

지역 규모에 따른 한국 남부해역 표층수온의 시·공간적 변동 패턴 비교

윤동영¹ · 최현우^{1*}

A Comparison of Spatio-Temporal Variation Pattern of Sea Surface Temperature According to the Regional Scale in the South Sea of Korea

Dong-Young YOON¹ · Hyun-Woo CHOI^{1*}

요 약

지역 규모에 따른 한국 남부해역 표층 수온의 시·공간적 변동 패턴을 비교하고자 시기적으로는 31년간(1980~2000)의 동계와 하계를, 지역적으로는 남부해역 전체 해역(A 지역)을 비롯하여 제주도를 중심으로 서부 해역(B 지역)과 동부 해역(C 지역) 등 세 해역을 선정하였다. 수온의 시간적 변동 패턴을 위해서는 회귀분석을, 수온의 공간적 변동패턴 분석을 위해서는 수온의 가중평균중심과 표준편차타원체 분석이 각각 적용되었다. 수온의 회귀분석 결과 세 지역에서 두 계절 모두 장기적으로 상승하는 경향을 보였다. 하지만 31년 평균수온이 하계에는 세 지역 모두 유사하였지만, 동계에는 C 지역이 B 지역보다 높게 나타났다. 두 계절 수온의 공간적 변동 패턴은 세 지역에서 각기 다름을 보였다. A 지역에서는 동-서 방향, B 지역에서는 남동-북서 방향, C 지역에서는 남서-북동 방향으로 나타났다. 아울러 동계에 수온의 가중평균중심 위치와 평균 수온과의 관계가 A와 B 지역에서는 상관성이 있는 반면, C 지역에서는 상관성이 없게 나타났다. 따라서 수온의 시·공간적 변동패턴 분석 시 지역적 규모를 고려해야 함을 알 수 있다.

주요어 : 수온 변동, 가중평균중심, 표준편차타원체, 지역적 규모

ABSTRACT

In order to compare the spatio-temporal variation pattern of sea surface temperature (SST) in Korea's Southern areas of the sea according to a regional scale, this study has selected the winter and summer seasons for 31 years (1980~2010) in a period

2011년 10월 28일 접수 Received on October 28, 2011 / 2011년 12월 8일 수정 Revised on December 8, 2011 / 2011년 12월 16일 심사완료 Accepted on December 16, 2011

1. 한국해양연구원 해양자료정보사업단 Ocean Data and Information Unit, Korea Ocean Research & Development Institute

* 연락처 E-mail : hwchoi@kordi.re.kr

aspect and selected three areas of the sea such as the Western areas of the sea (region B) and Eastern areas of the sea (region C) around Jeju Island in addition to overall Southern areas of the sea (region A) in regional aspect. The regression analysis was applied to find out a temporal variation pattern of SST, and the weighted mean center (WMC) of SST as well as analysis of a standard deviational ellipse (SDE) was respectively applied. As a result of regression analysis of SST, it showed a rising long-term trend for all two seasons in three regions. However, though the average SST for 31 years was all similar in three regions in the summer season, the region C appeared more highly than region B in the winter season. The spatial variation pattern of SST for two seasons showed that it is respectively different from each other in three regions. The spatial variation pattern of SST appeared as E-W direction in region A, SE-NW direction in region B and SW-NE direction in region C. In addition, the relationship between the location of the WMC of SST and the average SST showed correlation in regions A and B in the winter season, whereas it appeared that there is no correlation in region C. Accordingly, it can be known that the regional scale should be considered in case of analysis of spatio-temporal variation patterns of SST.

KEYWORDS : *Seawater Temperature Variation, Weighted Mean Center, Standard Deviation Ellipse, Regional Scale*

서 론

2007년 발표된 UN 기후변화에 관한 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 4차 보고서는 21세기 말까지 지구온난화로 지구평균기온이 최대 6.4℃ 상승할 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2007). 이러한 기온변화는 해양의 수온을 상승시켜 해양환경의 물리적·화학적 성분 변화를 초래함에 따라(McGinn, 2002), 기후변화를 탐지하고 예측하기 위한 기초인자로 해양 수온 변화에 관한 연구가 전 세계적으로 꾸준히 이어져 왔다(Bethoux *et al.*, 1990; Becker and Pauly, 1996; Fukasawa *et al.*, 2004; Meehl *et al.*, 2005).

해양 수온 변화에 관한 국내 연구로는 한국 연안에 위치한 18개 관측정점에서 표층수온 자료를 분석하여 1966년부터 30년간 연평균 표층수온이 상승하고 있음을 밝힌 바 있으며(Kang, 2000), 우리나라 전 해역의 정점에서

관측한 표층수온의 장기변화 추이를 분석하여 한국 남서연안을 제외하고 수온이 상승하고 있음을 보였다(정희동 등, 2003). 또한, 한국 연안 27개 정점의 표층수온을 분석한 결과, 1969년부터 36년간 수온의 선형 증가 추세는 동해안에서 가장 크고 한국 남서해역에서 상대적으로 작음을 증명하였다(민홍식과 김철호, 2006).

