

2013~2017년 동해 연안의 해양환경과 영양염의 시간적 변동 : 속초, 죽변, 감포 연안

권기영* · 심정희**† · 심정민**

* 국립수산과학원 연구기획과, ** 국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과

Temporal Variations of Sea Water Environment and Nutrients in the East Coast of Korea in 2013~2017: Sokcho, Jukbyeon and Gampo Coastal Areas

Kee-Young Kwon* · Jeong Hee Shim**† · Jeong-Min Shim**

* Research and Development Planning Division, National Institute of Fisheries Science, Busan, 46083, Korea,

** East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangnung, 25435, Korea

요약 : 동해 연안의 영양염의 장기간 변동 특성을 파악하기 위하여 2013년부터 2017년까지 5년간 격월별로 속초, 죽변, 감포 연안의 3개 정점에서 수온, 염분, 용존산소, 영양염을 조사하였다. 5년 동안 동해연안에서 수온은 1.2~28.8 °C, 염분은 30.63~34.79, 용존산소는 3.53~7.64 mL/L의 범위였으며 수온의 연직분포 변동에 따라 환경요인들의 분포와 변동이 결정되고 있었고, 북한한류수의 남하 유입에 의해 2015년과 2016년에 속초연안에서 용존산소가 높게 나타났다. 용존무기질소(DIN, NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)의 농도는 0.11~24.19 μM, 인산인의 농도는 0.01~1.75 μM, 규산 규소의 농도는 0.17~32.80 μM의 범위 내에서 변동하였다. 동해연안의 N:P 비는 0.7~54.3(평균 15.2), N:P 기울기는 해역별로 11.67~13.75의 범위로, Redfield 비(16)보다 낮아, 동해연안에서는 대체로 질산 질소가 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 영양염인 것으로 나타났다. 전체 N:P 기울기의 상관관계(R²)는 0.95로 높아 주변 육상 또는 비점오염원의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 결론적으로 동해 연안에서 영양염의 시·공간적 변동은 수온의 성층구조 변동에 따른 저층 영양염의 혼합에 따라 결정되었으며, 외부 수괴 유입과 연안 용승 등의 물리적 요인에 의해 주로 영향을 받고, 육상으로부터 유입에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 동해, 영양염, 용존산소, 수온 연직분포, 용존무기질소와 용존무기인 비(N:P)

Abstract : To investigate the long-term variation characteristics of nutrients in the east coast of Korea, water temperature, salinity, dissolved oxygen, and nutrients were measured at three stations of Sokcho, Jukbyeon and Gampo coasts for five years from 2013 to 2017. For five years, the water temperature of the East Sea coast was in the range of 1.2~28.8 °C, the salinity was in the range of 30.63~34.79 and the dissolved oxygen (DO) was in the range of 3.53~7.64 mL/L. Distribution and variation of the water environment factors in the study area were determined by the vertical stratification of water column and distribution of water temperature. The high DO concentration in Sokcho coast From 2015 to August 2016 is presumed to be the result of the southward inflow of North Korean Cold Water (NKCW). Concentrations of dissolved inorganic nitrogen (DIN, NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N) ranged 0.11~24.19 μM, phosphate concentration ranged 0.01~1.75 μM, and silicate ranged 0.17~32.80 μM. The N:P ratio was in the range of 0.7~54.3 (mean 15.2) and the N:P slope was in the range of 11.67~13.75. The N:P ratios in this study were lower than the Redfield ratio (16), indicating that nitrate did act as a limiting factor in phytoplankton growth. The correlation (R²) of total N:P ratio was as high as 0.95, indicating that the effect of the surrounding land or non-point sources was not significant. In conclusion, the spatial and temporal variation of nutrients in the east coast of Korea was determined by the vertical mixing of water mass with thermocline and mainly affected by physical factors such as inflow of external water masses and coastal upwelling, and the influences from inflows from the land were minimal.

Key Words : East Sea, Nutrients, Dissolved oxygen, Water temperature vertical distribution, N:P ratio

* First Author : oceanmc@korea.kr, 051-720-2822

† Corresponding Author : jshim@korea.kr, 033-660-8534

1. 서론

동해는 평균 수심이 약 1500 m, 최대 수심이 약 3,700 m로, 수심이 얇은 대한해협, 쓰가루해협, 소야해협을 통해 북서태평양과 연결되어 있는 반폐쇄적인 해역이며, 대양에서 관찰할 수 있는 여러 해양학적 현상이 발생하는 대양의 축소판으로 알려져 있다(Moon et al., 1996; Lee et al., 2009). 동해에서는 수심 300 m 이심에 동해 전체 부피의 약 84%를 차지하고 있는 수온 0~1°C의 동해고유수(East Sea Proper Water, ESPW)가 존재하고 그 상층에는 대한해협을 통해 유입되는 대마난류와 동해 북부에서 순환되는 리만한류 및 북한 한류의 영향으로, 각기 다른 수온, 염분 및 용존산소의 특성치를 가지는 대마난류 표층수(Tsushima Surface Water, TSW), 대마난류 중층수(Tsushima Middle Water, TMW), 동해 중층수(East Sea Intermediate Water, ESIW) 및 북한한류수(North Korea Cold Water, NKCW) 등 다양한 수괴가 형성된다(Kim and Kim, 1983; Kim et al., 1991; Moon et al., 1996).

우리나라 동해 연안의 경우, 대마난류에서 분지된 동한난류(East Korea Warm Current, EKWC)는 우리나라 동해연안을 따라 북상하다가 북쪽에서 남하하는 북한한류(North Korea Cold Current, NKCC)와 약 37~38°N 부근에서 만난 후 북동쪽으로 방향을 틀고 극전선(subpolar front, SPF)을 형성하면서 쓰가루 해협으로 향한다(Mooers et al., 2005; Lee et al., 2009). 또한 동해 중남부 연안(죽변~감포)에서는 주로 하계에 용승현상이 발생하면서 표층에 냉수대를 형성시키는(Kim and Kim, 1983) 등 동해 연안은 해양학적으로 매우 역동적으로 변화하는 환경이라 할 수 있다.

해양에서 영양염은 해양 생태계의 기초 먹이원이 되는 식물플랑크톤의 성장을 조절하는 중요한 요인이며, 이러한 비보존성 성분은 수괴의 환경을 이해하는데 중요한 수단이 된다(Spencer, 1975; Cha et al., 1998). 우리나라 동해 연안은 지형적인 영향으로 큰 규모의 강이 없어 육상으로부터 영양염이 풍부하게 공급되지 못하는 해역으로 잘 알려져 있다. 결국 동해연안에서 영양염의 분포와 변동은 앞서 언급한 수괴 또는 해류가 가지고 있는 영양염 특성에 따라 변동될 가능성이 클 것이다. 동해연안으로는 고온, 고염(>34.5) 및 낮은 영양염 농도를 보유한 동한난류수계가 남쪽으로부터 연안을 따라 유입되지만(Park, 1979; Lee et al., 2009), 하계 이후에는 장강에서 기원하고 영양염이 풍부한 저염수가 동한난류와 혼합되어 유입되기도 한다. 또한 상대적으로 저온, 저염 및 풍부한 용존산소의 특성을 보유하고 북쪽으로부터 저층을 따라 유입되는 북한한류수(Lee et al., 2009)와 영양염이 풍부한 동해고유수 혹은 상대적으로 영양염 농도가 다소 낮은 동해중층수(Kim et al., 1991)가 연안 용승에 의해 표층으로 공급되면

서 동해 연안의 영양염 변동에 영향을 줄 것으로 예상된다.

더불어 동해연안에서는 가리비와 우렁쉥이 양식이 연안을 따라 주로 성행되고 있는데, 이 여과섭이생물들의 주요 먹이가 되는 식물플랑크톤과 이를 조절하는 영양염의 변동은 양식생물의 생산성을 결정하는 주요 요인들 중에 하나가 될 것이다. 따라서 동해 연안에서 영양염의 변동을 파악하는 것은 동해연안의 해양 환경을 이해하고 수산양식의 생산성을 유지하는데 중요한 과정이라 할 수 있겠다.

