

ORIGINAL ARTICLE

## 2013~2017년 연안해역별 해양기상요소의 시·공간 변화 및 해무발생시 특성 분석

박소희 · 송상근\* · 박형식

제주대학교 해양과학대학 지구해양학과

### Temporal and Spatial Variations of Marine Meteorological Elements and Characteristics of Sea Fog Occurrence in Korean Coastal Waters during 2013-2017

So-Hee Park, Sang-Keun Song\*, Hyeong-Sik Park

*Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea*

#### Abstract

This study investigates the temporal and spatial variations of marine meteorological elements (air temperature (Temp), Sea Surface Temperature (SST), and Significant Wave Height (SWH)) in seven coastal waters of South Korea, using hourly data observed at marine meteorological buoys (10 sites), Automatic Weather System on lighthouse (lighthouse AWS) (9 sites), and AWS (20 sites) during 2013-2017. We also compared the characteristics of Temp, SST, and air-sea temperature difference (Temp-SST) between sea fog and non-sea-fog events. In general, annual mean values of Temp and SST in most of the coastal waters were highest (especially in the southern part of Jeju Island) in 2016, due to heat waves, and lowest (especially in the middle of the West Sea) in 2013 or 2014. The SWH did not vary significantly by year. Wind patterns varied according to coastal waters, but their yearly variations for each coastal water were similar. The maximum monthly/seasonal mean values of Temp and SST occurred in summer (especially in August), and the minimum values in winter (January for Temp and February for SST). Monthly/seasonal mean SWH was highest in winter (especially in December) and lowest in summer (June), while the monthly/seasonal variations in wind speed over most of the coastal waters (except for the southern part of Jeju Island) were similar to those of SWH. In addition, sea fog during spring and summer was likely to be in the form of advection fog, possibly because of the high Temp and low SST (especially clear SST cooling in the eastern part of South Sea in summer), while autumn sea fog varied between different coastal waters (either advection fog or steam fog). The SST (and Temp-SST) during sea fog events in all coastal waters was lower (and more variable) than during non-sea-fog events, and was up to  $-5.7^{\circ}\text{C}$  for SST (up to  $5.8^{\circ}\text{C}$  for Temp-SST).

**Key words** : Marine meteorological elements, Sea surface temperature, Air-sea temperature difference, Sea fog, Coastal waters

---

Received 26 December, 2019; Revised 13 January, 2020;

Accepted 4 February, 2020

\*Corresponding author: Sang-Keun Song, Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Phone: +82-64-754-3431

E-mail: [songsk@jeju.ac.kr](mailto:songsk@jeju.ac.kr)

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

바다에 인접해 있는 연안(연안해역, 연안육역)은 해마다 대규모 기상재해(태풍, 해일, 해수범람 등)로부터 많은 인명피해와 사회·경제적 손실이 반복되고 있는 지역이다(KORDI, 2008). 2014년 4월 우리나라 서해남부 해역에서 발생한 세월호 침몰사고와 2015년 2월 서해영종대교에서 발생한 100중 추돌사고 등 대형 연안사고는 엄청난 인명피해와 물질적 피해를 초래하였다. 이러한 대형 사고들의 발생원인은 인위적인 것도 있겠지만, 원천적으로는 그 지역의 기상악화(강풍, 돌풍, 안개 등)가 주요 발생원인 중 하나인 것으로 언론을 통해 발표된 바 있다. 이와 같이 연안지역의 기상재해를 경감시키기 위해서는 관측을 통한 해양기상현상의 정확한 이해와 함께 고해상도 해양 및 대기 수치모델을 통한 예측능력 향상 등 보다 신뢰성 있는 연구가 필요하다(NIMR, 2007; You et al., 2009). 게다가 바다에서의 기상관측 및 예-특보는 육상의 기상예보에 매우 중요한 정보를 제공하므로, 보다 많은 해양기상 정보를 통한 정확한 해석이 필요하다고 사료된다.

우리나라 연안지역 주변의 해양기상과 관련된 연구는 해양관측의 한계로 인하여 주로 원격탐사나 수치모델링을 통해 대부분 이루어져왔다. 유한차분법을 이용한 수치모형으로 조위변화를 해석하여 조석을 예측하거나(Kim et al., 2007), ROMS-SWAN (Regional ocean modeling system-simulating waves nearshore) 결합모델의 결과를 관측치와 비교 분석하여 파랑과 조석의 상호작용 효과를 분석한 바 있다(Lim et al., 2015). 한편, 한반도 연안해역의 봄철 기상특성을 보면(Park et al., 1991), 우리나라는 각 해역별(서해, 남해, 동해)로 서로 다른 해양환경(해안선의 형태, 해저지형, 수심, 해류 등)이 나타나므로 이에 따른 해양기상의 특성에 뚜렷한 차이가 있을 것으로 사료된다. 또한 우리나라는 매년 2~3개의 태풍에 의한 영향을 받게 되어 위성자료를 활용한 지속적인 태풍의 감시가 필수적이며 위성자료 뿐만 아니라 매개변수를 이용한 예측이 가능하다(Kown, 2012). 태풍의 최대풍속반경(RMW: Radius of Maximum Wind)은 태풍의 최대강도를 추정하거나 태풍 감시 기간 중 폭풍해일이나 파랑의 정확한 예측을 위한 해상풍 산출에 매우 필요하지만, 아직 현업에 이용되지 않을뿐더

러 이에 대한 연구도 부족한 실정이다(Kown, 2012).

우리나라 연안에서 자주 발생하는 기상현상 중 안개는 시정악화를 초래하여 도로, 해상, 항공 등지에서 큰 사고로 이어질 수 있다. 연안에서 발생하는 안개(해무)는 해상에서의 관측 자료가 매우 부족하여 안개 생성 가능성에 대한 분석과 예보에 많은 어려움이 있으며, 또한 크고 작은 사고가 지속적으로 발생하고 있으므로 이와 관련하여 관측 및 수치모델링 연구가 요구되고 있다(Won et al., 2000). Lee et al. (2005)는 안개예측에 있어 과거 통계적 방법의 예측 한계를 벗어나기 위해, 춘천지방을 대상으로 WQRRS (Water Quality River Reservoir System)의 상세 표층수온(SST: Sea Surface Temperature) 자료를 기상모델의 지표면 경계값으로 이용하여 안개발생 예측 가능성을 분석하였다. 이들 연구에서 수치모델의 기온과 노점온도의 편차는 관측과 비교하여 다소 차이를 보였으나 안개가 소산되는 현상이 뚜렷하게 나타나 향상된 모의결과를 보였다. Kim et al.(2013)은 분지지역인 대구공항과 동해안에 인접해 있는 강릉공항에서의 안개 예보 인자(각각 상대습도, 대기안정도 등과 종관기압패턴, SST, 동해 해류 등)를 선정하여 해무발생 가능성에 대한 예보 가이던스를 제시하였다. Song(2013)은 인천공항의 안개예보에 기여하고자 안개발생지수(FSI: Fog Stability Index)를 이 지역의 안개발생 특성에 맞게 수정하여 실제 일기유형의 안개 유무와 비교해 볼 때 정확도가 일부 좋아졌으나, 안개사레 및 검증 기간이 부족하여 여전히 안개 예보식으로 활용하기에는 무리가 있는 것으로 발표하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 우리나라 주변 연안의 해양기상 정보(예·특보)가 매우 중요함에도 불구하고, 육상예보에 비해 현저히 낮은 시·공간적 해상도와 전문 인력의 부족으로 많은 한계에 부딪히고 있다. 또한 해양기상(예, 안개)의 예측/예보 가이던스 연구도 다양한 해양기상현상의 전반적인 가이던스 연구라기보다는 주로 특정 지역과 특정 계절에 대해 또는 하나의 해양기상현상에 초점을 맞추어 연구되어왔다(Shin and Park, 2004; Jung, 2015). 이러한 해양기상 가이던스 구축은 현업에 이용되기에 여전히 많은 지속적인 개선이 요구되며, 아울러 많은 관측 자료의 확보와 보다 정확한 수치모델링 자료를 이용하여 해양기상에 대한 체계적이고 종합적인 가이던스 관련 연구가 필요한 시점이라고 사료된다. 이에 기초

연구로서, 본 연구에서는 최근 5년간(2013~2017년) 우리나라 연안지역의 주요 해양별 해양기상요소의 시·공간적 변화 특성을 살펴보았다. 또한 연구기간동안 해무발생시 해양별 기상요소의 특성을 분석하여 이를 비해무시기의 주요 특성과 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서는 2013~2017년 동안 우리나라 연안지역 해양별 주요 해양기상요소의 시·공간적 변화 특성을 살펴보기 위하여, 기상청에서 운영하는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)의 해양기상부이(이하 부이), 등표기상관측(이하 등표), 방재기상관측(이하 방재)의 시간별 자료를 사용하였다(Fig. 1). 여기서 연안해양은 기상청 예보구역 기준에 근거를 두어 7개 해역 즉, 서해중부 및 남부, 남해서부 및 동부, 동해중부 및 남부, 제주 남부 해역으로 구분하였으며, 제주북부는 남해서부와 맞물려 있기 때문에 본 연구의 분석에서 제외하였다. 또한,

