

군집분석을 이용한 통영·거제 연안역의 수온·염분 계절 변동 특성

김병국^{1,*} · 이창래² · 이문옥¹ · 김종규¹¹전남대학교 해양기술학부²국립공원관리공단 국립공원연구원 해양연구센터

Seasonal Characteristics of Temperature and Salinity Variations Around the Tongyeong and Geoje Coastal Waters by a Cluster Analysis

Byeong Kuk Kim^{1,*}, Chang Rae Lee², Moon Ock Lee¹ and Jong Kyu Kim¹¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea²Marine Research Center, National Park Research Institute, Korea National Park Service, Yeosu 59769, Korea

요 약

통영·거제연안역에서의 해양생태계 관측 결과를 군집분석하여 이 해역에서의 계절에 따른 수온·염분 분포 특성을 파악하고자 하였다. 춘계, 추계 및 동계에는 연안역이 외해역에 비해 수온이 1~2 °C 정도 높았으며, 특히 2014년 동계의 저층은 표층과는 달리 남-북 방향으로 등수온선을 형성하였다. 염분 또한 2013년 동계에는 저층에서 남-북 방향의 등염분선을 형성하였다. 따라서, 표·저층의 등수온 및 등염분선의 방향이 서로 달라, 수괴의 이동 패턴도 서로 다르다는 사실을 확인하였다. 반면 하계 표·저층에는 수온이 약 10 °C, 염분은 외해 2 psu, 거제연안 10 psu 이상인 성층이 형성되었다. 군집분석 결과, 이 해역의 수괴는 크게 세 개의 군집으로 나눌 수 있었으나, 해수의 유입 등에 의해 복잡한 군집을 이루는 경우도 있었다. 이러한 군집분석 결과는 군집의 형태가 남-북 방향으로 형성되는 시기를 제외하고는 비교적 적합한 것임을 회귀분석을 통해 확인하였다.

Abstract – This study was carried out to understand the characteristic distributions of water temperature and salinity in accordance with seasons around the Tongyeong and Geoje, based on a cluster analysis. Water temperatures in coastal areas were 1-2 °C higher than those in open seas when in the spring, autumn and winter. In particular, a south-northward isothermal line was established at the bottom layer in the winter of 2014, unlikely to the surface layer. In addition, a south-northward isohaline was also established at the bottom layer in the winter of 2013. Therefore, we recognized that a moving pattern of water masses has also a difference since forming directions of those lines were not equivalent with each other between the surface and bottom layers. In contrast, stratification appeared in the summer with a roughly difference of water temperature of 10 °C and a salinity of 2-10 psu between the layers. A cluster analysis indicated that the southeastern coastal waters have three distinct water masses, even though some complicated situations exist due to the seawater inflow from the outside. However, the result of a cluster analysis turned out quite reasonable because the result of a regression analysis proved that it is appropriate, just except for the timing of a south-northward front formation.

Keywords: Southeastern coastal waters(남해 동부해역), Marine environments(해양환경), Cluster analysis(군집분석), Regression analysis(회귀분석)

1. 서 론

해양국립공원이 산재해 있는 한국 남해는 다양한 어업활동과 해양레저활동이 활발한 해역으로서, 보전과 개발이 서로 조화를 이루

면서 적절한 유지 관리가 필요한 해역이다. 그러나 해마다 증가하는 적조 발생과 수온상승 등 해양환경이 변화하고 있어 그 결과에 따라, 먹거리와 여가생활도 변화가 있을 것으로 판단된다. 연구 해역과 인접한 남해 동부해역은 남해연안수, 동해저층 냉수, 대마난류수 등 기원이 서로 다른 해수가 존재하고 있으며, 계절에 따라 수괴 변동이 큰 특징을 가진다. 그 중 대마난류수 기원의 고온고염의

*Corresponding author: kuk0721@nate.com

해수가 남해 동부해역을 거쳐서 동해로 공급되며, 한반도 주변해역 해황에 큰 영향을 주는 요인이라는 사실이 Lee and Kim[1998], Pang *et al.*[2001], Isobe[2008]등에 의해 밝혀졌다. 한편 해양의 물리적 환경은 모든 해양생물들의 서식환경을 이루는 기본적인 요소로서, 해양생태계 변화에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 한 예로서, Chen and Folt[2002]은 전 지구적인 기후변화로 인해 해양물리환경 변화가 예상된다고 보고하였다. 또한, Seong *et al.*[2010]에 의한 한국연근해 수온의 장기변동특성 연구에서는 지난 41년간(1968~2008) 남해연안 표층 수온의 상승률은 0.031 °C/year로, 과거에 비해 수온이 1.27 °C 상승하였고, 계절별 수온 상승률은 하계 0.038 °C/year, 동계 0.026 °C/year로, 하계의 상승률이 동계에 비해 더 높았다. 특히, 그들은 이러한 하계에 있어서의 수온 상승 원인을 1980년대 후반부터 강화되고 있는 대마난류수에 양쯔강 유출수가 더해져서 나타나는 현상으로 파악하였다.

양쯔강 유출수와 더불어 남해 동부해역에 영향을 주는 주된 담수 유입원으로서는 낙동강을 들 수 있으며, 낙동강의 연간 담수 유입량은 63×10⁹ton, 부유물질 유입량은 1×10⁸ton 정도이다(Jeong *et al.*[2013]). Lim *et al.*[2003], Choi *et al.*[2007]은 하계 홍수기시 낙동강으로부터의 담수 유입 증가로 인해 저염의 연안수가 일시적으로 광범위하게 확장된다고 하였고, 또한 Humborg *et al.*[1997], Yang *et al.*[2000], Jeong *et al.*[2000]등은 확장한 저염의 연안수가 주변해역의 수질환경과 기초 생태계를 크게 변화시킨다고 하였다. 이와 같이 대마난류수, 양쯔강 유출수, 낙동강 담수 등의 영향을 받아 남해 동부해역의 해양환경은 계절에 따라 서로 다른 수온 또는 염분 전선을 형성하여 확장과 후퇴를 반복함으로써 크게 변동할 것으로 판단된다.

국립공원연구원 해양연구센터에서 실시하는 해양생태계조사는 해양생물다양성 확보 및 해양환경 연구를 통하여 공원구역의 생물자원 확보 및 공원관리방안에 대한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다. 최종적으로는 장기적인 해양환경 특성을 모니터링하여 해양환경변화와 생물변동 특성을 파악하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 기초연구 중 하나로 해양생태계조사에서 획득한 수온·염분 관측 자료를 바탕으로, 계절에 따라 공원지역과 인접한 통영·거제 연안역의 해양환경 변동 특성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 국립공원연구원 해양연구센터에서 해양생태계조사의 일환으로 Tabel 1 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2012년 30개 정점, 2013년 8개 정점, 2014년 19개 정점에서 3개년에 걸쳐 각 계절별 관측한 수온·염분 자료를 이용하였다. 그러나, 관측연도에 따

Table 1. Observation period (2012 ~ 2014)

	Spring	Summer	Autumn	Winter
2012	5/18~5/24	9/3~9/14	10/15~10/26	2/29~3/8
2013	4/29~5/10	8/26~9/2	10/21~11/1	12/2~12/11
2014	5/19~24	8/25~8/31	10/28~11/3	2/24~2/28

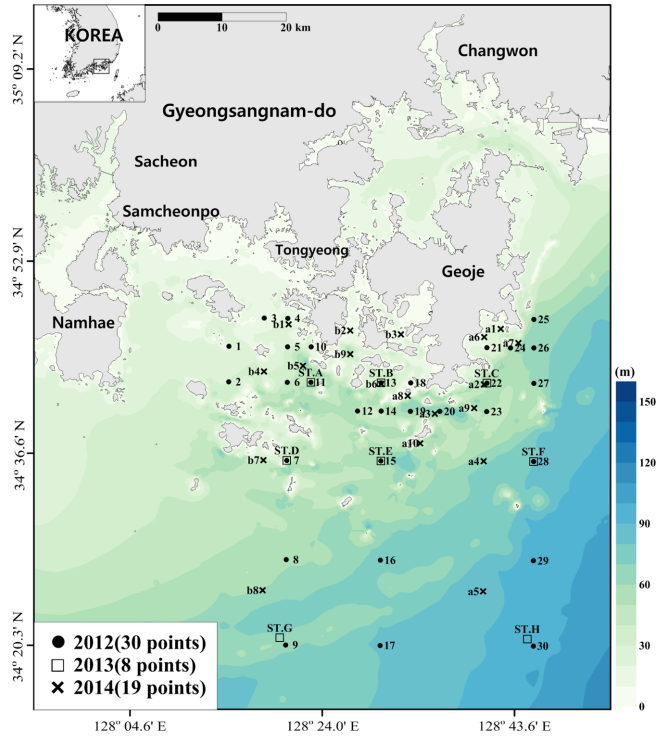


Fig. 1. Bathymetric topography and oceanographic stations.

라 이들 정점의 개수, 위치 또는 조사 시기도 달라, 각 정점별로 정성적인 계절변화만을 검토하였다.

