

동해 외해역 해양 기상 특성 및 풍랑특보와 부이 관측 자료 비교 (2006-2013년)

김윤배* · 김상미*

(†한국해양과학기술원 동해연구소 울릉도 · 독도해양연구기지 ·

*한국해양과학기술원 동해연구소 동해특성연구부)

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

Yun-Bae KIM† · Sang-Mi KIM

(†Korea Institute of Ocean Science and Technology(KIOST) · East Sea Research Institute)

Abstract

Marine meteorological characteristics off the coast in the East Sea between 2006 and 2013 were investigated by comparing the high wind-wave alert and moored-measured significant wave high. Monthly and yearly variations of the high wind-wave alert duration off the coast in the central part of the East Sea are correlated with those of the significant wave height measurement with their minima in June and 2008 and maxima in December and 2012. Both the high wind-wave alert duration and significant wave height increase remarkably during 2010-2013 when compared with during 2006-2009. The remarkable increase, occurring dominantly in December, seems to be related with Arctic oscillation variability. However, the comparisons reveal that only about a half of high wind-wave alerts satisfy the criteria for issuing the high wind-wave alert. To issue the high wind-wave alert, the wind speed at the sea should exceed 14 m/s or the significant wave height should be higher than 3 m. The high wind-wave alerts unsatisfying the significant wave height criteria are issued mainly during spring and summer. These results imply that additional surface buoy moorings in the open basin of the East Sea are necessary for more accurate issue of the high wind-wave alert.

Key words : East sea, Moored buoy, High wind-wave alert, Significant wave height

1. 서론

해양기상 환경의 이해와 예측을 위해서는 해양에서의 관측이 매우 중요하다. 해양기상은 해양에서 일어나고 있는 현상 중 해상교통·해양물류·어업·해안관광 등 인간의 해상 활동과 밀접하게

관련되어 있다. 그러므로 해양기상의 정확한 파악 및 예측은 크고 작은 해난 사고 대비를 통한 국민 안전 보호 및 예측 가능한 해상 활동을 위해 매우 중요한 요소이다 (Kim and Kang, 2011).

동해는 평균 수심 1,684 m에 이르는 심해 지형과 함께 한·난류가 교차하고 있어 다양한 어종

† Corresponding author : 054-791-8402, dokdo512@kiost.ac

※ 이 논문은 한국해양과학기술원(KIOST) 주요사업 <섬 효과 규명을 위한 울릉연근해 특성연구 (울릉도·독도해양연구기지 지원)>(PE99203)에 의해 연구되었음.

을 대상으로 한 조업 활동이 활발히 진행되고 있다. 또한, 동해에는 국가·사회적으로 중요한 섬인 독도와 함께 1만여 명의 주민과 연간 40만 명 이상의 관광객이 방문하는 울릉도가 위치하고 있어 해상 교통이 매우 활발하다. 이처럼 동해, 특히 울릉도와 독도 주변 해역의 해양기상은 여객선 및 조업 활동 가능일, 해안 관광, 월파 및 낙석에 의한 안전사고 등 교통 및 경제 활동 전반에 지대한 영향을 미치고 있다.

해양기상은 인간 생활뿐만 아니라 해안 지형 변화 및 연안 해양생태계에도 영향을 미친다. 해양기상 변화는 해안 침식의 자연적 원인이 될 수 있으며, 울릉도 및 독도와 같이 풍화에 매우 취약한 섬 지형 변화에 영향을 미칠 수 있다. 이상고파(abnormally high waves) 등 강한 파랑은 연안 암반에 부착된 해조류의 탈착을 증가시켜 암반 생태계에 영향을 줄 수 있으며, 해양기상에 의한 연안 흐름 변동은 해조류의 영양염 흡수율 변화를 일으켜 해조류의 성장에 직·간접적인 영향을 미칠 수 있다(Jackson and Winant, 1983). 또한, 해양기상 변화에 따른 활발한 해양-대기 상호작용은 해양 표면 혼합층 깊이를 변동시켜 해양-대기 간의 열 교환 및 표영 생태계의 먹이망 변동에도 중요한 영향을 미친다(Lim *et al.*, 2012).