동해에서 영양염에 대한 연구는 주로 냉수괴, 동해고유수 및 동해중층수가 보유하고 있는 화학적 특성에 대한 연구(Kido and Nishimura, 1973; Park, 1978; Kim et al., 1991), 기초생산 및 식물플랑크톤과 질소계 영양염의 변동관계 등에 대한 연구(Shim and Park, 1986; Chung et al., 1989; Shim et al., 1989; Han et al., 1998) 및 극전선역에서 출현하는 수괴의 특성, 각 수괴의 화학적 특성 및 극전선역의 기초생산을 다룬 연구(Yang et al., 1991; Moon et al., 1996; 1998; Cho et al., 1997) 등에서 다루어져 왔으나 주로 수괴의 특성을 파악하고 구분하기 위한, 그리고 기초생산 변동을 이해하기 위한 보조적인 자료로 다루어져 왔기 때문에 보다 구체적인 정보를 얻기에는 제한적이다. 또한 조사선 운용, 해황 등 동해에서의 어려운 조사 여건으로 유사한 해역을 대상으로 주기적으로 수행된 연구는 미흡한 편이다 Lee(1999)가 90년대 들어 국내에서 영양염에 대한 연구가 매우 부진하다고 지적한 바와 같이 동해에서도 90년대 후반 들어서는 영양염에 대한 정보를 얻기가 힘들어 졌다.

본 연구의 목적은 우리나라 연안 어장의 수질환경을 모니터링하기 위해 수행된 어장환경모니터링 사업 중 동해안에서 2013년에서 2017년까지 5년간 조사한 연안 수질환경 자료를 제시하고, 동해 연안에서 보여지는 영양염의 시·공간적 분포가 수온, 염분, 수괴 등 어떠한 환경 인자에 의해 영향을 받아 변동되는지 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 매년 짝수 월에 북쪽의 강원도 거진 연안에서부터 남쪽의 경상북도 감포 연안까지 연안 어장 주변 수질환경을 조사하는 국립수산과학원 동해수산연구소의 동해 연안 어장환경모니터링을 수행하면서 획득된 결과 중 2013년부터 2017년까지 격월별로 조사된 속초, 죽변, 감포 연안의 각 1개 정점의 수질환경 분석자료를 이용하였다(Fig 1). 속초, 죽변, 감포 연안 정점은 각각 동해 북부에서 유입되는 북한한류수의 영향을 받고, 북쪽의 한류와 남쪽의 난류가 교차하며, 남쪽에서 유입되는 대마난류의 영향을 받는 동해 중북부, 중부, 남부의 대표적인 정점으로 판단되어 선정하였

다. 각 정점은 연안에서 약 6 km 떨어진 정점으로 각 정점의 수심은 속초 정점의 경우 약 80 m, 죽변 정점은 약 100 m, 감포 정점은 약 75 m이었다. 현장조사는 동해수산연구소 시험조사선 탐구12호를 이용하였다. 수온과 염분은 CTD(Seabird 19 plus, USA)로 측정하였으며, 용존산소와 영양염의 분석을 위한 시료는 니스킨 채수기를 이용하여 0, 20, 50, 75 m(저층) 수심에서 채수하였다. 용존산소는 선상에서 해수를 용존산소 병에 고정된 후, Winkler 법으로 분석하였다(해양환경공정시험기준, 2013). 영양염은 현장에서 GF/F 여과지(Whatman)로 여과한 후, 여과된 시료를 분석 시까지 냉동 보관하였으며, 실험실로 운반 후, 영양염 분석은 비색법에 따라 Seal Analytical사의 영양염자동분석기(QuAAtro, Germany)를 이용하여 분석하였다.

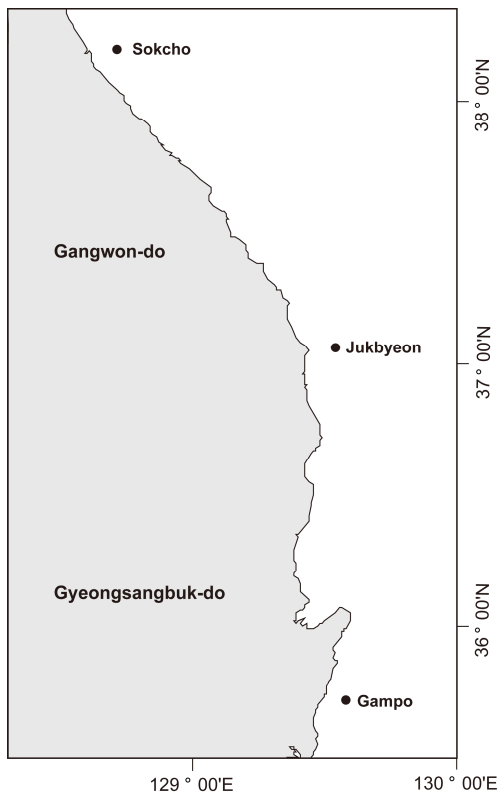


Fig. 1. A map showing stations in the study area.

3. 결과 및 고찰

3.1 수온, 염분, 용존산소 변동

2013년부터 2017년까지 짝수월에 관측된 동해 연안의 수온은 1.2~28.8°C의 범위 내에서 변동하였으며, 2월이 낮고 8월이 높은 온대역의 전형적인 수온변화를 보였다(Table 1). 속초 연안의 수온은 1.2~26.1°C, 죽변 연안의 수온은 1.3~

26.5°C, 감포 연안의 수온은 2.8~28.8°C의 범위로, 속초 연안에서 감포 연안으로 내려올수록 수온분포가 높았고, 계절별 수온 차이 또한 속초 연안에 비해 감포 연안에서 상대적으로 적었다(Fig. 2). 조사 기간동안 최고 수온은 매년 8월에 표층에서 관측되었으며, 시기별, 연안별 차이는 있지만 대체로 70 m 이심의 저층에서 5°C 이하의 냉수가 지속적으로 관측되었다. 5년동안 연안별로 약 9°C의 등온선 변화 양상을 살펴보면, 속초 연안에서는 9°C 등온선이 4월에 수심 20 m 이치의 표층에서 관측되기 시작하여 12월에 50~60 m 층까지 확장된 후 사라지는 썩기형태의 변동 양상을 보여주었다. 12월 이후 해수는 급격하게 냉각되어 전 수심에서 7°C이하의 낮은 수온을 보였다. 다만 2017년 2월에는 이전 4년 동안의 2월 수온분포와 달리 표층에서 수심 40 m까지 수온이 10.2~12.0°C로 냉각되지 않은 특징을 보였다. 이는 이 시기에 원산만 주변해역에서 이상적으로 발달한 평년대비 약 4~5°C 높은 고수온 수괴가(Fig. 3) 해류를 따라 동해 중부 연안으로 유입된 결과로 판단되며, 이 시기 죽변 연안의 표층에서도 예년과 달리 수심 50 m까지 11°C로 관측되었던 것은 고수온 수괴가 죽변 연안까지 영향을 미쳤던 것으로 보인다.

죽변 연안에서도 속초 연안의 썩기 모양의 수온 변화양상과 유사하였으나, 수온 범위가 다소 높아져 2월에 9~11°C의 범위로 크게 냉각되지 않았으며, 추계에 9°C 등온선의 확장 정도가 속초에 비해 깊어지는(60~80 m) 양상을 보였다. 감포 연안에서는 속초와 죽변 연안에 비해 수온 범위가 더욱 상승하여 전 계절에 걸쳐 30 m 이심의 수심에서는 수온이 항상 10°C 이상으로 유지되었으며, 40 m 이심에서는 타 연안과 유사한 썩기형태의 변동 양상을 보여주었다.수층의 수온구배에 의해 형성되는 수온약층의 변동은 하계에 얕은 수심에서 강하게 발달하고 동계에 소멸 또는 저층에 약하게 나타나는 일반적인 양상을 보였으며, 표층의 가열과 냉각에 의해 수온약층과 표면혼합층의 수심이 결정되고 있었다.

