

ORIGINAL ARTICLE

한반도 주변해역의 기상부이와 등표에서 관측된 계절별 해상풍과 유의파고 특성

강윤희 · 석현배¹⁾ · 방진희²⁾ · 김유근³⁾*

부산대학교 환경연구원, ¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부, ²⁾울산대학교 환경보건센터, ³⁾부산대학교 대기환경과학과

Seasonal Characteristics of Sea Surface Winds and Significant Wave Heights Observed Marine Meteorological Buoys and Lighthouse AWSs near the Korean Peninsula

Yoon-Hee Kang, Hyun-Bae Seuk¹⁾, Jin-Hee Bang²⁾, Yoo-Keun Kim³⁾*

The Institute of Environmental Studies, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

¹⁾*Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

²⁾*Environmental Health Center, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan 680-749, Korea*

³⁾*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

Abstract

The seasonal variations of sea surface winds and significant wave heights were investigated using the data observed from the marine meteorological buoys (nine stations) and Automatic Weather Stations (AWSs) in lighthouse (nine stations) around the Korean Peninsula during 2010~2012. In summer, the prevailing sea surface winds over the East/West Sea and the South Sea were northerly/southerly and easterly/westerly winds due to both of southeast monsoon and the shape of Korean Peninsula. On the other hand, the strong northerly winds has been observed at most stations near Korean marginal seas under northwest monsoon in winter. However, the sea surface winds at some stations (e.g. Galmaeyeo, Haesuseo in the West Sea) have different characteristics due to topographic effects such as island or coastal line. The significant wave heights are the highest in winter and the lowest in summer at most stations. In case of some lighthouse AWSs surrounded by islands (e.g. Haesuseo, Seosudo) or close to coast (e.g. Gangan, Jigwido), very low significant wave heights (below 0.5 m) with low correlations between sea surface wind speeds and significant wave heights were observed.

Key words : Sea surface wind, Significant wave height, Marine meteorological buoy, Lighthouse AWS, Korean marginal seas

1. 서론

한반도 주변해역에 대한 해양기상학적 이해는 해양플랜트, 조선, 해상풍력자원 등과 같은 다양한 국내 고부가가치 산업육성과 관계되어 있을 뿐 아니라 2014년 4월

발생한 세월호 침몰과 같은 대형 해상재난을 방지하기 위한 기초연구로 최근 중요성이 더욱 강조되고 있다. 더욱이 한반도 주변 해역은 서로 다른 해양환경(예로, 해안선의 모양/방향, 수심, 해저지형, 해류, 조석 등)으로 인하여 각 해역별 해양기상 특성에 뚜렷한 차이가 예상되며

Received 2 December, 2014; Revised 16 February, 2015;

Accepted 26 February, 2015

*Corresponding author: Yoo-Keun Kim, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone: +82-51-510-2282
E-mail: kimyk@pusan.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.

로 이에 대한 다양한 연구가 필요하다.

과거 한반도 해역의 해양기상과 관련된 연구는 해양기상 관측자료의 한계로 인하여 주로 위성자료(Oh 등, 2012; You 등, 2009)나 수치모델링(Chang 등, 2003; You, 2009; You와 Park, 2010)을 활용한 연구가 다수였다. Oh 등(2012)은 NOAA/AVHRR 위성자료와 관측자료를 이용하여 한반도 주변해역의 해수온의 변화를 연구한 바 있고, You 등(2009)은 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 모델에서 계산된 해상풍과 QuikSCAT 위성으로부터 복원된 해상풍 자료를 비교하여 계절별 지역별 예측정확도와 해상풍 특징을 제시하였다. 이와 함께 2006, 2007년의 기상청 현업모델인 지역파랑모델(Regional WAVEWATCH III)에서 계산된 격자별 유의파고를 토대로 한반도 인근해역의 유의파고의 공간특성이 제시되었고(You, 2009), 최근 Kim 등(2013)은 인공위성 자료의 한계를 보완하고자 항공기 원격탐사 시스템을 이용하여 연안의 고해상도 해상풍과 수온 관측을 시도한 바 있다. 이처럼 다양한 해양기상 연구에도 불구하고 위성/수치모델링 자료는 자료의 생산과정에서 발생하는 여러 오차를 내포하고 있어 관측자료와의 비교·검증이 병행되어야 한다.

우리나라 기상청에서는 해양기상 관측의 필요성을 인지하고, 1996년부터 한반도 주변해역에 해양기상 관측장비를 설치하기 시작하여 2014년 현재는 60개 지점(해양기상부이 11개 지점, 등표기상관측장비 9개 지점, 파고부이 40개 지점, KMA(2014a))에서 해양기상 자료를 실시간으로 수집하고 있다. 해양기상 관측자료가 생산됨에 따라 비교적 결측이 적고, 해양기상 인자의 동시관측이 가능한 해양기상부이 자료분석을 시작으로 한반도 주변해역에 대한 해양기상 연구가 가능케 되었고, Ko 등(2005)은 5개 해양기상부이(덕적도, 칠발도, 거문도, 거제도, 동해)에서 관측된 바람과 파도의 관계를 분석하여 한반도 해역별 바람에 의한 파도 발달율이 달라짐을 밝혀낸 바 있다. 하지만, 여전히 해양기상 관측자료 자체에 대한 분석이 부족하고, 최근 해양기상관측망이 다수 확충된 만큼 추가된 자료에 대한 분석이 필요한 실정이다. 더욱이 육상관측자료와 달리 공간해상도가 넓은 해양기상관측망은 해역의 대표성을 갖는 만큼 장기분석을 통한 관측자료의 특성 및 환경적 영향 파악과 같은 관측자료에 대한 정확한 이해가 필요하다.

이상에서 언급한 바와 같이 한반도 주변 해역의 해양기상에 대한 이해는 매우 중요하고, 최근 추가된 해양기상관측망이 다수 존재하는 만큼 이를 고려한 한반도 주변해역의 해양기상 특성에 대한 재평가가 필요하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 기상청에서 운영중인 해양기상부이와 등표기상관측지점의 최근 3년(2010~2012년) 자료를 이용하여 한반도 주변 해역의 계절별 해상풍 및 유의파고 특성을 분석하였고, 유의파고와 해상풍속의 상관관계를 파악하였다. 이를 통해 한반도 해역별/계절별 해양기상 특성을 제시하고자 하였다.