해상에서 풍랑특보는 어선 및 여객선의 입·출항과 직접적으로 관련되어 어선의 조업 실적, 관광객의 이동 등에 큰 영향을 미치므로, 정확한 풍랑특보의 예측은 사회·경제적으로 매우 중요하다. 이러한 풍랑특보는 다양한 방법으로 수집된 해양기상 관측 자료를 토대로 발령된다.

해양기상 관측 자료는 해양기상부이(Ocean data buoy), 파고부이(Coastal data buoy), 자동기상 관측시스템(Automatic Weather System), 기상레이더, 기상관측선, 기상위성, 등표, 등대 등 다양한 관측 방법 및 장비를 활용하여 실시간으로 수집된다. 특히, 부이는 해상의 특정 위치에 계류되어 장기간의 자료를 수집할 수 있는 장점이 있다. 현재 기상청에서는 동해 관할 수역에 13개의 부

이를 운영하고 있다. 동해 연안역의 경우, 강원 토성, 강원 연곡, 강원 삼척, 경북 죽변, 경북 후포, 경북 구룡포, 울릉 혈암, 울릉읍, 울릉 구암, 독도 연안 등에서 10개의 파고 부이를 운영하고 있다. 그러나 동해 외해역의 경우, 포항 외해, 울릉도 서쪽 및 동쪽 등 단 3곳에서만 해양기상부이가 계류되어 있어 관측 영역이 매우 국한된 실정이다 [Fig. 1].

풍랑특보와 부이자료는 해양기상 변동 특성을 이해하는데 유용한 자료이다. 특히, 부이자료는 풍랑특보의 정확도를 검증하는데 유용하다. 이 연구는 동해 먼바다 풍랑특보 및 부이 관측 자료로부터 파고 특성에 초점을 맞춰 2006~2013년 동안의 동해 외해역 해양기상 특성을 이해하고, 부이 관측 자료를 토대로 동해 먼바다 풍랑특보 발령 기준의 적절성을 파악하는데 목적이 있다.

II. 자료

이 연구에서는 2006~2013년 동안의 동해 먼바다 해양기상 특성을 분석하기 위하여 2006년부터 2013년까지의 기상청 동해 남부 및 중부 먼바다 풍랑특보 발령 자료를 사용하였다. 기상청에서는 동해 남부 해역을 부산광역시와 울산광역시의 해안경계점과 북위 34도, 동경 130도의 지점을 연결하는 선에서 경상북도와 강원도의 해안 경계점의 위도선간의 동해역으로 정의하며, 동해 중부 해상은 경상북도와 강원도의 해안 경계점의 위도선과 북위 39도선간의 해역으로 규정한다. 이 연구에서 풍랑특보 발령 기간은 각각의 풍랑특보 발표 발효시부터 풍랑특보 해제 발효시까지의 지속 시간을 의미한다. 풍랑특보의 년별 및 월별 발령 기간은 각 풍랑특보 지속 기간의 연별 및 월별 합을 나타낸다.

또한 이 연구에서는 <Table 1> 및 [Fig. 1]과 같이 기상청에서 동해 먼바다에 설치한 3곳의 해양기상부이 관측 자료를 사용하였다. 또한 울

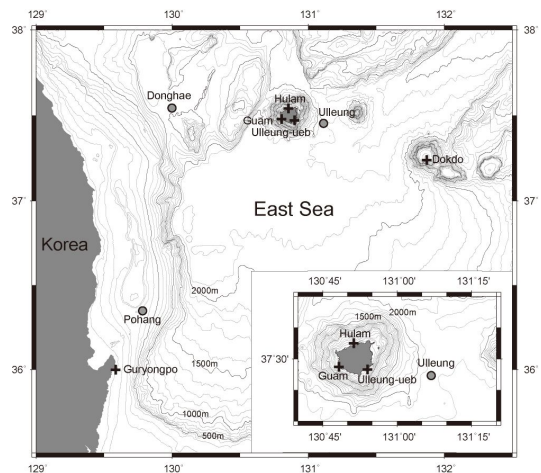
릉도 및 독도 연안의 파고 특성을 이해하기 위하여 울릉도 연안 3곳(혈암, 구암, 울릉읍), 독도 연안 및 구룡포 연안에 설치된 기상청 파고부이 자료를 사용하였다. 해양기상부이는 파고, 파주기, 파향, 풍향, 풍속, 기압, 표층수온을 측정하는 반면에, 파고부이는 파고, 파주기, 표층수온만을 측정하는 차이점이 있다. 최대파고, 유의파고 등 부이 자료 간격은 1시간이다. 자료기간은 2006년