속초 연안에서 감포 연안으로 갈수록 수온분포가 높아지고, 동계에 전 수심에서 낮은 수온으로 혼합되는 속초연안에 비해 감포 및 죽변 연안에서 추계~동계로 이어지는 기간에 표층에서 수온이 상대적으로 높게 유지되는 것은 위도에 따른 영향이 1차적 원인이 되겠지만, 남쪽에서 동해연안으로 유입되어 연안을 따라 북향하다가 죽변 연안 부근에서 동쪽으로 흘러나가는 동한난류에 의한 영향도 있을 것으로 판단된다.

조사기간동안 동해연안의 염분은 30.63~34.79의 범위 내에서 변동하였으며(Table 1), 대체로 수온의 변동양상과 반대로 동계와 춘계에 높고, 하계와 추계에 낮은 분포를 보였다(Fig. 2). 속초 연안의 염분은 30.63~34.37, 죽변 연안의 염분은 32.21~34.79, 감포 연안의 염분은 31.21~34.58의 범위로,

Table 1. Monthly mean values of water temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and N:P in Sokcho, Jukbyeon and Gampo area of the east coast of Korea from 2013 to 2017. Values in parentheses indicate range respectively

Month	Site	Temp. (°C)	Sal.	DO (mL/L)	NH ₄ +NO ₃ +NO ₂ (µM)	PO ₄ -P (µM)	SiO ₂ -Si (µM)	N:P
Feb.	Sokcho	6.3 (3.4~12.0)	33.99 (33.79~34.32)	6.70 (5.57~7.41)	6.79 (3.32~11.11)	0.45 (0.20~0.82)	9.28 (5.66~15.61)	15.4 (13.6~17.2)
	Jukbyeon	9.2 (2.8~11.8)	34.17 (33.66~34.40)	6.10 (5.51~6.47)	9.18 (6.34~15.44)	0.62 (0.36~1.17)	11.85 (7.79~22.60)	15.4 (13.1~19.9)
	Gampo	11.8 (5.0~13.3)	34.26 (34.05~34.48)	5.83 (5.22~6.14)	8.02 (5.18~11.62)	0.51 (0.19~0.78)	10.76 (4.73~16.41)	17.1 (12.1~28.0)
Apr.	Sokcho	6.7 (1.2~12.0)	34.07 (33.88~34.37)	6.64 (5.97~7.57)	7.44 (0.16~19.57)	0.52 (0.01~1.43)	9.61 (1.42~27.26)	14.6 (1.8~39.0)
	Jukbyeon	8.5 (1.3~13.7)	34.13 (33.88~34.43)	6.21 (5.68~7.01)	7.74 (0.14~19.25)	0.57 (0.02~1.64)	11.03 (0.20~28.15)	14.8 (2.6~40.1)
	Gampo	12.4 (3.3~14.9)	34.19 (33.89~34.48)	5.99 (5.31~6.94)	6.67 (1.38~17.62)	0.47 (0.01~1.41)	10.92 (2.05~25.42)	15.6 (8.2~27.9)
June	Sokcho	9.2 (2.3~18.4)	33.97 (33.44~34.31)	6.44 (5.60~7.64)	4.96 (0.33~13.22)	0.40 (0.01~0.91)	7.84 (1.00~15.91)	11.3 (2.6~32.4)
	Jukbyeon	9.4 (1.9~18.4)	34.02 (33.80~34.79)	6.15 (5.29~7.11)	6.32 (0.11~17.48)	0.51 (0.01~1.42)	9.23 (0.60~24.73)	10.1 (0.7~21.1)
	Gampo	12.6 (2.8~20.6)	33.97 (33.16~34.43)	5.27 (4.17~6.81)	9.22 (0.31~19.07)	0.75 (0.03~1.73)	15.66 (4.35~27.79)	12.8 (4.2~20.0)
Aug.	Sokcho	12.6 (2.7~26.1)	33.45 (30.63~34.33)	6.04 (4.48~7.64)	4.52 (0.16~14.06)	0.30 (0.01~1.05)	6.40 (0.17~18.88)	13.2 (2.6~25.9)
	Jukbyeon	12.1 (2.0~26.5)	33.81 (32.21~34.30)	5.79 (4.28~7.32)	5.80 (0.13~15.61)	0.40 (0.01~1.15)	9.10 (0.27~19.59)	13.4 (1.4~24.8)
	Gampo	15.8 (4.9~28.8)	33.51 (31.21~34.58)	4.93 (3.92~6.64)	8.11 (0.55~24.19)	0.52 (0.01~1.75)	13.66 (2.68~32.80)	20.4 (6.9~54.3)
Oct.	Sokcho	13.3 (1.9~20.9)	33.40 (32.34~34.00)	5.70 (5.02~6.54)	5.44 (0.23~16.51)	0.39 (0.01~1.21)	8.68 (1.54~21.26)	19.6 (12.3~47.2)
	Jukbyeon	13.3 (1.6~24.0)	33.56 (32.28~34.32)	5.30 (3.73~6.40)	7.83 (0.47~18.47)	0.52 (0.01~1.37)	11.99 (2.36~26.00)	19.4 (13.4~52.3)
	Gampo	18.4 (4.6~23.3)	33.50 (32.09~34.36)	4.61 (3.53~5.30)	8.41 (1.36~22.05)	0.53 (0.01~1.49)	13.74 (3.44~28.98)	18.3 (11.7~29.9)
Dec.	Sokcho	11.4 (2.4~15.0)	33.82 (33.23~34.23)	5.71 (4.93~6.92)	8.72 (1.72~21.00)	0.58 (0.10~1.53)	12.24 (4.61~28.07)	15.3 (13.2~17.6)
	Jukbyeon	13.2 (2.9~17.0)	34.03 (33.82~34.40)	5.36 (3.85~6.58)	9.81 (3.47~18.91)	0.70 (0.16~1.38)	14.28 (5.42~23.95)	15.1 (11.6~21.3)
	Gampo	14.8 (4.4~16.6)	34.11 (33.60~34.37)	5.20 (3.97~5.71)	8.31 (4.25~15.20)	0.64 (0.26~1.46)	14.18 (7.17~28.36)	13.6 (10.0~16.9)

속초 연안의 염분이 죽변과 감포 연안에 비해 상대적으로 낮은 분포를 보였다. 속초 연안에서 염분 34 이상의 고염분은 2013에서 2016년까지 4년 동안 2~6월까지 수심 약 30~50 m에 제한적으로 출현하였고 8~12월까지는 상대적으로 저염분이 수심 60 m까지 강하게 확장되는 양상을 보였다. 죽변 연안에서는 속초연안의 염분 분포와 달리 34 이상의 고염분수가 동·춘계에 명확하게 나타남은 물론 연중 수심 30~60 m 층에서 관측되는 양상이었으며, 하·추계의 낮은 염분(약 33.5)은 수심 30 m 이심을 넘어서지 못하였다. 감포 연안에서는 속초·죽변 연안에 비해 34 이상의 고염분수가 전 수심에서 확장되어 분포하는 양상이었으며, 8~10월에는 33이

하의 저염분수가 10~20 m 층까지 뚜렷하게 유지되고 있었다. 3개 연안에서 저층의 염분은 중층의 염분에 비해 다소 낮은 분포를 보여 주었으며, 저층의 34보다 낮은 염분 분포는 저층 수온의 8~9°C 등온선 분포와 유사한 변동 양상을 보여주었다.

염분의 시기별 수직구조 변동 양상은 대체로 수온의 변동 양상과 유사하여, 동계에는 표·저층의 활발한 혼합에 의해 전 수층에서 높은 염분을 나타내었고, 하계에는 강한 수온 약층으로 표층에 낮은 저염분수가 분포하였으며, 추계에는 수온약층의 약화에 따른 혼합층의 확장 정도에 따라 저염분수가 저층으로 확장되고 있었다.