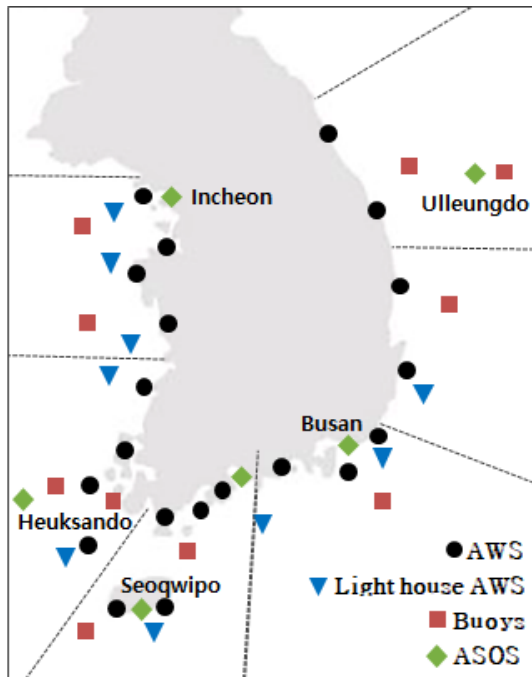


Fig. 1. The locations of Automatic Weather System (AWS) (●), lighthouse AWS (▼), marine meteorological buoys (■), and Automated Surface Observing System (ASOS) (◆) in the Korean Peninsula.

자료의 신뢰성을 높이기 위하여 1개월 중 80% 이상의 자료가 있는 경우를 유효자료로 선정하였으며, 해양별로 이러한 유효자료 선정조건에 만족하는 지점들의 해양기상요소를 본 연구의 분석에 이용하였다.

일반적으로 부이(Buoy)는 육지로부터 200해리(약 370 km) 떨어진 먼 바다를 관측하며, 위성 등 원격통신을 이용하여 관측 자료를 전송하는 장비이다(KMA, 2010). 총 17개소 부이 자료 중 유효자료 조건(1개월 중 80% 이상의 자료)을 만족하는 10개소의 자료를 분석에 이용하였다. 등표(Automatic Weather System on lighthouse (lighthouse AWS))는 육지로부터 12해리(약 22 km) 떨어진 해양구조물(관측탑 등)에 기상관측장비를 설치하고, 수중에는 해상상태를 측정할 수 있는 장비(예, 파고계)를 설치하여 수행하며, 30분 간격의 관측 자료를 위성 및 CDMA (Code Division Multiple Access)를 이용하여 전송하는 장비이다(KMA, 2010). 등표는 유효자료 조건을 모두 만족하여 현재 설치되어 있는 총 9개소의 자료를 본 연구에 이용하였다. 방재는 기상현상에 따른 자연재해를 막기 위한 목적으로 실시하고 있는 지상관측을 의미하며, 관측의 공백을 해소하고 국지기상 현상을 파악하기 위해 전국에 약 510 여개의 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 관측한다(KMA, 2010). 우리나라 연안지역에 위치한 AWS 지점 중에서 7개 해역의 각 연안에 가장 가까운 지점으로 총 20개소를 선정하여 본 연구에 이용하였다.

부이와 등표에서 얻어지는 기상요소는 기온, 풍향, 풍속, 표층수온(SST), 유의파고이며, 방재는 바다와 맞닿은 연안육역에 위치하므로 기온, 풍향, 풍속 자료만 분석에 이용할 수 있었다. 기온, 수온, 유의파고의 연변화, 월/계절 변화 특성을 분석하기 위해 기본적으로 관측지점의 매시간 자료를 이용하여 월평균과 연평균을 계산하였으며, 또한 7개 해양별 기상요소 변화를 파악하기 위해서는 각 해역에 해당하는 모든 관측지점을 통합한 평균값을 사용하였다. 해양별 풍계의 특성과 빈도를 파악하기 위해 일반적으로 많이 이용되고 있는 바람장미 프로그램(WRPLOT View Freeware 8.0.2)을 수행하여 바람의 시·공간 변화 분석에 이용하였다(Nina et al., 2011; Rongrong et al., 2016).

해무발생시 연안해양별 해양기상(기온, SST, 기온과 SST의 차(해기차)) 특성을 살펴보기 위하여 7개 해역 중

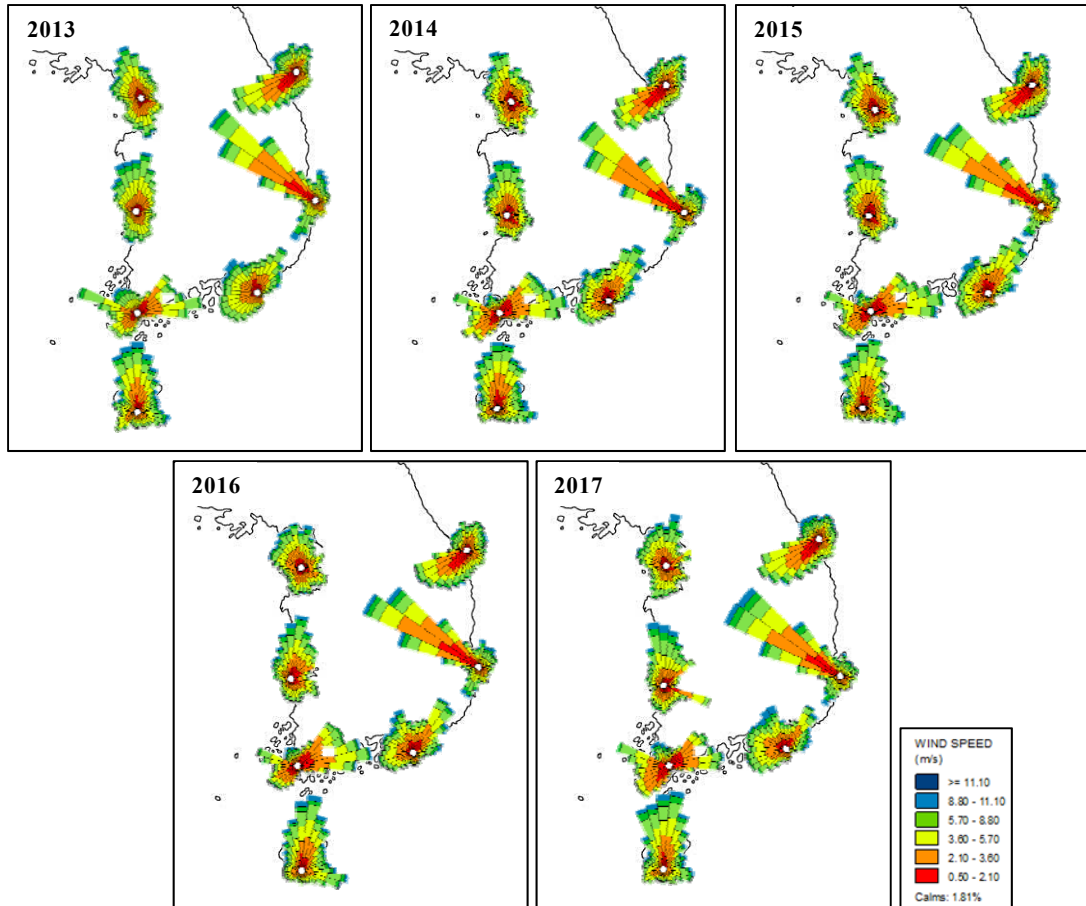


Fig. 2. Spatial distributions of wind rose in seven coastal waters of South Korea during the study period (2013-2017).

주로 6개 해역 즉, 서해중부·남부, 남해서부·동부, 동해중부, 제주남부 해역의 등표 및 부이 자료를 이용하여 분석하였으며, 동해남부 해역은 해무발생이 거의 없어 해무와 비해무의 비교분석에서 제외하였다. 6개 해역별 분석에 이용되고 있는 등표 및 부이 지점에서는 해무 관측이 이루어지고 있지 않아, 각 해역의 등표 및 부이 지점들과 가까이 위치하고 있는 6개소(인천, 흑산도, 여수, 부산, 울릉도, 서귀포)의 종관기상관측소(ASOS: Automated Surface Observing System) 일기현상 자료를 이용하여 해무발생 시기를 정하였다(Fig. 1). 즉, ASOS 일기현상의 “16”에 해당하는 모든 시간대를 해무발생으로, “16” 외의 모든 시간대를 비해무로 정하였다. 또한 본 연구의 분석에 사용한 해무발생 기간은 안개가 많이 나타난 3월

~10월에 초점을 맞추었으며, 안개발생이 드문(연구기간동안 약 6회 미만) 1월~2월, 11월~12월은 분석에서 제외하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 주요 해양기상요소의 시·공간 변화 특성