수온·염분은 Sea-Bird Electronics사의 SBE 9 Plus 및 19 Plus를 이용하여 측정하였으며, CTD 후처리 과정을 거쳐 0.5m 간격으로 수온과 염분 자료를 수치화하였다. 또한, 수온·염분의 공간적인 분포 특성을 살펴보기 위하여 이를 수치화한 자료를 바탕으로 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 해양에서의 군집분석은 일반적으로 생물의 군집구조 및 특성 연구에 많이 사용되고 있다. 하지만 생물 조사 정점에 비하여 정점수가 많은 해양환경 특히, 수온·염분 관측결과에 군집분석을 이용하여 특성을 파악하는 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 정점이 동일하지는 않지만 2012년부터 2014년까지의 수온·염분 자료를 바탕으로 군집분석을 실시하여 그 특성을 파악하여 보았다.

군집분석에는 식 (1)과 같이 유클리디안 거리(Euclidean distance)와 군집화 방법에는 최장연결법(Complete linkage method)을 사용하였다.

$$\text{Distance}(O_1, O_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{1j} - X_{2j})^2} \quad (1)$$

여기서, $O_i = i$ 번째 개체, $X_{ij} = i$ 번째 개체의 j 번째 변수의 값 변수들은 각각 다른 측정단위를 가지고 있으므로 동일한 중요도를 갖게 하기 위하여 표준화(Z점수)를 실시한 후 분석하였다. 각 계절별로 구분된 군집 결과를 바탕으로 남해연안수의 영향을 받는 구역을 A, 남해연안수, 낙동강 담수 및 동해 저층냉수대의 영향을 받는

구역을 B, 대마난류와 양쯔강 유출수의 영향을 받는 구역을 C로 구분하여 회귀분석을 실시하였다. 구분된 세 구역을 종속변수로 정의하고 수온과 염분 관측결과를 독립변수로 두었으며, 적합도 검토와 회귀진단을 통하여 분석결과를 검증하였다.

회귀분석은 독립변수가 두 개 이상인 경우이므로 중회귀모형(Multiple regression model), 또는 다중회귀모형을 사용하였으며, k 개의 독립변수 x_1, x_2, \dots, x_k 와 종속변수 y 에 대한 모형은 식 (2)와 같다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ 이고 서로 독립, } i = 1, 2, \dots, T$$

이를 행렬 $y = X\beta + \varepsilon$ 으로 흔히 표현한다. 여기서 y 와 ε 은 $n \times (k+1)$ 행렬이 된다. β_i 들의 추정치 b_i 는 단순회귀의 경우와 동일하게 최소 제곱법으로 구하게 되는데, 행렬에서는 $b = (X'X)^{-1}X'y$ 로 구한다. 여기서 b 는 b_i 들의 벡터이며, 추정된 회귀방정식은 식 (3)으로 표현된다.

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki} \quad (3)$$

군집분석 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 각 계절별로 구분된 세 구역에 대한 회귀분석(Regression analysis)을 실시하여 그 적합도를 검토하였다. 적합도(Goodness of fit) 검토는 통계분석에 사용된 모형이 적절한지를 나타내는 척도로 매우 중요한 과정이다.

회귀분석 모형의 결정계수(Coefficients of Determination, R-Square: R^2)는 종속변수의 전체 변동 중에서(Sum of Squares Total: SST) 회귀 모형에 의하여 설명되는 변동(Sum of Squares Regression: SSR)의 비율을 말하며, 그 식은 다음과 같다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

적합도 검토결과 결정계수가 1에 가까울수록 매우 적합하다고 할 수 있지만, 일반적으로 독립변수의 수가 증가하면 결정계수는 증가하는 경향이 있기 때문에 이러한 문제점을 보완한 척도가 수정결정계수(Adjusted R^2 : AR^2)이며, 다음 식 (5)와 같이 계산된다.

$$AdjR^2 = R^2 - \frac{k}{n-k-1}(1-R^2) \quad (5)$$

여기서, k 는 독립변수의 수, n 는 표본의 크기이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수온·염분 관측 결과

3.1.1 춘계

수온·염분분포에 대한 춘계의 관측결과를 Table 2 및 Fig. 2~3에 나타내었다. 그림중의 실선은 표층(수면 아래 1~2 m) 값을, 점선은 저층(저면 위 2~3 m) 값을 각각 나타낸다. 먼저, Table 1에 따르면

Table 2. Temperature and salinity distributions in the spring

		Temperature (°C)			Salinity (psu)		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014
Spring	Surface	15.18~18.79 (16.93)	12.83~14.75 (13.37)	15.22~18.63 (16.52)	33.66~34.10 (33.92)	33.81~34.14 (33.95)	33.85~34.22 (34.09)
	Bottom	12.96~15.96 (14.68)	12.69~13.95 (12.99)	13.99~15.91 (15.05)	33.84~34.39 (34.04)	33.84~34.16 (33.97)	34.10~34.30 (34.21)

* Minimum~maximum(average)

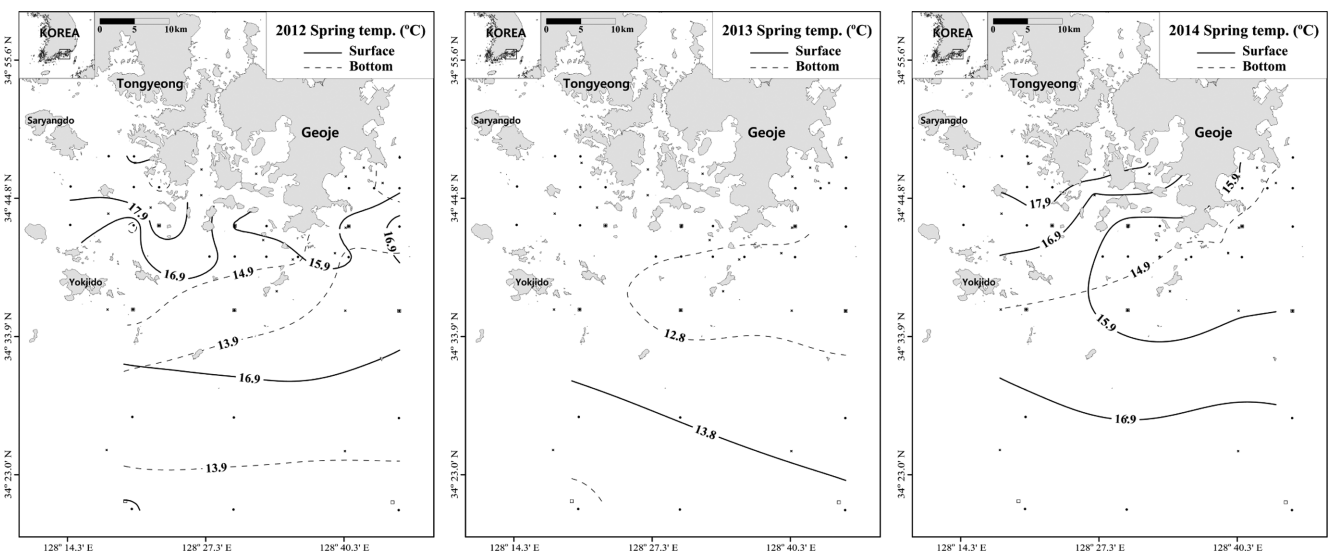


Fig. 2. Horizontal temperature distribution at the surface and bottom layers in the spring.

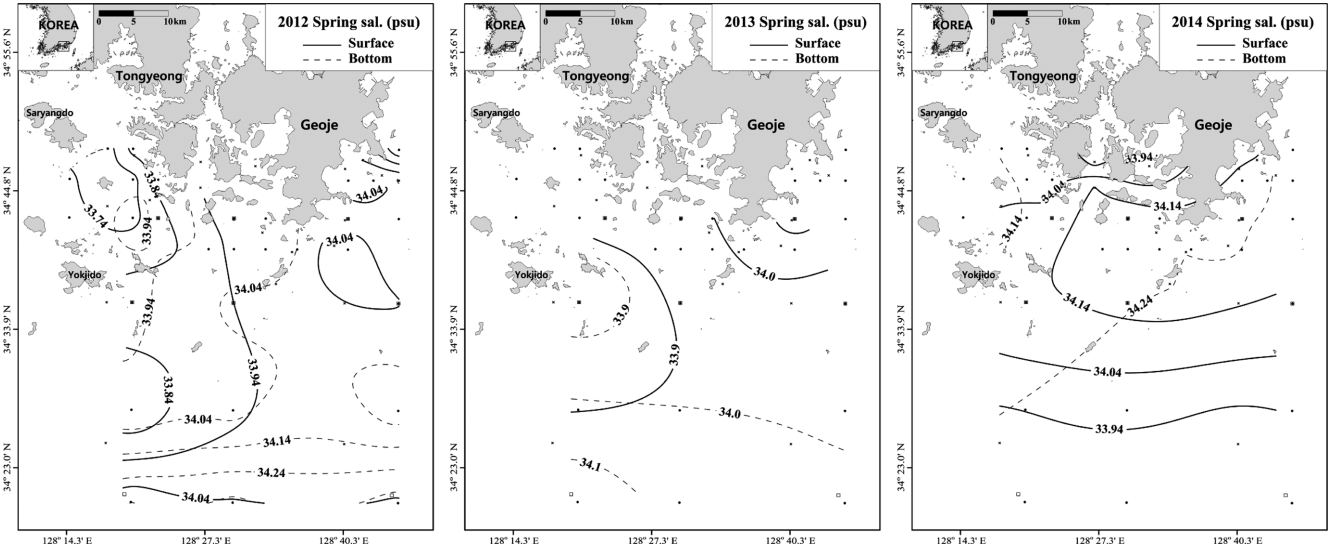


Fig. 3. Horizontal salinity distribution at the surface and bottom layers in the spring.

