Suk Hyun Yoon¹, Moo Joon Shim², and Yi Yong Yoon^{3,†}

¹Oceanic Climate & Ecology Research Division, NIFS, Busan 46083, Korea

²Daeyang Environment Technology Co., Ltd, Gangnung 25422, Korea

³Department of Health & Environment, Catholic Kwandong University, Gangnung 25601, Korea

요 약

울릉분지(Ulleung basin)는 동해 남서부에 위치한 해역으로 한류의 특성을 나타내는 북한한류계수(NKCW: North Korean Cold Water)와 난류의 특성을 나타내는 대마난류계수(Tsushima Current)에 의해 해양환경이 영향을 받는다. 본 연구에서는 2006년부터 2015년까지 최근 10년간 매년 격월별로 정선해양관측한 수온, 염분, 용존산소 자료를 분석하여 동해 연안에 존재하는 해수 수괴들의 특성과 지구온난화로 인한 수괴별 물리, 화학적 특성이 어떻게 변화되고 있는지? 1960년부터 2005년 사이 45년 동안 변화되어 온 추이가 지속되고 있는지?를 고찰하였다. 조사지역으로 유입되는 모든 수괴의 수온이 지난 45년(1960~2005)동안 상승하였으며, 최근 10년 (2006~2015) 동안에도 대마난류계수와 동해고유수는 지속적으로 증가하고 있다. 최근 55년 동안 대마난류계 표층수는 2.59 °C, 중층수는 1.61 °C, 동해고유수는 0.35 °C 상승한 반면 북한한류계수는 45년 동안 수온이 증가(2.33 °C 증가)하는 추이였으나 최근 10년 동안에는 감소(0.01 °C 감소)하는 추이를 보임으로서 한류의 영향이 점차 증가하는 것으로 추론할 수 있다. 용존산소 농도는 수온 증가와 더불어 감소하며, 최근 10년 동안에도 대마난류계 표층수와 중층수, 동해고유수의 용존산소 감소는 지속되어 지난 55년 동안 각각 0.61 mL·L⁻¹, 0.82 mL·L⁻¹, 0.33 mL·L⁻¹ 감소한 반면, 북한한류계수의 용존산소 농도는 최근 10년 동안 수온 감소(0.01 °C)와 더불어 0.14 mL·L⁻¹ 증가하였다. 반면 울릉분지로 유입되는 모든 수괴의 염분은 강수량의 증가 추세로 감소하고 있으며, 특히 대마난류계 표층수는 지난 55년 동안 약 0.28 감소하였다. 따라서 차후에도 동해 해양환경은 지구온난화와 더불어 지속적인 변화가 예상되며, 해류의 변화뿐만 아니라 해양생태계의 변화에 주목할 필요가 있다.

Abstract – Marine environments of Ulleung basin located in south-western East Sea, Korea, is affected by two main currents: NKCW (North Korean Cold Water) and TWC (Tsushima Warm Current). The purpose of this study is to confirm the characteristics of water masses on the East Sea, Korea, the physico-chemical changes caused by global warming using annual observed ocean data (temperature, salinity, Dissolved oxygen (DO)) for the last 10years from 2006 to 2015 and Long-term trends in marine characteristics for 45years from 1960 to 2005. The water temperatures of all water masses inflowing the survey area have risen during the past 45 years (from 1960 to 2005), and TWC and ESPW(East Sea Proper Water) have continued to increase during the last decade (2006 to 2015). In recent 55 years, the TWC increased by 2.59 °C, the middle water increased by 1.61 °C, and the ESPW increased by 0.35 °C. On the other hand, TWC is the trend of increase of water temperature (2.33? increase) for 45 years, and the decrease of water temperature (0.01 °C decrease) in recent 10 years shows that the influence of cold current is increasing gradually. DO concentration decreased with increase in water temperature. In the past decade, the decrease of DO in TWC surface water (0.61 mL·L⁻¹), middle layer water (0.82 mL·L⁻¹), and ESPW (0.33 mL·L⁻¹) continued for 55 years. On the other hand, DO concentration of the NKCW increased 0.14 mL·L⁻¹ with

†Corresponding author: yoonyy@cku.ac.kr

the decrease of water temperature (0.01 °C) in the last 10 years. The salinity of all water masses inflowing the Ulleung Basin is decreasing due to the increase of precipitation. In particular, The surface water of TSW has decreased by about 0.28 over the past 55 years. Therefore, the marine environment of the East Sea, Korea is expected to be continuously changed with global warming, and it is necessary to pay attention to the change of the marine ecosystem as well as the change of the ocean current.

Keywords: Water masses(수괴), long-term variation(장기변동), Tsushima Surface Water(대마난류표층수), Thushima Middle Water(대마난류중층수), North Korean Cold Water(북한한류수), East Sea Proper Water(동해고유수)

1. 서 론

지난 1세기 동안 온실가스 방출의 결과로 지구의 평균 기온은 최소한 0.5 °C 정도 상승한 것으로 알려져 있으며 특히, 1980년대 이후 최근 20여 년 동안 전 지구적 규모의 기온 상승이 현저하게 나타나고 있다. 이 같은 변화의 영향에 대한 예측은 복잡하며 이에 대한 지속적인 연구가 수행되고 있다(Khalil and Rasmussen[1984]; Thompson and Cicerone[1986]).