본 연구에서는 최근 5년간 우리나라 연안해역별(서해중부 및 남부, 남해서부 및 동부, 동해중부 및 남부, 제주남부) 주요 해양기상요소(기온, SST, 유의파고)의 연평균 변화를 분석하였다(Table 1). 대부분 해역에서 기온과 SST는 2016년에 가장 높고 대체로 2013년 또는 2014년에 가장 낮게 관측된 반면, 유의파고는 해역별 그리고 연도별로 다양하게 나타나 뚜렷한 특징을 찾아 볼

수 없었다. 해양기상요소별 자세한 분석을 보면, 전체 연구기간동안 기온은 가장 저위도에 위치한 제주남부 해역에서 최고를 기록하였으며, 서해중부 해역에서 최저기온이 뚜렷하게 나타났다. 예를 들어, 제주남부에서 16.6°C~18.1°C, 다음으로 남해서부 및 동부에서 14.7°C~15.6°C, 서해남부와 동해(중부 및 남부)에서 13.7°C~14.5°C, 서해중부에서 11.8°C~12.8°C로 가장 낮게 나타났다. 한편, 서해남부를 제외한 모든 해역에서 2016년에 최고기온이 나타났는데, 이는 2016년도 폭염에 의한 것으로 사료된다. 기상연보에 따르면(KMA, 2016), 2016년은 1973년 이래 연평균 기온과 연평균 최저기온이 가장 높았고, 연평균 최고기온이 3번째 순위로 기록된 해였다. 기온과 마찬가지로 SST는 전체 연구기간동안 제주남부 해역에서 최고, 서해중부 해역에서 최저가 나타났다. 즉, 제주남부는 18.8°C~19.9°C, 남해(서부 및 동부)와 동해(중부 및 남부)는 16.2°C~18.4°C, 서해남부는 14.3°C~14.6°C, 서해중부는 12.6°C~13.8°C가 관측되었다. 특히 제주남부 해역의 5년간 SST는 다른 해역들보다 월등히 높게 나타났는데, 이는 제주도의 남쪽에서 북상하는 대마난류가 제주 해역의 SST에 영향을 미친 것으로 사료된다(Yoon et al., 2005).

유의파고의 경우, 전체 연구기간동안 동해중부 해역에서 1.27 m~1.38 m로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 남해(서부 및 동부), 동해남부, 제주남부 해역에서 0.70 m~1.27 m, 서해중부 및 남부는 0.51 m~0.63 m로 가장 낮은 값을 보였다. 다른 해역에 비해 동해중부 해역에서 상대적으로 높은 유의파고가 나타난 것은 동해의 수심이 상당히 깊어 파고가 잘 발달되는 조건을 갖추고 있기 때문이다(Ko et al., 2005). 연구기간동안 바람의 연변화는 각 해역마다 5년간 연도별로 유사한 풍계가 나타났다(Fig. 2). 5년 동안 서해남부, 동해남부, 제주남부 해역에서는 대체로 북풍 또는 북서풍 계열의 바람이 주풍으로 뚜렷하게 나타났으며, 서해중부에서는 북풍과 남풍계열, 남해동부와 동해중부 해역에서는 주로 남서풍계열, 마지막으로 남해서부는 서풍과 동풍계열의 바람이 다소 우세하였다. 특히 서해중부 해역은 2013년에 북풍과 남풍계열의 바람이 다소 우세하지만, 연도가 지나면서 남풍계열의 바람이 확연히 약해지는 것을 볼 수 있다. 이외에도, 연구기간동안 평균풍속은 제주남부 해역에서 가장 강하게(4.4 m/s~4.8 m/s), 다음으로 서해(중부 및

남부), 남해동부, 동해(중부 및 남부) 해역에서 다소 낮은 수치(3.6 m/s~4.4 m/s), 그리고 남해서부 해역에서 가장 약하게(3.3 m/s~3.9 m/s) 나타났다. 한편, 연도별 평균풍속은 대체로 유사하게 나타나 뚜렷한 특징을 찾아보기 어려웠다. 유의파고와 풍속과의 관계를 보면, 제주남부 해역을 제외한 대부분 해역에서 바람이 강하게(또는 약하게) 불 때 대체로 다소 높은(또는 낮은) 유의파고가 관측되어 서로 간의 연관성( $r = 0.49 \sim 0.67$ )이 어느 정도 있음을 알 수 있었다.

연구기간동안(2013~2017년) 우리나라 연안해역별 주요 해양기상요소(기온, SST, 유의파고)의 월평균(Table 2)과 계절변화(Fig. 3)를 각각 분석하였다. 모든 해역에서 기온과 SST의 월평균은 여름철 8월에 각각 24.8°C~27.9°C와 22.6°C~26.1°C로 가장 높고, 겨울철(기온은 1월, SST는 2월)에 각각 0.44°C~7.56°C와 4.20°C~15.2°C로 가장 낮게 관측되었다. 유의파고는 대체로 바람이 강한 겨울철(특히 12월)에 0.79 m~2.04 m로 최고, 여름철(6월)에 0.24 m~0.88 m로 최저가 나타났다(Table 2). 해양기상요소별 분석에서, 먼저 기온은 전반적으로 제주남부에서 7.6°C(1월)~27.9°C(8월)으로 가장 높았고 서해중부(7월~9월 제외)에서 0.44°C(1월)~25.1°C(8월)으로 가장 낮게 관측되었다. 이러한 특징은 해역별 계절변화에서도 확인할 수 있었다(Fig. 3). 특징적으로, 1월의 평균기온은 전 해역 모두 0.44°C~7.65°C의 범위로 나타나 다른 월에 비해 가장 큰 폭의 차이를 보였으나, 6월에는 19.5°C~21.6°C로 가장 작은 폭의 차이가 나타났다(Table 2). 한편, 여름철은 월등히 높은 기온의 제주남부를 제외하고는 전체 해역에서 22.6°C~23.6°C로 서로 비슷한 온도 폭을 보였지만, 다른 계절(봄, 가을, 겨울)은 해역별로 서로 다양한 분포 패턴이 나타났다.

연구기간동안 SST의 월변화 패턴은 기온과 유사하게 대체로 제주남부에서 최고, 서해중부(8월~10월 제외)에서 최저로 나타났다(Table 2). 8월~10월의 SST는 서해남부에서 최저를 보였는데(19.2°C~22.6°C), 이것은 여름철 서해남부 해역에서 발생하는 낮은 SST(20°C 이하)의 한국 연안수가 일부 영향을 미친 것으로 추정된다(Yoon et al., 2007). 이외에도, 전체 해역에서 2월의 SST가 4.2°C~15.2°C로 가장 큰 폭의 차이, 8월의 SST가 22.6°C~26.1°C로 가장 작은 폭의 차이를 보였다. 한편, 8월에서 9월로 넘어갈 때 SST가 감소하는 다른 해역들

Table 1. Yearly variations of marine meteorological elements (Temp, SST, and SWH) in seven coastal waters of South Korea during 2013-2017

Elements <sup>a</sup>	Middle of West Sea	Southern part of West Sea	Western part of South Sea	Eastern part of South Sea	Middle of East Sea	Southern part of East Sea	Southern part of Jeju Island
Temp (°C)	2013	11.8±9.85 <sup>b</sup>	13.9±9.10	14.8±8.55	15.0±8.46	13.8±9.04	13.9±8.75
	2014	12.6±8.80	13.7±7.98	14.7±7.38	15.0±7.58	13.7±8.48	14.1±8.03
	2015	12.8±8.63	14.0±7.68	14.9±7.27	15.0±7.34	13.9±7.95	14.2±7.50
	2016	12.8±9.35	13.8±8.42	15.5±8.11	15.6±8.22	14.2±8.40	14.5±8.24
	2017	12.5±9.38	13.8±8.56	15.3±8.28	15.3±8.28	14.1±8.41	14.3±8.38
SST (°C)	2013	12.6±7.64	14.4±6.21	17.4±5.13	16.7±4.55	17.7±5.23	16.2±4.48
	2014	13.5±6.81	14.5±5.65	17.4±4.23	17.4±4.07	17.2±4.89	17.2±4.28
	2015	13.6±7.11	14.6±5.46	17.5±4.47	17.0±5.42	17.0±4.73	16.7±4.49
	2016	13.8±7.18	14.3±6.04	18.4±4.96	17.5±4.83	18.1±5.31	18.3±4.56
	2017	13.8±7.18	14.4±6.31	18.4±4.94	17.3±4.79	17.9±4.98	16.9±4.31
SWH (m)	2013	0.63±0.66	0.52±0.67	1.26±0.55	0.79±0.61	1.38±0.93	0.93±0.72
	2014	0.51±0.56	0.44±0.60	1.27±0.72	0.78±0.66	1.29±0.85	0.97±0.74
	2015	0.54±0.57	0.41±0.60	0.99±0.56	0.77±0.62	1.36±0.97	0.98±0.79
	2016	0.54±0.61	0.53±0.68	1.01±0.59	0.76±0.63	1.27±0.88	0.93±0.75
	2017	0.56±0.57	0.58±0.69	0.93±0.54	0.70±0.56	1.38±0.89	0.98±0.74

<sup>a</sup> Temp = Air temperature, SST = Sea surface temperature, and SWH = Significant wave height.