2013년의 수온 값은 2012년과 2014년에 비해 낮는데, 이것은 조사 시기가 다른 두 해보다 다소 빨랐기 때문이다. 반면, 염분은 다른 연도와 유사하게 나타났다. 한편, Fig. 2의 수온 관측 결과에서 2012년 표층은 통영과 욕지도 사이의 연안역에서 16.9~17.9°C의 등수온선이 형성되었으며, 16.9°C의 등수온선이 외해역으로 확장하는 결과를 보였다. 그러나 거제 연안역은 표층에서 15.9°C의 등수온선이, 저층에서는 표층에 비해 약 2~3°C 낮은 등수온선이 각각 형성되었다. 2013년은 전 영역에서 표층은 13.8°C, 저층은 12.8°C로 유사한 수온분포를 보였다. 2014년 표층 수온은 2012년 표층과 유사하게 통영과 욕지도 사이에서는 16.9~17.9°C의 등수온선이 형성되며, 16.9°C의 등수온선이 외해로 확장하고 또한, 거제 연안역의 15.9°C의 등수온선이 남서방향으로 확장하는 형태를 보였다. 반면, 저층은 전 영역에서 약 14.9°C 내외로 유사한 수온분포를 보였다.

Fig. 3의 염분 관측 결과에서 2012년은 통영과 욕지도 사이에서 33.74 psu의 등염분선이 외해로 확장하는 한편, 거제 동쪽에서 남쪽으로 유입하는 형태를 보였다. 저층은 외해역에서 34.04~34.14 psu의 등염분선이 동-서 방향으로 형성되었다. 2013년 표층은 33.9~34.0 psu의 등염분선이 욕지도 동남방향과, 거제 남쪽에서 각각 형성되며, 저층은 전 영역이 대부분 34.0 psu로 유사한 염분 분포를 보였다. 2014년의 표층 염분은 2014년의 수온과 마찬가지로 거제 동측에서 확산하는 34.14 psu의 등염분선이 남쪽으로 그 범위를 확대하고 있다. 저층은 북동-남서 방향으로 34.24 psu의 등염분

선이 표층과는 다른 방향으로 형성되었다.

춘계에 있어서의 수온 및 염분 분포의 특징으로는, 2013년을 제외하고 통영 연안역에서는 외해에 비해 수온이 약 1°C 높게 형성되지만, 염분은 유사한 분포를 보이며, 전체적으로 이 해역은 통영-욕지도 연안역, 거제 연안역 및 외해역 등 대략 세 개의 수괴로 구분되는 분포를 보인다. 특히, 거제도 동측에서는 연안역에 비해 수온은 약 1°C 낮으나, 염분은 큰 차이를 보이지 않는 다른 해역과 구별되는 수괴가 남서쪽으로 확장하였다.

3.1.2 하계

하계의 수온·염분 관측 결과를 Table 3 및 Fig. 4-5에 나타내었다. 수온조사결과 조사시기의 차이 및 조사시 거제도연안에서 발생한 냉수대(국립수산과학원, <http://www.nifs.go.kr>)의 영향에 의해서 다른 연도에 비해 2013년의 수온이 낮았다. 또한, Kim *et al.*[2014]의 결과에서는 냉수대의 영향으로 연안에서는 수괴가 혼합된 양상을 보였으며, 염분 또한 균일한 분포를 나타낸다고 하였다. 따라서, 조사지역에서 하계에 관측한 수온·염분 결과는 거제도 연안에서 발생한 냉수대의 영향에 따라 변동되는 특징을 보이고 있는 것으로 판단된다. 한편, Fig. 4의 수온 관측 결과에서 2012년 표층은 25°C의 등수온선이 통영-욕지도 연안역과, 남서 방향의 외해역에서 유입되는 25°C의 등수온선으로 나뉘었다. 저층에서는 통영-욕지도 연안역에서 17~21°C의 등수온선이 형성되었고, 수온이 15°C인 외

Table 3. Temperature and salinity distributions in the summer

		Temperature (°C)			Salinity (psu)		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014
Summer	Surface	23.52~26.37 (24.84)	17.01~25.93 (22.26)	20.80~24.74 (23.06)	19.21~32.67 (30.14)	32.27~33.68 (32.94)	24.79~32.68 (30.88)
	Bottom	13.51~23.69 (16.62)	14.39~15.60 (15.08)	14.27~22.39 (17.35)	31.41~34.31 (33.34)	33.69~34.40 (33.97)	31.18~34.15 (33.44)

* Minimum~maximum (average)

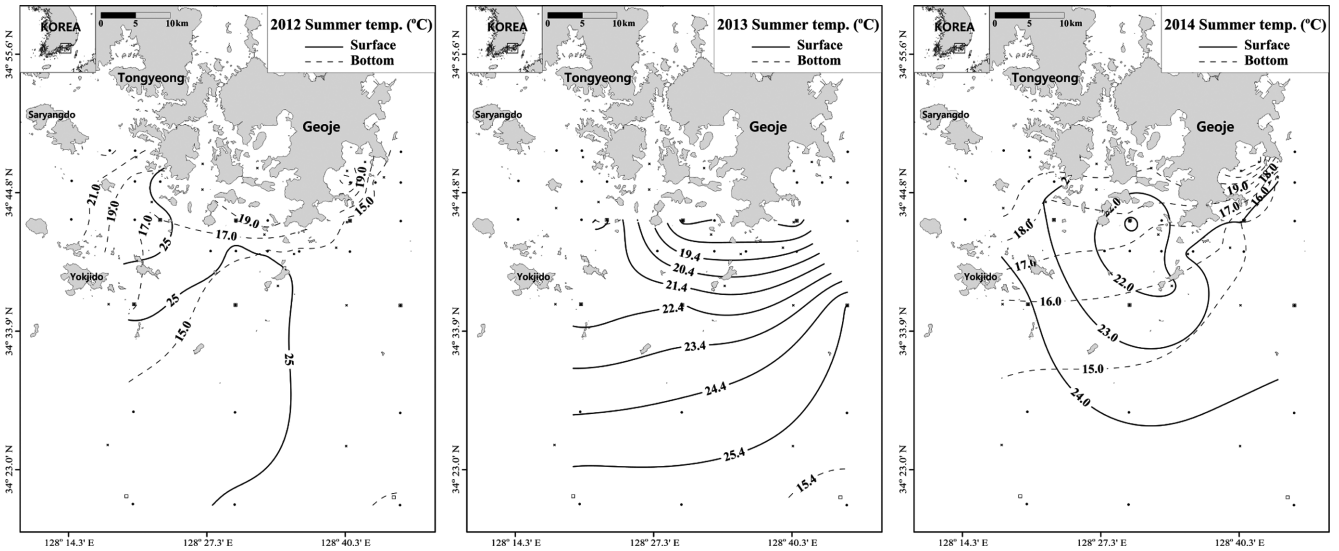


Fig. 4. Horizontal temperature distribution at the surface and bottom layers in the summer.

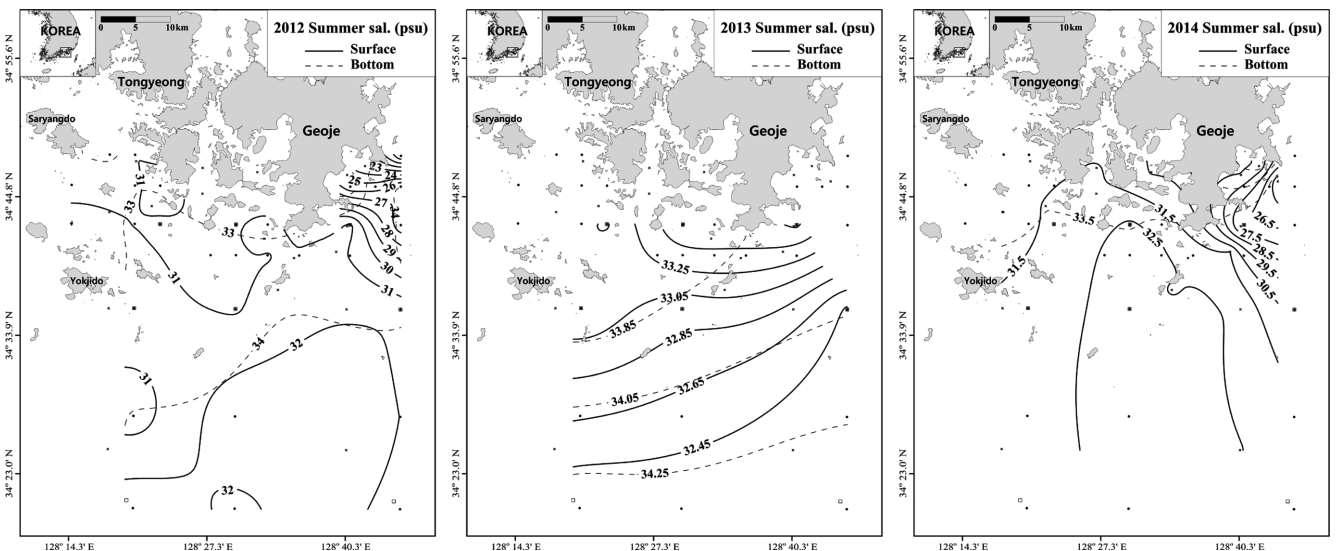


Fig. 5. Horizontal salinity distribution at the surface and bottom layers in the summer.