지구온난화 현상은 강수량과 증발량 같은 기상요소에도 영향을 미칠 수 있으며, 해양은 기상과 밀접한 상호작용을 하기 때문에(Gill.[1982]) 기후변화는 해양 생태계의 중요한 물리적 환경인자인 수온과 염분의 변화를 초래할 수 있다. 해양에서 수온과 염분의 변화는 해양생태계의 변화에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며(Zhang *et al.*[2000]), 해양생태계 변화에 대한 지표가 될 수 있기 때문에 수온과 염분의 장기변화 패턴을 연구하는 것은 매우 중요하다.

동해연안은 계절풍의 영향을 많이 받는 지역으로 여름철에는 남동풍의 영향으로 표층의 유동이 북쪽으로 올라가려는 흐름이 강하고, 겨울철에는 북서풍의 영향으로 남쪽으로 향하는 유동의 세기가 강해져서 북쪽으로 올라가려던 흐름이 방해 받게 된다. 이처럼 동해 연안에는 한류와 난류가 서로 순환하는 독특한 수괴 구조를 갖고 있기 때문에 동해연안의 수온과 염분 같이 보존성이 큰 인자들의 시·공간적인 분포양상이 매우 복잡하게 나타난다.

울릉분지(Ulleung basin)는 동해의 남서부에 위치한 해역이다. 유입되는 해류에 의해 다양한 물리적인 현상이 발생하는 해역으로, 한류의 특성을 나타내는 북한한류계수(NKCW: North Korean Cold Water)와 난류의 특성을 나타내는 대마난류계수(Tsushima Current)에 의해 해양환경이 영향을 받는다. 연안을 따라서 남하하는 북한한류계수는 저온·저염 그리고 높은 용존산소의 특성을 나타내며, 북상하는 대마난류계수는 고온·고염과 상대적으로 낮은 용존산소 농도 등, 서로 상반된 특성으로 해양환경에 영향을 미친다. 대마난류계 표층수(TSW: Tsushima Surface Water)와 중층수(TMW: Tshushima Middle Water)는 각각 20 m 상부 수층과 20~50 m 수층을 중심으로 존재한다(Yang *et al.*[1991]). 북한한류계수의 영향은 동계보다 하계에 더욱 우세하며(Yun *et al.*[2004]), 공간적으로는 본 연구해역의 107 Line 연안을 따라 남하하면서 102 line의 연안까지 남북 방향으로 주로 100 m 수층을 중심으로 분포한다(Na *et al.*[1991]). 특히 울릉분지는 세계 평균 해수의 수온 상승폭 보다 더 크며, 저층의 용존산소의 농도 변화도 주목 받고 있었다(Kim *et al.*[2004]).

국립수산과학원에서는 1960년도부터 매년 월별로 6회(2, 4, 6, 8, 10, 12월) 동해연안(울릉분지)에서 정선해양관측을 실시하고 있으며, 1960년도부터 2005년 사이 45년 동안 관측한 수온, 염분, 용존산소 등의 자료를 분석하여 동해 연안에 존재하는 해수 수괴들의 특성과 지구온난화로 인한 수괴별 물리, 화학적 특성 변화를 규명한 바 있다(Yoon *et al.*[2007]). 2005년 당시 전 수괴의 수온이 조사기간 동안 상승하였으며, 대마난류계수(약 1.6 °C 상승)보다 북한한류계수(약 2.33 °C)의 상승폭이 약 1.5배 높았으며, 기후변화의 직접적인 영향을 받는 대마난류계 표층 수온의 상승폭이 2.57 °C로 기온 변화폭 보다 높았다. 이는 육상상태계보다 연안 생태계의 아열대화가 훨씬 빠른 속도로 진행될 수 있음을 암시 했으며, 표층수의 염분은 기온상승과 더불어 강수량의 증가 추세로 45년 동안 약 0.29 감소하였다. 용존산소 농도도 전 수괴에서 감소하는 추세였으며, 특히 수온 상승폭이 큰 북한한류계수의 용존산소농도 감소가 연간 0.021 mL·L⁻¹로 가장 두드러졌다. 동해고유수의 용존산소 감소도 수온 증가와 더불어 동해 내부 해양순환 시스템의 변화를 암시했으며, 차후, 수온 상승과 함께 연안 수산 생물의 서식환경에 부정적인 요인으로 작용할 것으로 예측했었다. 이러한 수괴 연구는 외부로부터 유입되는 해류의 기원에 따라 서로 다른 환경특성을 파악할 수 있으며, 유입되는 수괴의 세력에 따라 해역의 환경에 미치는 영향을 예측할 수 있다(Yoon *et al.*[2015]).