2. 기상부이/등표 관측자료 및 연구방법

기상청에서는 한반도 인근해역을 중심으로 해양기상부이(이하, 기상부이), 등표기상관측장비(이하, 등표), 파고부이, 파랑계 등의 해양기상관측장비를 운영하고 있으며, 매일 1시간 간격으로 실시간 관측자료를 송신 받고 있다(Chang 등, 2003; You, 2009). 본 연구에서는 그 중 자료의 결측이 적고 품질관리(Quality Control)가 완료된 최근 3년간(2010년~2012년) 기상부이 9개소(덕적도(DJD), 외연도(OYD), 칠발도(CBD), 거문도(GMD), 거제도(GJD), 마라도(MRD), 포항(PH), 동해(DH), 울릉도(ULD))와 등표 9개소(서수도(SSD), 가대암(GDA), 십이동파(SID), 갈매여(GMY), 해수서(HSS), 지귀도(JGD), 간여암(GYA), 광안(GA), 이덕서(IDS))에서 관측된 해상풍(풍향, 풍속)과 유의파고 자료를 분석하였다. Fig. 1과 Table 1은 연구에 사용된 기상부이 9개소와 등표 9개소의 위치와 관측정보를 제시한 것이다. 관측된 바람(풍향, 풍속)은 매 정시 전 10분동안 1초 간격으로 3초간 샘플링한 3개의 자료를 1초 간격으로 이동평균하여 순간 풍향/풍속을 산출하고 벡터 평균한 값이며, 유의파고는 특정시간 주기 내에서 일어나는 모든 파고 중 가장 높은 3분의 1에 해당되는 파고의 평균높이를 의미한다(KMA, 2014b). 한반도 해역별 해상풍과 유의파고의 계절적 평균특성을 파악하는 것이 본 연구의 목적이므로 태풍과 같이 비정기적이며 단기간에 기상현상의 변화가 크게 나타나는 기간은 제외하였다. 계절별 평균자료 산출을 위한 통계처리 방법은 관측지점별 1시간 단위 관측자료를 일평균한 뒤, 월평균, 계절평균으로 계산하였고, 자료의 신뢰성을 위하여 1시간 자료의 일측정률이 75% 이상인

Table 1. The information of marine meteorological buoys and AWS on lighthouse

Sea	Station	Marine meteorological buoy (Buoy) / Lighthouse AWS	Location (Longitude, Latitude)	The height of wind sensor (m)*	The water depth of wave height sensor (m)
West sea	SSD (Seosudo)	Lighthouse AWS	126°23 ' /37°19 '	20.0	-7.0
	DJD (Deokjeokdo)	Buoy	126°01 ' /37°14 '	4.3/3.6	-0.1
	GDA (Gadaeam)	Lighthouse AWS	125°58 ' /36°46 '	15.0	-7.0
	OYD (Oeyeondo)	Buoy	125°45 ' /36°15 '	4.3/3.6	-0.1
	SID (Sibidongpa)	Lighthouse AWS	126°13 ' /35°59 '	75.0	-7.0
	GMY (Galmaeyeo)	Lighthouse AWS	126°14 ' /35°36 '	15.0	-7.0
	CBD (Chilbaldo)	Buoy	125°46 ' /34°47 '	4.3/3.6	-0.1
	HSS (Haesuseo)	Lighthouse AWS	126°01 ' /34°15 '	12.0	-7.0
South sea	GMD (Geomundo)	Buoy	127°30 ' /34°00 '	4.3/3.6	-0.1
	GYA (Ganyoam)	Lighthouse AWS	127°51 ' /34°17 '	27.5	-15.0
	GJD (Geojedo)	Buoy	128°54 ' /34°46 '	4.3/3.6	-0.1
	GA (Gwangan)	Lighthouse AWS	129°08 ' /35°07 '	12.0	-6.0
East sea	IDS (Idukseo)	Lighthouse AWS	129°28 ' /35°34 '	17.5	-7.0
	PH (Pohang)	Buoy	129°46 ' /36°21 '	4.4/3.9	-0.7
	DH (Donghae)	Buoy	130°00 ' /37°32 '	4.4/3.9	-0.7
	ULD (Ulleungdo)	Buoy	131°06 ' /37°27 '	4.4/3.9	-0.7
Jeju	JGD (Jigwido)	Lighthouse AWS	126°39 ' /33°13 '	18.0	-15.0
	MRD (Marado)	Buoy	126°01 ' /33°04 '	4.4/3.9	-0.7

* The height of wind direction and wind speed sensor in lighthouse AWS



Fig. 1. The location of marine meteorological buoys (●) and AWS on lighthouse (▲) around the Korean Peninsula: Seosudo (SSD), Deokjeokdo (DJD), Gadaeam (GDA), Oeyeondo (OYD), Sibidongpa (SID), Galmaeyeo (GMY), Chilbaldo (CBD), Haesuseo (HSS), Geomundo (GMD), Ganyoam (GYA), Geojedo (GJD), Gwangan (GA), Idukseo (IDS), Pohang (PH), Donghae (DH), Ulleungdo (ULD), Jigwido (JWD) and Marado (MRD).

자료만 사용하였다. 기상청 예보구역 기준에 따라 서해, 남해, 동해, 제주 해역으로 구분하였고, 관측지점의 위치에 따라 해당해역을 설정하여 서해 8개 지점(기상부이 3개 지점, 등표 5개 지점), 남해 4개 지점(기상부이 2개 지점, 등표 2개 지점), 동해 4지점(기상부이 3개 지점, 등표 1개 지점), 제주 2개 지점(기상부이 1개 지점, 등표 1개 지점)으로 구성되었다.

3. 결과 및 토의

3.1. 해상풍

3.1.1. 계절별 해상풍 특성

Table 2는 기상부이 9개 지점과 등표 9개 지점에 대한 계절별 평균풍속과 주풍을 제시한 것이다. 봄(3~5월)의 경우, 해역별 평균 풍속은 서해 4.4~6.1 ms^{-1} , 남해 4.7~8.4 ms^{-1} , 동해 5.7~6.2 ms^{-1} , 제주도 5.9~7.1 ms^{-1} 으로 해역 중에서는 서해가 가장 낮은 풍속 수준을 보였다. 다른 계절과 비교해 주풍의 빈도가 낮고, 한 방향으로의 바람보다는 다양한 풍계가 관측되었는데 이는 시기상 겨울과 여름의 경계에 위치하여 계절풍의 전환, 이동성 고기압에 의한 빈번한 기상변화 등(Gu, 2008; Jeong,

2012)이 원인으로 이해된다. 그럼에도 불구하고 해역별 바람의 풍향은 한반도 해안선의 영향으로 서해/동해의 경우, 남-북 방향의 바람빈도가 높았고(풍향 326.25~360°, 0~33.75°, 146.25~213.75°의 빈도: 서해 44.4%, 동해 51.5%), 남해는 동-서 방향의 바람빈도가 높게 나타났다(33.75~101.25°, 213.75~281.25°의 빈도: 53.2%). 제주해역에 위치한 두 관측지점(마라도 부이와 지귀도 등표)은 제주도(최고 해발고도 1,950 m, 한라산)의 영향을 크게 받아 섬의 서쪽에 위치한 마라도 부이(MRD)는 북풍(14.8%), 섬의 남쪽에 위치한 지귀도 등표(JGD)는 해안선과 나란한 서풍(13.8%)이 봄철 대표적 풍계로 관측되었다. 이는 동일한 해역으로 구분된 관측지점이라도 관측소의 위치와 환경적 영향에 따라 서로 다른 풍계를 나타낼 수 있음을 보여준다. 특히 제주해역과 같이 관측지점의 수가 적고 지형적 영향을 크게 받는 경우, 해역의 대푯값 파악에 한계가 존재한다.