국외 연구로는 시계열적 수문학 자료를 사용하여 1950년부터 42년 동안 미국 남서부 표층수온이 0.8℃ 상승함과 동시에 해수면이 0.9±0.2 mm/year 상승함을 증명한 바 있고(Roemmich, 1992), 태평양의 해양 퇴적물을 이용하여 제 4기(Quaternary) 동안 표층수온이 2.8℃±0.7℃ 상승하였다는 연구 결과(Lea *et al.*, 2000)도 있다.

이처럼 기후변화에 따른 수온의 시간적 변동 패턴을 분석하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 수온의 공간적 변동 패턴을 분석하기 위한 연구도 함께 진행되고

있다. Gould and Arnone(2004)는 한국 동해를 대상으로 1999년도 SST 위성자료의 시·공간적 변동패턴을 분석하였고, 성기탁 등(2010)은 1968년부터 41년간 한국 연근해 수온의 시·공간적 장기변동 특성을 조사하여 표층수온이 상승하고 있음을 증명하였다. 하지만 이들 연구는 동해, 남해, 황해와 같이 해역을 크게 구분한 후, 각 해역에 대한 수온의 시계열적 변화에 대한 차이를 분석한 것으로, GIS에서 다루는 공간분석(spatial analysis)과는 성격이 달랐다.

공간분석기법으로 수온의 공간적 분포패턴을 연구하기 위해서는, 우선 시간 변화에 따라 지역을 대표할 수 있는 수온 값이 필요하다. 지역을 대표하는 수온 값을 계산하기 위해서는 인구 중심의 변동을 측정(주성아와 김영훈, 2007)하는데 사용되었던 가중 평균중심(weighted mean center: WMC) 기법이 적용 가능하며, 지역을 대표하는 수온 값의 공간적인 변동 패턴을 정량적으로 산출하기 위해서는 범좌발생의 공간적 분포 패턴(정경석 등, 2009)과 도시성장 패턴 분석(김홍태 등, 2009)에 적용된 바 있는 표준편차타원체

(standard deviational ellipse: SDE) 기법이 적용 가능하다.

따라서 본 연구에서는 남부해역을 대상으로 회귀분석과 GIS 공간분석 기법을 이용하여 해양에서 지역규모에 따라 수온의 시·공간적 변동 패턴 분석 결과가 어떻게 차이를 보이는지 알아보고, 수온의 변동 패턴을 분석하는데 있어 GIS 공간분석 기법의 활용 및 지역 분할의 필요성을 제시하고자 한다.

연구지역 및 연구 자료

본 연구의 대상 해역은 부산에서부터 서남부 흑산도 해역과 제주도 주변해역을 포함하는 위도 33°~35°N, 경도 124°E~129°E 지역인 한국 남부해역으로 선정하였다(그림 1). 이 해역은 우리나라의 해황에 영향을 미치는 고온 고염의 쓰시마 난류수가 지나는 해역으로 지역 규모에 따른 수온 변동을 파악하는데 적합한 지역으로 판단되었다. 연구에 사용한 자료는 31년간(1980~2010)의 정선해양관측 자료 중 동계(2월)와 하계(8월)의 표층수온 자료를 사용하였다(국립수산과학원, 2011).

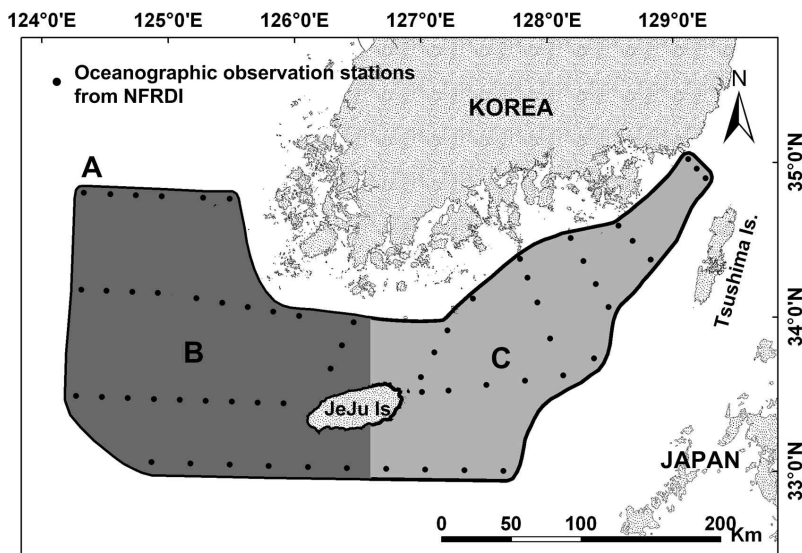


FIGURE 1. 연구 지역인 한국 남부해역

연구 해역에 포함된 관측 정점 대상 수는 61개이며, 연도별로 관측된 정점 자료의 수가 54개 미만인 해의 자료는 분석대상에서 제외하였다. 지역적으로는 남부해역 전체(A 지역)를 비롯하여 제주도를 중심으로 서부 해역(B 지역)과 동부 해역(C 지역) 등 3개 해역으로 구분하였다(그림 1).