따라서 본 연구에서는 2006년부터 2015년까지 최근 10년간 자료를 분석하여 동해 연안에 존재하는 해수 수괴들의 특성과 지구 온난화로 인한 수괴별 물리, 화학적 특성이 어떻게 변화되고 있는지, 1960년부터 2005년 사이 45년 동안 변화되어 온 추이가 지속되고 있는지를 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

최근 10년 동안 동해 연안(울릉분지)의 물리, 화학적 수질 특성 변화를 규명하기 위하여 국립수산과학원에서 2006년부터 2015년 까지 연 6회씩(2, 4, 6, 8, 10, 12월), 수층별(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500 m)로 8개 Line, 63개 정점(Fig. 1)에서 조사한 수온, 염분, 용존산소의 자료(한국해양자료센터(KODC)에 공시된 동해의 정선 해양관측자료)를 중심으로 T-S diagram을 작성하여, 동해 연안에 존재하는 수괴의 특성 변화를 파악하고, 최근 10년 동안의 수괴별 수온, 염분, 용존산소의 변화 양상을 분석하였다. 수온, 염분, 용존산소는 SBE 19 plus와 9/11 CTD을 이용하였

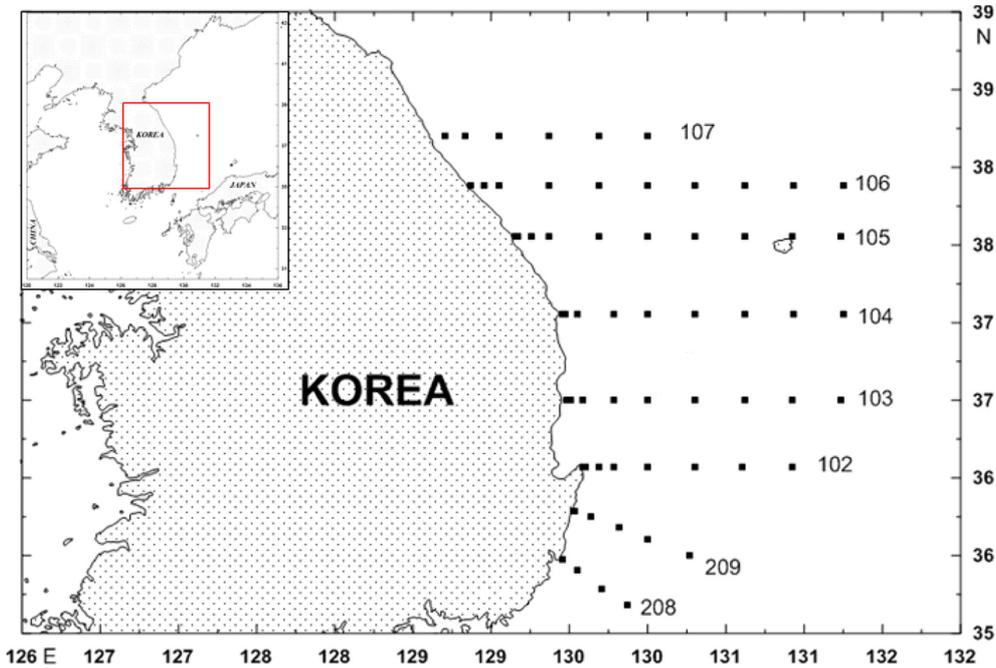


Fig. 1. Study area and location of the observation stations.

으며, 하강시 표준수층의 자료를 평균한 자료이다.

3. 결 과

3.1 동해연안 수괴분석(T-S diagram)

2006년부터 2015년 사이 월별(2, 4, 6, 8, 10, 12월) 수온과 염분 자료로 부터 T-S diagram을 작성하였고, 계절별로 편차가 가장 큰 대표적인 두 시점을 Fig. 2에 도시하였으며, Table 1에 계절별 수괴의 특성을 요약하였다. 대마난류계 표층수는 계절에 따라 대기의 영향을 직접적으로 받는 표층을 제외한 남쪽 10 m 수층을 중심으로

수온이 가장 높은 특성으로, 대마난류 중층수는 염분이 가장 높은 특성으로 구별되었다. 북한한류계수는 북쪽에 위치한 정점에서 가장 낮은 염분과 높은 용존산소의 농도로 구별되며, 주로 107 Line의 125 m 수층에서 중심 세력이 확인되었다. 동해고유수(ESPW: East Sea Proper Water)는 200 m 이심에서 가장 낮은 수온과 용존산소의 농도를 기준으로 구별되었다(Table 1).

이들 수괴들의 혼합양상은 연도별로 약간의 차이는 있으나 전반적으로 계절의 변화에 따라 주기적으로 변하는 양상이다. 수문학적 동절기인 2, 4월에는 대마난류계 표층수와 중층수의 구분이 명확하지 않은 반면 6월부터 시작해서 8, 10월에는 4개의 수괴가 뚜렷