<sup>b</sup> Mean±1σ.

**Table 2.** Monthly variations of marine meteorological elements (Temp, SST, and SWH) in seven coastal waters of South Korea during 2013-2017

Elements <sup>a</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Middle of West Sea	0.44±4.26 <sup>b</sup>	1.27±3.65	4.91±3.41	9.85±3.42	14.8±3.56	19.5±2.76	23.5±2.43	25.1±2.57	21.7±2.37	16.4±3.53	9.37±4.57	2.24±4.29
Southern part of West Sea	2.98±3.73	3.50±3.71	6.66±3.79	11.5±3.46	16.2±3.39	20.0±2.48	24.0±2.73	25.0±2.85	21.5±2.44	17.2±3.31	11.2±3.96	5.07±3.66
Western part of South Sea	4.40±3.86	5.31±3.96	9.04±3.82	13.4±3.04	17.3±2.97	20.3±2.11	24.3±2.64	25.9±2.74	22.7±2.09	18.5±3.02	12.4±3.93	6.31±3.75
Eastern part of South Sea	4.52±4.16	5.65±4.03	9.38±3.78	13.5±3.05	17.6±2.89	20.5±2.06	24.3±2.48	26.1±2.61	22.8±2.21	18.6±3.13	12.5±4.25	6.22±4.17
Middle of East Sea	3.11±4.32	3.59±3.95	7.83±4.37	12.5±4.23	17.4±3.98	20.0±2.70	23.7±3.14	25.0±3.07	21.1±2.56	16.6±3.61	10.8±4.63	4.84±4.53
Southern part of East Sea	3.26±4.44	4.55±4.18	8.50±4.33	12.9±3.80	17.3±3.49	19.9±2.43	22.9±2.87	24.8±2.83	21.5±2.65	17.3±3.73	11.2±4.78	4.99±4.69
Southern part of Jeju Island	7.56±3.96	7.91±3.95	11.0±3.92	14.9±3.10	18.4±2.87	21.6±2.16	26.2±2.82	27.9±3.00	24.4±2.67	20.4±3.54	14.9±4.20	9.44±3.86
Middle of West Sea	6.05±1.82	4.20±3.65	4.74±0.93	7.40±1.46	11.6±2.26	16.4±2.85	20.6±3.15	24.3±2.34	22.9±1.60	19.4±1.59	15.0±1.90	9.81±2.02
Southern part of West Sea	7.53±1.95	6.25±1.82	7.31±1.65	10.4±1.73	14.0±1.80	17.0±1.79	20.2±2.39	22.6±2.67	21.1±1.60	19.2±1.52	15.3±1.71	10.4±1.94
Western part of South Sea	13.3±1.58	12.9±1.27	12.6±1.14	13.6±0.95	15.6±1.32	18.9±1.44	22.5±2.25	26.0±2.32	24.1±1.07	21.4±1.46	17.5±1.68	14.9±1.14
Eastern part of South Sea	13.1±1.45	12.2±1.37	12.4±1.24	13.6±1.13	15.2±1.36	18.1±1.90	19.7±3.09	23.5±3.75	24.0±1.59	21.5±1.45	17.9±1.76	14.7±1.56
Middle of East Sea	12.9±1.32	11.1±0.96	11.3±1.14	13.1±1.42	15.9±1.45	19.9±1.63	22.4±2.22	25.8±2.11	23.5±0.92	21.4±1.36	18.1±1.22	15.1±1.30
Southern part of East Sea	13.2±1.55	12.1±0.94	12.4±0.99	14.0±1.22	15.3±1.97	18.5±2.74	18.5±3.68	23.2±3.99	23.7±1.16	21.8±1.48	18.6±1.38	15.3±1.40
Southern part of Jeju Island	16.2±0.80	15.2±0.93	14.8±0.89	15.2±1.01	16.9±1.10	19.6±1.70	22.8±3.27	26.1±3.44	25.5±1.38	23.0±1.44	20.8±1.07	18.1±0.93
Middle of West Sea	0.80±0.74	0.71±0.68	0.57±0.59	0.42±0.45	0.39±0.37	0.29±0.24	0.46±0.43	0.41±0.42	0.38±0.33	0.56±0.57	0.76±0.76	0.93±0.87
Southern part of West Sea	0.68±0.82	0.67±0.80	0.56±0.74	0.40±0.55	0.32±0.39	0.24±0.24	0.39±0.39	0.37±0.42	0.33±0.38	0.50±0.62	0.63±0.78	0.84±0.94
Western part of South Sea	1.14±0.50	1.22±0.62	1.06±0.55	1.14±0.64	0.88±0.58	0.88±0.49	1.16±0.66	1.11±0.68	1.12±0.57	1.24±0.75	1.01±0.58	1.19±0.57
Eastern part of South Sea	0.74±0.50	0.85±0.63	0.72±0.53	0.84±0.68	0.59±0.56	0.61±0.49	0.78±0.65	0.78±0.68	0.84±0.65	0.94±0.81	0.69±0.57	0.79±0.54
Middle of East Sea	1.91±0.71	1.78±0.83	1.36±0.78	1.21±0.74	0.98±0.64	0.80±0.53	0.83±0.58	0.95±0.86	1.03±0.69	1.46±0.90	1.73±0.94	2.04±1.07
Southern part of East Sea	1.25±0.77	1.27±0.74	0.99±0.67	0.94±0.68	0.64±0.49	0.60±0.44	0.55±0.48	0.76±0.76	0.96±0.69	1.22±0.95	1.17±0.82	1.26±0.84
Southern part of Jeju Island	0.96±0.98	0.95±0.90	0.82±0.83	0.73±0.65	0.56±0.55	0.59±0.52	0.82±0.80	0.76±0.68	0.89±0.65	1.15±0.91	0.89±0.89	1.05±1.07

<sup>a</sup> Temp = Air temperature, SST = Sea surface temperature, and SWH = Significant wave height.

<sup>b</sup> Mean±1σ.

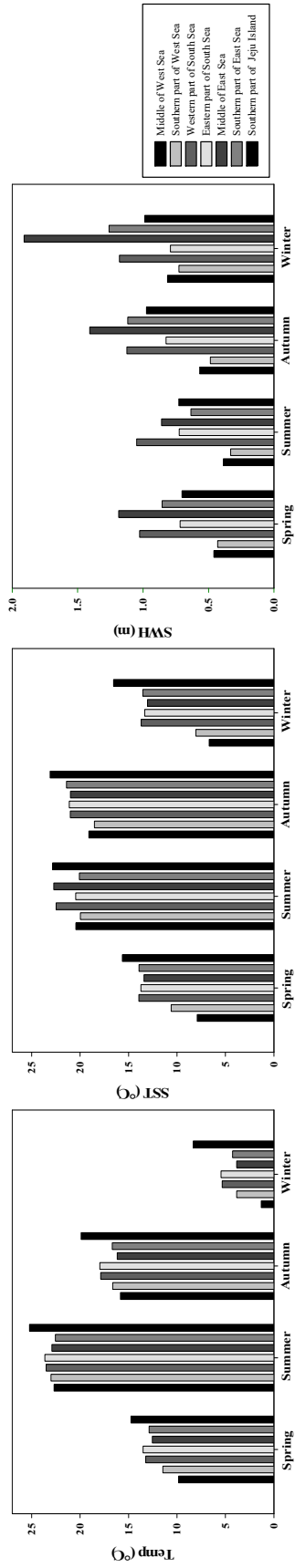


Fig. 3. Seasonal variations of marine meteorological elements in seven coastal waters of South Korea during the study period (2013-2017). Temp = Air temperature, SST = Sea surface temperature, and SWH = Significant wave height.

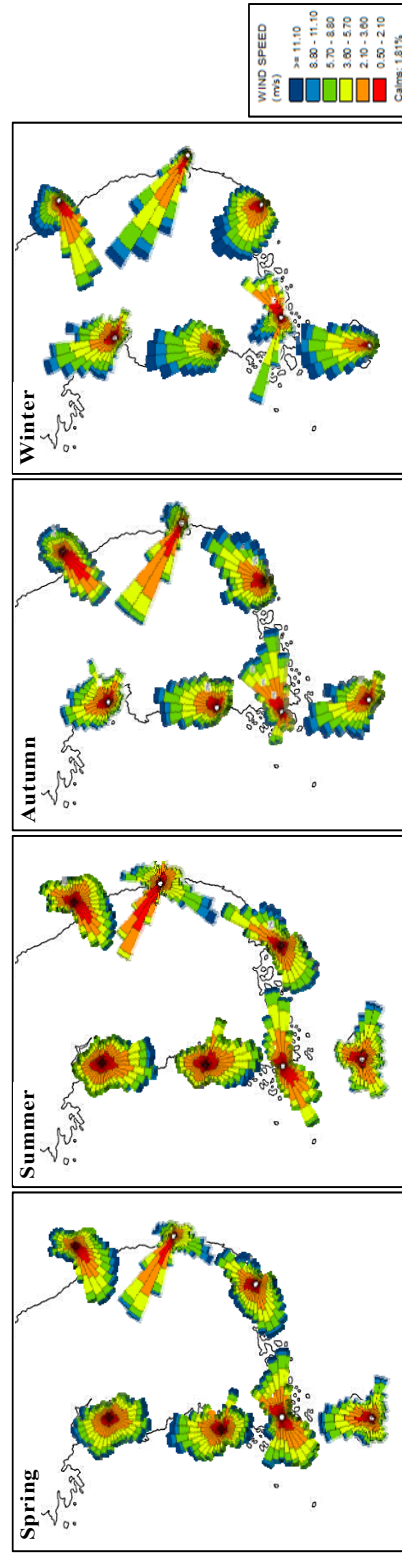


Fig. 4. Seasonal-spatial distributions of wind rose in seven coastal waters of South Korea during the study period (2013-2017).