2013~2017년 동해 연안의 해양환경과 영양염의 시간적 변동 : 속초, 죽변, 감포 연안

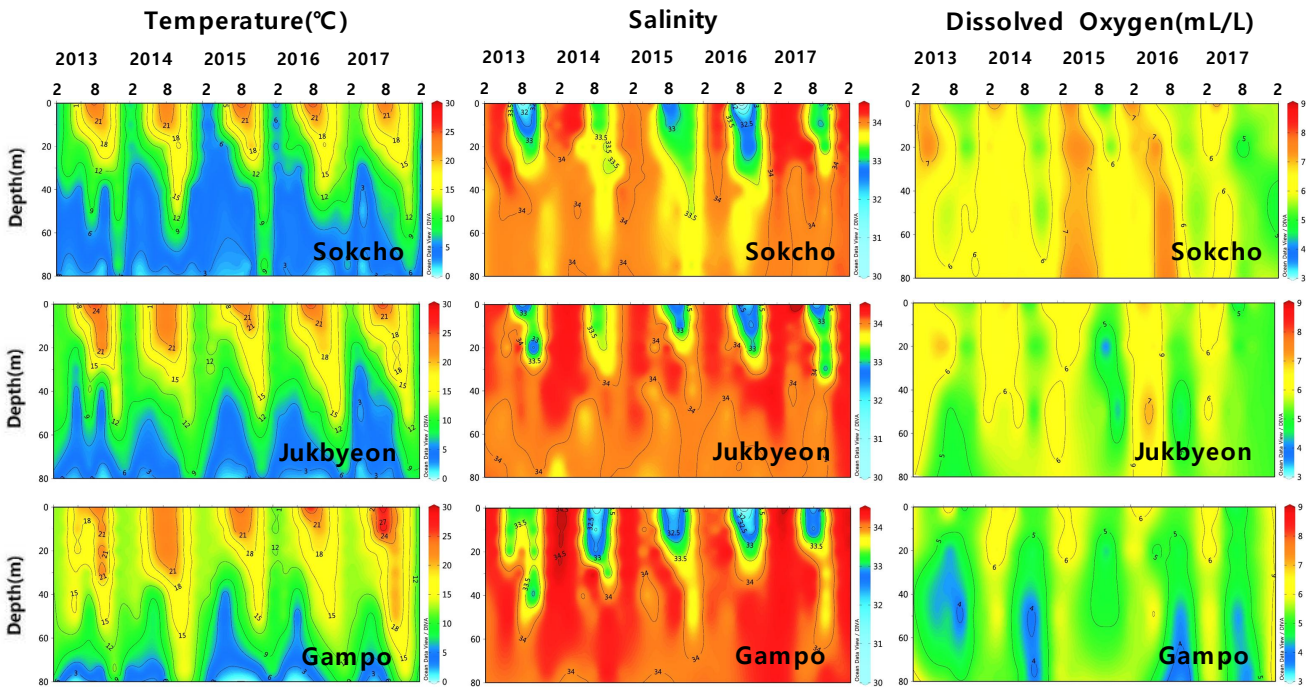


Fig. 2. Temporal variation of vertical distribution of water temperature, salinity and dissolved oxygen in Sokcho, Jukbyeon and Gampo area of the east coast of Korea from 2013 to 2017.

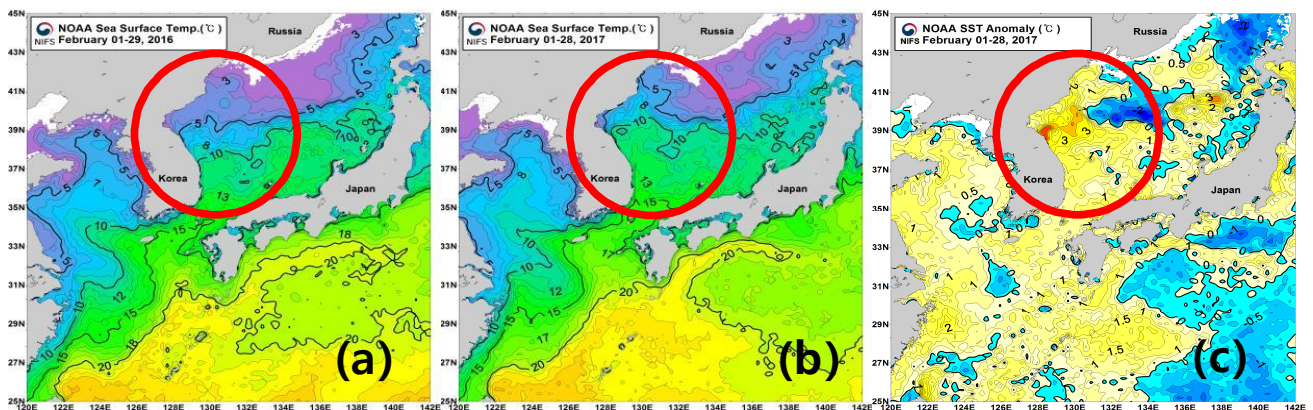


Fig. 3. Distribution of monthly composite SST in 2016(a), 2017(b) and anomaly in 2017(c) derived from NOAA around the Korean Peninsula.

조사기간동안 8~10월에 표층에서 수심 20~30m까지 나타나는 낮은 염분은 장마철을 포함한 강우기동안 동해 연안에 산재한 소규모 하천을 통해서 유입되는 담수의 영향을 1차적으로 받았을 것으로 판단되며, 저염분수의 지속 기간과 수심별 확장정도의 차이는 조사기간 전후의 강우 상황과 수운의 연직분포에 의해 일부 설명될 수 있다. 그러나 감포연안 표층에서 하계기간동안 강한 저염분이 지속되고, 속초연안의 중·저층에서 죽변·감포 연안에 비해 상대적으로 저염분 분포를 보인 것은 기상과 표·저층 혼합 등의 영향보다는 주변 수괴의 유입으로 일부 영향을 받았을 것

으로 생각된다.

속초 연안의 중·저층에서 상대적으로 저염의 특성이 지속으로 나타났던 것은 저온, 저염, 높은 농도의 용존산소 특성을 보이는 북한한류수의 영향, 감포 연안에서 하계 표층에서 강한 저염분 특성이 유지되었던 것은 중국 장강의 담수가 희석된 고온, 저염의 특성을 가지는 대마난류 표층수의 영향, 그리고 하계를 제외한 시기에서 나타나는 34 이상의 고염 특성이 감포 연안에서 속초연안 갈수록 강도가 낮아지는 분포는 고염의 특성을 가지는 대마난류수에 의한 영향으로 추측될 수 있다.