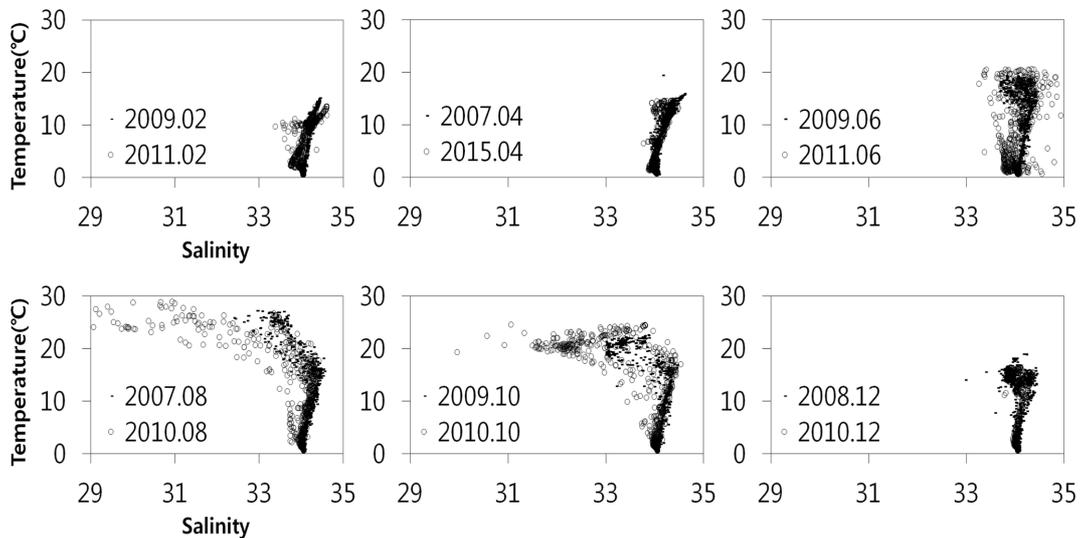


Fig. 2. T-S diagram in the coastal part of east sea from 2006 to 2015.

Table 1. Seasonal variation of water masses in the East Sea, Korea from 2006 to 2015

Season	Factor	TSW	TMW	NKCW	ESPW
		(Tsushima Surface Water)	(Tsushima Middle Water)	(North Korean Cold Water)	(East Sea Proper Water)
Feb.	St.(depths)	208-209 Line (10-50m)		107 Line (75-250m)	103-106 Line (500m)
	Temp.(°C)	13.5-15.2(14.1)		1.7-3.8(2.7)	0.4-0.6(0.5)
	Sal.	34.37-34.63(34.50)		33.77-34.05(33.92)	34.06-34.08(34.07)
	DO(mL·L ⁻¹)	5.3-5.9(5.7)		5.5-7.6(6.5)	4.7-5.2(4.9)
Apr.	St.(depths)	208-209 Line (10-100m)		107 Line (75-250m)	102-107 Line (500m)
	Temp.(°C)	14.5-16.2(15.4)		1.4-4.3(2.8)	0.4-0.6(0.5)
	Sal.	34.36-34.60(34.50)		33.86-34.05(33.96)	34.00-34.08(34.06)
	DO(mL·L ⁻¹)	5.1-5.9(5.6)		5.7-7.5(6.5)	4.7-5.9(5.1)
June	St.(depths)	208 Line (10m)	208-209Line (50-100m)	107 Line (75-300m)	102-106 Line (500m)
	Temp.(°C)	19.4-21.3(20.5)	12.5-18.7(15.4)	1.3-3.3(2.4)	0.4-0.6(0.5)
	Sal.	32.96-34.35(33.67)	34.43-34.58(34.48)	33.86-34.05(33.97)	34.05-34.08(34.06)
	DO(mL·L ⁻¹)	4.9-5.6(5.2)	4.3-5.6(5.0)	5.6-7.5(6.6)	4.8-5.6(5.1)
Aug.	St.(depths)	208 Line (10m)	208-209 Line (50-100m)	107 Line (75-150m)	102-107 Line (500m)
	Temp.(°C)	24.5-29.2(26.1)	14.3-17.7(15.8)	1.5-3.1(2.2)	0.4-0.6(0.5)
	Sal.	30.67-33.10(32.17)	34.39-34.55(34.46)	33.87-34.03(33.94)	34.03-34.08(34.06)
	DO(mL·L ⁻¹)	3.8-4.9(4.5)	3.2-6.1(4.4)	4.2-7.7(6.5)	3.7-5.1(4.7)
Oct.	St.(depths)	208 Line (10m)	208-209 Line (75-125m)	107 Line (75-125m)	102-107 Line (500m)
	Temp.(°C)	21.0-24.4(23.1)	14.5-17.7(16.5)	1.8-3.2(2.4)	0.4-0.6(0.5)
	Sal.	33.17-34.03(33.73)	34.38-34.55(34.48)	33.88-34.03(33.95)	34.03-34.08(34.06)
	DO(mL·L ⁻¹)	4.5-5.8(5.0)	3.4-5.6(4.5)	5.5-7.7(6.8)	4.6-6.2(5.2)
Dec.	St.(depths)	208 Line (10m)	208-209 Line (20-125m)	107 Line (100-300m)	102-107 Line (500m)
	Temp.(°C)	14.9-18.9(17.2)	11.4-17.8(16.1)	2.0-3.3(2.7)	0.5-0.6(0.5)
	Sal.	34.02-34.41(34.29)	34.37-34.52(34.45)	33.90-34.03(33.97)	34.05-34.08(34.07)
	DO(mL·L ⁻¹)	4.7-6.0(5.2)	3.2-5.8(4.6)	6.0-7.5(6.7)	4.8-5.6(5.1)