해역의 해수가 거제도 남쪽으로 확장하였다. 2013년 표층은 외해역의 25.4°C 등수온선이 연안역으로 갈수록 약 20°C로 낮아지며, 특히 거제 연안역에서는 17°C까지 상대적으로 수온이 낮게 형성되었다. 2014년 표층은 22°C의 등수온선이 거제 남서측에서 형성되었으며, 외해로 갈수록 수온은 24°C로 높아졌다. 저층은 표층에 비해 최대 약 10°C의 수온차를 보이며, 표층과 반대로 연안역으로 갈수록 수온이 15°C에서 19°C까지 높아지는 경향을 나타내었다.

Fig. 5의 염분 관측 결과에서 2012년 표층은 통영·욕지도 연안역의 31 psu 등염분선이 외해역으로 확장되며, 거제 동측에서는 22~27 psu 등염분선이 외해역으로 확장되고, 28~31 psu의 등염분선이 연안역으로 유입하는 형태를 보였다. 2013년 표층은 외해역이 32.45 psu, 연안역은 33.35 psu의 등염분선이 동-서 방향으로 형성되었으며, 저층은 표층보다 약 2.0 psu정도 낮은 등염분선이 동-서 방향으로

각각 형성되었다. 2014년 표층은 외해역의 32.5 psu 등염분선이 연안역으로 깊숙이 밀고 올라오는 형태와, 거제 동측에서 연안역으로 약 26.0~30.0 psu의 낮은 등염분선이 유입되는 형태를 각각 보였다. 저층은 통영 욕지도 연안역이 33.5 psu, 외해역은 34 psu의 등염분선을 각각 형성하였다.

하계의 수온 및 염분 분포 특징으로는, 표·저층간의 수온은 약 10°C, 염분은 외해 2 psu, 거제연안 10 psu이상의 차이를 보여 성층이 형성되었고, 전반적으로 표층은 연안역이 외해역보다 수온이 낮은 반면 저층은 연안역이 외해역보다 수온이 높은 것을 들 수 있다.

3.1.3 추계

추계의 수온·염분 관측 결과를 Table 4 및 Fig. 6~7에 나타내었다. 먼저, Table 3의 결과에서 3개년의 조사 시기는 큰 차이를 보이

Table 4. Temperature and salinity of distributions in the autumn

Autumn	Temperature (°C)					
	2012			2013		
	Surface	Bottom	Average	Surface	Bottom	Average
	18.56~20.87	14.74~20.50	(19.80)	20.87~23.10	15.33~21.65	(21.58)
	20.06~21.25	15.43~21.18	(20.59)	31.74~32.97	32.06~34.30	(33.23)
	33.00~34.07	33.13~34.18	(33.44)	32.46~33.21	31.62~34.01	(32.95)
						(33.09)

* Minimum~maximum (average)

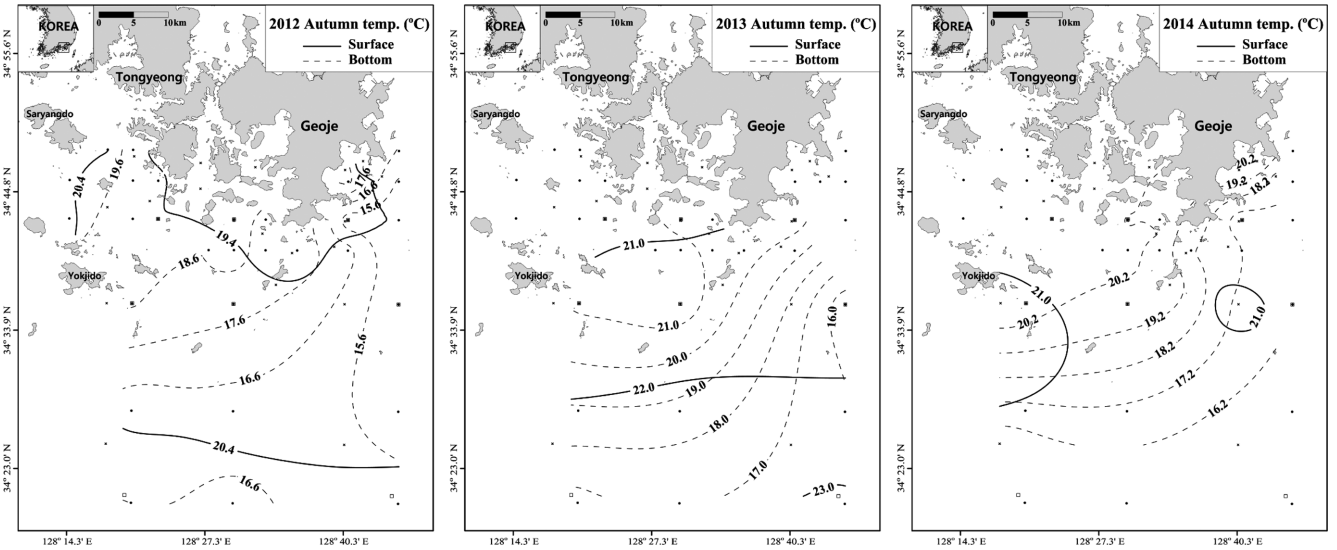


Fig. 6. Horizontal temperature distribution at the surface and bottom layers in the autumn.

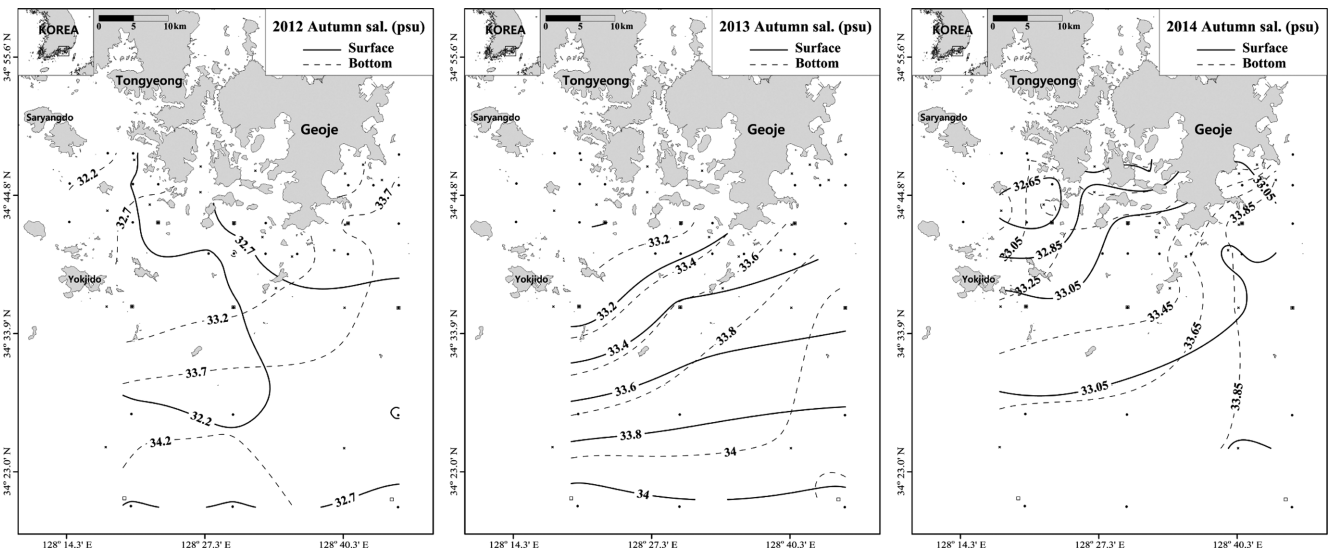


Fig. 7. Horizontal salinity distribution at the surface and bottom layers in the autumn.

지 않으나, 2013년의 수온이 다른 연도에 비해 다소 높았고 염분은 유사하였다. 한편, Fig. 6의 수온 관측 결과에서 2012년 표층은 통영-육지도 연안역 및 외해역은 수온이 20.4°C, 저층 남측의 연안역에서는 19.4°C의 등수온선을 형성하였다. 저층은 북서-남동 방향의 등수온선이 외해역에서 통영-육지도의 연안역으로 오면서 19.6°C로 높아졌다. 2013년 표층은 연안역의 수온이 21°C, 외해역은 22°C

의 등수온선이 동-서 방향으로 형성되었으며, 저층은 북동-남서 방향의 등수온선이 연안역에서 외해역으로 가면서 수온이 5°C 가량 낮아졌다. 2014년 표층은 전 영역에서 수온이 21°C로 유사하였으며, 저층은 2013년과 마찬가지로 20°C의 등수온선이 연안역에서 외해역으로 가면서 16°C까지 낮아졌다.