1월부터 사용된 동해 해양기상부이를 제외하고, 각 부이의 최초 설치 직후부터 2013년 12월 31일 까지이다. 부이 자료는 계류선의 교체 및 훼손 등에 따라 결측 기간과 함께 센서의 문제로 갑작스럽게 튀는 자료가 존재하는 문제가 있다. 그러므로 부이의 관측율을 함께 표시하였다. 이 연구에서 사용된 평균 유의파고 및 평균 풍속은 이러한 결측을 제거한 기간 동안의 평균을 의미한다.

<Table 1> Description of buoys in the East Sea operated by KMA

Buoy		Location	Period	Observation variables
Ocean data buoy	Ulleung	37° 27.325' N 131° 06.867' E	2011.12.28~2013.12.31	wind direction, wind speed, air temperature, surface temperature, wave(height, period, direction), air pressure, humidity
	Donghae	37° 32.650' N 130° 00.000' E	2001.5.18~2013.12.31	
	Pohang	36° 21.000' N 129° 47.000' E	2008.11.14~2013.12.31	
Coastal data buoy	Hulam (Ulleungdo)	37° 32.483' N 130° 51.250' E	2012.01.01~2013.12.31	wave height, wave period, surface temperature
	Dokdo	37° 14.316' N 131° 52.283' E	2012.01.01~2013.12.31	
	Ulleung-ueb	37° 28.283' N 130° 54.017' E	2012.11.27~2013.12.31	
	Guam (Ulleungdo)	37° 28.733' N 130° 48.267' E	2012.01.10~2013.12.31	
	Guroyngpo	35° 59.867' N 129° 35.167' E	2012.01.01~2013.12.31	

풍랑특보와 부이 자료의 비교를 위해 각각의 풍랑특보 발효 기간 동안 풍랑특보 발령 기준에 적합한 풍속 및 유의파고가 부이 자료에서 관측되었는지를 검토하였다. 기상청 예보업무규정(기상청 훈령 제760호: 2013.10.25 일부개정)특보 발령 기준에 따르면, 해상에서 풍속 14 m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3 m 이상이 예상될 때 풍랑주의보를 발령하며, 해상에서 풍속 21 m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 5 m 이상이 예상될 때 풍랑경보를 발령한다. 포항 외해에 설치된 해양기상부이는 동해 남부 먼바다 풍랑특보와 비교하였으며, 울릉도 서쪽 및 동쪽에 설치된 해양기상부이는 동해 중부 먼바다 풍랑특보와 비교하였다. 부이 결측 동안의 부이 자료와 풍랑특보의 비교는 제외하였다.



[Fig. 1] Geographic map and buoy locations (Ocean data buoys marked by circle and coastal data buoys marked by cross) operated by KMA

[Fig. 1]은 각 부이의 설치 위치와 해저 지형을 나타낸다.

Ⅲ. 결 과

1. 동해 남부 및 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령 분포

<Table 2>와 <Table 3>은 각각 2006~2013년까지 8년 동안의 동해 남부 먼바다 및 동해 중부 먼바다의 월별 및 연별 풍랑특보 발령 기간 합을 나타낸다. 월평균 풍랑특보 발령일은 동해 남부 및 동해 중부에서 6월이 각각 1.4일, 0.7일로 가장 낮다. 6월의 경우 2011년에 발령일이 특히 많은데, 이는 2011년 6월 25~27일 사이에 한반도에 영향을 미친 태풍 메아리(MEARI) 때문으로 고려된다. 동해 남부 및 중부 먼바다에서 8월 평균 발령일은 각각 1.9일, 2.0일로 6월 다음으로 낮다. 8월 또한 태풍 영향에 따라 풍랑특보 발령일의 연 변동이 크다. 2012년 8월의 경우, 2개의 태풍(볼라벤 8/28~8/29, 탐빈 8/30~9/1) 영향으로 동해 남부 해역에서 풍랑특보 발령일이 가장 많다 <Table 2>. 즉, 여름철에는 주로 태풍 영향에 따라 풍랑특보의 연 변동이 크게 달라진다.