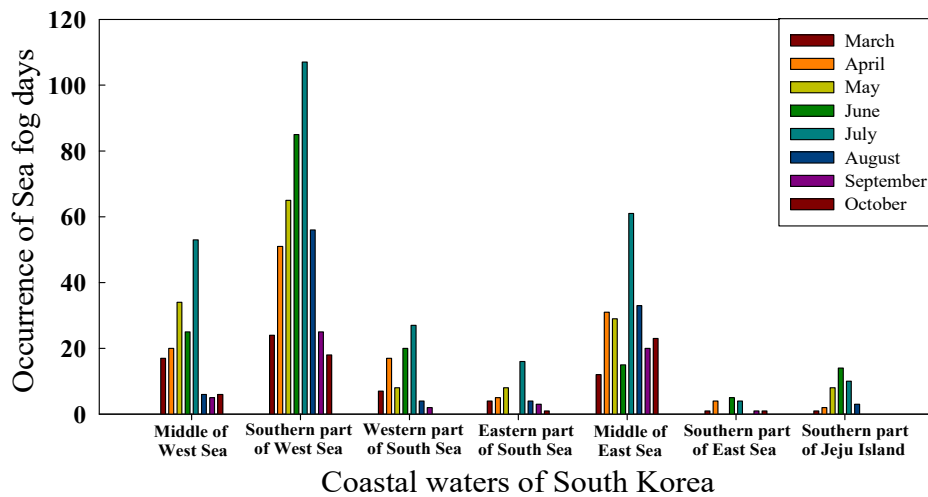


**Table 3.** Differences in marine meteorological elements (SST and Temp-SST) between sea fog and non sea fog in the coastal waters of South Korea during three seasons (spring, summer, and autumn) of 2013-2017

		Middle of West Sea	Southern part of West Sea	Western part of South Sea	Eastern part of South Sea	Middle of East Sea	Southern part of Jeju Island
SST <sup>a</sup> (°C)	Spring	-2.49	-0.84	-0.91	-0.52	-1.25	-0.39
	Summer	-1.38	-2.09	-2.85	-5.67	-1.36	-1.90
	Autumn	-1.39	-0.84	-0.85	-2.56	-0.44	-
Temp-SST <sup>b</sup> (°C)	Spring	1.36	2.20	4.01	4.02	3.60	3.18
	Summer	0.91	0.71	1.21	5.78	1.18	0.48
	Autumn	1.94	1.62	1.93	2.99	2.05	-

<sup>a</sup> The largest difference in SST between sea fog and non sea fog events.

<sup>b</sup> The largest difference in air-sea temperature difference (Temp-SST) between sea fog and non sea fog events.



**Fig. 5.** Occurrence of Sea fog in seven coastal waters of South Korea during the study period (2013~2017). (Source: KMA, 2016).

과 달리 남해동부와 동해남부 해역에서만 약간의 증가(약 0.5°C)가 나타났다. 계절별로는 전체 해역에서 봄과 겨울의 SST, 여름과 가을의 SST가 서로 비슷하게 나타났다(Fig. 3). 특히 여름철의 경우 서해(중부 및 남부), 남해동부, 동해남부 해역은 20.0°C~20.5°C로, 남해서부, 동해중부, 제주남부 해역은 22.5°C~22.8°C로서 7개 해역이 두 범위로 뚜렷하게 나뉘지는 특징을 보였다. 한편, 남해동부, 동해남부, 제주남부 해역의 SST는 여름보다 가을에 더 높고, 특히 제주남부는 유일하게 봄보다 겨울의 SST가 더 높게 나타났다.

유의파고의 월변화(Table 2)는 동해중부 해역에서 전반적으로(6월~9월 제외) 가장 높고(12월 평균이 최고

2.04 m), 서해남부 해역에서 모든 월에 대해 가장 낮게(6월 평균이 최저 0.24 m) 관측되었다. 동해중부 해역의 이러한 특징은 연변화와 마찬가지로 동해의 깊은 수심으로 인해 파고 발달에 유리한 지형 조건을 갖추고 있기 때문이다(Ko et al., 2005). 한편, 6월~9월의 유의파고는 남해서부 해역에서 최고가 나타났는데, 이것은 같은 기간에 강한 바람(약 4.0 m/s~6.0 m/s)이 일부 원인인 것으로 사료된다(그림 제외). 이와 유사하게 Kang et al. (2015)은 기상부위 자료를 이용하여 우리나라 남해 및 서해에서 유의파고와 해상풍의 상관성이 높다고 밝힌 바 있다( $r = 0.65\sim0.76$ ). 계절변화를 보면(Fig. 3), 연구기간동안 모든 해역에서 대체로 겨울에 파고가 가장 높게

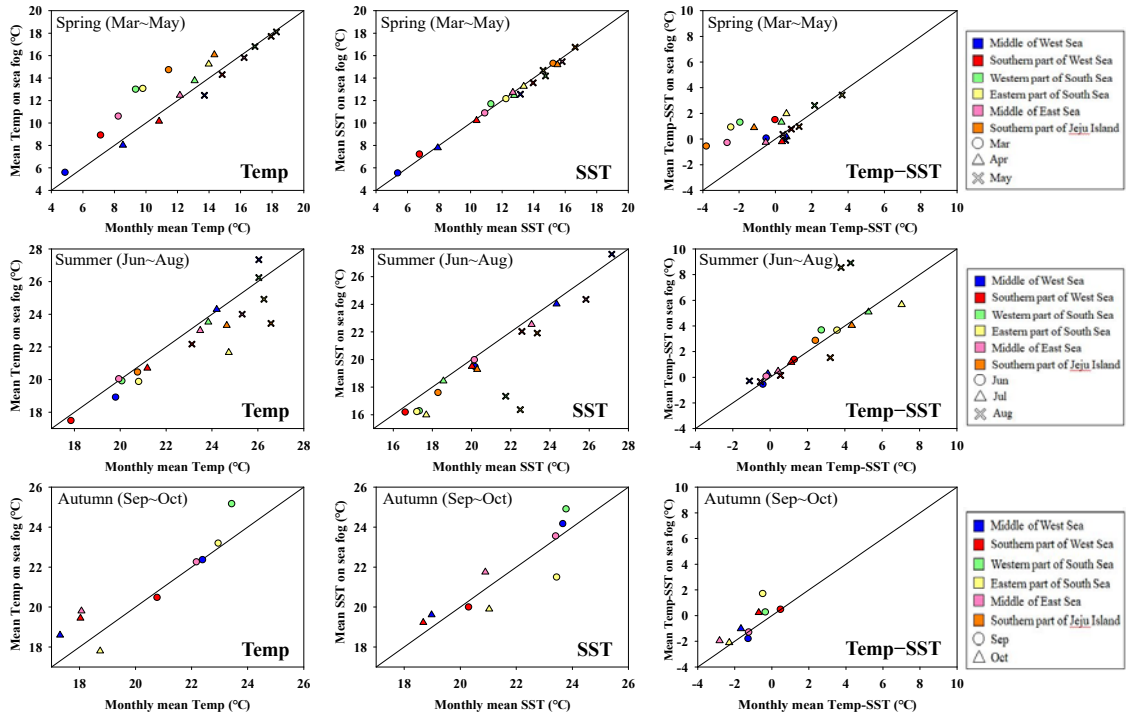


Fig. 6. Plots of monthly mean values versus mean values on sea fog for marine meteorological elements (Temp, SST, and Temp-SST) in six coastal waters during three seasons (spring, summer, and autumn) of the study period (2013-2017).

나타났고, 다음으로 가을, 봄 또는 여름 순이었다. 이외에도, 각 해역의 풍계 또한 유의파고와 매우 유사한 계절 특성(겨울 > 가을 > 봄 > 여름)을 보였다(Fig. 4). 먼저 겨울은 대부분 해역에서 평균 4.2 m/s~5.6 m/s의 가장 강한 바람이 불었으며 주풍(북풍/북서풍 계열) 또한 잘 드러났다. 그러나 동해중부 해역에서는 북풍 계열의 강한 바람과 함께 남서풍 계열의 바람 빈도 또한 매우 잦은 편이었다. 봄과 여름은 동해남부 해역을 제외하고는 대체로 주풍이 뚜렷한 편은 아니었으며, 제주남부 해역은 북풍계열의 바람이 동서방향의 바람으로 바뀐 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 가을은 대부분 해역에서(남해서부 및 동부 제외) 겨울과 유사한 풍계 패턴을 보이나 바람의 세기는 겨울보다 훨씬 약한 편이었다.