여름(6~8월)은 한반도 주변 해역 전반으로 남풍계열 해상풍의 빈도가 높았다. 이는 여름철 우리나라 남동쪽에서 발달한 북태평양 고기압에 의한 남동계열풍(Southeast monsoon)이 원인이다(Choi와 Byun, 2005; Gu, 2008). 서해/동해는 남풍계열의 바람이 뚜렷하나

Table 2. Seasonal averaged wind speed (ms^{-1}) and prevailing wind observed marine meteorological buoys and AWS on lighthouse during 2010-2012

Sea	Station	Spring	Summer	Autumn	Winter
West sea	SSD**	4.8 / W	3.4 / SSW	5.2 / WNW	5.6 / NNW
	DJD*	4.4 / S	3.0 / S	5.3 / NNW	5.7 / NNW
	GDA**	4.9 / N	3.3 / SSW	5.3 / NNE	6.5 / NNW
	OYD*	4.5 / NNW	3.9 / S	5.4 / N	6.4 / N
	SID**	6.0 / NNW	4.8 / SSE	5.0 / NNW	5.8 / NNW
	GMV**	5.6 / N	4.5 / SW	5.6 / NNE	7.2 / NNE
	CBD*	4.9 / N	3.2 / S	4.6 / N	6.5 / N
	HSS**	6.1 / NW	4.5 / E	5.4 / NNW	7.3 / NNW
South sea	GMD*	6.5 / W	4.4 / ENE	6.0 / ENE	7.9 / NNW
	GYA**	8.4 / ENE	6.1 / ENE	7.5 / NNE	9.8 / NW
	GJD*	6.6 / NE	5.2 / SW	5.8 / N	6.9 / NNW
	GA**	4.7 / SW	4.1 / SW	4.4 / NNW	5.0 / NW
East sea	IDS**	6.2 / S	5.6 / S	5.3 / WNW	6.3 / WNW
	PH*	6.2 / SSW	4.7 / SSW	6.2 / WNW	8.9 / WNW
	DH*	5.7 / S	4.2 / S	5.9 / NW	7.1 / NW
	ULD*	5.9 / NE	4.8 / SSW	6.2 / NNE	7.2 / NW
Jeju	JGD**	5.9 / W	4.4 / W	6.0 / NE	5.9 / NE
	MRD*	7.1 / N	5.1 / ESE	7.1 / N	8.8 / N

* Marine meteorological buoy

** AWS on lighthouse

(146.25~213.75°의 빈도 서해 32.2%, 동해 38.5%), 동해와 비교해 서해에 위치한 관측지점의 평균풍속이 3.0~4.5 ms^{-1} 로 다소 낮다(동해 4.2~5.6 ms^{-1}). 남해는 동-서 방향의 바람(동북동풍 14.1%, 남서풍 13.6%)이 빈도 높게 관측되었는데, 이는 남해의 북쪽에 한반도가 위치하고 있어 남풍의 발달에 제약을 받으며 동-서 방향의 해안선과 나란한 방향으로의 해상풍 발달이 유리하기 때문이다. 하지만 봄과 비교해 여름의 남해는 남서풍의 빈도가 높아지고 북풍의 빈도는 낮아져 남동계절풍의 영향을 반영하였다.

가을(9~11월)이 되면서 서해를 시작으로 겨울 북서계절풍(northwest monsoon)의 영향이 관측되었다. 여름과 비교하여 북풍 계열의 바람빈도가 높아지고, 서해상에서는 풍속의 증가가 뚜렷하다. 전반적인 풍속의 증가로 남해에서도 해안선의 영향이 무시된 북/북서/북동풍의 빈도가 높아졌다(303.75~360°, 0~56.25°의 바람빈도: 여름 19.1%, 가을 59.0%). 이후 겨울(12~2월)에는 북서계절풍의 영향이 지배적이었고, 풍속이 강해짐에 따라 봄과 여름철 바람에서 나타났던 한반도 해안선 및 섬의 영향이 무시되었다. 예로, 지귀도 등표(JGD)의 경우 북쪽에 위치한 제주도의 영향으로 봄과 여름 서풍이 지배적이었으나, 가을과 겨울에는 북풍이 탁월풍으로 나타났다. 서해는 북북서풍 계열의 해상풍이 주로 관측되었고(북북서풍 13.1%, 북풍 11.9%, 북북동풍 10.4%), 가을과 겨울의 해상풍계 차이가 적었다. 반면 육지(한반도)를 거쳐 계절풍의 영향을 받는 남해/동해/제주 해역에서는 가을과 탁월풍계는 유사하나 겨울이 되면서 북서풍/북풍의 빈도가 뚜렷이 증가하였다.

이상을 정리하면 한반도 주변 해역의 계절별 해상풍은 일차적으로는 대륙규모의 해양-육지 간의 비열차이에 의한 한반도 계절풍(Ahn과 Kim, 2010)의 영향을 강하게 받고 있음을 확인하였다. 풍속은 대부분의 기상부이/등표에서 겨울에 가장 크게 관측되었고 봄과 가을이 유사하게, 여름이 가장 낮았다. 하지만 해역에 따른 지리-지형적 영향, 해안선 방향 등에 따라 서해, 남해, 동해, 제주해역의 계절별 탁월풍에 차이가 존재하였다.

3.1.2. 관측지점의 환경적 영향

같은 해역에 속한 관측지점의 경우 계절별 해상풍 특성이 대체로 유사하였으나, 몇몇 기상부이/등표 지점은

관측지점 인근에 위치한 섬, 해안선 모양, 지형 등 환경적 영향으로 인해 앞서 제시한 해역의 평균적인 특징과는 다소 차이가 있는 해상풍을 나타내었다. Fig. 2는 환경적 영향으로 인하여 특징 있는 해상풍을 나타낸 지점인 서해의 갈매여(GMY), 해수서(HSS) 등표와 동해의 이덕서 등표(IDS), 제주해역의 지귀도 등표(JGD), 마라도 부이(MRD)의 계절별 바람장미(풍향은 16방위로 표시)를 제시한 것이다. 먼저 갈매여 등표(GMY) (Fig. 2a)의 경우, 특징적으로 사계절 모두 남동풍의 빈도가 2~3%로 매우 낮았다. 한반도해역 전반적으로 남동계절의 바람이 지배적인 봄과 여름에도 각 2.1%, 3.3%로 낮은 남동풍 빈도를 보였다. 이는 갈매여 등표의 남동방향 약 2 km 떨어진 지점에 위도(면적 11.14 km^2 , 최고 해발고도 255 m)가 위치하고 있어 남동풍 발달에 제약을 받기 때문으로 판단된다. 갈매여 등표와 비슷한 경도상에 위치하고 북쪽으로 약 44.5 km 떨어진 십이동파 등표(SID)와 비교하면(갈매여 등표: 동경 126°14', 북위 35°36', 십이동파 등표: 동경 126°13', 북위 35°59', Fig. 1 참고) 여름의 경우 남풍, 남남동풍, 남동풍의 빈도가 십이동파 등표는 각각 12.2%, 14.4%, 9.5%인데 반해 갈매여 등표에서는 7.2%, 5.1%, 3.3%로 낮게 관측되었다. 이는 위도의 환경적 영향이 갈매여 등표의 관측치에 반영된 결과로 추정된다.