<Table 2> Yearly and monthly variations of the high wind-wave alert duration off the coast in the southern part of the East Sea between 2006 and 2013

Y M	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mean
1	6.6	4.0	8.8	12.3	9.4	13.5	9.2	8.4	9.2
2	5.2	3.5	5.7	4.8	10.6	6.8	9.2	5.8	6.4
3	6.0	6.6	2.7	7.6	13.2	6.0	12.7	6.6	7.7
4	13.4	3.8	3.3	6.7	8.3	8.4	6.2	5.6	7.0
5	1.8	2.6	3.3	4.5	5.6	5.1	2.2	1.4	3.3
6	0.8	0.8	2.6	1.4	0	3.7	1.7	0	1.4
7	2.3	1.8	0	4.9	1.0	4.1	2.5	2.2	2.3
8	2.3	1.3	2.3	3.2	1.0	0.8	3.3	1.2	1.9
9	6.6	6.5	0.5	3.1	6.9	10.1	2.0	2.4	4.7
10	5.0	1.4	0	5.2	9.1	3.9	2.5	8.5	4.4
11	9.9	4.7	7.8	9.6	8.5	7.1	11.0	9.3	8.5
12	6.4	2.8	7.7	8.5	15.5	11.8	14.6	13.1	10.1
Total	65.9	39.6	44.8	71.8	89.0	81.4	77.0	64.5	-

6월과 8월의 풍랑특보 발령일이 낮은 반면에, 12월 평균은 동해 남부 및 중부 해역에서 각각 10.1일, 10.5일로 풍랑특보 발령일이 연중 가장 높다. 즉, 12월은 평균적으로 한 달 중 1/3 이 풍랑특보의 영향을 받고 있다. 12월은 동해 해양기상부이 관측 자료에 따르면, 월 평균 풍속이 7.04 m/s 로 연중 가장 강한 북서풍이 영향을 미치는 때이다 [Fig. 3]. 1월의 풍랑특보 발령일 평균은 동해 남부 및 중부에서 각각 9.2일과 9.5일로 12월 다음으로 높다. 4월의 풍랑특보 발령일 평균은 10월에 비해 동해 남부 및 동해 중부 해역 모두에서 높게 나타난다.

<Table 3> Yearly and monthly variations of the high wind-wave alert duration off the coast in the central part of the East Sea between 2006 and 2013

Y M	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mean
1	2.9	3.7	8.8	15.2	12.8	13.9	7.8	9.3	9.5
2	6.7	4.7	5.7	6.0	8.6	6.7	10.1	8.5	7.1
3	5.4	6.6	1.4	7.0	11.3	4.5	9.2	6.2	6.5
4	7.8	3.3	1.2	6.8	3.9	6.7	6.5	4.8	5.1
5	2.3	2.7	2.0	0.5	5.2	2.1	1.2	1.1	2.1
6	0.6	0	0.4	0.9	0	3.1	0.5	0	0.7
7	1.8	3.5	0	3.4	1.0	3.6	3.8	2.1	2.4
8	2.5	1.1	4.5	0.9	1.9	0.8	2.7	1.5	2.0
9	3.9	6.1	1.9	0.6	4.3	7.8	2.6	3.1	3.8
10	4.3	1.9	1.3	5.0	4.0	3.8	6.6	9.3	4.5
11	10.4	6.5	7.9	8.3	8.9	7.2	14.2	10.7	9.3
12	6.7	4.8	9.2	10.0	15.0	10.8	13.7	13.9	10.5
Total	55.2	45.0	44.3	64.5	76.8	70.9	78.9	70.5	-

연 변동 특성의 경우, 2006~2009년 동안 4년간의 동해 남부 및 동해 중부 먼바다에서 발령일의 합은 각각 222.2일, 208.9일이다. 그러나 2010~2013년 동안 합은 311.9일과 297.1일로, 동해 남부 및 중부에서 각각 2010~2013년에 이전 시기보다 약 1.4배 풍랑특보 발령일이 증가하였다. 이러한 풍랑특보 발령일의 최근 4년간 증가는 겨울철, 특히 12월에 우세하다. 12월 풍랑특보 발령일의 합은 2006~2009년 기간에 비해 2011~2013년 기간에 약 2배 증가하였다.