Fig. 7의 염분 관측 결과에서 2012년의 표층은 통영-육지도 연안역에

서 32.2 psu의 등염분선이 외해로 확장하는 형태이며, 거제 연안역의 32.7 psu 등염분선도 남서쪽으로 확장하였다. 저층은 통영-욕지도 연안역에서 32.7 psu의 등염분선을 형성하여 외해로 확장하였다. 2013년 표층은 연안역에서 동-서 방향으로 33.2 psu의 등염분선을 형성하였으며, 외해로 가면서 염분은 34.0 psu로 높아졌다. 저층도 표층 염분과 큰 차이를 보이지 않으며, 동-서 방향으로 등염분선을 형성하였다. 2014년 표층은 2012년과 유사하게 통영-욕지도 연안역에서 32.8 psu의 등염분선을 형성하여 외해로 확장하는 모습을 보였으며, 저층은 표층보다 약 0.5 psu 높은 등염분선이 표층과 유사한 형태로 형성되었다.

추계의 수온 및 염분 분포 특징으로 표층은 전 영역에서 비교적 균일한 수온 분포를 보인 반면, 염분은 저염의 연안수가 외해로 확장하는 모습을 보였다. 그러나 저층에서는 수온 염분 모두 연안역의 고온·저염수가 외해역으로 확장하는 경향을 나타내었다.

3.1.4 동계

동계의 수온·염분 관측 결과를 Table 5 및 Fig. 8~9에 나타내었다. 먼저, Table 4의 결과에 따르면, 하계와 유사하게 2013년은 다른 연도에 비해 조사시기가 다소 빨라 수온은 높았으나, 염분은 상대적으로 낮았다. 한편, Fig. 8의 수온 관측 결과에서 2012년의 연안역은 표층에서 10.2~11.2°C의 등수온선이 형성되며, 거제도 남쪽의 외해역은 13.2°C의 등수온선이 형성된다. 저층은 표층에 비

해 연안과 외해역에서 수온이 약 1°C정도 낮았다. 2013년 표층은 연안역과 외해역 사이에서 약 13°C의 등수온선이, 외해역은 14°C의 등수온선이 각각 형성되었다. 2013년은 연안역의 등수온선이 다소 외해로 많이 확장하는 모습을 보였으며, 저층은 표층과 유사한 수온 분포를 보이지만, 표층의 북동-남서 방향의 등수온선은 남-북 방향으로 방향이 바뀌었다. 2014년 표층은 연안역이 10.8~11.8°C의 등수온선이, 연안역과 외해역 사이에서는 12.8°C의 등수온선이 각각 형성되었다. 저층에서는 표층의 동-서 방향의 등수온선이 북동-남서 방향으로 바뀌며, 약 1°C 정도 낮았다.

Fig. 9의 염분 관측 결과에서 2012년은 표·저층 모두 34.4 psu로 큰 차이를 보이지 않았다. 2013년의 표·저층 염분 차이는 크지 않지만, 2013년의 수온과 마찬가지로 표층은 북동-남서 방향으로 33.92~34.12 psu의 등염분선이, 저층은 남-북 방향으로 33.82~34.02 psu의 등염분선이 각각 형성되었다. 2014년은 표·저층의 등염분선이 2014년 수온의 경우와 유사하게 표층은 동-서 방향, 저층은 북동-남서 방향으로 표·저층 모두 34.36 psu의 등염분선이 형성되었다.

동계 수온 및 염분 분포의 특징으로 수온은 외해역이 연안역에 비해 약 1~2°C 정도 높으나, 염분은 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 2013년과 2014년의 표·저층 등수온 및 등염분선의 형성 방향에서는 서로 다른 수위가 이동하고 있는 것으로 판단된다.

이상에서 살펴본 계절에 따른 수온·염분 분포의 대략적인 특징은 다음과 같다. 먼저, 춘계에는 표·저층과의 수온 및 염분 차이는 크

Table 5. Temperature and salinity distributions in the winter

	Temperature (°C)			Salinity (psu)			
	2012	2013	2014	2012	2013	2014	
Winter	Surface	9.89~14.02 (12.00)	12.06~15.41 (13.69)	9.96~13.49 (11.98)	34.35~34.56 (34.46)	33.80~34.19 (34.00)	34.26~34.48 (34.38)
	Bottom	9.35~12.80 (11.31)	12.06~14.49 (13.26)	9.90~12.28 (11.21)	34.34~34.49 (34.42)	33.72~34.04 (33.90)	34.26~34.42 (34.35)

* Minimum~maximum (average)

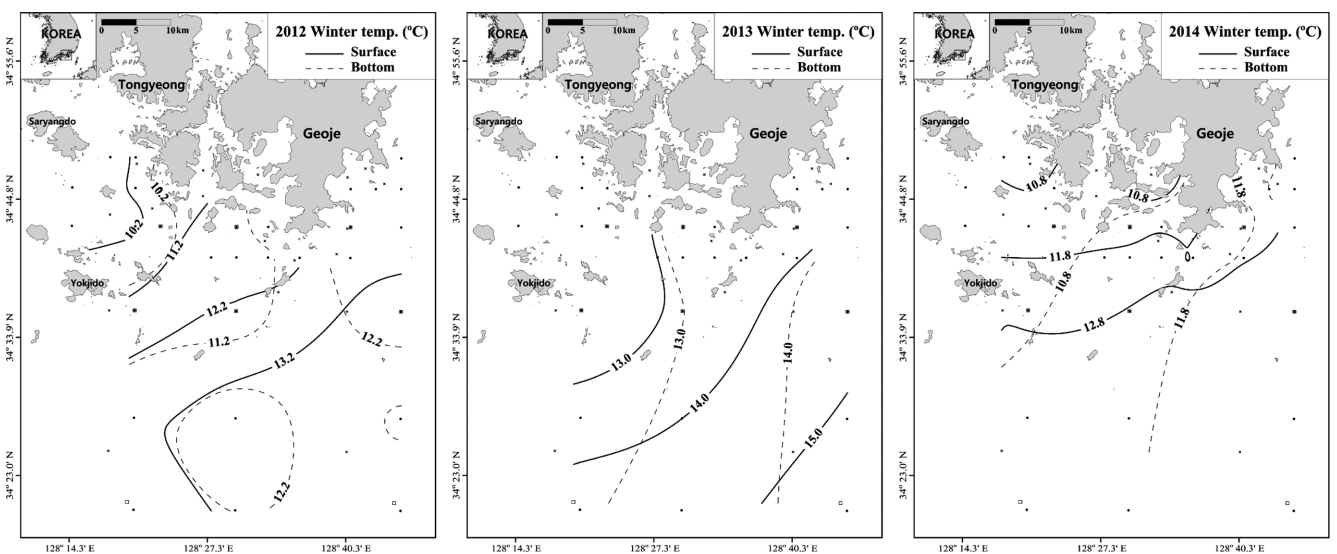


Fig. 8. Horizontal temperature distribution at the surface and bottom layers in the winter.

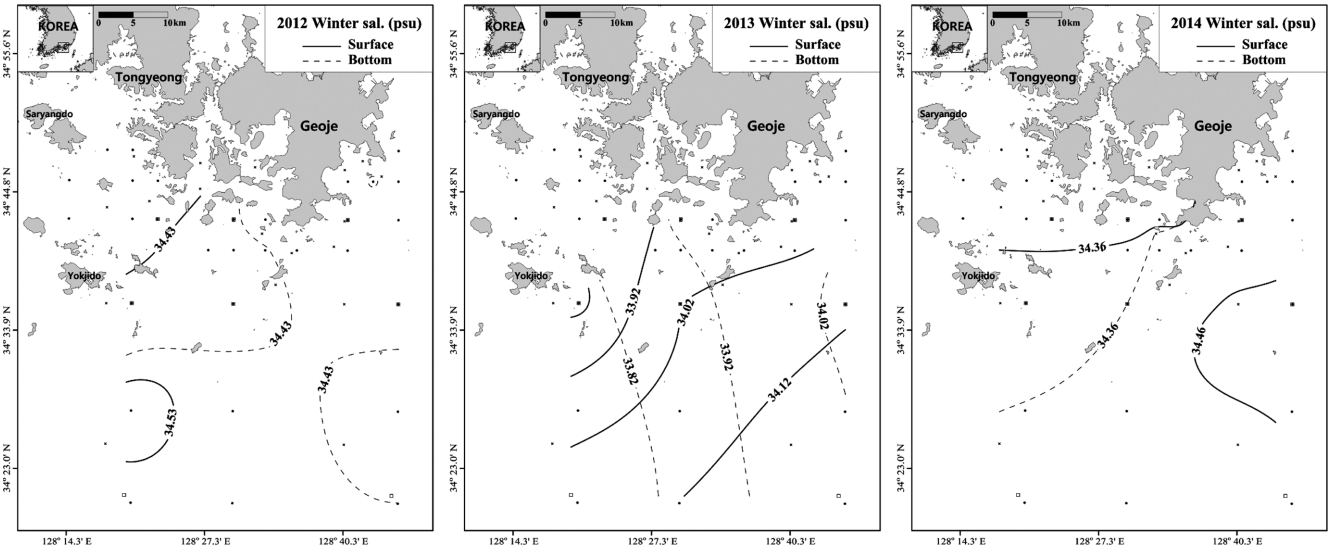


Fig. 9. Horizontal salinity distribution at the surface and bottom layers in the winter.