해수서 등표(HSS) (Fig. 2b)는 한반도 남서해안에 위치하며 관측자료에 영향을 줄 수 있는 다수의 섬이 인근에 존재한다. 해수서 등표에서 관측된 계절별 해상풍은 사계절 모두 북동풍, 서풍, 남동풍의 빈도가 매우 낮다(북동풍, 서풍, 남동풍 각각의 계절별 빈도범위 1.0~3.5%, 1.1~3.2%, 0.6~4.4%). 이처럼 특정방향의 바람빈도가 매우 낮은 것은 해수서 등표를 중심으로 북동쪽의 하조도(면적 10.55 km^2 , 최고 해발고도 234 m), 서쪽의 대마도(면적 2.52 km^2 , 최고 해발고도 173 m), 남동쪽의 관매도(면적 4.08 km^2 , 최고 해발고도 219 m)의 영향이 반영된 결과로 사료된다. 반면 섬이 존재하지 않는 방향인 북서풍, 남풍, 동풍 각각의 계절별 빈도는 최대 18.0%, 13.4%, 27.2%로 높다. 결론적으로 해수서 등표에서 관측된 계절별 탁월풍은 인근 섬의 존재와 한반도 계절풍의 복합적 영향으로 설명될 수 있다. 즉, 여름에는 남동계절풍의 영향으로 동풍~남풍의 빈도가 전반적으로 높으나(동풍, 남풍 각각 27.2%, 13.4%) 등표의 남동쪽에 위

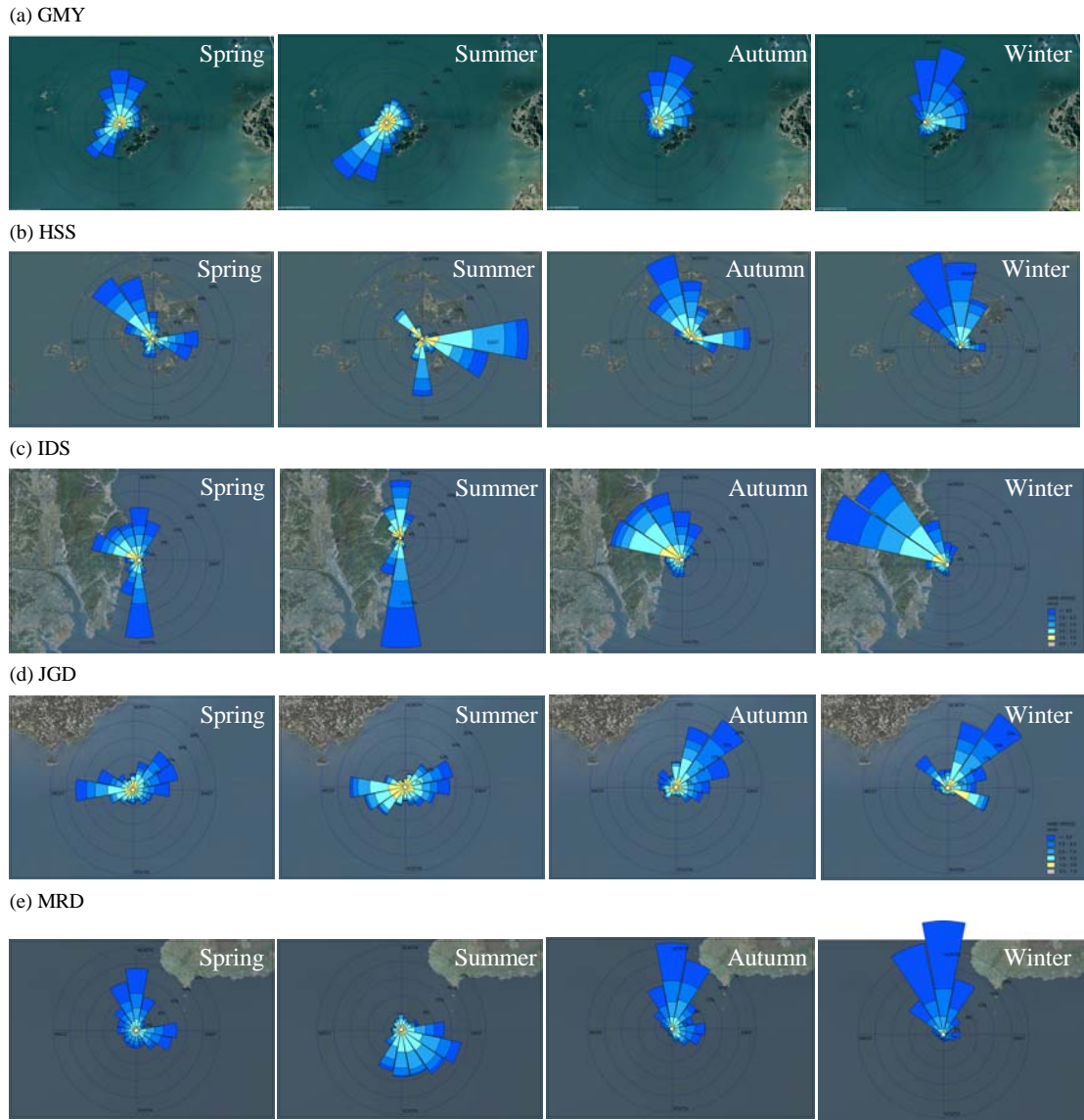


Fig. 2. Seasonal wind roses of observed sea surface winds from (a) GMY, (b) HSS, (c) IDS, (d) JGD and (e) MRD during 2010~2012.

치한 섬(관매도)으로 인해 남동풍의 빈도만 매우 낮았고 (4.4%), 겨울에는 북서계절풍의 영향으로 북풍계열의 빈도가 높으나(북풍, 북서풍 각각 22.0%, 15.4%) 등표의 북동쪽에 위치한 섬(하조도)으로 인해 북동풍의 빈도만 낮게(3.5%) 관측된 것으로 이해된다.