### 3.2. 해무 및 비해무와의 특성 비교

Fig. 5는 연구기간(2013~2017년)동안 해역별 해무 발생 빈도를 나타낸다. 연구기간동안 1월~2월과 11월~12월은 안개(해무)발생이 전체 약 6회 미만으로 매우

낮은 빈도를 보여 분석에서 제외하였다(2장 참조). 전체 연구기간동안 전반적으로 서해남부 해역에서 안개(해무) 발생빈도가 가장 높고, 동해남부 해역에서 가장 낮게 나타났다. 참고로 서해남부 아래쪽에 위치하는 흑산도(Fig. 1) 지점은 자료 개수가 많은 반면(결측이 거의 없음), 다른 해역의 관측지점들은 많은 결측으로 인해 자료 개수가 상대적으로 작다. 특히 동해남부 해역은 해무발생이 거의 없어서 다음 단락의 해무와 비해무의 비교분석에서는 제외하였다. 계절별로 보면, 모든 해역에서 여름철에 가장 높은 빈도를 보이고, 다음으로 봄철, 가을철 순으로 나타났다. 또한 전 해역에서 7월(서해남부에서 최고 약 110일)에 가장 높은 해무발생 빈도가 관측되었다. 7월을 제외하면, 서해남부, 남해서부, 제주남부에서는 같은 여름철인 6월에 최고빈도(각각 85일, 20일, 14일)를 보였으며, 서해중부와 남해동부는 봄철인 5월(34일과 8일)에, 동해중부는 여름철인 8월(33일)에 빈도가 가장 높았다(동해남부는 빈도가 너무 낮아서 제외). 선행연구에 따르면(Leem et al., 2005), 인천국제공항에서도 다른

계절에 비해 늦봄에서 초여름 사이에 상대적으로 안개발생 빈도가 높았으며, 특히 여름철의 안개발생은 다습한 기단 내에서의 기온 하강 또는 큰 일교차로 인한 기온 하강이 그 원인인 것으로 추정된다. 한편, 대부분 해역별 안개(해무) 발생은 주로 새벽~이른 아침 시간대에 나타났는데(동해남부 제외), 서해(중부 및 남부)와 남해동부는 대략 00~09시, 남해서부와 제주남부는 대략 00~06시에 발생하였다(그림 제외). 또한 전 해역(동해남부 제외)에서 안개는 주로 이른 아침~정오(05~12시) 시간대에 소산되는 경향을 보였다. 반면, 동해중부해역은 안개(해무) 발생 및 소산 시간대가 너무 다양하여 뚜렷한 특징을 찾아볼 수 없었다.

연구기간동안(2013~2017년) 해무가 빈번히 발생한 봄, 여름, 가을철을 대상으로 해역별 주요 해양기상요소(기온, SST, 해기차)의 월평균(해무+비해무)과 해무발생 평균을 비교하였다(Fig. 6). 봄철의 경우, 대부분 해역에서(주로 3월~4월) 해무발생시의 평균 SST는 월평균 SST와 거의 유사하지만 해무발생시 기온은 대체로 월평균 기온보다 높게 나타났다. 일반적으로 이류무는 고온 다습한 공기가 차가운 수면(또는 지면)을 지나갈 때 차가운 수면(또는 지면)으로부터의 찬 공기와 섞이면서 냉각되어 발생되는데, 주로 연안과 만에서 형성되는 특징이 있다(Ahn et al., 2002). 따라서 봄철의 해무는 월평균 기온보다 높은 기온과 SST와의 차이(해기차)가 큰 이류무의 형태로 발생한 것으로 추정된다. 여름철 해무도 이류무 형태의 발생 가능성을 볼 수 있으며, 해무발생시의 해기차도 대체로 월평균 해기차에 비해 다소 크게 나타났다. 특히 여름철은 해무발생시 SST가 월평균에 비해 매우 낮게 나타나(7월~8월 남해서부 및 동부 해역), SST 냉각 효과를 뚜렷하게 볼 수 있었다. 반면, 봄철과 가을철은 상대적으로 뚜렷한 SST 냉각이 나타나지 않은 것으로 사료된다. 가을철의 경우, 대부분 해역에서 해무발생시의 기온과 SST는 월평균에 비해 비슷하거나 다소 높게 나타났다. 가을철(특히 9월) 남해동부 또는 서해남부 해역에서 해무발생시 기온보다 상대적으로 낮은 SST로 인해 이류무의 형태, 서해중부 또는 동해중부 해역에서 해무발생시 기온보다 상대적으로 높은 SST로 인해 찬 공기가 따뜻한 수면 위를 지나갈 때 수면으로부터의 증발에 의한 증기무 형태의 발생 가능성을 볼 수 있다. 이외에도, 대부분 해역에서 봄, 여름, 가을의 해기차는 대체

로 해무발생시가 월평균에 비해 다소 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 한편, NIMR의 보고서에 따르면(2001), 과거 2년간(2000~2002년) 인천공항에서 발생한 안개 유형은 이류무의 형태가 가장 많았고(62%), 다음으로 전선무(27%), 복사무(11%)의 순이었다. 또한 부산지역(부산항 인근)의 해무를 분류한 결과 이류무가 46%, 복사무가 3% 정도를 차지하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2017).

Fig. 7은 연구기간동안(2013~2017년) 해무발생 빈도수가 가장 높은 여름철(6~8월)을 대상으로 6개 해역의 해무발생시 기온, SST, 해기차(기온-SST)의 시계열을 나타낸다. 해무발생시 기온의 범위는 서해(중부, 남부)가 약 12°C~29°C, 동해중부와 남해(서부, 동부)는 약 16°C~28°C, 제주남부 해역에서는 약 19°C~25°C가 나타났다. SST의 경우, 서해남부 해역에서 약 14°C~28°C로 가장 큰 폭의 범위를 보였고, 제주남부 해역에서 약 17°C~23°C로 가장 작은 폭으로 나타났다. 그리고 남해동부 해역에서 가장 낮은 SST(약 13°C~22°C)를 보였는데, 이것은 바람에 의한 저층냉수의 용승에 기인한 것으로 추정된다(Kim et al., 2015). 이외에도, 서해중부와 동해중부 해역에서는 기온과 SST의 범위(약 15°C~28°C)가 서로 비슷하여 양(+)과 음(-)의 해기차가 골고루 나타나고 있다. 서해남부 해역은 기온과 SST 모두 약 14°C~25°C 범위를 나타내며, 2015년을 제외하고는 대부분 양(+)의 해기차를 보이므로 고온의 다습한 공기가 찬 수면을 지나면서 이류무의 형태로 해무가 발생한 것으로 추정된다. 남해서부 및 동부, 제주남부 해역은 기온과 SST의 차이가 상당하여(남해동부에서 최고 약 12°C), 대부분 양(+)의 해기차가 뚜렷하게 나타난 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 연구기간동안(2013~2017년) 해역별(6개 해역) 해무와 비해무의 해기차(기온-SST)의 비교를 나타낸다. 전반적으로 모든 해역에서 여름철에 해무발생시의 해기차가 비해무에 비해 더 크게 나타난 반면(특히, 남해서부 및 동부와 제주남부), 봄철과 가을철은 해역에 따라 해무발생시의 해기차가 약간 높게 또는 약간 낮게 분석되었다. 이러한 결과는 인천공항에서 2000~2004년간 늦봄~여름 사이(5월~7월)에 안개발생일의 월평균 해기차가 비안개 발생일에 비해 약간 높게 나타난 것과 유사한 특징을 보였다(Leem et al., 2005). 해역별로 자세히 보면, 서해중부 및 남부는 6월~7월과 9월, 남해