풍랑특보 발령 횟수는 동해 남부 먼바다에서는 373회로 연 평균 46.6회, 동해 중부 해역에서는 352

회로 연 평균 44.0회였다 <Table 4>. 6월에 동해 남부 및 중부 해역에서 풍랑특보 발령 횟수가 가장 적었으며, 반면에 11월, 12월, 1월에 발령 횟수가 많았다. 12월은 발령 횟수가 많을 뿐만 아니라 풍랑특보의 월 평균 발령 지속 기간 또한 가장 길었다.

반면에 6월은 발령 횟수가 가장 적을 뿐만 아니라, 발령 지속 기간 또한 동해 중부 해역의 경우 가장 짧았다. 최대 풍랑특보 발령 지속 기간은 동해 중부 해역에서 2009년 1월에 6.75일(1월 8일 17시부터 1월 15일 11시까지)이었다.

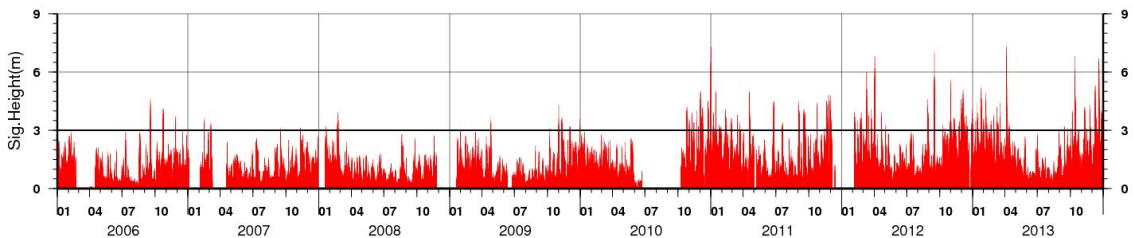
<Table 4> Monthly frequency and monthly mean duration of the high wind-wave alert off the coast in the southern and central part of the East Sea between 2006 and 2013

Region \ Month		Month												Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Southern part	Frequency	49	42	45	51	23	11	19	16	23	22	43	47	373
	Duration	1.47	1.23	1.36	1.09	1.15	0.98	0.98	0.97	1.65	1.61	1.58	1.71	-
Central part	Frequency	47	44	37	38	18	6	18	14	22	28	47	49	352
	Duration	1.58	1.29	1.39	1.08	0.94	0.92	1.06	1.13	1.38	1.30	1.58	1.72	-

이러한 풍랑특보 발령 등에 따라 포항과 울릉 간을 운항하는 여객선의 경우, 2012년에는 95일 결항(편도운항 및 회항 제외, 결항률 26.0%), 2013년에는 83일 결항(결항률 22.7%)을 보였다. 이러한 결항은 특히, 12~1월에 각각 2012년과 2013년에 33일, 31일로 전체 결항일 중 34.7%, 37.3%를 차지하였다.

가. 동해 해양기상부이의 파고 및 풍향 특성
 동해 해양기상부이는 기상청이 동해에서 운영 중인 부이 중 가장 오랫동안 유지되고 있는 부이이다. 2006~2013년 동안 동해 해양기상부이에 관측된 최대 유의파고는 2011년 1월 1일에 8.7 m 이었다 [Fig. 2]. 이러한 이상 고파의 영향으로 2011년 1월 1일에 울릉도 북서쪽에 위치한 현포항내에 정박 중인 3.4톤 규모 어선이 침몰하는 사고가 발생하였다.

2. 부이 관측 자료를 통한 파고 및 풍향 특성



[Fig. 2] Significant wave height observed by the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

2006~2013년 동안 동해 해양기상부이에서 관측된 최대파고 중 상위 10개 발생 사례는 4월에 3차례로 가장 많다. 태풍시기인 9월과 10월에 각각 2차례, 겨울철인 12월에 2차례 등을 제외하면 주로 4월과 겨울철(12월~1월)에 이상 고파 발생이 집중하였다 <Table 5>. 2006년 10월 24일에

발생한 이상 고파를 분석한 Jeong et al.(2007)은 동해상에 발달한 온대성 저기압에 의한 강풍 때문에 풍파와 너울이 증첩되면서 파고 상승효과가 극대화되어 이상 고파가 발생하였다고 하였다. 동해상에서 발달한 온대성 저기압에 의한 강풍을 동해선풍으로 정의한다. 동해선풍은 10월부터 그

다음해 4월에 걸쳐서 주로 겨울철에 연평균 4회 정도 발생하는 것으로 알려져 있다 (Kim, 1972).