연구 방법

우리나라의 해양은 계절마다의 특성이 달라 계절 특성을 고려한 해양환경 분석이 이루어져야 한다. 따라서 사계절 중 계절 특성의 구분이 뚜렷한 동계와 하계를 선정한 후, 국립수산물과학원의 정선해양관측 수온자료를 수집하여 DB로 구축하였다. 연도별, 계절별, 정점별로 구축된 수온자료는 ArcGIS 9.2 (ESRI™)를 이용하여 표층수온(SST) 값이 속성 값으로 저장된 2차원 GIS 포인트 데이터

로 제작하였다. 연구 해역 내 관측지점 이외의 공간에 대한 수온 값을 추정하기 위해 포인트 데이터를 역거리가중(inverse distance weighted: IDW) 공간보간법을 사용하여 $1 \times 1\text{km}$ 간격의 래스터 데이터로 변환하였다. 이후 각 지역별 연평균 수온과 수온의 가중평균중심(weighted mean center of seawater temperature : WMCST)을 계산하기 위해 연도별 래스터를 포인트 데이터로 재 변환하였다. 이와 같이 포인트 → 래스터 → 포인트 순으로 처리한 이유는 61개 관측지점 이외의 전체 공간에 대한 수온 값을 추정함은 물론, 61개 정점을 모두 관측하지 못한 시기(31년 중 동계는 5년, 하계는 1년)의 수온 자료도 분석 자료에 사용하기 위함이다.

연구 대상 해역 전체에 일정한 간격($1 \times 1\text{km}$)으로 구축된 포인트 데이터를 사용하여 지역 규모에 따른 수온의 시·공간적 변동 패턴을 비교하고자 3개 해역(A, B, C)에서 동

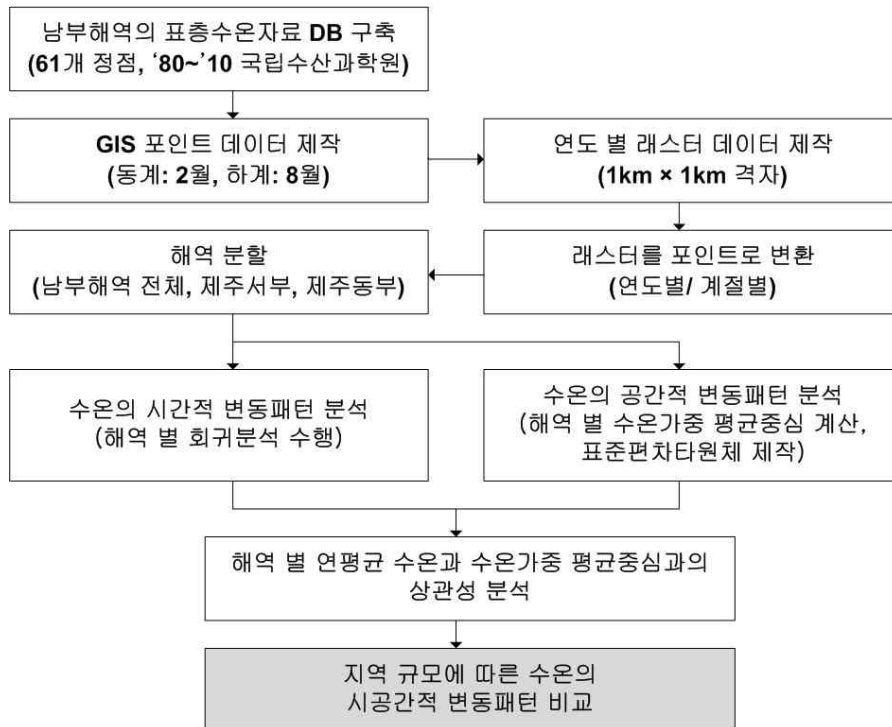


FIGURE 2. 연구 절차

일한 분석 방법을 적용하였다. 우선 수온의 시간적 변동 패턴 분석을 위해 수온의 속성정보가 포함된 포인트 데이터에서 연도 별로 지역 평균수온 값을 계산한 후, XLSTAT 2011(AddinSoft™) 통계 패키지를 이용하여 선형회귀분석을 수행하였다. 또한, 수온의 공간적 분포 패턴 분석을 위해 ArcGIS 9.2(ESRI™)를 이용하여 수온의 속성과 위치정보가 포함된 포인트 데이터로부터 연도 별, 지역 별 WMCST를 계산한 후, WMCST의 공간분포 패턴을 파악하기 위해 분포의 장축과 단축 정보가 포함된 SDE를 구하였다. 이러한 WMCST와 SDE는 각 지역별 수온 가중이 적용되지 않은 단순한 평균중심(mean center: MC)을 기준으로 하여 공간상의 위치 값을 다시 계산하였다.

이러한 수온의 시간적 변동 패턴 분석 결과와 공간적 변동패턴 분석 결과를 이용하여, 해역 별 연평균 수온과 WMCST와의 상관성 분석을 통해 수온 변동에 따른 WMCST의 공간적 변동성을 파악하였다. 최종적으로 지역 규모에 따른 수온의 시·공간적 변동 패턴에 대한 차이를 비교하였으며, 본 연구를 위해 수온 자료 수집에서 분석에 이르는 전반적인 연구절차는 그림 2와 같다.