지 않으며, Jeong *et al.*, [2013]이 언급한 세 개의 수괴와 특징은 다르지만 본 연구결과에서도 세 개의 수괴로 구분이 가능하였다. 특히, 2014년 춘계의 경우는 거제 동측의 수괴가 남서쪽으로 확장하는 형태를 보였으며, 하계는 남쪽에서 연안으로 유입하는 수괴와, 거제 연안을 따라 남서쪽으로 확장하려는 수괴 등 수괴로 그 세력을 달리하면서 위치가 바뀌고 있다. 추계는 하계에 복잡했던 수괴들이 다소 안정되어 가는 형태를 보이며, 동계는 춘계와 유사하게 수온 및 염분차이는 크지 않지만, 저층의 등수온선과 등염분선의 형태가 남-북 방향으로 나뉘는 특징을 나타내었다.

3.2 통계 분석 결과

계절별 수온·염분의 관측결과를 바탕으로 군집분석을 실시한 결과를 Fig. 10~11에 나타내었다. 그림과 같이 군집분석을 통하여 제시한 덴드로그램은 세 집단으로 나누어질 때를 기준으로 구분하였으나, 2014년 춘계 표층과 같이 C구역이 두 개의 집단으로 나뉘어지는 경우도 나타났다. 이 경우는 군집이 잘못 이루어진 것이 아니라 C구역이 두 개의 수괴로 나뉘어지는 것으로 판단하였다. 전반적인 군집분석 결과는 남해 동부해역을 총 세 개의 구역(A: 남해연안수, B: 남해연안수, 낙동강 담수 및 동해 저층냉수대, C: 대마난류 및 양쯔강 유출수)으로 구분이 가능하였다. 하지만, Fig. 10~11에 사각형으로 표시한 정점들 같이 다른 구역으로 군집을 이룬 경우도 출현하였다. 춘계는 비교적 세 개의 군집으로 잘 나누어졌으나, 하계는 다소 많은 세부 군집으로 나누어졌다. 정점별 군집의 형태에서는 특히, 하계는 표층에서 수직방향으로 형성된 A와 C구역의 해수가 저층에서는 다시 수평적인 형태로 되돌아가며, 거제도 동측에 형성된 표층의 B구역은 저층에서 사라지는 모습을 확인할 수 있다. 추계도 하계와 유사하게 세부 군집의 수가 많았지만, 동계는 세 개의 군집으로 잘 구분되었다. 또한, 2014년 동계는 수직(남-북)방향으로 B구역의 해수가 거제도 남쪽으로 확장되고, C구역의 해수가 남

해연안으로 유입되는 형태의 군집을 보였다.

이상에서 살펴본 수온·염분의 군집분석 결과, 연구 해역의 각 계절별 표·저층은 세 개의 군집으로 나눌 수 있었다. 또한, 몇몇의 결과에서는 어울리지 않는(Mismatch) 조합을 이루는 결과가 있었으며, 이는 관측정점이 육지와 인접한 곳이거나 관측오차에 의해 발생하는 것으로 추정하였다. 특히, 본 연구에서는 3개년의 관측정점이 동일하지 않아 일관성 있는 분석결과를 얻는 데는 다소의 한계가 있어서 향후 일정한 정점에 대한 통일된 분석이 필요할 것으로 생각된다.

모형적합도 검토 후 회귀진단(Regression diagnostics)을 통해 이상값(Residual values)을 구하였으며, 이상값 관정에는 표준화잔차(Standardized residual)를 사용하였다. 표준화잔차는, 잔차(Residual)를 각각의 표준편차로 나누어 표준화한 값이며, 표준화잔차의 절댓값이 3 이상이면 이상인 값이 거의 확실하며, 2와 3 사이이면 이상값의 가능성이 있다고 판단할 수 있다.

수정결정계수, 유의확률 및 표준화잔차 절댓값의 분석결과를 Table 6 및 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12는 표준화잔차의 히스토그램이며, 실선은 표준정규분포를 나타낸다. Table 6의 결과에서 수정결정계수와 유의확률이 기준치를 벗어나는 경우를 살펴보면 수정결정계수는 표층에서 2014년 춘계, 하계 및 동계에, 저층에서는 2012년, 2014년 동계에 낮았으며, 유의확률 P값이 0.005를 넘는 시기는 표층 5번, 저층 3번으로 총 8번 출현하였다. 또한, 표층의 유의확률 값은 2014년 춘계에 0.037, 동계에 0.044로 비교적 높았으며, 그에 따라 표준화잔차 절댓값이 2와 3 사이의 값을 보이는 시기는 2014년의 춘계, 동계에 나타났다. 그러나 유의확률 값이 0.0을 나타내는 시기인 2012년의 춘계 및 추계, 2014년 추계에도 표준화잔차 절댓값이 2와 3 사이를 나타내는 경우도 출현하였다. 저층의 경우도 유사하게 2014년 동계의 경우 유의확률 값이 0.008로 표준화잔차 절댓값도 2와 3 사이를 보이지만, 2012년 하계

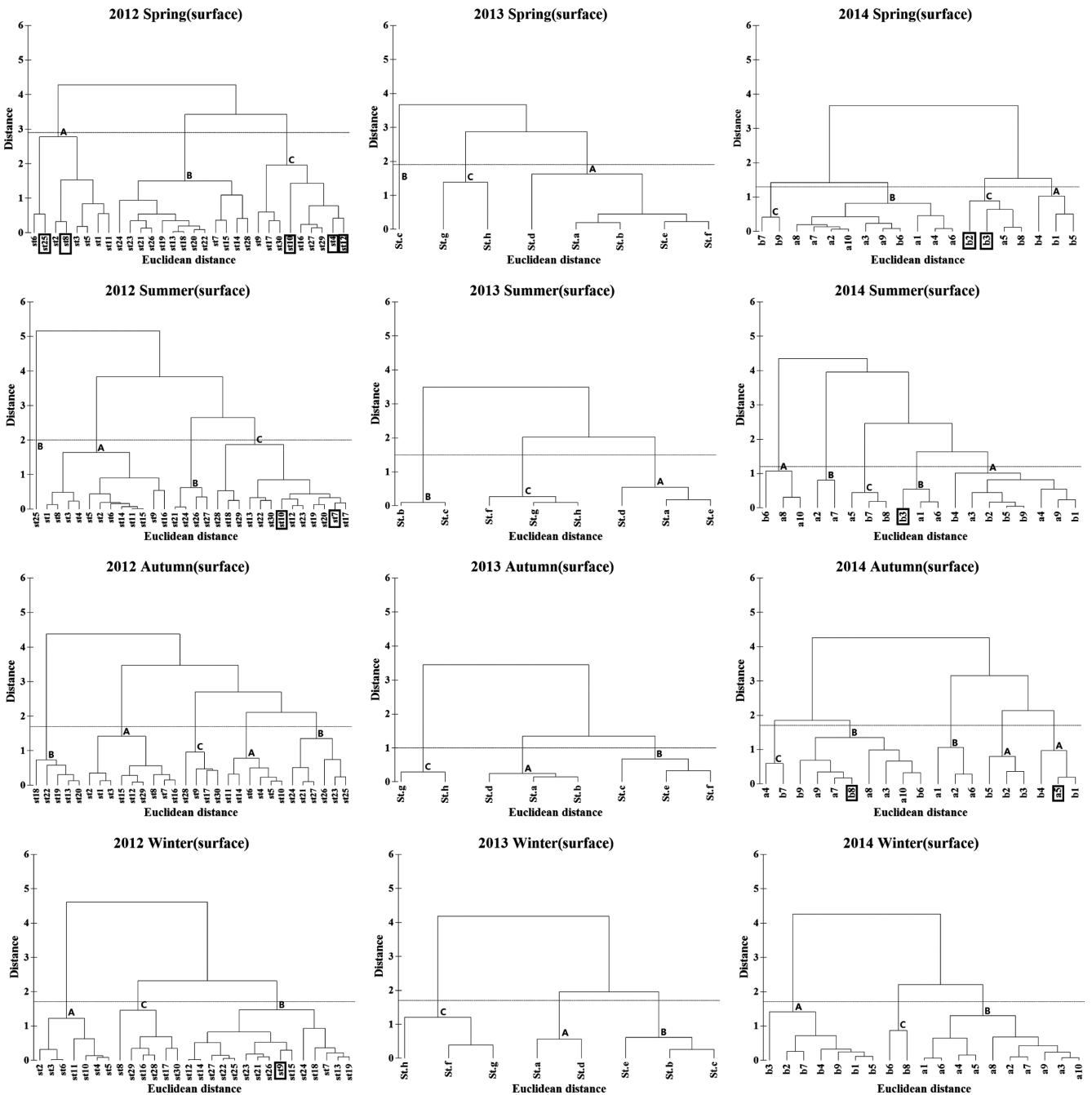


Fig. 10. Dendrogram by a cluster analysis (Surface).