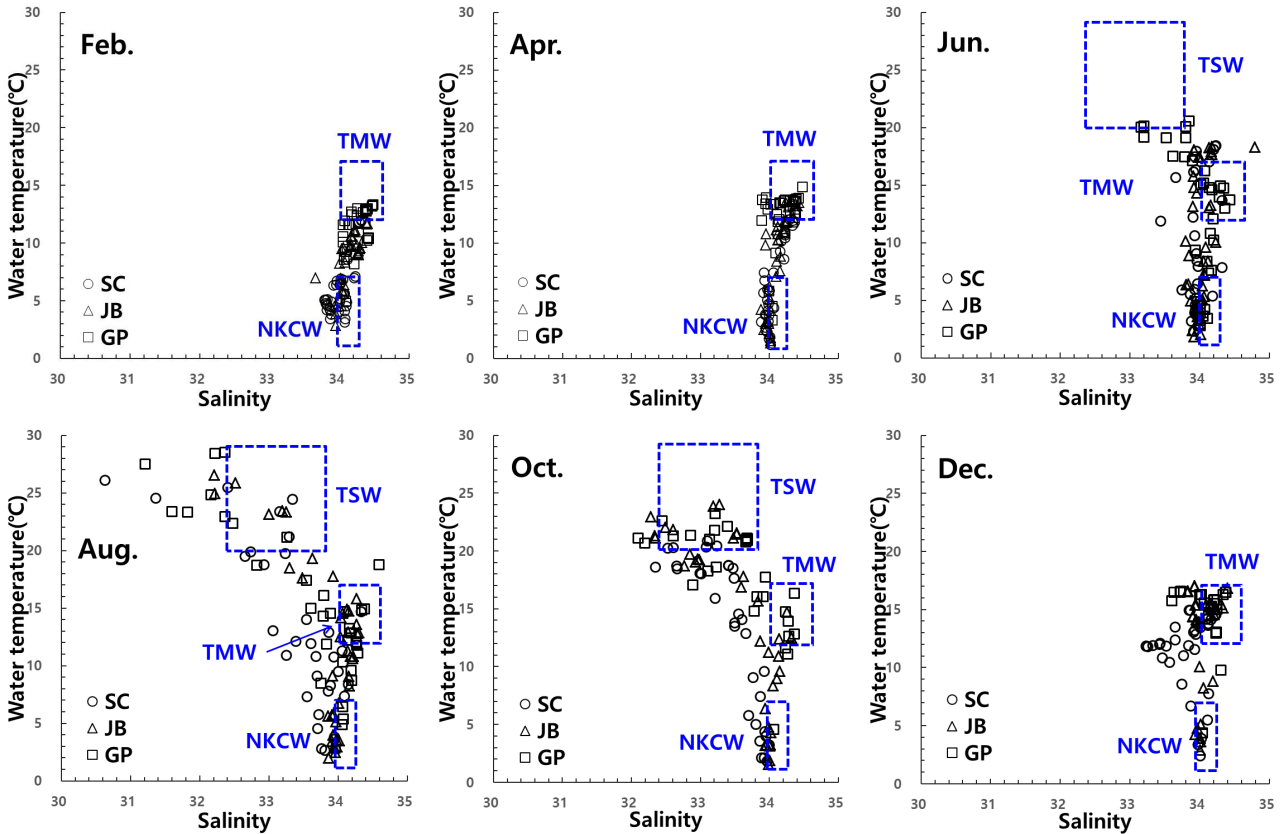


Fig. 4. Temperature-salinity diagrams at each sampling months in Sokcho (SC), Jukbyeon (JB) and Gampo (GP) area of the east coast of Korea from 2013 to 2017. Water masses are denoted as abbreviations: TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korea Cold Water).

속초, 죽변, 감포 연안에서 짙수월에 관측된 수온과 염분을 함께 도시한 T-S도 위에 일부 수괴의 수온·염분 범위를 Fig. 4에 나타내었다. 대마난류표층수(TSW, Tsushima Surface Water)는 Park(1978), Yang et al.(1991), Jeong et al.(2013) 등이 제시한 수온 20°C 이상, 염분 32.4~33.8의 범위로, 대마난류중층수(TMW, Tsushima Middle Water)는 Moon et al.(1996), Yang et al.(1991), Jeong et al.(2013) 등이 제시한 수온 12~17°C, 염분 34.0~34.6의 범위로, 북한한류수(NKCW, North Korea Cold Water)는 Yang et al.(1991), Jeong et al.(2013) 등이 제시한 수온 1~7°C, 염분 33.9~34.2의 범위로 도시하였다. 대마난류표층수의 특징은 8월과 10월에 주로 관찰되었고, 대마난류중층수의 특징은 2월과 4월보다는 6월부터 12월까지 주로 관찰되었으며, 북한한류수의 특징은 전 계절에 나타나기는 하였으나, 비교적 2월~6월에 많은 수온·염분 값이 포함되어 있었다. T-S도를 통해 앞서 설명한 수온과 염분의 계절별 분포와 변동에 대한 주변 수괴의 영향을 이해할 수 있었다. 그러나 대마난류중층수와 북한한류수의 특정 범위 내에 실제 수온·염분 값이 연중 포함되고, 많은 관측 값이 수괴 범위

사이에서 불명확하게 도시되고 있었던 것은 본 조사의 정점이 연안 가까이에 위치하여 육상 및 낮은 수심의 지형적 영향 등으로 인해 상대적으로 불명확하게 구분되었던 것으로 판단된다.

앞서 언급한 대마난류 표층수, 대마난류 중층수, 북한한류수, 동해고유수 등 동해에서 나타나는 해류 또는 수괴의 물리·화학적 요소들의 특징에 대해서 여러 연구자들이 연구해 왔으나(Park, 1978; Yang et al., 1991, Moon et al., 1996; Cho et al., 1997; Lee et al., 2009; Kwon et al., 2014), 상기의 여러 해류 또는 수괴의 특징들은 육지의 영향이 적고, 수심이 깊은 해역에서 단기간의 조사를 통해 얻어진 결과를 이용하여 규정되었다. 이에 비해 본 연구의 정점은 육지에 매우 근접해 있어 수심이 100 m 내외로 낮고, 육상과 기상 등 외부 요인에 크게 영향을 받기 때문에 여러 연구들에서 보고된 각 수괴들의 특징과 비교하고 그 영향을 명확히 규정하는 데는 어려움이 있다. Yang et al.(1997)과 Jung et al.(2013)도 동해 연안은 동계에 해면 냉각과 표층에서 저층까지 강한 연직혼합으로 수온이 낮고 균일하게 분포하여 기존 수괴와의 명확한

구별이 어렵다고 기술한 바 있다.

조사기간동안 동해연안의 용존산소(DO) 농도는 3.53~7.64 mL/L의 범위 내에서 변동하였으며(Table 1), 전반적으로 동·춘계의 농도가 상대적으로 높고, 하·추계의 농도가 낮은 변동을 보였다(Fig. 2). 속초 연안의 용존산소 농도는 4.48~7.64 mL/L, 죽변 연안의 용존산소 농도는 3.73~7.32 mL/L, 감포 연안의 용존산소 농도는 3.53~7.64 mL/L의 범위로, 속초 연안에서 용존산소 농도가 상대적으로 높았고, 죽변 연안을 거쳐 감포 연안으로 내려올수록 용존산소 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 속초 연안의 경우, 2017년 8월 20m 층을 제외하면 전 조사기간동안 5m/L 이상의 분포를 보였으며, 2015년 2~6월과 2016년 2~8월의 시기에 비교적 전 수층에서 용존산소가 6~8 mL/L로 높게 유지 되는 특징을 보였다. 특히 2015년 6월과 2016년 6~8월에는 표층에 비해 50m와 75m의 저층에서 7m/L 이상의 높은 용존산소 농도를 나타내었으며, 죽변 연안에서도 2016년 6월 50m에서 7m/L로 높은 용존산소 분포를 보이는 특징을 보였다. 이에 반해 감포 연안에서는 전 조사기간동안 7m/L의 높은 용존산소 농도는 나타나지 않았으며, 동·춘계에는 5~7 mL/L로 상대적으로 높고, 하·추계에는 3~5 mL/L로 상대적으로 낮은 뚜렷한 계절적 변동을 보여주었다.

속초, 죽변, 감포 연안간의 용존산소 농도 차이가 상대적으로 크고, 뚜렷한 식물플랑크톤의 성장이 없었음에도 중·저층에서 용존산소가 높게 나타나거나(속초 연안), 또는 상당히 낮은 용존산소가 유지되는 현상(감포 연안) 등은 동해 연안의 해수내 용존산소 농도가 화학·생물학적 요인보다는 각기 다른 용존산소의 특징을 가지는 주변 수괴의 영향이 큰 것으로 추측된다.

동해에서 용존산소가 상대적으로 높은 특징을 가지는 수괴는 북한한류수와 동해중층수로서 북한한류수는 용존산소 농도가 6.0~8.44 mL/L(Park, 1978; Kim and Kim 1983; Yang et al., 1991; Cho et al., 1997), 동해중층수의 용존산소는 >6.5 mL/L(Kim and Chung, 1984)로 보고되고 있으며, 용존산소가 상대적으로 낮은 특징을 가지는 수괴는 대만난류 표층수와 중층수로서 대만난류표층수의 용존산소 농도는 3.87~5.50 mL/L(Park, 1978; Yang et al., 1991; Cho et al., 1997), 대만난류중층수의 용존산소는 3.64~5.5 mL/L(Park, 1978; Kim and Kim 1983; Yang et al., 1991; Cho et al., 1997)로 보고된 바 있다.