1. 평균중심(MC) 및 가중평균중심(WMC)

MC는 자료에 대한 지리적 분포의 중심을 측정하는 방법으로 식 1과 같이 입력 포인트의 X좌표와 Y좌표의 평균을 각각 구하여 평균 좌표를 계산하는 방법이다(Wong and Lee, 2005).

$$(\bar{X}_{mc}, \bar{Y}_{mc}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \quad (1)$$

여기서 \bar{X}_{mc} , \bar{Y}_{mc} 는 MC의 좌표이고, x_i , y_i 는 포인트 i 의 좌표이며, n 는 포인트 자료 수이다.

WMC는 단순히 자료에 대한 지리적 위치뿐만 아니라, 자료의 속성에 따른 가중치가 적용된 평균중심을 계산하는 방법으로 식 2와 같다(Wong and Lee, 2005). 본 연구에서는 수온의 속성과 위치정보에 대한 WMC를 적용하여 수온의 공간적 분포 패턴을 분석하는데 사용하고자 하였다.

$$(\bar{X}_{wmc}, \bar{Y}_{wmc}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (2)$$

여기서 \bar{X}_{wmc} , \bar{Y}_{wmc} 는 WMC의 좌표이며, w_i 는 포인트 i 의 가중치이다.

2. 표준편차타원체(SDE)

SDE는 자료가 특정 방향에 따라 경향성을 띄며 분포하는지를 확인할 수 있는 방법이다. 자료에 대한 집중 정도 및 분포 방향을 모두 확인할 수 있으며, 타원의 중심과 기울어진 각도 및 X, Y축 방향 성분의 편차거리를 정량적으로 산출할 수 있다(Wong and Lee, 2005).

타원의 중심점은 식 3과 같이 평균중심에서부터의 X, Y축 방향에 대한 거리 차이를 의미하며, 기울어진 각도는 식 4와 같이 계산된다. 계산결과 탄젠트의 값이 양수로 나타나면 Y축 방향성분의 편차거리가 장축이 되고, 12시 방향을 기준으로 시계방향으로 각도가 계산된다. 탄젠트의 값이 음수로 나타나면 X축 방향성분의 편차거리가 장축이 되고, 12시를 기준으로 반시계 방향으로 각도가 계산 된다(본 연구에서는 $90^\circ - \theta$ 표기법 사용을 사용 함; 12시를 기준으로 시계방향). 또한, X, Y축 방향성분의 편차거리(장축과 단축의 길이)는 식 5와 같이 계산된다. 본 연구에서는 WMCST의 위치정보를 바탕으로 수온의 공간적 변동 패턴을 정량화하기 위해 SDE를 사용하였으며, 1SD(standard deviation)를 적용하였다.

$$x^i = x_i - x_{mc}, \quad y^i = y_i - y_{mc} \quad (3)$$

여기서 x^i, y^i 는 SDE이 중심 좌표이다.

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_i' y_i')^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i' y_i'} \quad (4)$$

여기서 θ 는 SDE의 회전 각도이다.

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i' \cos \theta - y_i' \sin \theta)^2}{n}},$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i' \sin \theta + y_i' \cos \theta)^2}{n}} \quad (5)$$

여기서 δ_x, δ_y 는 SDE의 표준편차거리(장축과 단축)이다.

3. 회귀분석, 상관성 분석

31년간 3개 지역의 연 평균 수온에 대한 선형 회귀분석을 수행하여 지역 별 수온의 장기 변동 패턴을 비교, 분석하였으며, 연 평균 수온과 WMCST와의 상관성은 Pearson 상관계수를 구하여 분석하였다. 선형회귀 분석 시 분석 결과에 대한 유의수준(α)을 0.1로 정의하였고, 상관분석 결과에 대한 유의수준은 0.05로 정의하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 지역 규모에 따른 한국 남부해역 표층수온의 시·공간적 변동 패턴을 비교하기 위해 GIS와 공간통계기법을 적용하여 다양한 결과를 도출하였다. 우선 해역별, 시기별 연평균수온에 대한 회귀분석을 수행하여 수온의 시간적 변동패턴을 분석 하였으며,

WMCST를 계산한 다음 SDE를 사용하여 수온의 공간적인 분포 패턴을 분석하였다. 또한 연평균수온과 WMCST의 상관성을 분석하여 지역 규모에 따른 수온의 시·공간적 변동패턴을 비교 하였다.

1. 수온의 시간적 변동 패턴

지역 규모에 따른 수온의 시간적 변동패턴을 분석하고자 1980년부터 31년 동안 해역별, 시기별 연 평균수온 값에 대한 회귀분석을 수행하였다. 해역별 연 평균수온의 회귀분석 결과 표 1과 같이 동계 회귀모형의 경우 세 지역 모두 모두 유의(p -value < 0.1)하게 나타났으며, 연 간 수온 상승률도 A 지역은 0.032°C/year, B 지역은 0.034°C/year, C 지역은 0.028°C/year로 세 지역 모두 약 0.03°C/year의 수온 상승률을 보였다. 하계의 회귀모형은 C 지역(p -value, 0.118)을 제외한 A와 B 지역에서 유의(p -value < 0.1)하게 나타났으나, 연 간 수온 상승률은 A 지역은 0.052°C/year, B 지역은 0.057°C/year, C 지역은 0.045°C/year로 세 지역 모두 약 0.05°C/year의 수온 상승률을 보였다. 세 지역에서 31년 평균수온은 하계 A 지역은 26.3°C, B 지역은 26.4°C, C 지역은 26.6°C로 지역별 차이를 보이지 않았으나, 동계 A 지역은 12.5°C, B 지역은 11.2°C, C 지역은 14.4°C로 제주 서부해역(B 지역)과 동부해역(C 지역)이 3.2°C의 차이를 보였다.