울산시 동쪽 15 km 떨어진 지점에 설치된 이덕서 등

표(IDS) (Fig.2c)는 관측지점의 서쪽에 한반도가 존재하며, 해안선으로부터의 거리는 약 1.7 km 정도로 내륙과 인접해 있다. 이덕서 등표에서 관측된 해상풍의 경우 같은 동해상에 위치한 포항, 동해, 울릉도 부이와 비교해 봄과 여름에 남풍의 빈도가 유난히 높다(봄 18.0%, 여름 32.4%). 이는 단조로운 동해 해안선의 특성상 관측자료

에 직접적 영향을 줄 수 있는 섬은 없으나 남-북 방향으로 놓인 해안선, 등표 서쪽에 위치한 소산맥(최고 해발고도 약 620 m)의 존재와 봄/여름의 남동계절풍의 영향으로 판단된다.

제주 해역에 위치한 지귀도 등표(JGD) (Fig.2d)와 마라도 부이(MRD) (Fig.2e)에서 관측된 해상풍은 우리나라에서 가장 큰 섬인 제주도(면적 1,848.4 km², 해발고도 1,950 m)의 영향을 뚜렷이 반영하고 있었다. 지귀도 등표의 경우, 등표의 북쪽 약 4.7 km 떨어진 곳에 제주도가 위치하고 있어 봄/여름은 동-서 방향의 바람이 빈도 높게 관측되었고(동풍과 서풍 빈도: 봄 22.7%, 여름 23.6%), 사계절 모두 북풍의 빈도가 현저히 낮았다(북풍 빈도: 봄 3.8%, 여름 2.1%, 가을 6.0%, 겨울 4.2%). 반면 마라도 부이는 제주도의 남서단에 위치하여(제주도와 직선거리 약 25 km) 북동풍 계열의 빈도가 사계절 모두 낮게 관측되었으며(동북동풍 빈도: 봄 2.1%, 여름 4.2%, 가을 5.2%, 겨울 1.2%) 특히 봄의 경우 북풍과 동풍의 빈도가 높음에도 불구하고 북동풍은 3% 미만으로 관측되는 특징을 나타내었다.

3.2. 유의파고

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 18개 기상부이/등표 관측지점에 대한 계절별 평균 유의파고를 제시한 것이다. 유의파고의 계절변화는 관측지점에 따라 다소 차이는 있으나, 전반적으로는 겨울이 가장 높고, 가을, 봄, 여름 순으로 높게 나타났다. 다만, 남해의 경우, 봄/여름의 유의파고가 상대적으로 높은 특징을 보였고 이로 인해 유의파고의 계절변화가 타해역과 비교해 뚜렷하지 않았다. 남해의 유의파고가 뚜렷한 계절변화를 나타내지 않는 이유에 대해 Ko 등(2005)는 연중 강한 풍속의 영향으로 분석한 바 있다. 거문도 부이(GMD), 거제도 부이(GJD), 간여암 등표(GYA)의 계절별 유의파고 평균값은 각각 0.96~1.11 m, 0.92~1.15 m, 0.85~1.07 m로 비슷한 수준이나, 부산 광안리 해수욕장 전방 3 km 떨어진 해상관측탑에 설치된 광안 등표(GA)에서는 이보다 훨씬 낮은 0.39~0.46 m로 나타났다. 광안 등표는 남해의 다른 관측지점에 비교해 연안에 가깝게 위치하여 있고, 인근수심도 6 m로 낮은 편이어서 파도의 발달에 유리하지 않은 것으로 판단된다(거문도, 거제도 기상부이 수심 각각 80, 87 m).

서해는 서수도와 해수서 등표를 제외하고는 봄 0.52~

0.82 m, 여름 0.33~0.62 m, 가을 0.60~0.97 m, 겨울 0.78~1.43 m 수준이었다. 서수도(SSD)와 해수서(HSS) 등표의 경우, 복잡한 해안선과 주변에 크고 작은 다수의 섬으로 둘러싸여 사계절 모두 파도 발달이 매우 어려운 환경이었고 각 계절별 평균 유의파고는 서수도 0.12~0.22 m, 해수서 0.08~0.19 m 수준으로 매우 낮았다. 반면 동해는 연안에 근접한 이덕서 등표(IDS)를 제외하고는 전반적으로 높은 유의파고가 특징적이다. 동해에 위치한 세 부이(ULD, DH, PH)의 경우, 수심이 매우 깊고(울릉도 부이: 2,200 m, 동해 부이: 1,518 m, 포항 부이: 310 m) 관측지점이 연안에서 상대적으로 멀리 떨어져 있어 파도가 잘 발달될 수 있는 조건이기 때문이다(Kim과 Kim, 2014). 동해해역의 부이 세지점(ULD, DH, PH)의 계절별 평균 유의파고는 봄 1.15~1.34 m, 여름 0.79~0.95 m, 가을 1.25~1.55 m, 겨울 1.66~1.92 m로 높은 수준이었고, 비교적 연안에 위치한 이덕서 등표(IDS)는 봄 0.81 m, 여름 0.42 m, 가을 0.77 m, 겨울 0.96 m로 부이 세지점의 44~70% 수준의 유의파고가 관측되었다.

제주해역의 지귀도 등표(JGD)와 마라도 부이(MRD)는 해상풍과 마찬가지로 두 지점간의 환경적 영향에 의해 계절별 평균 유의파고의 차이가 크게 나타났다. 지귀도 등표(JGD)의 경우, 앞서 해상풍 분석에서 제시하였듯이 제주도와 인접한 지귀도에 위치하여 계절 평균 유의파고가 매우 낮고 유의파고의 계절차이도 뚜렷하지 않았다(봄 0.35 m, 여름 0.33 m, 가을 0.38 m, 겨울 0.29 m). 반면 제주도의 남서쪽에 위치한 마라도 부이(MRD)는 제주도와외의 거리도 상대적으로 멀 뿐 아니라, 남북방향으로 육지에 의해 막혀 있는 부분이 없어 파랑의 발달에 유리하다. 마라도 부이의 평균 유의파고는 봄 1.28 m, 여름 1.15 m, 가을 1.34 m, 겨울 1.82 m로, 18개 기상부이/등표 지점 중 울릉도 부이 다음으로 높았다.