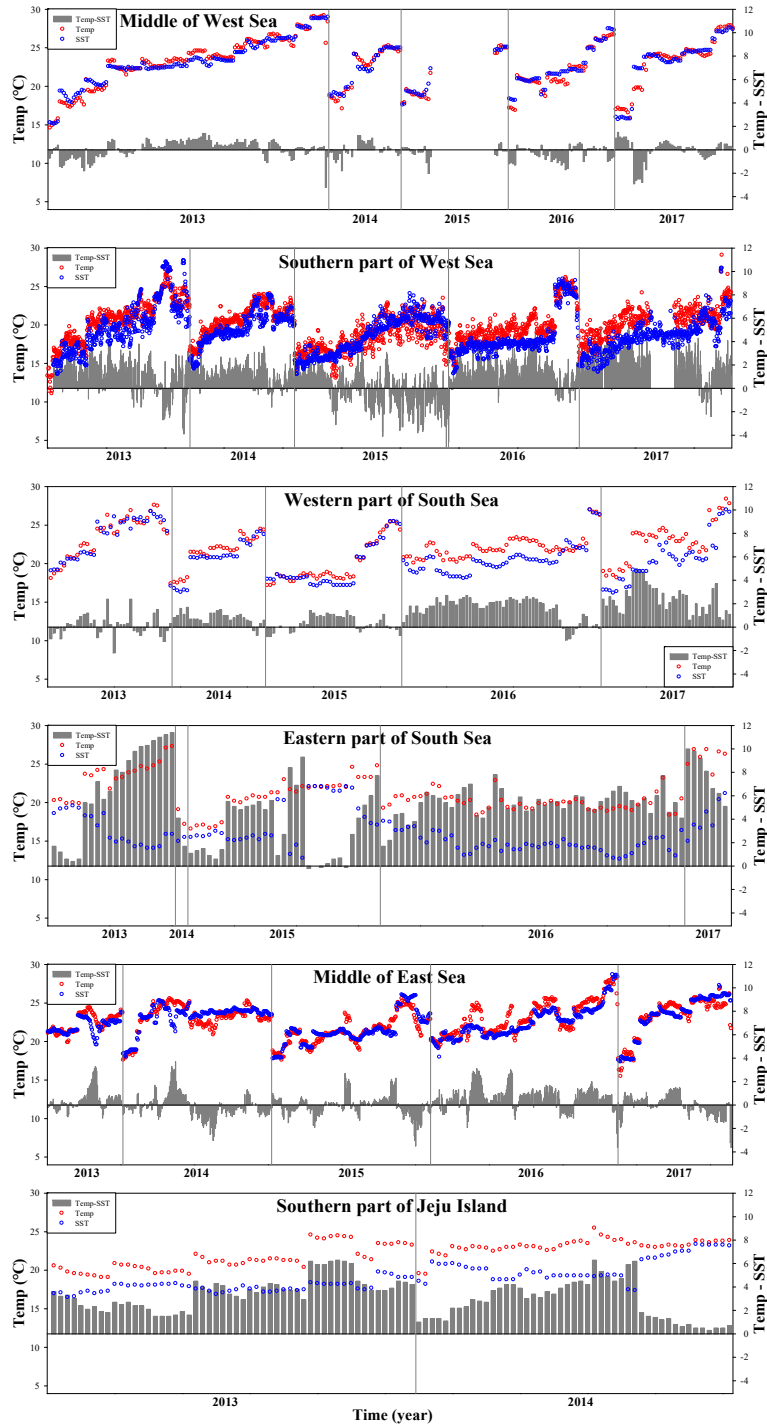


Fig. 7. Time series of marine meteorological elements (Temp, SST, and Temp-SST) for sea fog in six coastal waters during the summer (June to August) of the study period (2013-2017).

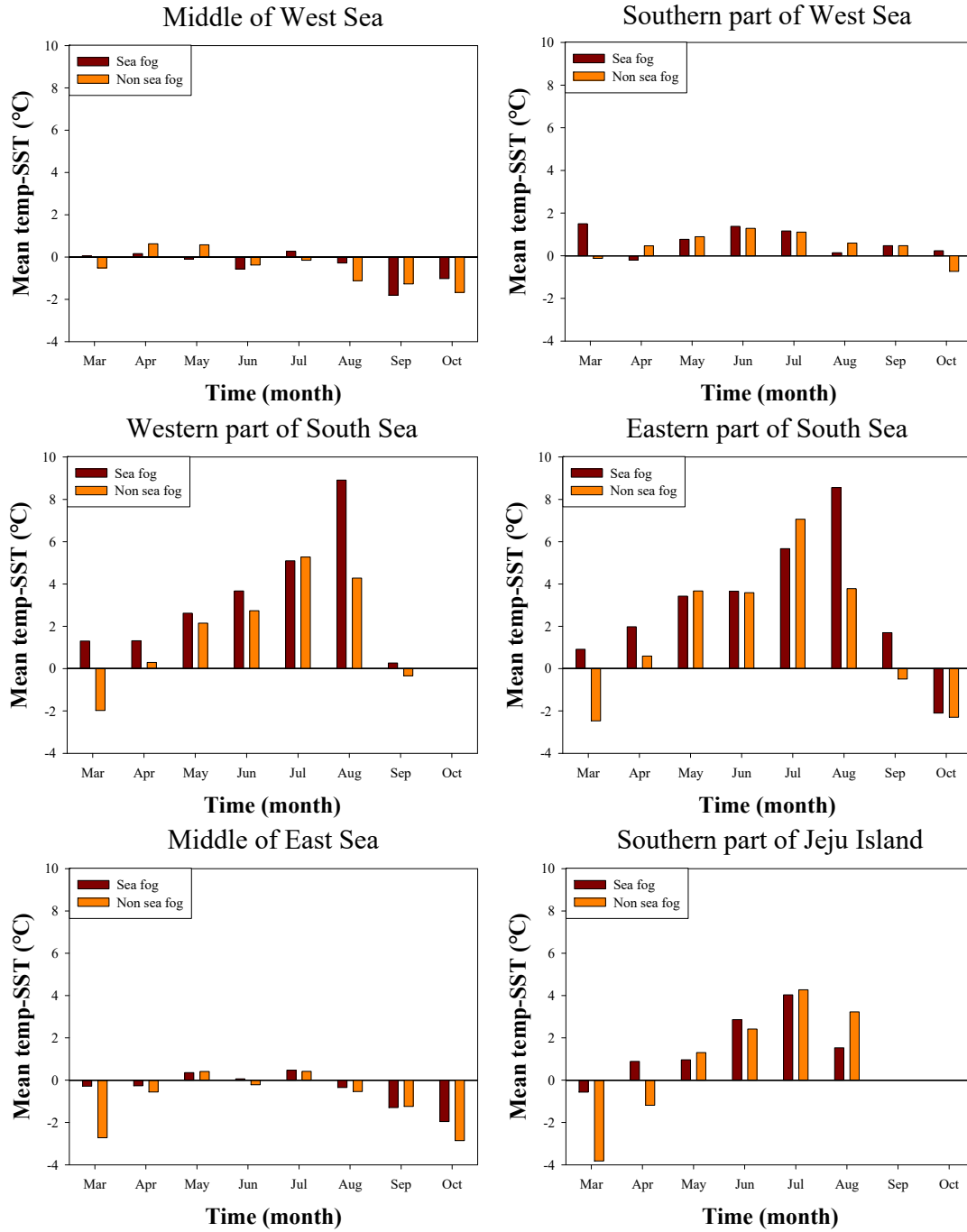


Fig. 8. Air-sea temperature difference (Temp-SST) between the sea fog and non sea fog events in six coastal waters during the study period (2013-2017).

서부 및 동부는 4월~9월, 동해중부와 제주남부는 6월과 7월 또는 9월에 주로 해무발생시의 해기차가 비해무에 비해 더 크게 나타났다. 또한 서해중부의 여름철 일부와 가을철, 동해중부의 이른 봄과 가을철, 남해동부의 일부 가을철, 제주남부의 이른 봄철에 음(-)의 해기차가 분석되었는데, 이것은 기온에 비해 상당히 높은 SST로 인하여 따뜻한 수면으로부터 대기로의 활발한 수증기 공급(증발에 의한)에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 전체 연구기간(봄, 여름, 가을) 동안 해역별 해무발생시 SST와 비해무 SST와의 차이, 그리고 해무발생시 해기차와 비해무 해기차의 차이를 비교하였다(Table 3). 전 해역에서 해무발생시 SST가 비해무 SST에 비해 더 낮게 나타나(둘의 차이가 음(-)의 값) SST 냉각 효과를 뚜렷하게 볼 수 있었으며, 특히 남해동부의 여름철에 가장 큰 차이(약  $-5.7^{\circ}\text{C}$ ), 제주남부의 봄철에 가장 작은 차이(약  $-0.4^{\circ}\text{C}$ )가 나타났다. 해기차의 경우는 전 해역에서 해무발생시 해기차가 비해무 해기차에 비해 더 큰 차이를 보였다(남해동부 여름철에 최고 약  $5.8^{\circ}\text{C}$ ). 이러한 결과는 향후 해무발생의 기상조건 및 임계치 설정에 기여하고 해무발생 예측/예보를 위한 기초정보 제공에 도움을 줄 것으로 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 최근 5년간(2013~2017) 우리나라 연안해역별 해양기상요소(기온, SST, 유의파고, 바람)의 시·공간 변화를 살펴보고, 해무발생시 해역별 주요 특성을 분석하였다. 전반적으로 연평균 기온과 SST 변화는 대부분 해역에서 2016년에 가장 높게 2013년 또는 2014년에 가장 낮게 관측되었고, 유의파고는 연도별 뚜렷한 특징이 없이 다양하였으며, 바람은 해역별로 다양한 풍계가 나타나지만 각 해역마다 연도별 변화는 유사하였다. 또한 연평균 기온은 제주남부 해역에서 최고기온, 서해중부 해역에서 최저기온을 보이며, 특히 모든 해역에서 폭염으로 인해 2016년에 최고기온이 나타났다. 기온과 마찬가지로, SST 변화도 제주도 남쪽에서 북상하는 대마난류의 영향으로 제주남부 해역에서 최고를 기록하였고, 서해중부 해역에서 가장 낮게 나타났다. 유의파고의 경우 깊은 수심으로 파고 발달에 좋은 지형을 갖춘 동해에서 가장 높았으며(특히, 동해중부에서 1.27 m

~1.38 m), 서해(중부 및 남부)에서 가장 낮았다. 이외에도, 제주남부(최고풍속 관측)를 제외한 대부분 해역에서 바람이 강하게(또는 약하게) 불 때 대체로 다소 높은(또는 낮은) 유의파고가 관측되어 서로의 연관성( $r = 0.49 \sim 0.67$ )을 확인하였다. 월/계절 변화를 보면, 모든 해역에서 기온과 SST는 여름철(특히 8월)에 가장 높고 겨울철(기온은 1월, SST는 2월)에 가장 낮았으며, 유의파고는 대체로 바람이 강한 겨울철(특히 12월)에 최고, 여름철(6월)에 최저로 나타났다. 바람의 경우, 제주남부를 제외하고는 대부분 해역에서 유의파고의 월/계절 변화 특성과 유사하였다.