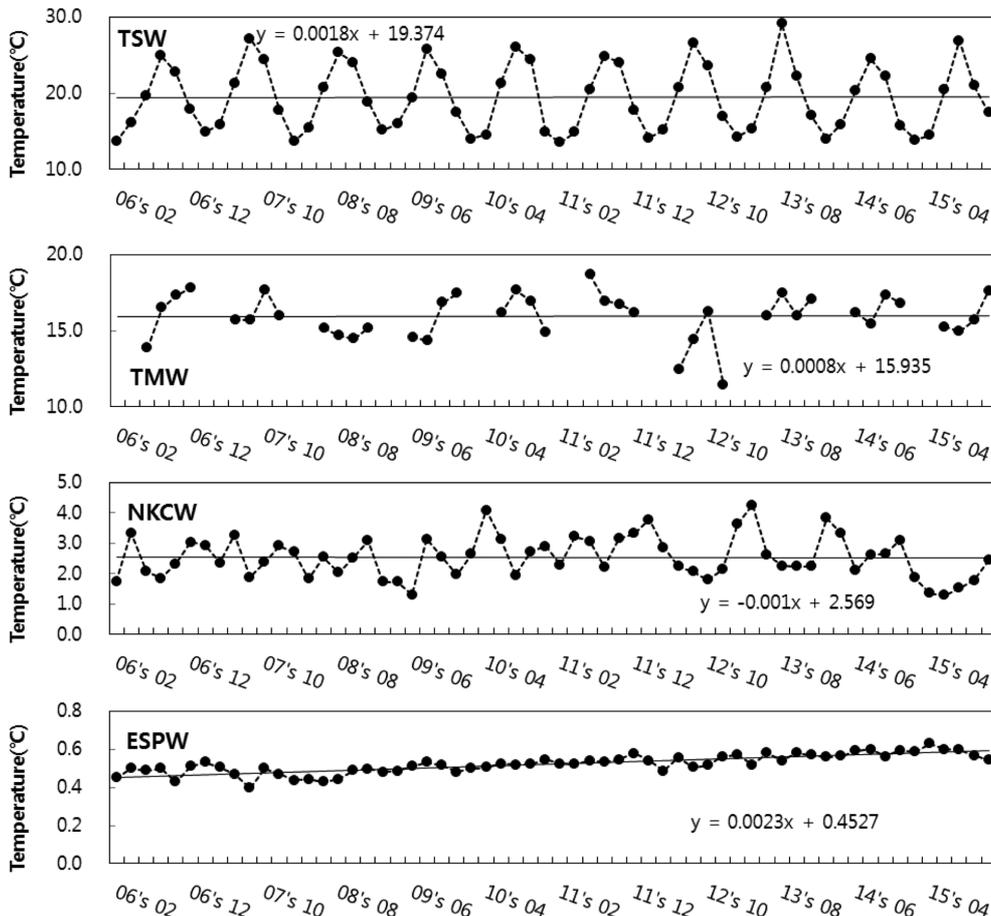


Fig. 3. Trend of change in water temperature at the coastal part of the East Sea, Korea from 2006 to 2015.

이 구분되며, 수역별로 수리적 특성에 따라 혼합되는 양상임을 알 수 있다. 주로 수문학적 하절기인 8,10월에 두드러지게 나타나는 고온, 저염의 표층수는 한국이나 일본으로부터 유입되는 육수와 대한해협을 통해 유입되는 동중국해 해수에 의해 형성되며 일반적으로 여름철 계절적 수온약층 상부에 존재하지만 12월부터 사라진다. 특히 2010년의 8월에는 대마난류표층수의 염분(29.08)이 가장 낮은 반면, 2007년 8월에는 상대적으로 높게 나타나(32.40) 연도별 차이를 보이고 있다.

3.2 수괴별 수온과 염분의 변동 추이

지난 10년 동안(2006~2015) 동해에 존재하는 수괴들의 수온 변동추이를 Fig. 3에 나타내었다. 지난 10년 동안 모든 수괴의 수온 변화가 현저하게 나타나진 않았지만 대마난류계표층수와 중층수, 동해고유수의 수온은 미소하지만 증가하는 추세를 보이는 반면 북한한류계수의 수온은 감소하는 추세를 보이고 있다. 대마난류계 표

층수와 중층수, 동해고유수의 수온 변화 추세는 1960년부터 2005년 사이 장기변동 추세(대마난류 표층수 2.57°C 상승, 중층수 1.6°C 상승, 동해고유수 0.33°C 상승)와 일치하며(Yoon *et al.*[2007]), 일본 서부해역의 대마난류수와 동해고유수의 수온 상승 추세와도 일치한다(Minami *et al.*[1999]; Tian *et al.*[2008]). 그러나 북한한류계수 수온의 감소 추세는 1960년부터 2005년 사이 장기변동 추세와 상반되는 결과이다. 1960년부터 2005년 사이 45년 동안 북한한류계수가 계절별로 0.5~2.78°C 상승하였으나 최근 10년 동안은 미소하지만 감소하는 추세이다.