한반도 해역에서 유의파고의 계절별 경향은 해상풍의 풍속과 대체로 비슷하였으나, 풍속보다 섬, 해안선 등의 지형조건에 직접적 영향을 받았으며 동일한 해역에 위치 하더라도 주변의 환경에 따라 유의파고의 차이가 크게 나타날 수 있음을 확인하였다. 파고의 발달은 해상풍속의 세기와 관련이 있으나, 파고의 발달정도는 해역의 수심, 해저지형, 해류 뿐 아니라 해상풍의 풍향과 풍속, 동일한 풍향의 지속시간, 취송거리 등의 다양한 인자의 복잡한 영향을 받는다(Chang 등, 2003; Ko 등, 2005). 다

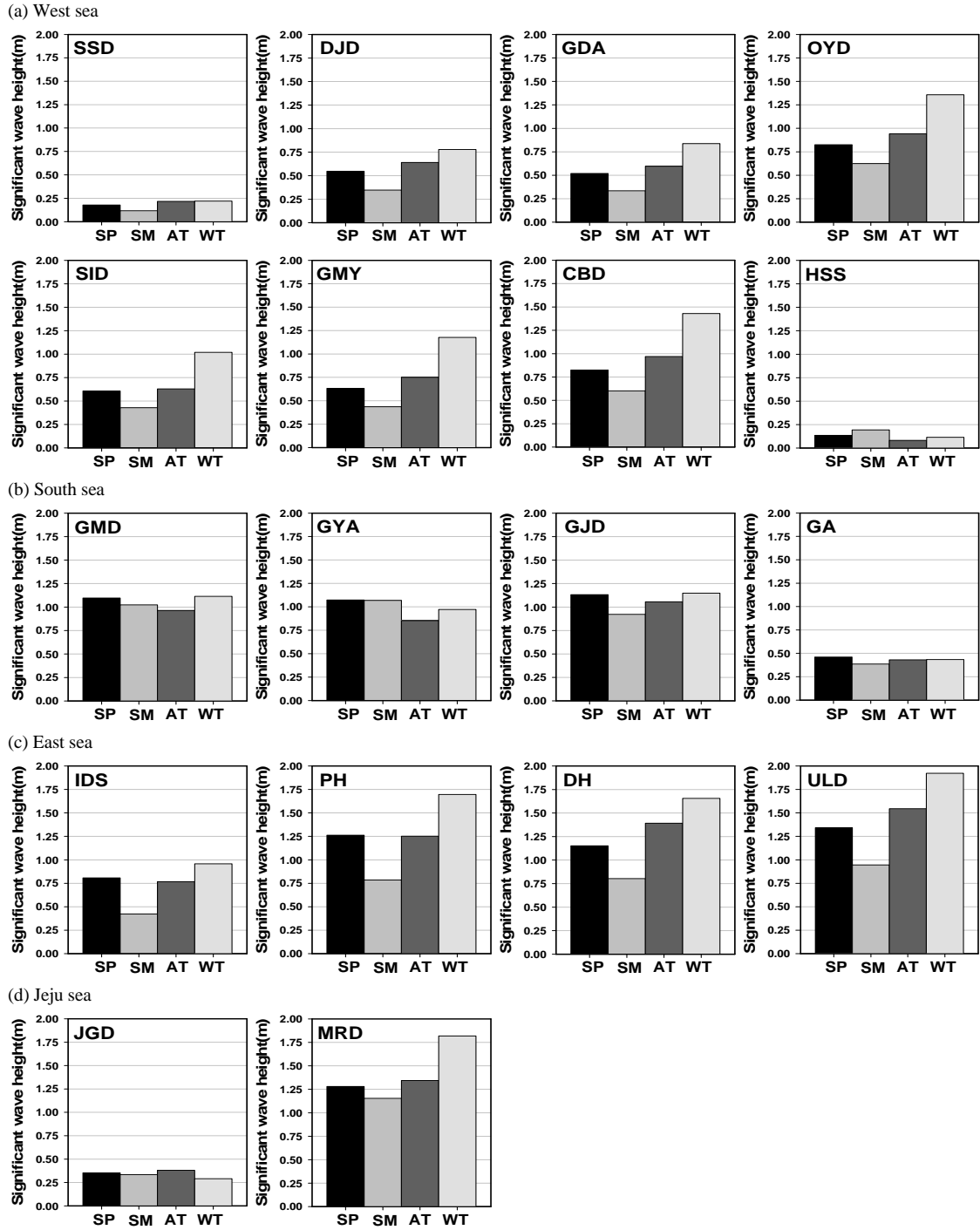


Fig. 3. Seasonal significant wave heights observed at marine meteorological buoys and AWS on lighthouse during 2010~2012 (SP, SM, AT and WT indicate spring, summer, autumn and winter, respectively).

음 절에서는 관측지점별 유의파고와 해상풍속의 상관관계 분석을 통해 해역별/계절별 유의파고 발달에 풍속이 미치는 영향을 파악하였다.

3.3. 해상풍속-유의파고 상관관계

Table 3은 기상부이/등표 18개 지점에서 관측된 풍속과 유의파고의 계절별 상관계수(Correlation coefficient)를 제시한 것이다. 이와 함께 기상부이 중 결측이 적고 연안의 영향을 상대적으로 적게 받는 해상에 위치하여 각 해역을 대표할 수 있다고 판단되는 4개 지점(외연도(OYD), 거제도(GJD), 동해(DH), 마라도(MRD) 부이)의 2010~2012년의 풍속, 유의파고 시계열을 Fig. 4에 나타내었다. 서해의 경우, 대부분의 지점에서 여름의 풍속-유의파고 상관성이 낮고 가을/겨울의 상관성이 높게 나타났다(서해지점 평균 봄 0.61, 여름 0.41, 가을 0.69, 겨울 0.67). 서해의 여름철 풍속-유의파고 상관성이 낮은 이유는 시기적으로 여름의 유의파고와 풍속 수준이 낮아 상관성을 찾기가 힘들기 때문으로 파악된다. 여름의 낮은 상관성은 외연도 기상부이(OYD)의 풍속, 유의파고 시계열(Fig. 4a)에서도 확인가능하다. 외연도에서 관측된 유의파고는 연도별 다소의 차이는 존재하나 6~8월동안 낮은

수준(평균 0.62 m)을 유지하다 9월 이후 높아지는 반면, 같은 기간 풍속은 약하고 기간 중 변화폭이 커서 상관성이 낮게 계산된 것으로 추정된다.

서해와 달리 남해에서는 지점평균 겨울 상관계수가 0.49로 가장 낮았고, 봄~가을은 비슷한 수준이었다(0.56~0.59). 거문도 부이(GMD)를 제외한 세 지점(간여암 등표(GYA), 거제도 부이(GJD), 광안 등표(GA))에서 겨울 상관성이 상대적으로 낮게 계산되었다. 이는 거제도 부이의 풍속과 유의파고 시계열(Fig. 4b)에서 보여지듯이 연중 풍속/유의파고의 변화가 뚜렷하지 않고, 상대적으로 풍속이 증가하는 11월~3월 동안에도 유의파고는 높지 않기 때문이다. 광안 등표(GA)에서의 풍속-유의파고 상관성은 봄~가을에는 0.30~0.37, 겨울은 0.12로 18개 관측지점 중 가장 낮았다. 광안의 경우, 연안에 근접하여 바람에 의한 파고발달보다는 해저지형이 낮아지며 발생하는 파고의 증폭에 의한 파고발달이 상대적으로 더 큰 영향을 미치기 때문(Ko 등, 2005)으로 이해된다.