이처럼 수온의 시간적 변동 패턴은 세 지역에서 두 계절 모두 장기적으로 상승하는 경향을 보였으며, 수온 상승률에 대한 계절적인 차이는 존재하나, 지역 규모에 따른 차이는 보이지 않았다. 연 평균수온의 시간적 변동 패턴 또한 그림 3과 같이 세 지역에서 두 계절 모두 유사한 경향을 보였다. 하지만 지역별 31년 평균수온이 하계에는 세 지역 모두 유사(26.3 ~ 26.6°C) 하였지만, 동계에는 C 지역(14.4°C)이 B 지역(11.2°C) 보다 높게 나타났다.

TABLE 1. 해역별 연평균 표층수온의 선형회귀분석 결과

Season	Variable	Region A	Region B	Region C
Winter	number of observation	27	27	27
	gradient (°C/year)	0.032	0.034	0.028
	R ²	0.154	0.127	0.155
	p-value	0.043	0.068	0.042
	average SST (°C)	12.5	11.2	14.4
Summer	number of observation	29	29	29
	gradient (°C/year)	0.052	0.057	0.045
	R ²	0.141	0.140	0.088
	p-value	0.045	0.046	0.118
	average SST (°C)	26.3	26.4	26.6

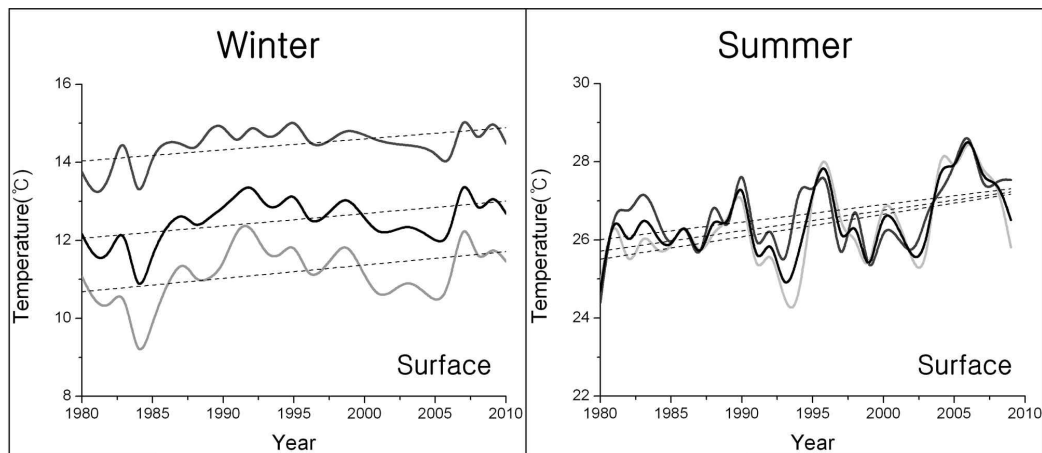
2. 수온의 공간적 변동 패턴

지역 규모에 따른 수온의 공간적 변동 패턴을 파악하기 위해서는 대상해역의 공간을 대표할 수 있는 수온 값이 필요하여 연도 별 WMCST를 계산하였다. 또한, WMCST의 중심점, 표준편차거리, 축의 길이 및 각도를 SDE로 분석하여 표 2와 같이 산출하였으며, 세 지역의 두 계절에 대한 WMCST의 공간분포는 그림 4와 같다.

동계의 경우, MC를 기준으로 SDE의 중심이 A 지역에서는 동쪽으로 16.0km, 남쪽으로 8.3km 지점에, B 지역에서는 동쪽으로 5.5km,

남쪽으로 12.1km 지점에, C 지역에서는 서쪽으로 2.6km, 남쪽으로 4.3km 지점에 각각 위치하였다. 장축과 단축의 길이와 회전 각도는 A 지역에서 10.7km, 2.3km, 98°, B 지역에서 6.1km, 3.4km, 139°, C 지역에서 2.6km, 0.9km, 39°로 나타났다.

하계의 경우, MC를 기준으로 SDE의 중심이 A 지역에서는 동쪽으로 0.2km, 남쪽으로 1.5km 지점에, B 지역에서는 서쪽으로 0.3km, 남쪽으로 1.2km 지점에, C 지역에서는 서쪽으로 0.8km, 남쪽으로 1.8km 지점에 각각 위치하였다. 장축과 단축의 길이와 회전 각도는 A



— Region A - - - Region B ····· Region C - · - · Trend line

FIGURE 3. 해역 별 연평균 표층수온의 시간적 변동패턴

지역에서 7.8km, 2.9km, 85°, B 지역에서 4.0km, 2.6km, 166°, C 지역에서 3.9km, 0.8km, 46° 로 나타났다.