반면, 염분은 4개의 수괴에서 모두 감소하는 경향을 보이며, 특히, 대마난류계 표층수의 감소폭이 크게 나타났다(Fig. 4). 이는 45년 동안(1960~2005) 0.25 감소한 추세가 이어지는 것으로 지난 10년 동안 0.03 감소하여, 기온 상승과 더불어 강수량의 증가와 밀접한 관계가 있다(Yoon and Yoon [2004]).

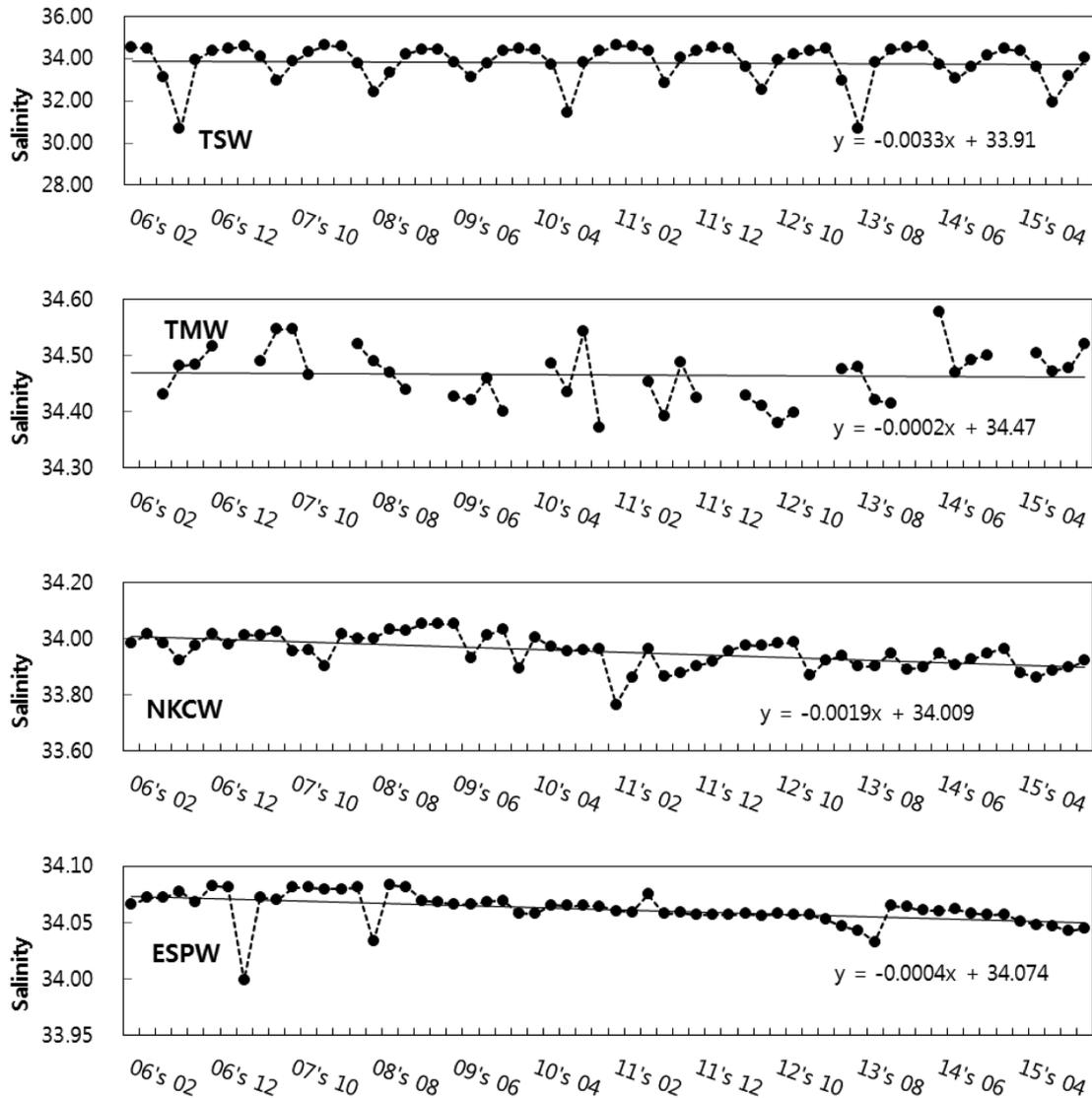


Fig. 4. Trend of change in salinity at the coastal part of the East Sea, Korea from 2006 to 2015.