동해에서는 이덕서 등표(IDS)를 제외하고 포항, 동해, 울릉도 부이에서 계절별 0.48~0.68의 상관관계를 보였다. 계절별로는 포항 부이(PH)는 여름(0.60), 동해 부이(DH)는 가을(0.62), 울릉도 부이(ULD)는 겨울(0.68)에

Table 3. The seasonal correlation coefficient between wind speed and significant wave height observed marine meteorological observation buoys and AWS on lighthouse during 2010-2012 ($p < .01$)

Sea	Station	Spring	Summer	Autumn	Winter
West sea	SSD**	0.62	0.17	0.70	0.71
	DJD*	0.75	0.53	0.80	0.74
	GDA**	0.67	0.31	0.75	0.73
	OYD*	0.75	0.68	0.81	0.80
	SID**	0.47	0.50	0.64	0.58
	GMY**	0.56	0.38	0.67	0.68
	CBD*	0.70	0.41	0.73	0.73
	HSS**	0.39	0.28	0.40	0.40
South sea	GMD*	0.72	0.64	0.72	0.75
	GYA**	0.57	0.58	0.60	0.49
	GJD*	0.69	0.63	0.68	0.61
	GA**	0.30	0.37	0.36	0.12
East sea	IDS**	0.27	0.35	0.48	0.35
	PH*	0.56	0.60	0.56	0.55
	DH*	0.48	0.55	0.62	0.57
	ULD*	0.64	0.55	0.64	0.68
Jeju	JGD**	0.48	0.61	0.45	0.25
	MRD*	0.75	0.58	0.76	0.77

* Marine meteorological buoy

** AWS on lighthouse

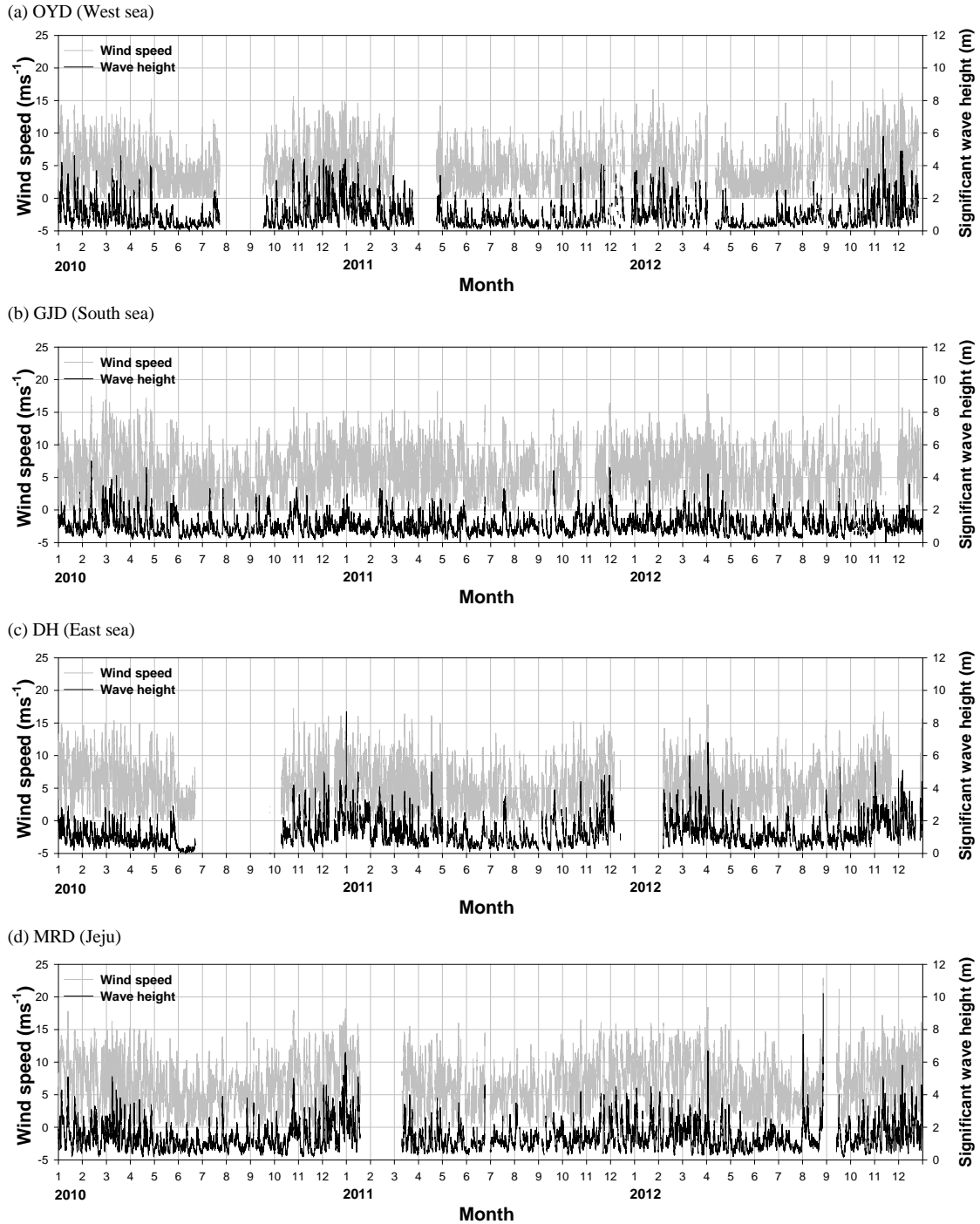


Fig. 4. Timeseries of wind speed and significant wave height observed from (a) OYD, (b) GMD, (c) DH and (d) MRD during 2010~2012.

가장 높은 상관을 보였고, 동해 부이의 봄철 풍속-유의파고 상관인 0.48로 가장 낮았다. 동해 부이(DH)의 풍속, 유의파고 시계열(Fig. 4c)을 확인하면 3년간 유의파고와 풍속의 변화경향이 유사하나 서해/남해와 비교하여 유의파고의 변화가 상대적으로 크고 태풍의 영향이 아님에도 불구하고 유의파고가 4 m 이상으로 높게 관측되는 사례가 있어 상관을 떨어뜨리는 원인으로 작용하였다.