동계 WMCST는 각 지역 별 MC를 기준으로 A, B 지역은 동남쪽에, C 지역은 서남쪽에 위치했으나, 하계에는 세 지역 모두 MC로부터 2km이내에 위치하였다. WMCST의 분산(SDE의 장축과 단축의 길이)은 A, B, C 지역 순으로 크게 나타났으며, 공간적 변동 패턴은 A 지역에서는 동-서 방향, B 지역에서는 남동-북서 방향, C 지역에서는 남서-북동 방향으로 세 지역에서 각기 차이를 보였다.

3. 연 평균수온과 WMCST의 상관성

WMCST는 수온 값을 가중치로 부여하여 MC를 계산하였기 때문에 WMCST가 이동한다는 것은 연구지역내의 상대적으로 따뜻한 수온의 중심이 이동한다는 것을 의미한다. 따라서 수온 상승에 따른 따뜻한 수온 중심의 이동 방향을 파악하고자 연 평균수온과 WMCST의 상관성을 세 지역에서 계절별로 분석하였다(표 3). 하계에는 세 지역에서 상관성이 없게 나타났고, 동계에는 A 지역과 B 지역에서 상관성이 있는 반면, C 지역에서는

상관성이 없게 나타났다. 동계 A 지역의 연 평균수온과 WMCST의 X성분과의 상관계수는 -0.67 (p -value, 0.0001), Y성분과의 상관계수는 0.56 (p -value, 0.003)으로 나타났으며, B 지역의 평균수온과 WMCST의 X성분과의 상관계수는 -0.70 (p -value, <0.0001), Y 성분의 상관계수는 0.66 (p -value, 0.0001)으로 나타났다. 이것은 A 지역과 B 지역에서는 수온이 상승하면 따뜻한 수온의 중심이 북서쪽으로 이동함을 의미한다. 반면, C 지역은 같은 남부해역에 속하지만 수온 상승과는 무관하게 따뜻한 수온의 중심이 이동하는 것으로 나타났다.

결론

해양에서 지역규모에 따른 수온의 시·공간 변동 패턴의 차이를 알아보고자 한국 남부해역을 세 지역으로 나누어 동계와 하계의 31년간 표층수온 자료를 이용하였다. 시간적 변동 패턴은 해역별 연 평균 수온의 31년 회귀분석을, 공간적 변동 패턴은 수온가중 평균중심과 표준편차타원체 분석을 통하여 해역별 시·공간 변동패턴을 비교한 결과는 다음과 같다.

TABLE 2. 해역 별 평균중심점을 기준으로 산출한 수온가중 평균중심점의 평균 위치와 표준편차 타원 변수(표준거리, 장축, 단축 및 장축의 각도)

Season	Variable	Region A	Region B	Region C
Winter	center of X (km)	16.02	5.55	-2.58
	center of Y (km)	-8.27	-12.07	-4.33
	standard distance of X (km)	5.37	3.06	0.46
	standard distance of Y (km)	1.14	1.69	1.32
	long axes (km)	10.74	6.12	2.64
	short axes (km)	2.28	3.38	0.92
	angle of rotation (°)	98	139	39
Summer	center of X (km)	0.18	-0.25	-0.84
	center of Y (km)	-1.46	-1.22	-1.82
	standard distance of X (km)	1.45	2.01	0.41
	standard distance of Y (km)	3.88	1.29	1.95
	long axes (km)	7.76	4.02	3.90
	short axes (km)	2.90	2.58	0.82
	angle of rotation (°)	85	166	46

TABLE 3. 해역 별 연평균 수온과 수온가중 평균중심점 위치와의 상관성 분석 결과

Season	Variable	Region A	Region B	Region C	
Winter	number of observation	27	27	27	
	T vs. X	correlation coefficient (r)	-0.668	-0.704	0.095
		p-value	0.0001	<0.0001	0.639
	T vs. Y	correlation coefficient (r)	0.556	0.664	0.196
		p-value	0.003	0.0001	0.328
	Summer	number of observation	29	29	29
T vs. X		correlation coefficient (r)	-0.119	-0.115	0.087
		p-value	0.538	0.551	0.653
T vs. Y		correlation coefficient (r)	-0.233	-2.203	0.158
		p-value	0.224	0.292	0.413

* T : annual average of SST (°C), X and Y: X and Y components of weighted mean center of seawater temperature

첫째, 수온의 시간적 변동 패턴은 세 지역에서 동계와 하계 모두 수온이 장기적으로 상승하는 추세(수온의 상승률: 동계 약 0.03°C/year, 하계 약 0.05°C/year)를 보였다. 이는 남부해역에서의 수온상승 추세가 쓰시마 난류와 양자강에서 유출되는 담수의 영향으로 동계보다 하계에 더 높다는 성기탁 등(2010)의 연구결과와 일치한다. 하지만 해역 별 31년 평균 수온이 하계에는 세 해역 모두 유사(26.3 ~ 26.6°C) 하였지만, 동계에는 제주 동부해역(14.4°C)이 제주 서부해역(11.2°C)보다 높게 나타났다. 따라서 수온의 시간적 변동 패턴 분석 시 해양의 지역 규모에 따라 수온의 차이가 있음을 유의해야 한다.