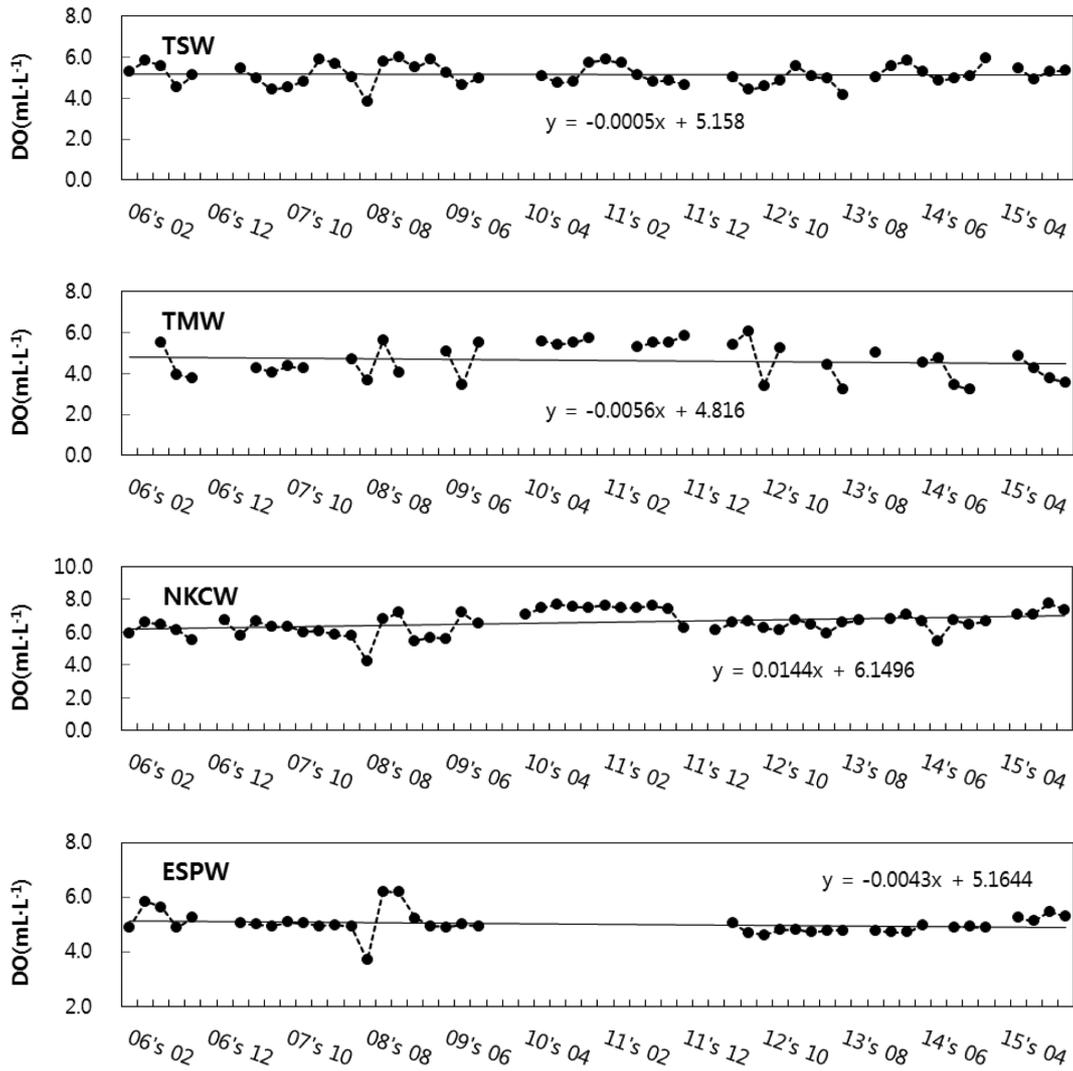


Fig. 5. Trend of change in dissolved oxygen at the coastal part of the East Sea, Korea from 2006 to 2015.

3.3 수괴별 용존산소 농도와 동해해수의 순환체계 변화

각 수괴별 용존산소 농도의 변화추이를 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 수온 상승은 용존산소의 포화도를 감소시킨다. 따라서 수온의 증가 추이를 보인 대마난류계 표층수와 중층수, 동해고유수의 용존산소 농도는 감소 추이로서 1960년부터 2005년 사이 45년 동안 감소해 오던 추이(대마난류계 표층수 0.60 mL·L⁻¹, 중층수 0.76 mL·L⁻¹, 동해고유수 0.29 mL·L⁻¹ 감소)가 계속 진행되고 있음을 알 수 있다. 그러나 북한난류계수는 45년 동안 감소해 오던 추이(0.96 mL·L⁻¹ 감소)가 지난 10년 동안에는 증가하는 추이로 바뀌고 있으며, 수온 감소추이와 함께 나타나고 있다. 이것은 최근 10년 동안 본 연구해역으로 유입되는 북한난류계수의 영향이 증가하고 있음을 추론할 수 있다. 지난 10년 동안 각 수괴별로 대마난류계 표층수가 0.01 mL·L⁻¹, 중층수가 0.06 mL·L⁻¹, 동해고유수가 0.04 mL·L⁻¹ 감소한 반면, 북한난류계수는 0.14 mL·L⁻¹ 증가하였다.

동해고유수 용존산소의 지속적인 감소는 표층에서 하강하면서 물과 함께 공급되는 용존산소의 감소를 의미하며, 수온 상승과 더

불어 해수 순환시스템의 감속을 의미한다.