제주해역의 지귀도 등표(JGD)와 마라도 부이(MRD)는 풍속-유의파고 상관계수의 차이가 크게 나타났다(계절별 상관: 지귀도 등표 0.25~0.61, 마라도 부이 0.58~0.77). 지귀도 등표의 경우, 계절별 상관계수의 편차가 크게 나타났는데, 여름은 0.61로 높은 상관성을 보인 반면, 겨울은 0.25로 매우 낮은 상관성을 보였다. 겨울에는 제주도 섬의 존재로 인하여(지귀도 등표의 북쪽에 제주도 위치) 북서계절풍이 파고 발달에 큰 영향을 주지 못하는 반면 여름은 남쪽에서 불어오는 계절풍으로 인하여 풍속과 유의파고의 상관계수가 높은 것으로 사료된다. 반면 마라도 부이는 여름상관(0.58)을 제외하고는 봄, 가을, 겨울 비교적 유사하게 높은 상관(0.75~0.77)이 유지되었다. 이는 마라도 부이의 풍속, 유의파고 시계열(Fig. 4d)에서 확인되듯이 여름의 상대적 낮은 유의파고 기간을 제외하고는 유의파고의 변화와 풍속의 변화가 비교적 일치하기 때문이다.

전반적으로 등표보다는 기상부이의 풍속-유의파고간 상관성이 높게 나타났고, 이는 앞서 언급하였듯이 연안으로 근접할수록 파고의 발달이 풍속의 영향보다는 낮아지는 해저지형의 영향을 크게 받기 때문이다. 기상부이만 고려하였을 때 해역별 해상풍속-유의파고의 상관성은 서해에서 가장 높았고, 남해, 동해 순으로 낮아졌으며, 제주도는 지점간 차이가 크게 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 기상청 해양기상부이(9개 지점)와 등표 기상관측지점(9개 지점)에서 관측된 3년간(2010~2012년)의 자료를 이용하여 한반도 주변해역의 계절별 해상풍과 유의파고 특성을 파악하였다. 해상풍의 경우 일차적으로는 한반도 계절풍(여름은 남동계절풍, 겨울은 북서계절풍)의 영향을 뚜렷이 반영하였고 해역규모의 지형영향(예로, 한반도)과 관측지점별 환경적 영향(관측지점 인

근 섬, 해안선의 모양, 해안선으로부터 떨어진 거리 등)에 따라 계절의 탁월풍과 풍속의 관측지점별 차이가 존재하였다. 전반적으로 여름은 한반도 남동계절풍의 영향하에 서해/동해는 남풍계열의 바람이, 남해에서는 해안선의 방향과 일치하는 동-서 방향의 바람이 빈도 높게 나타났고 겨울은 북서계절풍의 영향으로 전 해역에서 북풍계열의 해상풍 빈도가 높아지고 뚜렷한 풍속증가로 인하여 관측지점의 환경적 영향이 무시되는 특징을 보였다. 한반도 주변해역의 계절별 유의파고는 평균적으로 겨울이 가장 높고, 가을과 봄, 여름 순으로 낮아졌으나, 남해에서는 봄/여름에 비교적 높은 유의파고로 인하여 계절변화가 뚜렷하지 않았다. 몇몇 관측지점에서는 인근에 섬이 위치하거나 인근 내륙지형의 영향으로 해역의 평균적인 해상풍 및 유의파고 특성과 다소 차이가 있었다. 예로 해상풍은 갈매여, 해수서, 지귀도 등표에서 인근에 존재하는 섬의 위치에 따라 특정풍계의 바람빈도가 매우 낮게 관측되었고, 서수도, 해수서, 광안, 지귀도 등표는 여러 개의 섬으로 둘러싸인 지형이거나 내륙에 인접하여 특히 낮은 유의파고(계절평균 0.5 m 이하)가 관측되었다.

이상에서 제시한 기상부이와 등표에서 관측된 계절별 해상풍과 유의파고 특성을 통해 한반도 주변해역의 해상풍과 유의파고의 계절적 변화와 해역별 차이를 파악할 수 있었다. 이와 더불어 동일한 해역에 위치한 관측지점 일지라도 관측지점 주변의 지형적 조건에 따라 해상풍과 유의파고 특성이 다르게 나타날 수 있음을 확인하였다. 이러한 관측자료 기반의 한반도 주변해역에 대한 해양기상 특성과 관측자료에 대한 이해는 해양기상 예-특보의 정확도 향상에 기여할 수 있으며, 국내에서 빈번히 발생하는 태풍, 해수범람, 해일 등에 의한 기상재해 및 해상재난 대책 마련시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상기술개발사업(CATER 2012-2083)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

- Ahn, J.B., Kim, H.J., 2010, Characteristics of monsoon climate in the Korean Peninsula, *Journal of Climate Research*, Vol.5, No.2, 91-99.
- Chang, Y.S., Seo, J.W., Kim, T.H., Youn, Y.H., 2003, Analysis of wave parametric characteristics using WAVEWATCH-III model and observed buoy data, *The Sea*, Vol.8, No.3, 274-284.
- Choi, K.S., Byun, H.R., 2005, The onset and withdrawal of the warm season over Korea and the long-term changes of the related climates, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol.41, 301-314.
- Gu, H.S., 2008, The analysis of distribution characteristics of wind in Korea using steadiness index, *Journal of Climate Research*, Vol.3, No.2, 87-95.
- Jeong, Y.K., 2012, Cluster analysis of the 1000-hPa height field around the Korean Peninsula, *Journal of the Korean Earth Science Society*, Vol.33, No.4, 337-349.
- Kim, D.J., Cho, Y.K., Kang, K.M., Kim, J.W., Kim, S.H., 2013, Development of airborne remote sensing system for monitoring marine meteorology (Sea surface wind and temperature), *The Sea*, Vol.18, No.1, 32-39.
- Kim, Y.B., Kim, S.M., 2014, Marine meteorological characteristics by comparison of high wind-wave alert and moored buoy data off the coast of the East Sea between 2006 and 2013, *The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol.26, No.5, 1013-1025.
- KMA(Korean Meteorological Administration), 2014a, <http://www.kma.go.kr>
- KMA(Korean Meteorological Administration), 2014b, Monthly report of marine data.
- Ko, H.J., Pang, I.C., Kim, T.H., 2005, Relations between wave and wind at 5 stations around the Korean Peninsula, *Journal of Korean Earth Science Society*, Vol.26, No.3, 240-252.
- Oh, S.Y., Jang, S.W., Kim, D.H., Yoon, H.J., 2012, Temporal and spatial variations of SL/SST in the Korean Peninsula by remote sensing, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol.24, No.2, 333-345.
- You, S.H., 2009, Marine meteorological characteristics in 2006-2007 year near the Korean Peninsular : Wind waves, *Atmosphere*, Vol.19, No.1, 93-106.
- You, S.H., Kwun, J.H., Kim, J.S., 2009, Marine meteorological characteristics in 2006-2007 : Sea surface wind, *Atmosphere*, Vol.19, No.2, 145-154.
- You, S.H., Park, J.S., 2010, Research on wind waves characteristics by comparison of regional wind wave prediction system and ocean buoy data, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol.24, No.6, 7-15.