둘째, 수온의 평균중심점을 기준으로 수온가중 평균중심점이 동계에는 남부해역 전체와 제주 서부해역에서는 동남쪽에, 제주 동부해역은 서남쪽에 위치하였고, 하계에는 세 지역 모두 평균중심점 주위에 위치하였다. 또한 수온가중 평균중심점 위치의 연간 변동 패턴을 표준편차타원체로 분석한 결과 수온가중 평균중심점이 남부해역 전체에서는 동-서 방향, 제주 서부 해역에서는 남동-북서 방향, 제주 동부 해역에서는 남서-북동 방향으로 세 지역에서 각기 다르게 나타났다. 이와 같이 수

온의 공간적 변동 패턴이 지역에 따라 다르게 나타나는 원인은 동계의 남부해역은 북서계절풍과 쓰시마 난류의 영향을 받기 때문이고, 하계에는 쓰시마 난류와 계절풍의 영향보다는 남부해역 전체에 일사량이 증가하기 때문으로 판단된다.

셋째, 연평균 수온과 수온가중 평균중심점 위치와의 상관성 분석 결과, 하계에는 세 지역 모두 상관성이 없게 나타났지만, 동계에는 남부해역 전체와 제주 서부해역에서 연평균 수온이 수온가중 평균중심점의 X 성분과는 음의 관계, Y 성분과는 양의 관계를 보였다. 하지만 제주 동부해역은 연평균 수온이 수온가중 평균중심점 위치의 변동과는 상관이 없게 나타났다. 이는 동계에 남부해역 전체와 제주 서부해역에서 수온이 상승하면 수온가중 평균중심점의 위치가 북서쪽으로 이동하지만 제주 동부해역에서는 이 두 요소 간에 상관이 없음을 의미한다. 이것은 제주도 동쪽해역을 지나가는 쓰시마 난류 수송량의 변화는 크지 않으나, 서쪽해역을 지나가는 쓰시마 난류 수송량은 변화가 크기 때문인 것으로 추정된다.