<Table 5> The ten abnormally high waves observed by the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

Ranking	Observation date	Maximum height(m)	Remark
1	2011.01.01	13.7	
2	2012.09.17	13.2	Typhoon Sanba
3	2012.04.03	12.1	-
3	2013.04.07	12.1	-
3	2013.12.20	12.1	-
6	2006.09.18	11.1	Typhoon Sansan
7	2013.10.15	10.9	Typhoon Wipha
8	2013.12.10	9.7	
8	2011.04.19	9.7	-
9	2006.10.24	9.2	-
9	2011.11.30	9.2	-

동해 해양기상부이에서 관측된 2006~2013년 동안 유의파고의 월 평균은 6월이 0.61 m로 연 중 가장 낮으며, 12월은 1.59 m로 연 중 가장 높다 <Table 6>. 유의파고의 월 변동은 <Table 3>의 풍랑특보의 월 변동과 매우 유사하지만, 유의파고의 월 평균 값은 4월이 10월보다 낮고, 풍랑특보 발령일의 경우 4월이 10월보다 높은 점이 차이가 있다.

<Table 6> Monthly mean significant wave height(m) observed by the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

Month	1	2	3	4	5	6
Wave height(m)	1.49	1.30	1.22	1.04	0.79	0.61
Month	7	8	9	10	11	12
Wave height(m)	0.68	0.66	0.93	1.07	1.38	1.59

<Table 7>은 동해 해양기상부이에서 관측된 2006~2013년 동안의 연평균 유의파고를 나타낸다. 부이 관측 자료는 센서 및 계류선 교체 등에 따라 결측 기간이 존재하기 때문에 관측율을 함께 나타내었다. 2007년과 2010년을 제외하고 관측율이 80% 이상이다. 연평균 유의파고는 2008년에 0.70 m로 최저,

2012년에 1.37 m로 최고를 보인다. 연평균 풍랑특보 발령일 또한 2008년에 최소, 2012년에 최대를 보였다 <Table 3>.

<Table 7> Yearly mean significant wave height and observation rate at the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

Year	2006	2007	2008	2009
Significant wave height(m)	0.83	0.84	0.70	0.81
Observation rate(%)	85.2	79.3	85.8	90.9
Year	2010	2011	2012	2013
Significant wave height(m)	1.10	1.29	1.37	1.33
Observation rate(%)	67.5	86.8	87.5	99.9

2006~2009년과 2010~2013년 사이의 유의파고의 증가가 주목된다. 2010~2013년 동안의 유의파고의 평균은 1.27 m로, 2006~2009년 동안의 평균 0.80 m에 비해 약 1.6배 높다. 이러한 최근의 유의파고 변동 증가는 풍랑특보 발령일의 변동 경향과 유사하다.

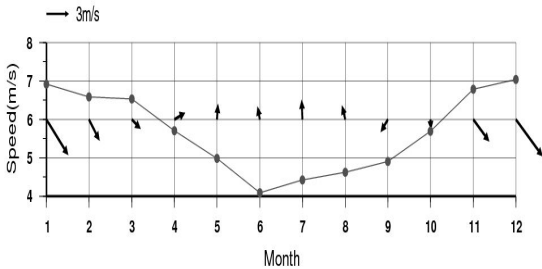
동해 해양기상부이에서 관측된 바람은 주로 북서풍 혹은 북동풍 계열의 바람이 상대적으로 출현율이 높다 <Table 8>. 특히, 북서풍 유입 시 유의파고가 높게 나타나며 풍속이 강하다.