따라서, 속초 연안에서는 북한한류수의 영향으로 다른 연안에 비해 용존산소가 상대적으로 높고, 동·춘계에 용존산소가 높은 계절변동을 보이며, 감포 연안에서는 대만난류 표층수·중층수의 영향으로 용존산소가 상대적으로 낮고, 특히 하·추계에 전 수심에서 용존산소가 낮은 계절변동을 보이는 것으로 판단된다. 죽변 연안의 경우 동·춘계에는 북한한류수

의 영향을, 하·추계에는 대만난류수의 영향을 받고 있음을 용존산소 분포로 알 수 있다. 특히 속초 연안과 죽변 연안의 용존산소 분포를 볼 때, 2015년과 2016년에 북쪽으로부터 북한한류수의 유입이 활발하였고, 2016년 4월~6월에는 저층을 따라 죽변 연안까지 유입되었음을 유추해 볼 수 있다. 반면 2017년에는 예년과 달리 동·춘계에 용존산소 농도가 높아지지 않아 북한한류수의 유입이 약했던 것으로 판단되며, 그 이유는 이 시기에 원산만 주변해역에서 이상적으로 발달한 고수온 수괴와 연관이 있는 것으로 추측된다.

3.2 영양염 변동

조사기간동안 동해연안의 용존무기질소(DIN: $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) 농도는 0.11~24.19 μM 의 범위 내에서 변동하였다(Table 1), 전반적으로 수심 20~30m보다 얕은 수심에서는 연중 낮은 농도로, 이보다 깊은 수심에서는 상대적으로 높은 농도가 유지되었으며(Fig. 5), 계절적으로는 12월에서 4월까지 상대적으로 농도가 높고, 6월부터 10월까지는 농도가 상대적으로 낮은 시기별 변동을 나타내었다. 속초 연안의 용존무기질소 농도는 0.16~21.00 μM , 죽변 연안의 용존무기질소 농도는 0.11~19.25 μM , 감포 연안의 용존무기질소 농도는 0.31~24.19 μM 의 범위로, 수심 20m 이천의 용존무기질소 농도는 해역별로 차이가 크지 않았으나, 수심 20m 이천의 용존무기질소 농도는 속초 연안에서 감포 연안으로 내려올수록 높아지는 경향을 보였다.

조사기간동안 동해연안의 인산 인($\text{PO}_4\text{-P}$) 농도는 0.01~1.75 μM 의 범위 내에서 변동하였으며(Table 1), 시기별, 해역별 농도 분포와 변동은 용존무기질소의 변화 양상과 유사하였다(Fig. 5). 특히 전 해역에서 6월~10월의 수심 20m 이천의 용존무기인 농도가 거의 고갈 될 정도로 매우 낮은 분포를 보였다. 해역별로는 속초 연안에서 인산 인 농도는 0.01~1.53 μM , 죽변 연안의 인산 인 농도는 0.01~1.64 μM , 감포 연안의 인산 인 농도는 0.01~1.75 μM 의 범위였다.

조사기간동안 동해연안의 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$) 농도는 0.17~32.80 μM 의 범위 내에서 변동하였으며(Table 1), 시기별, 해역별 농도 분포와 변동은 용존무기질소와 인산 인의 변화 양상과 유사하였다(Fig. 5). 해역별로는 속초 연안에서 규산 규소 농도가 0.17~28.07 μM , 죽변 연안의 규산 규소 농도는 0.20~28.15 μM , 감포 연안의 규산 규소 농도는 2.05~32.80 μM 의 범위였다.

표층 영양염 농도의 경우 타 계절에 비해 12월~2월에 상대적으로 높았던 이유는 10월이후 수온약층의 약화로 높은 영양염 농도를 가지는 저층수의 혼합으로 인한 결과이며, 4월에서 10월까지의 표층의 낮은 영양염 농도는 강한 수온약층 형성으로 저층으로부터의 영양염 공급차단과 표층 생물

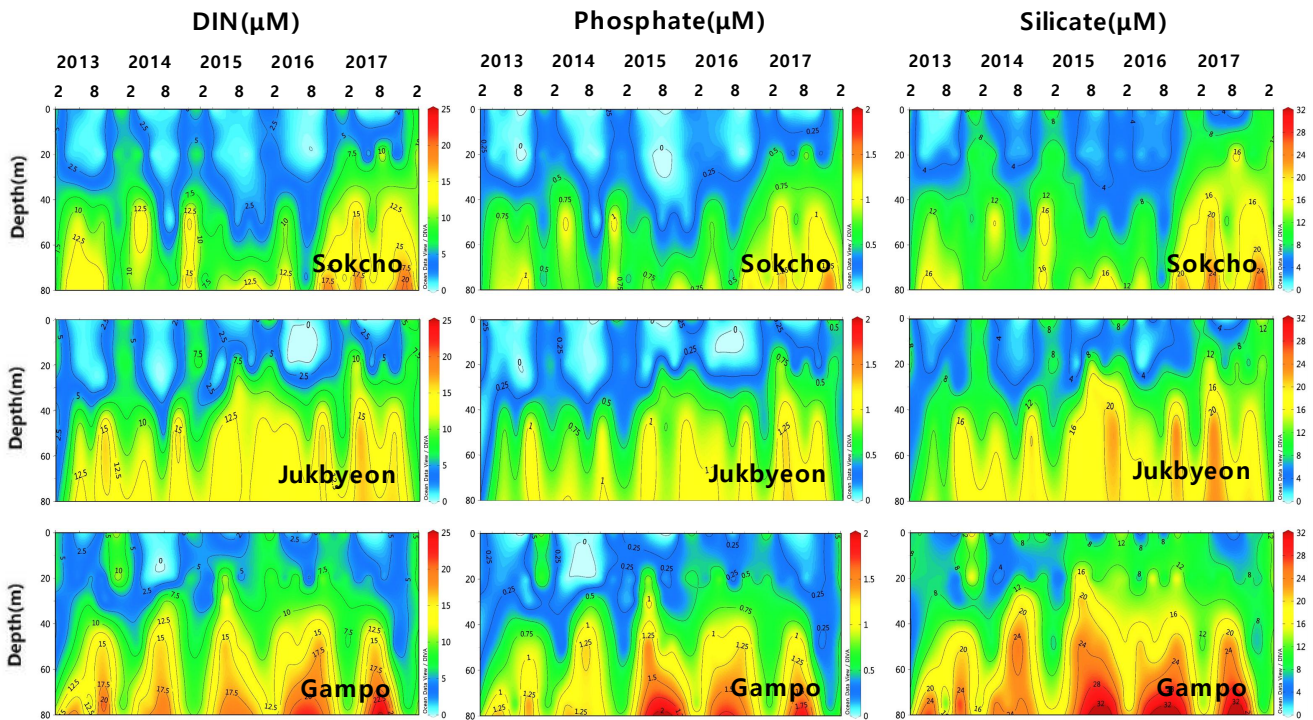


Fig. 5. Temporal variations of vertical distribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN; $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$), Phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$), Silicate ($\text{SiO}_2\text{-Si}$) in Sokcho, Jukbyeon and Gampo area of the east coast of Korea from 2013 to 2017.

활동에 의한 영양염 소모로 나타나는 온대역의 전형적인 영양염 시·공간적 변동을 보였다. 저층에서는 표층에 비해 영양염 농도가 연중 높게 유지되는 가운데, 4월~10월에 비해 12월~2월에 저층 영양염 농도가 다소 낮았던 이유는 동계의 강한 표·저층 혼합에 의해 낮은 영양염을 보유한 표층과 희석된 결과로 판단된다.

특히, 4~10월동안 감포 연안의 저층 영양염 농도는 속초와 죽변 연안의 영양염 농도에 비해 대체적으로 높은 경향을 보였는데(Fig. 5), 이는 동해 남부해역에서 6~8월경에 자주 발생하는 연안 용승(Kim and Kim 1983)으로 인해, 더 높은 영양염 농도를 함유하고 있는 조사정점 외해의 저층수가 저층사면을 따라 유입된 결과로 추측된다.