2014년 추계의 경우는 표준화잔차 절댓값만 2와 3 사이를 나타내었다.

군집분석과 회귀분석을 동시에 비교하여 보면 수정결정계수, 유의확률 및 표준화잔차 절댓값이 기준치를 벗어나는 원인을 크게 세 가지로 판단해 볼 수 있다. 첫째, 군집형성의 형태가 남-북 방향으로 수직구조를 가지는 경우 둘째, 군집안에 타 군집의 정점이 포함된 경우 셋째, 군집을 이룬 정점의 수가 작은 경우이다. 특히, 2014년의 춘계 표층과 동계 표·저층은 수정결정계수, 유의확률 및 표준화잔차 절댓값이 모두 기준치를 넘어서는 경우이며, 공통적으로 세

가지의 원인 중 군집이 수직구조의 형태를 나타내는 경우였다. 그리고 두 개 또는 한 개의 통계분석 값이 기준치를 넘어서는 경우는 나머지 두 개의 원인 중 적어도 한 가지 이상을 포함하고 있는 경우로 나타났다. 수정결정계수, 유의확률 및 표준화잔차 절댓값의 세 가지 통계분석 결과를 통한 모형적합도 분석에서는 다소 높게 나타나는 시기가 출현하였으나, 전반적으로 모형에 적합하다고 판단할 수 있으며 앞서 언급한 바와 같이, 향후 관측정점의 통일에 의해 통계분석 결과의 정확성도 한층 높일 수 있을 것으로 사료된다.

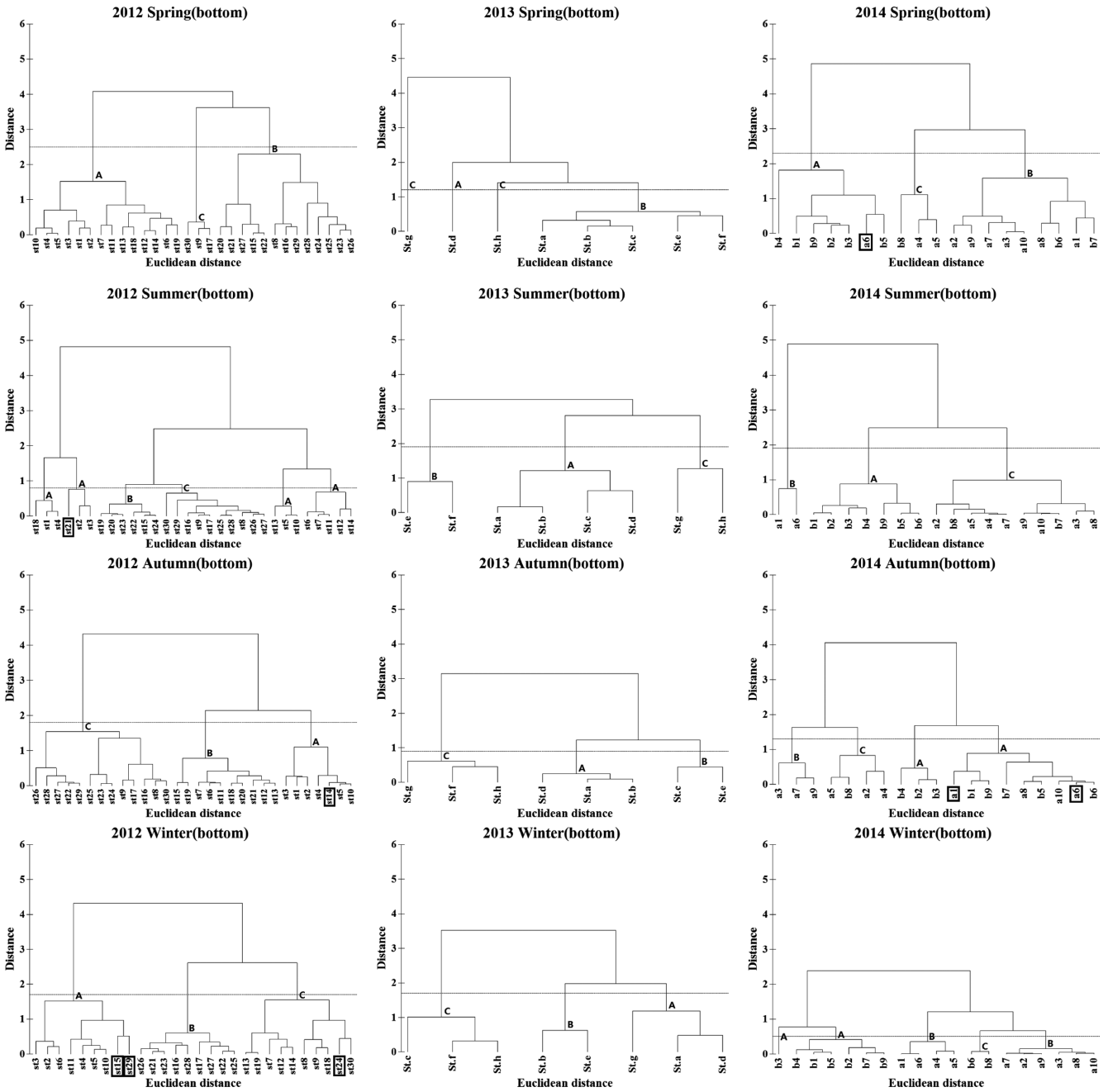


Fig. 11. Dendrogram by a cluster analysis (Bottom).

4. 결 론

2012년부터 2014년까지 국립공원연구원 해양연구센터에서 실시한 해양생태계조사 결과(특히, 수온·염분 분포)에 기초하여 통영·거제 연안역의 해양환경특성을 파악하였다. 춘계는 통영 연안역의 수온이 약 1°C 정도 외해역에 비해 높았고, 또한 염분 분포에 의해 통영·육지도 연안, 거제도 연안 및 외해역으로 각각 구분되었다. 특히, 거제 동측의 연안역에 비해 수온이 1°C 낮은 수괴가 남서쪽으로 확장하는 형태를 보였다. 하계는 표·저층간에 성층이 형성되어 수온은 약 10°C, 염분은 외해에서 2 psu, 거제연안에서 10 psu 이

상으로 확연히 다른 수괴로 구분되었다. 추계는 연안수가 외해로 확장되며, 저층에서는 연안역의 고온·저염수가 외해로 확장하는 형태를 보였다. 동계는 외해역이 연안역보다 약 1~2°C 정도 수온이 높았으며, 2013년은 표·저층, 2014년은 저층에서 남·북 방향으로 등수온선을 형성하였다. 염분은 2013년 저층에서 표층과 다른 남·북 방향의 등염분선을 형성하였다. 2013년과 2014년의 표·저층 등수온 및 등염분선은 그 방향이 서로 다르게 형성되었으며, 이는 수괴의 이동 패턴이 서로 다르다는 것을 보여주었다. 특히, 2013년도에 거제도연안에서 발생한 냉수대(국립수산과학원, <http://www.nifs.go.kr>)도 본 연구 결과에 잘 반영되고 있는 특징을 보였다. 따라서, 향후

Table 6. Regression analysis result

Season			Coefficient of determination (R^2)	Adjusted coefficient of determination (R^2)	P-Value	Residuals Statistics	
						Min.	Max.
Spring	2012	Surface	0.536	0.502	0.000	-1.848	2.234
		Bottom	0.861	0.851	0.000	-1.712	1.623
	2013	Surface	0.842	0.779	0.010	-0.912	1.856
		Bottom	0.817	0.744	0.014	-0.789	1.899
	2014	Surface	0.338	0.255	0.037	-1.771	2.206
		Bottom	0.912	0.901	0.000	-1.711	1.720
Summer	2012	Surface	0.554	0.521	0.000	-1.457	1.519
		Bottom	0.727	0.707	0.000	-1.699	2.286
	2013	Surface	0.786	0.700	0.021	-1.726	0.927
		Bottom	0.889	0.845	0.004	-1.696	1.233
	2014	Surface	0.422	0.350	0.012	-1.433	1.446
		Bottom	0.792	0.766	0.000	-1.492	1.567
Autumn	2012	Surface	0.826	0.813	0.000	-1.905	2.655
		Bottom	0.881	0.873	0.000	-1.850	1.901
	2013	Surface	0.956	0.938	0.000	-0.988	1.630
		Bottom	0.983	0.977	0.000	-1.163	1.417
	2014	Surface	0.701	0.663	0.000	-1.716	2.011
		Bottom	0.945	0.938	0.000	-1.070	2.268
Winter	2012	Surface	0.883	0.874	0.000	-1.657	1.630
		Bottom	0.298	0.242	0.012	-0.910	1.795
	2013	Surface	0.932	0.905	0.001	-1.307	1.366
		Bottom	0.938	0.914	0.001	-0.954	1.496
	2014	Surface	0.323	0.238	0.044	-1.674	2.561
		Bottom	0.456	0.388	0.008	-0.776	2.817