해무(안개)가 빈번히 발생한 세 계절(봄, 여름, 가을)의 해무발생시 특성을 보면, 먼저 봄철에는 해무발생시 SST가 월평균과 유사하지만, 기온은 월평균에 비해 높게 나타나 높은 기온과 상대적으로 낮은 SST의 차이(양(+)의 해기차)가 큰 이류무 형태의 해무발생으로 추정된다. 여름철은 해무발생시 SST가 월평균에 비해 매우 낮게 나타났고 또한 상대적으로 기온보다 낮은 SST의 냉각으로 인해(양(+)의 해기차) 이류무 형태의 해무발생으로 볼 수 있다. 특히 남해동부에서의 가장 낮은 SST(약  $13^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ )는 바람에 의한 저층 냉수의 용승에 기인한 것으로 추정된다. 반면, 가을철은 대부분 해역에서 해무발생시의 기온과 SST가 월평균에 비해 비슷하거나 다소 높게 나타났으며, 해역별로 해무발생 형태가 서로 달랐다(남해동부 또는 서해남부는 이류무 형태 추정, 서해중부 또는 동해중부는 증기무 형태 추정). 한편 해무발생시와 비해무의 SST 및 해기차 비교에서, 전 해역에서 해무발생시 SST가 비해무에 비해 더 낮게 나타났으며(여름철 남해동부 최고  $-5.7^{\circ}\text{C}$ ), 해무발생시의 해기차 또한 비해무에 비해 더 큰 차이를 보였다(여름철 남해동부 최고  $5.8^{\circ}\text{C}$  차이).

이상의 연구결과는 우리나라 연안의 해역별 해양기상요소의 시·공간 변화와 해무발생시 특성을 살펴본 것으로, 해역별 지리·지형적 및 환경적 특성에 따라 해양기상 변화 및 해무발생 특성이 해역마다 조금씩 상이한 결과가 나타났음을 확인하였다. 따라서 본 연구결과는 우리나라 연안지역의 해양기상 변화와 해양위험기상(예, 해무)의 발생조건 및 특성을 이해하는데 중요한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 그러나 본 연구는 대상지역의 해양기상 관측 자료만을 이용한 분석연구로 한계점이

있기 때문에, 향후 보다 정확한 해양기상 예측/예보 가이던스 구축에 기여하기 위해서는 보다 다양한 관측 자료의 분석과 고해상도 수치모델링을 통한 상세 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 기상청 <기상·지진See-At기술개발연구>(KMI2018-07610)의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Ahn, J. B., Nam, J. C., Seo, J. W., Lee, H. J., 2002, Development of sea fog forecasting module and its application to Ulung-island sea fog events, *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 38(2), 155-164.
- Jung, M. A., 2015, Statistical model for forecast of haze occurrence, M. S. Dissertation, Pusan National University, Pusan, South Korea.
- Kang, Y. H., Seuk, H. B., Bang, J. H., Kim, Y. K., 2015, Seasonal characteristics of sea surface winds and significant wave heights observed marine meteorological buoys and lighthouse AWSs near the Korean Peninsula, *J. Environ. Sci. Int.*, 24(3), 291-302.
- Kim, J. H., Kim, H. J., Nam, K. D., Cho, Y. S., 2007, Numerical analysis of a tidal flow using quadtree grid, *Proceedings of the Korean Society of Hazard Mitigation Conferences*, Inha University, Incheon, 163-167.
- Kim, J. S., Kim, J. H., Park, S. H., Kim, Y. C., 2013, The study of characteristics of Korea fog and forecast guidance, *J. Korean Soc. Aviat. Aeronaut.*, 21(1), 68-73.
- Kim, K. J., Park, S. Y., Ko, J., Kim, Y. T., Kim, M. H., 2015, Cause of rapid decline in sea surface temperature near the southeast coast of Korea in summer 2014, *Korean J. Hydrogr.*, 4(1), 45-52.
- Kim, Y. T., Han, C. K., Kim, K. J., Kim, H. K., Kim, Y. N., 2017, Preliminary investigation of oceanographic and meteorological conditions before and after sea fog formation around Busan harbor, *Korean J. Hydrogr.*, 6(2), 43-50.
- Ko, H. J., Pang, I. C., Kim, T. H., 2005, Relations between wave and wind at 5 stations around the Korean peninsula, *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 26(3), 240-252.
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2010, <http://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/observation07.jsp>
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2016, Annual Climatological Report, 11-1360000-000016-10, KMA, Seoul, South Korea.
- Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI), 2008, KORDI Annual Report 2007, Busan, South Korea.
- Kwon, M. H., 2012, Estimation and statistical characteristics of the radius of maximum wind of tropical cyclones using COMS IR Imagery, *Atmosphere*, *Korean Meteorol. Soc.*, 22(4), 473-481.
- Lee, H. W., Lee, K. O., Back, S. J., Kim, D. H., 2005, Analysis of meteorological features and prediction probability associated with the fog occurrence at Chuncheon, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 21(3), 303-313.
- Leem, H. H., Lee, H. W., Lee, S. H., 2005, The analysis of the characteristics of the fog generated at the Incheon Int'l Airport, *J. Korean Meteorol. Soc.*, 41(6), 1111-1123.
- Lim, H. S., Chun, I. S., Shim, J. S., Kim, C. S., 2015, Numerical simulation of wave-induced current considering wave-tide interaction in Haeundae, *Proceedings of Journal of Coastal Disaster Prevention the 3rd. Annual Conference*, GRAND Convention Center, Seoul, 105-106.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR), 2001, A Study on the Forecasting of Sea Fog around the Youngjong-Do (II), NIMR, South Korea, 156.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR), 2007, Research report: development of high resolution storm surges and wave monitoring system, NIMR, South Korea, 274.
- Park, Y. S., Park, S. U., 1991, Observational features of local weather in the coastal regions over South Korea in spring, *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 27(2), 67-86.
- Schleicher, N., Norra, S., Dietze, V., Yu, Y., Fricker, M., Kaminski, U., Chen, Y., Cen, K., 2011, The effect of mitigation measures on size distributed mass concentrations of atmospheric particles and black carbon concentrations during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, *Sci. Total Environ.*, 412, 185-193.

- Shen, R., Schafer, K., Schnelle-Kreis, J., Shao, L., Norra, S., Kramar, U., Michalke, B., Abbaszade, G., Streibel, T., Fricker, M., Chen, Y., 2016, Characteristics and sources of PM in seasonal perspective—a case study from one year continuously sampling in Beijing, *Atmos. Pollut. Res.*, 7(2), 235-248.
- Shin, D. S., Park, Y. H., 2004, The forecasting of severe rain storm after Jangma, Proceedings of the Korean Meteorological Society Autumn Meeting, Kongju National University, 326-327.
- Song, Y. Y., 2013, Development of the fog stability index at Incheon international airport, M. S. Dissertation, Yonsei University, Seoul, South Korea.
- Won, D. J., Kim, S. Y., Kim, K. E., Min, K. D., 2000, Analysis of meteorological and oceanographic characteristics on the sea fog over the Yellow sea, *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 36(6), 631-642.
- Yoon, H. J., Cho, H. K., 2005, A Study on the diluted water from the Yangtze river in the East China sea using satellite data, *J. Korean Assoc. Geographic Inf. Stud.*, 8(4), 33-43.
- Yoon, Y. H., Park, J. S., Park, Y. G., Noh, I. H., 2007, Marine environment and the distribution of phytoplankton community in the southwestern sea of Korea in summer 2005, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 10(3), 155-166.
- You, S. H., Kwun, J. H., Kim, J. S., 2009, Marine meteorological characteristics in 2006-2007 : Sea surface wind, *Atmosphere*, Korean meteorol. Soc., 19(2), 145-154.
- 
- Graduate student. So-Hee Park  
Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University  
thgml4416@jejunu.ac.kr
  - Professor. Sang-Keun Song  
Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University  
songsk@jejunu.ac.kr
  - Graduate student. Hyeong-Sik Park  
Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University  
gudtlrck1@naver.com