한편, 속초연안 저층에서 2015년과 2016년에 타 계절, 타해역의 영양염 분포와 달리 저층까지 비교적 낮은 영양염 농도를 보여 주었다(Fig. 5). 이 시기는 용존산소가 특이하게 높게 유지되고(Fig. 2) 북한한류수의 남향 유입이 강했을 것으로 추정되는 시기와 거의 일치하고 있어, 북한한류수의 영향으로 영양염 농도가 낮게 유지되었던 결과로 판단된다. 이는 수괴의 특성으로 특징지은 북한한류수에서 상대적으로 높은 영양염 농도를 보고한 Cho et al.(1997)과 Choi et al.(2012) 등의 결과와 상반된 결과로 이에 대해서는 보다 면밀한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

Pearson correlation 결과를 살펴보면(Table 2), 영양염은 수온과 유의한 음의 관계, 영양염 성분간에 유의한 양의 관계를 보였으며, 염분, 용존산소와는 유의한 상관관계가 없었다. 이는 동해연안에서 영양염 변동이 수온의 분포 및 변동에 의해 주로 결정되며, 수온약층에 의한 수괴의 연직분포, 표·저층의 혼합정도 및 외부 수괴의 유입 등 물리적 수온 변동이 동해연안의 영양염 변동에 주로 관여하는 것으로 설명될 수 있을 것이다.

조사기간동안 동해연안의 N:P 비는 하계동안 고갈수준의 매우 낮은 인산 인 수치를 제외하면, 0.7~54.3(평균 15.2)의 범위로, 해역별로는 속초 연안에서 1.8~47.2(평균 14.7), 죽변 연안에서는 0.7~52.3(평균 14.6), 감포 연안에서는 4.2~54.3(평균 16.2)의 범위로 변동하였다(Table. 1). N:P의 기율기와 상관관계(R^2)는 전체자료의 경우, 12.65 및 0.949로, 속초 연안은 13.75 및 0.967, 죽변 연안은 12.77 및 0.959 그리고 감포 연안은 11.67 및 0.931로 나타났다(Fig. 6).

영양염은 식물플랑크톤이 성장하는데 있어 필수요소이나 식물플랑크톤이 이용할 수 있는 이론적인 비율(Redfield 비: N:P=16)에 의해 제한요소가 되기도 한다. 일반적으로 해수 내의 N:P 비가 16 이하이면 질산 질소가 식물플랑크톤의 제한 영양염으로, 16 이상이면 인산 인이 제한영양염으로 추정된다(Graham et al., 1998; Jeong et al., 2013). 조사기간동안 나

Table 2. Pearson correlation coefficients (r) indicating the relationships between depth, temperature, salinity, dissolved oxygen (DO) and nutrients in Sokcho, Jukbyeon and Gampo area of the east coast of Korea from 2013 to 2017

Area		Depth	Temp.	Salinity	DO	DIN	Phosphate
Sokcho	Temp.	-0.69*					
	Salinity	0.25*	-0.60*				
	DO	0.15	-0.55*	0.34*			
	DIN	0.70*	-0.66*	0.41*	-0.66*		
	Phosphate	0.72*	-0.68*	0.42*	-0.03	0.98*	
	Silicate	0.66*	-0.63*	0.42*	-0.09	0.96*	0.96*
Jukbyeon	Temp.	-0.78*					
	Salinity	0.17	-0.50*				
	DO	0.01	-0.28*	0.33*			
	DIN	0.77*	-0.80*	0.28*	-0.17		
	Phosphate	0.80*	-0.81*	0.27*	-0.14	0.98*	
	Silicate	0.76*	-0.75*	0.27*	-0.21	0.96*	0.97*
Gampo	Temp.	-0.65*					
	Salinity	0.33*	-0.67*				
	DO	-0.29*	-0.08	0.16			
	DIN	0.76*	-0.77*	0.39*	-0.39*		
	Phosphate	0.75*	-0.78*	0.39*	-0.35*	0.97*	
	Silicate	0.72*	-0.69*	0.29*	-0.44*	0.94*	0.95*

*Significant correlations ($p < 0.01$)

타난 N:P 비는 절대 농도에 의한 평균 비와 N:P 기울기에 의한 N:P 비의 범위가 11.7~16.2로 대체로 N:P 비가 16보다 낮아 질산 질소가 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 영양염인 것으로 추정되었다.

일반적으로 동해에서는 질산 질소가 식물플랑크톤 성장의 중요한 제한영양염으로 보고되고 있다(Chung et al., 1989; Shim et al., 1989). 절대농도로는 Cho et al.(1997)이 동해에서 평균 5.06~14.56, Yang et al.(1997)이 평균 8.76~9.77의 비를 보고하였고, 상관관계 기울기로는 Talley et al.(2004; CREAMS II cruise)이 13.1, Choi et al.(2012)이 8.49~14.75로 보고를 한 바 있어, 본 연구의 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. Lee et al.(2009)은 동해에서 질산 질소가 제한 영양염 역할을 보이는 주된 이유는 대한해협을 통해 동해 남부로 유입되는 낮은 N:P 비의 특성을 보유한 수괴의 영향이라고 하였다. 이는 본 연구에서 N:P 기울기가 속초 연안에 비해 감포 연안에서 상대적으로 낮았던 결과와 일치한다고 볼 수 있다. 더불어 N:P 상관관계(R^2)가 전체 0.95, 해역별로도 0.93 이상으로 높아 주변 육상 또는 외부의 비점오염원에 의한 유입 영향을 크게 받지 않는 것으로 판단된다.

결론적으로 동해 연안에서 영양염의 시·공간적 변동은 수온약층에 의한 수괴의 연직분포 변동에 따른 저층 영양염의 혼합 정도, 연안 용승 및 외부 수괴 유입 등의 물리적 요인에 의해 주로 영향을 받고, 육상으로부터의 유입에 의한 변동은 영향력이 적은 것으로 판단된다.

4. 결론

동해 연안의 영양염의 장기간 변동 특성을 파악하기 위하여 2013년부터 2017년까지 5년간 격월별로 동해연안의 북부, 중부, 남부로 대표될 수 있는 속초, 죽변, 감포 연안의 3개 정점에서 수온, 염분, 용존산소 및 영양염을 조사하였다.

5년 동안 동해연안에서 수온은 1.2~28.8°C, 염분은 30.63~34.79, 용존산소는 3.53~7.64 mL/L의 범위였으며, 수온은 계절에 따른 표층수온의 가열과 냉각에 의해 수온약층이 규칙적으로 변동하는 온대역 일반해양의 전형적인 변동양상을 보여 주었다. 이 수온의 연직분포 변동에 따라 환경요인들의 분포와 변동이 결정되고 있었으며, 동해 연안에 유입되는 동한난류, 북한한류수와 동해남부의 연안용승 등 물리적 요인에 의한 외부 수괴의 영향을 시기적으로 받는 경향을 보였다. 특히 2015년부터 2016년 8월까지 속초연안에서 용존산소 6~8 mL/L로 높게 나타나, 이 시기에 북한한류수가 강하게 유입되었음을 추측할 수 있었다.