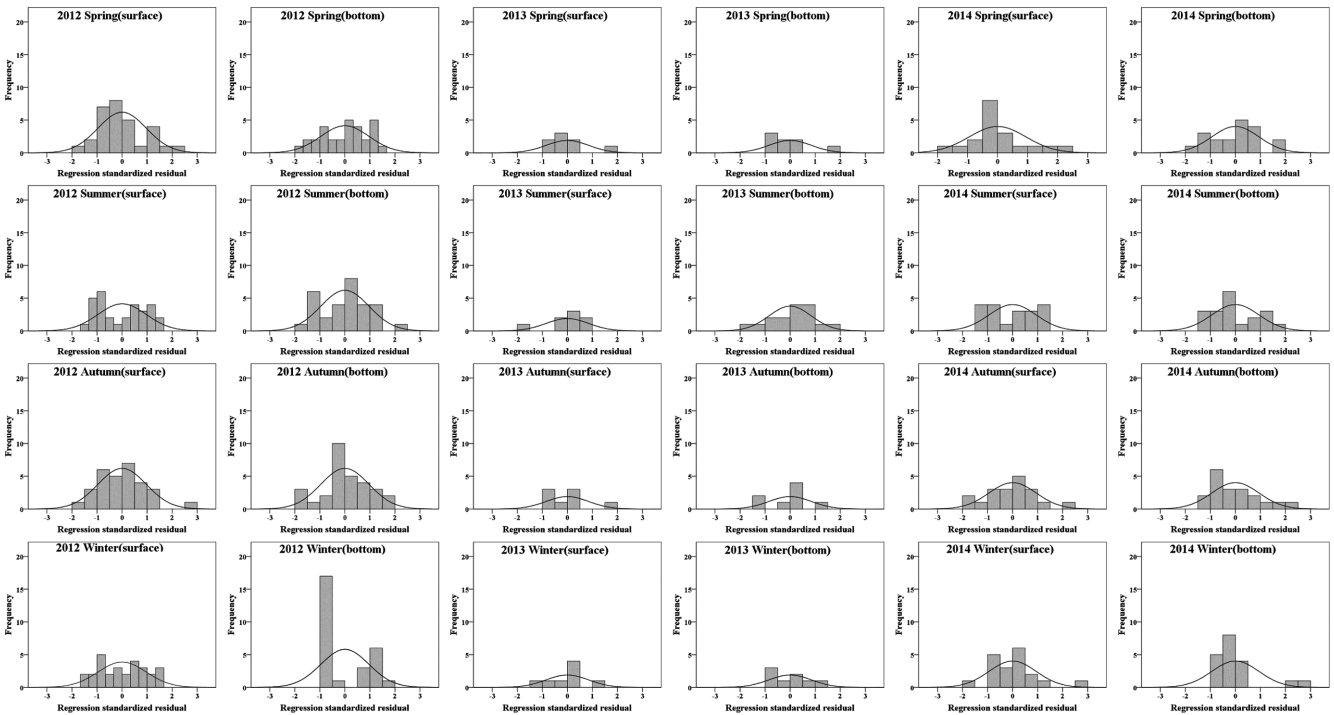


Fig. 12. Histogram of regression standardized residual.

통영과 거제도에 위치한 국립공원지역의 관리방안에는 냉수대와 같은 이상해황의 발생과 생물과의 상관성에 대한 연구가 필요할 것이다.

군집분석 결과 남해 동부해역을 총 세 개의 구역(A: 남해연안수, B: 남해연안수, 낙동강 담수 및 동해 저층냉수대, C: 대마난류 및 양쯔강 유출수)으로 구분이 가능하였다. 또한, 군집분석결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 회귀분석을 통한 군집분석의 모형적합성 검토에서는 군집 형태가 남-북 방향일 때 그 신뢰성이 떨어졌으며, 군집 안에 있는 타 군집의 정점이 함께 묶여졌을 경우에도 모형적합성이 떨어지는 것으로 나타났다. 수온-염분 결과를 바탕으로 한 군집분석은 기존 연구에서는 거의 이루어지지 않았다. 하지만, 본 연구결과와 같이 장기적인 환경변동 특성 연구에 사용되면, 기존 연구결과와는 차별화된 통계학적인 결과를 도출할 수가 있어 향후 타 연구에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과는 Jeong *et al.*[2013]이 구분한 세 개의 수괴와 비슷한 형태로 통영-거제 연안에서도 수괴 구분이 가능하였다. 또한, 본 연구에서 나타난 하계의 결과들은 Seong *et al.*[2010]의 연구결과인 하계 대마난류의 영향에 따른 수온상승의 결과와 동일하며, Jang *et al.*[2013]의 하계 식물플랑크톤 군집구조의 변동에 대한 연구를 바탕으로 향후, 국립공원관리방안을 위하여 체계적이고 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구를 통해 통영-거제연안역은 계절별에 따라 수괴의 분포나 배치에 차이가 있음을 확인하였으나, 각 연도별 관측 정점이 통일되어 있지 않아 보다 면밀한 비교 분석을 하지 못한 것은 아쉬움으로 남는다. 향후, 동일한 관측정점에서 정기적으로 획득되는 자료가 축적되면 더욱 정도 높은 연구가 이루어질 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 2012년부터 2014년까지 국립공원연구원 해양연구센터에서 실시한 해양생태계조사 사업의 결과의 일부임을 밝힙니다.

References

- [1] Chen, C.Y., Folt, C.L., 2002, "Ecophysiological responses to warming events by two sympatric zooplankton species", *J. Plankton Res.*, Vol.24, No.6, 579-589.
- [2] Choi, Y.K., Yang, J.Y., Lee, Y.S., Yu, J., Kim, D.K., Han, I.S. and Go, W.J., 2007, "Characteristics of Ocean Environment in the Dry and Wet Seasons in the South Sea of Korea", *J. Environ. Sci.*, Vol.16, No.4, 459-466.
- [3] Humborg, C, Ittekkot, A., Cociasu, A. and Bodungen, B.V., 1997, "Effect of Danube River dan on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure", *Nature* Vol.386, 385-388.
- [4] Isobe A., 2008, "Recent advances in ocean-circulation research on the Yellow Sea and East China Sea shelves", *J. Oceanogr.* Vol.64, 569-584.
- [5] Jeong, D.H., Shin, H.H., Jung, S.W. and Lim, D.I., 2013, "Variations and Characters of Water Quality during Flood and Dry Seasons in the Eastern Coast of South Sea, Korea", *Korean J. Environ. Biol.*, Vol.31, No.1, 19-36.
- [6] Jang, P.G., Hyun, B.G., Cha, H.G., Chung, H.S., Jang, M.C. and Shin, K.S., 2013, "Seasonal Variation of Phytoplankton Assemblages Related to Surface Water Mass in the Eastern Part of the South Sea in Korea", *Ocean Polar Res.*, Vol.35, No.2, 157-170.
- [7] Jeong, H.J., Park, J.K., Choi, H.Y., Yang, J.S., Shim, J.H., Shin, Y.K., Yih, W.H., Kim, H.S. and Cho, K.J., 2000, "The Outbreak of Red Tides in the Coastal Water off Kohung, Chonnam, Korea 2. The Temporal and Spatial Variations in the Phytoplanktonic Community in 1997", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.5, No.1, 27-36.
- [8] Kim, AR., Youn, S.H., Chung, M.H., Yoon, S.C. and Moon C.H., 2014. "The Influences of Coastal Upwelling on Phytoplankton Community in the Southern Part of East Sea, Korea", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.19, No.4. 287-301.
- [9] Lee, T.S. and Kim, K.H., 1998, "A Study on the Origin of Anomalously Low Saline Tsushima Current Water Using ^{228}Ra ", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.3, No.4, 175-182.
- [10] Lim, D.L., Um, I.K., Jeon, S.K., Yoo, M.J. and Jung, H.S., 2003, "Physiochemical Characteristics of Coastal Pseudo-Estuarine Environment Formed During the Summer Flood Season in the South Coast of Korea", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.8, No.2, 151-163.
- [11] NIFS, National Institute of Fisheries Science, <http://www.nifs.go.kr>.
- [12] Pang, I.C., Hong, C.S. and Oh, K.H., 2001, "Study on Physical Oceanographic Environments in the Coastal Sea of Chung-Moon, Cheju Island", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.6, No.4, 211-217.
- [13] Seong, K.T., Hwang, J.D., Han, I.S., Go, W.J., Suh, Y.S. and Lee, J.Y., 2010, "Characteristic for Long-term Trends of Temperature in the Korean Waters", *J. Korean Soc. of Mar. Environ. Saf.*, Vol.16, No.4, 353-360.
- [14] Yang, J.S., Choi, H.Y., Jeong, H.J., Jeong, J.Y. and Park, J.K., 2000, "The Outbreak of Red Tides in the Coastal Waters off Kohung, Chonnam, Korea: 1. Physical and Chemical Characteristics in 1997", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.5, No.1, 16-26.

Received 23 February 2016

1st Revised 1 April 2016, 2nd Revised 31 May 2016

Accepted 2 June 2016