본 연구를 통해 해양에서 수온의 시·공간 변동 패턴을 분석하는데 비 공간 통계인 회귀 분석기법 외에도 공간통계 기법인 가중평균중

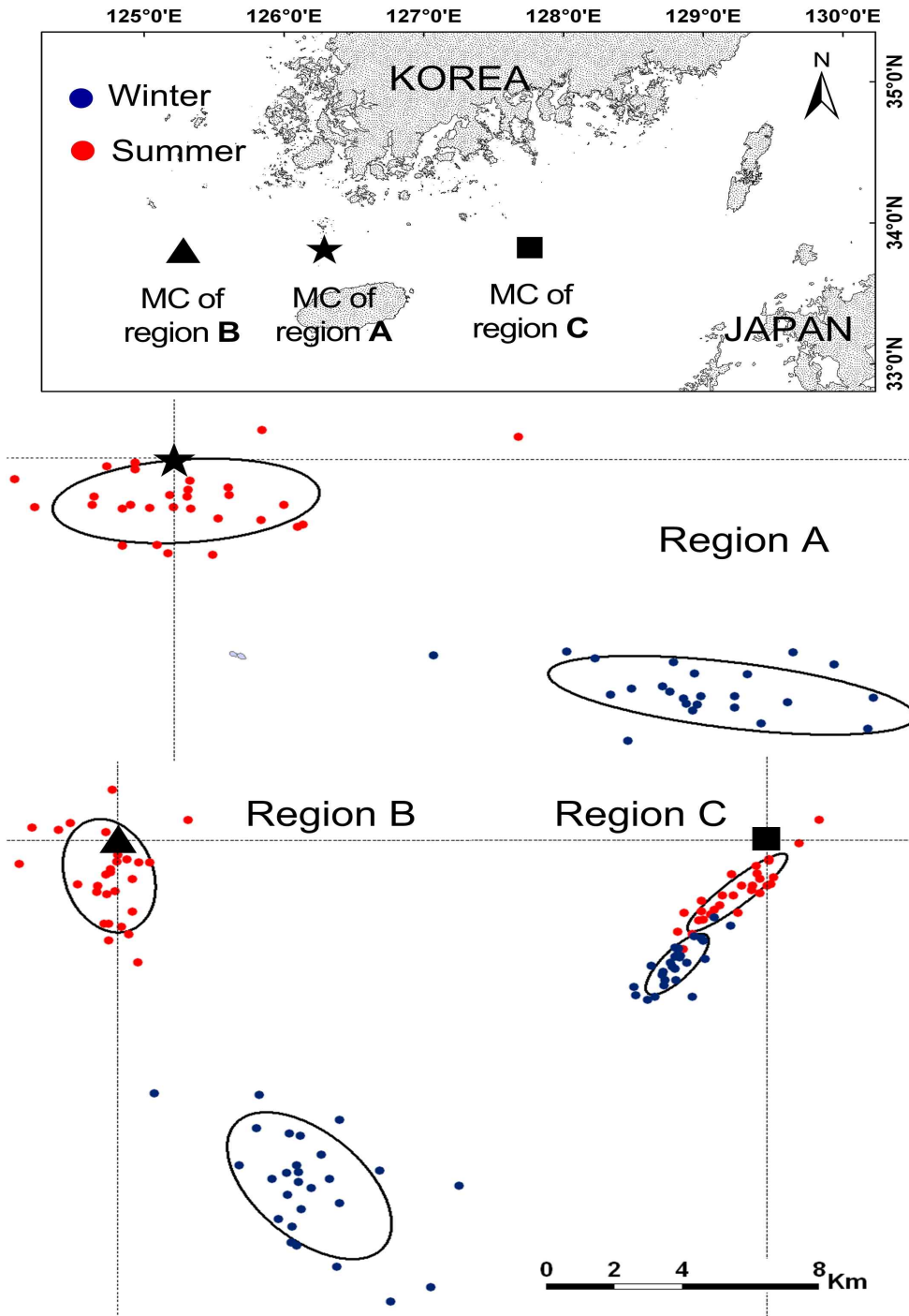


FIGURE 4. 해역 별 평균중심점을 기준으로 산출한 수온가중 평균중심점의 분포와 표준편차타원체 패턴

심과 표준편차타원체의 유용성을 제시하였다. 아울러 지역 규모에 따라 수온의 시·공간적 변동 패턴 분석 결과가 다르게 나타남을 확인하였다. 하지만 본 연구에서 표층수온을 대상으로 시·공간 변동 패턴을 분석하였지만, 향후 표층 아래의 수층에 대한 분석도 추가로 연구될 필요가 있을 것이다. 또한, 본 연구의 결과는 향후 기후변화에 따른 남부 해역의 해양환경 및 생태계의 시·공간적 변동 패턴 연구 시 연구해역의 설정과 분석방법의 선정에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원의 “기후변화가 남해권역 해양생태계에 미치는 영향 및 기능평가 기술 개발(PM56600)” 사업의 지원을 받아 수행되었음. 본 연구를 위해 논문을 검토해 주신 심사위원님께 감사드립니다.

KAGIS

참고 문헌

- 김홍태, 김상수, 안상현. 2009. 대전광역시 도시성장 패턴과 공간구조 변화 측정. 한국지형공간정보학회지 17(3):41-48.
- 민홍식, 김철호. 2006. 한국 연안 표층수온의 경년변동과 장기변화. *Ocean and Polar Research* 28(4):415-423.
- 성기탁, 황재동, 한이성, 고우진, 서영상, 이재영. 2010. 한국 연근해 수온의 시공간적 장기변동 특성. *해양환경안전학회지* 16(4):353-360.
- 정경석, 문태현, 정재희, 허선영. 2009. GIS와 공간통계기법을 이용한 시·공간적 도시범죄 패턴 및 범죄발생 영향요인 분석. *한국지리정보학회지* 12(1):12-25.
- 정희동, 황재동, 정규귀, 허승, 성기탁, 고우진, 양준용, 김상우. 2003. 한반도 근해 수온 및 염분의 장기변화 추이. *해양환경안전학회지* 9(2):59-64.
- 주성아, 김영훈. 2007. 시설물 입지에 있어 인구 중심점 개념을 이용한 수요규모 추정 방법 연구. *한국지리정보학회지* 10(2):11-21.
- Becker, G.A. and M. Pauly. 1996. Sea surface temperature changes in the North Sea and their causes. *ICES Journal of Marine Science* 53:887-898.
- Bethoux, J.P., B. Gentili, J. Raunet and D. Tailiez. 1990. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* 347:660-662.
- Fukasawa, M., H. Freeland, R. Perkin, T. Watanabe, H. Uchida and A. Nishina. 2004. Bottom water warming in the North Pacific Ocean. *Nature* 427:825-827.
- Gould, R.W. and R.A. Arone. 2004. Temporal and spatial variability of satellite sea surface temperature and ocean colour in the Japan/East Sea. *International Journal of Remote Sensing* 25(7-8):1377-1382.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: impacts, adaptation & vulnerability. In : Parry et al.(ed.). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK.
- Kang, Y.Q. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years(1936-1995). *Fisheries and Aquatic Science* 3(3):173-179.
- Lea, D.W., D.K. Pak and H.J. Spero. 2000. Climate impact of late quaternary equatorial pacific sea surface temperature variations. *SCIENCE* 289:

- 1719–1724.
- McGinn, N.A. 2002. Fisheries in a Changing Climate. American Fisheries Society Symposium 32, Bethesda, MD, pp.295.
- Meehl, G.A., W.M. Washington, W.D. Collins, J.M. Arblaster, A. Hu, L.E. Buja, W.G. Strand and H. Teng. 2005. How much more global warming and sea level rise?. SCIENCE 307:1769–1772.
- Roemmich, D. 1992. Ocean warming and sea level rise along the southwest U.S. coast. Nature 257:373–375.
- Wong, D.W.S. and J. Lee. 2005. Statistical Analysis of Geographic Information with Arcview GIS and ArcGIS. JOHN WILEY & SONS, USA. 189–208pp.
- 국립수산과학원. 2011. <http://kodc.nfrdi.re.kr>. 