4. 결 론

조사지역으로 유입되는 모든 수괴의 수온이 지난 45년(1960~2005)동안 상승하였으며, 최근 10년(2006~2015) 동안에도 대마난류계수와 동해고유수는 지속적으로 증가하고 있다. 최근 55년 동안 대마난류계 표층수는 2.59 °C, 중층수는 1.61 °C, 동해고유수는 0.35 °C 상승한 반면 북한난류계수는 45년 동안 수온이 증가(2.33 °C 증가)하는 추이였으나, 최근 10년 동안에는 감소(0.01 °C 감소)하는 추이를 보임으로서 한류의 영향이 점차 증가하는 것으로 추론할 수 있으며, 최근 울릉분지로 유입되는 해류의 영향이 변화되고 있다. 특히 일본분지로 부터 동해로 유입되는 한류계수의 변화는 일본분지에서의 수괴변화를 반영하며, 한류의 세기, 심층수량의 변화가 예측된다.

이 같은 사실은 용존산소의 농도 변화 추이에서도 확인할 수 있

다. 지난 45년 동안 모든 수괴의 용존산소 농도가 수온 증가와 더불어 감소하였으며, 최근 10년 동안에도 대마난류계 표층수와 중층수, 동해고유수의 용존산소 감소는 지속되어 지난 55년 동안 각각 $0.61 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.82 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.33 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 감소한 반면, 북한한류 계수의 용존산소 농도는 최근 10년 동안 수온 감소($0.01 \text{ }^\circ\text{C}$)와 더불어 $0.14 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 증가하였다.

동해는 우리나라 주변해역 중에서 남해에 이어 두 번째로 온난화가 크게 나타난 해역으로 평가되고 있으며(Kim *et al.*[2011]), 육지보다 동해 연안생태계의 아열대화가 훨씬 빠른 속도로 진행되고 있다. 반면 울릉분지로 유입되는 모든 수괴의 염분은 강수량의 증가 추세로 감소하고 있으며, 특히 대마난류계 표층수는 지난 55년 동안 약 0.28 감소하였다. 따라서 차후에도 동해 해양환경은 지구 온난화와 더불어 지속적인 변화가 예상되며, 해류의 변화뿐만 아니라 해양생태계의 변화에 주목할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 2017년 국립수산물과학원 적조모니터링 및 발생메커니즘 연구(R2017045)와 가톨릭관동대학교 학술연구비(CKURF-201604270001)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- [1] Na, J.Y., Lee, S.W. and Cho, K.D., 1991, "A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula - The vertical structure of temperatures in the East Sea of Korea -", Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 24, No. 4, 215-228.
- [2] Gill, A.E., 1982, "Atmosphere-ocean dynamics", Academic Press, 662.
- [3] Khalil, M.A.K. and Rasmussen, R. A., 1984, "Carbon monoxide in the Earth's atmosphere; Increasing trend", Science, 224, 54-56.
- [4] Kim, K., Kim, K.R., Kim, Y.G., Cho, Y.K., Kang, D.J., Takematsu, M. and Volkov, Y., 2004, "Water masses and decadal variability in the East Sea(Sea of Japan)", Progress in Oceanography, Vol. 61, 157-174.
- [5] 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 Research, Vol. 33, No. 3, 281-290.
- [6] Minami, H., Kano, Y. and Ogawa, K., 1999, "Long term variations of potential temperature and dissolved oxygen of the Japan Sea Proper Water", J. Oceanography, Vol. 55, 197-205.
- [7] Thompson, A.M. and Cicerone, R.J., 1986, "Possible perturbation of CO_2 , CH_4 and OH", Geophys. Res. Vol. 91, 10853-10864.
- [8] Tian, Y., Kidokoro, H., Watanabe, T. and Iguchi, N., 2008, "The late 1980s regime shift in the ecosystem of Tsushima warm current in the Japan/East Sea: Evidence from historical data and possible mechanisms", Progress in Oceanography, Vol. 77, 127-145.
- [9] Yang, H.S., Kim, S.S., Kang, C.G. and Cho, K.D., 1991, "A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula. III. Chemical characteristics of water masses in the polar front area of the central Korean East Sea", Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 24, No. 3, 185-192.
- [10] Yoon, S.C., Yoon, S.H., Whang, J.D., Suh, Y.S. and Yoon, Y.Y., 2015, "Long-term variation in ocean environmental conditions of the Northern East China Sea", J. Korean Soc, Mar, Environ. Energy, Vol. 18, No. 3, 189-206.
- [11] Yun, J.Y., Maggaard, L., Kim, K., Shin, C.W., Kim, C. and Byun, S.K., 2004, "Spatial and temporal variability of the North Korean Cold Water leading to the near-bottom cold water intrusion in Korea Strait", Progress in Oceanography, Vol. 60, 99-131.
- [12] Yoon, Y.Y., Jung, S.J. and Yoon, S.C., 2007, "Characteristics and long term variation trend of water mass in the coastal part of East Sea, Korea", J. Korean Soc, Mar, Environ. Energy, Vol. 10, No. 1, 59-65.
- [13] Yoon, Y.Y. and Yoon, S.C., 2004, "Global warming and change of meteorological environment over Kangwon-do", J. of the instit. of industrial tech. and development, Kandong Univ., Vol. 21.
- [14] Zhang, C.I., Lee, J.B., Kim, S. and Lee, J.H., 2000, "Climatic-regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean water", Progress in Oceanography, Vol. 44, 171-190.

Received 25 May 2017

1st Revised 26 July 2017, 2nd Revised 11 September 2017

Accepted 18 September 2017