<Table 8> Directional occurrence rate, mean significant wave height and wind speed observed by the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

	NE	SE	SW	NW
Occurrence rate(%)	24.3	23.6	23.5	28.6
Significant wave height(m)	1.07	0.90	0.87	1.20
Wind speed(m/s)	6.44	5.08	6.13	6.95

이러한 북서풍 바람은 주로 11~3월 사이에 나타난다 [Fig. 3]. 월 평균 바람 특성은 9~12월, 1~3월에

는 북풍 계열의 바람이, 4~8월에는 남풍 계열의 평균 풍향이 나타난다. 월 평균 풍속의 경우, 연 중 12월과 1월에 각각 7.04 m/s, 6.92 m/s로 강하며, 6월과 7월에 각각 4.09 m/s, 4.43 m/s로 상대적으로 약하다. 2006~2013년의 관측기간 평균 풍속은 5.61 m/s, 최대 풍속은 태풍 산산 영향 시기인 2006년 9월 18일에 21.0 m/s이었다.



[Fig. 3] Monthly mean wind vector and wind speed (black line) observed by the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013

나. 해역별 파고 특성

해역별 파고 특성을 비교하기 위해 동일 기간에 관측된 동해 외해역 및 연안역 부이 관측 자료를 분석하였다. 2012~2013년 동안 평균 유의파고는 울릉 해양기상부이 > 동해 해양기상부이 > 포항 해양기상부이 > 혈암 파고부이 (울릉) > 독

도 파고부이 > 구룡포 파고부이 > 구암 파고부이 (울릉) 순으로 높다 <Table 9>. 전반적으로 외해역에 설치된 해양기상부이의 평균 유의파고는 연안에 근접하여 설치된 파고부이의 값보다 높다.

관측 부이 중 외해역의 영향을 가장 많이 받을 것으로 고려되는 울릉 해양기상부이의 경우, 5월과 9월을 제외하고 관측 부이 중 연 중 월 평균 유의파고가 가장 크다. 그러나 5월과 9월은 외해역에 설치된 해양기상부이 중 울릉 해양기상부이가 월 평균 유의파고에서 가장 낮다. 이러한 경향은 2012~2013년 동안 5월과 9월에 동해 중부 해역의 풍랑특보 발령일이 동해 남부 해역 발령일에 비해 적은 경향과 유사하다 <Table 2, 3>. 동해 해양기상부이의 월 평균 유의파고는 포항 해양기상부이에 비교하여 9월을 제외하고 연 중 높다. 독도 파고부이의 경우, 비록 관측 부이 중 가장 외해에 위치하고 있지만, 비교 자료 중 육지와 가장 근접하며 (독도 동도 망양대 동쪽 약 0.1 km 해상에 설치) 절벽으로 둘러싸인 해안 지형의 영향으로 외해역 부이에 비교하여 상대적으로 낮은 것으로 고려된다.

월별 변동 특성은 혈암 및 구룡포 파고부이 자료를 제외하고 모든 부이 자료에서 6월이 연 중 유의파고가 가장 낮으며, 구룡포 파고부이를 제외하고 12월이 연 중 유의파고가 가장 높다.

<Table 9> Monthly mean significant wave height(m) at buoys between 2012 and 2013

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
Ocean data buoy	Donghae	1.86	1.74	1.62	1.43	0.96	0.78	0.82	0.83	1.10	1.48	1.84	2.13	1.35
	Pohang	1.62	1.49	1.46	1.24	0.93	0.74	0.75	0.80	1.17	1.38	1.62	1.81	1.23
	Ulleung	1.96	1.82	1.67	1.45	0.89	0.78	1.05	0.90	1.07	1.58	1.98	2.37	1.42
Coastal data buoy	Hulam	1.71	1.64	1.29	0.98	0.61	0.56	0.48	0.49	0.82	1.18	1.69	1.86	1.10
	Guam	1.01	0.95	0.97	1.00	0.54	0.34	0.78	0.66	0.47	0.65	1.13	1.14	0.81
	Dokdo	1.13	1.03	1.10	1.08	0.72	0.65	0.90	0.76	0.71	0.95	1.18	1.21	0.93
	Guryongpo	1.06	0.91	0.99	0.89	0.71	0.64	0.50	0.52	0.76	1.05	0.80	0.96	0.82

다. 울릉도 연안 파고 특성

[Fig. 4]는 2012~2013년 동안 울릉도 연안에서

0.4~0.8 km 해역에 설치된 3개의 파고부이(혈암, 구암, 울릉읍)에서 관측된 월별 유의파고와 울릉 해양기상부이에서 관측된 월별 바람벡터 분포이