용존무기질소(DIN)의 농도는 0.11~24.19 μM, 인산 인의 농도는 0.01~1.75 μM, 규산 규소의 농도는 0.17~32.80 μM의 범위 내에서 변동하였으며, 시·공간적 변동은 수온의 연직분포와 계절변동에 좌우됨을 알 수 있었다. 동해연안의 N:P 비는 0.7~54.3(평균 15.2), N:P 기울기는 해역별로 11.67~13.75의 범위로, Redfield 비보다 낮아, 동해연안에서는 대체로 질산 질소가 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 영양염인 것으로

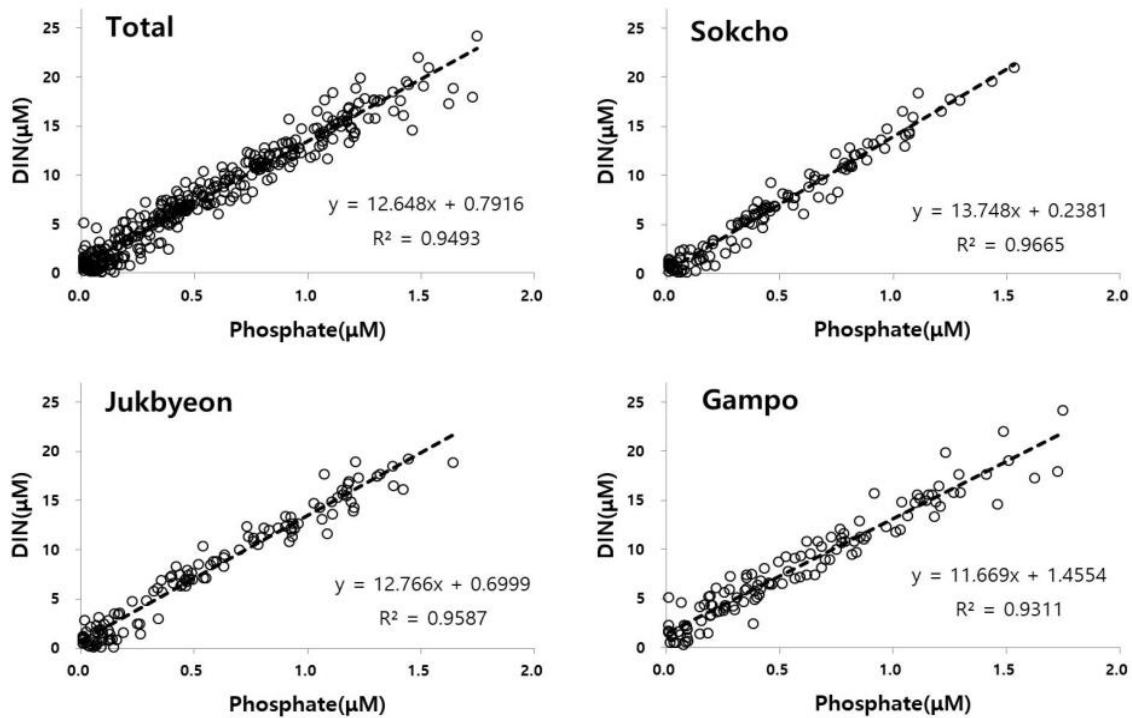


Fig. 6. Plot of dissolved inorganic nitrogen(DIN; $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$) vs phosphate in Sokcho, Jukbyeon and Gampo area of the east coast of Korea from 2013 to 2017.

로 나타났다. 전체 N:P 비율의 상관관계(R^2)는 0.95로 높아 주변 육상 또는 비점오염원의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

결론적으로 동해 연안에서 영양염의 시·공간적 변동은 수온의 성층구조 변동에 따른 저층 영양염의 혼합에 따라 결정되었으며, 외부 수괴 유입과 연안 용승 등의 물리적 요인에 의해 주로 영향을 받고, 육상으로부터 유입에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다.

사 사

본 논문을 세밀하게 검토해주신 심사위원들께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 국립수산물학원의 “동해 연안어업 및 환경 생태 조사(R2019024)”의 지원으로 수행되었으며, 현장 조사를 위해 수고하셨던 관련 연구원과 탐구 12호 승조원들께 감사의 말씀을 드립니다.

References

- [1] Cha, H. J., J. Y. Kim, C. H. Koh and C. B. Lee(1998), Temporal and spatial variation of nutrient elements in surface seawater off the west coast of Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr. Vol. 3, No. 1, pp. 25-33.
- [2] Cho, H. J., C. H. Moon, H. S. Yang, W. B. Kang and K. W. Lee(1997), Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea, III. Distribution patterns of water masses and nutrients in the middle-northern East Sea of Korea in October, 1995, J. Korean Fish. Soc., Vol. 30, No. 3, pp. 393-407.
- [3] Choi, M. Y., D. S. Moon, D. H. Jung and H. J. Kim(2012), Seasonal distribution of water masses and spatio-temporal characteristics of nutrients in the coastal areas of Gangwon Province of the Korean East Sea in 2009. J. Kor. Marine Environ. Eng. Soc., Vol. 15, No. 2, pp. 76-88.
- [4] Chung, C. S., J. H. Shim, Y. C. Park and S. G. Park(1989), Primary productivity and nitrogenous dynamics in the East Sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 24, No. 1, pp. 52-61.
- [5] Graham, L. E., J. M. Graham and L. W. Wilcox(1998), ALGAE second edition, PEARSON Education, p. 616.
- [6] Jeong H. D., S. W. Kim, K. Y. Kwon, J. W. Lim and C. H. Kwon(2013), Oceanographic features around areas of the eastern coast of Korea. J. of the Korean Soc. of Mar. Environ. & safety, Vol. 19, No. 4, pp. 334-344.

- [7] Kido, K. and M. Nishimura(1973), Regeneration of silicate in the Ocean. I. The Japan Sea(East Sea) as a model of a closed system. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 29, pp. 185-192.
- [8] Kim, C. H. and K. Kim(1983), Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 18, No. 1, pp. 73-83.
- [9] Kim, K. and J. Y. Chung(1984), On the salinity minimum and dissolved oxygen maximum layer in the East Sea(Sea of Japan). In *ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*. ed. by T. Icheye, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, pp. 55-65.
- [10] Kim, K. R., T. S. Lee, K. Kim and J. Y. Chung(1991), Chemical characteristics of the East Sea intermediate water in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 26, No. 3, pp. 278-290.
- [11] Kwon, H. K., S. J. Oh, M. O. Park and H. S. Yang(2014), Distribution of water masses and distribution characteristics of dissolved inorganic and organic nutrients in the southern part of the East Sea of Korea: Focus on the observed data in September, 2011. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, Vol. 17, No. 2, pp. 90-103.
- [12] Lee, D. S.(1999), Characteristics of nutrients distribution in summer and winter in the South Sea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* Vol. 4, No. 4, pp. 371-382.
- [13] Lee, J. Y., D. J. Kang, I. N. Kim, T. K. Rho, D. S. Lee, C. K. Kang and K. R. Kim(2009) Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea(Sea of Japan): A review. *J. Mar. Sys.* Vol. 78, pp. 288-300.
- [14] Moon, C. H., H. S. Yang and K. W. Lee(1996), Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea, I. Relationship between water mass and nutrient distribution pattern in Autumn. *J. Korean Fish. Soc.*, Vol. 29, No 4, pp. 503-526.
- [15] Mooers, C. N. K., I. Bang and F. J. Sandoval(2005), comparison between observation and numerical simulations of Japan (East) Sea flow and mass fields in 1999 through 2001. *Deep-Sea Res. II*, Vol. 52, pp. 1639-1661.
- [16] Park, C. K.(1978), Chemical oceanographic aspect of the cold water mass in off shore of the east coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* Vol. 11, No. 1, pp. 49-54..
- [17] Park, C. K.(1979), On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 14, No. 2, pp. 67-70.
- [18] Shim, J. H., S. R. Yang and W. H. Lee(1989), Phytohydrography and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korean East Sea in early spring. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 24, No. 1, pp. 15-28.
- [19] Shim, J. H. and Y. C. Park(1986), Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 21, No. 1, pp. 13-24.
- [20] Talley, L. D., P. Tishchenko, V. Luchin, A. Nedashkovskiy, S. Sagalaev, D.-J. Kang, M. Warner and D. H. Min(2004), Atlas of Japan (East) Sea hydrographic properties in summer, 1999, *Prog. Oceanogr.*, Vol. 61(2-4), pp. 277-348.
- [21] Yang, H. S., S. S. Kim, C. K. Kang and K. D. Cho(1991), A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula. *Bull. Korean fish. Soc.*, Vol. 24, No. 3, pp. 185-192.
- [22] Yang, H. S., C. H. Moon, S. J. Oh and H. P. Lee(1997) Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea, II. Distribution of particulate organic carbon and nitrogen in winter, 1995. *J. Korean Fish. Soc.*, Vol. 30, No. 3, pp. 442-450.

Received : 2019. 05. 31.

Revised : 2019. 06. 26.

Accepted : 2019. 06. 27.