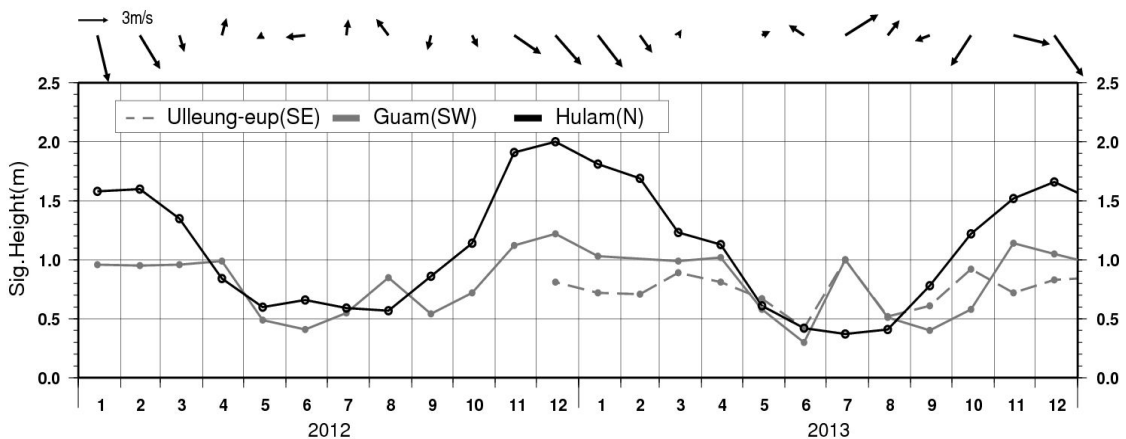
다. 파고부이에는 풍향-풍속 센서가 장착되어 있지 않으므로 외해역에 설치된 해양기상부이 자료를 사용하였다.

울릉도 북쪽 연안에 위치한 혈암 파고부이는 2012년 1~2월, 2012년 11월~2013년 2월, 2013년 11~12월 등 겨울철에 월 평균 1.5 m 이상의 유의 파고를 보인 반면에, 2012년 4~9월, 2013년 5~9월 등 주로 봄철과 여름철에는 월 평균 1.0 m 미만의 낮은 파고가 나타난다. 여름철 혈암 파고부이에서 관측된 파고는 2013년 7~8월 경우처럼 울릉도 남쪽 연안에 설치된 구암 혹은 울릉읍 파고부이 보다 낮다.

울릉도 남쪽 연안과 북쪽 연안의 파고 분포 차이는 울릉도 주변의 풍향과 밀접한 관련이 있다. 북풍 계열의 바람이 강할 때에는 울릉도 북쪽 연안의 파고가 높은 반면에, 2013년 7~8월처럼 남풍 계열의 바람이 강할 때는 울릉도 남쪽 연안의 파고가 높다 [Fig. 4]. 울릉도는 해발 984 m의 정상부와 함께 동서 방향 약 11 km, 남북 방향 약 10 km의 오각형 모양의 형상을 갖는다. 또한 울릉도 대부분의 해안선은 절벽 형태의 지형을 나타낸다. 연안에 근접하여 설치된 부이에 대하여

섬의 폭에 비해 상대적으로 높으면서 절벽 형태의 해안선을 갖는 울릉도 지형은 풍향에 따른 울릉도 남쪽과 북쪽 연안 부이사이의 파고 분포 차이에 영향을 미칠 것으로 고려된다.

울릉도 지형과 풍향에 따른 남쪽과 북쪽 연안의 파고 분포 차이는 태풍 진로의 영향과도 유사하게 나타난다. 울릉도 서쪽 약 140 km해상을 통과한 태풍 산바(2012/9/17, 985hPa) 때에는 울릉도 주변이 태풍의 오른쪽에 있어 남서풍 영향으로 울릉도 남서쪽에 위치한 구암 파고부이에서 최대 파고 7.8 m가 관측된 반면에, 북쪽에 위치한 혈암에서는 상대적으로 낮은 4.5 m가 관측되었다. 그러나 울릉도 동쪽 약 200 km 해상을 통과한 태풍 다나스(2013/10/8, 991hPa) 때에는 울릉도 주변이 태풍의 왼쪽에 있어 북동풍의 영향으로 울릉도 북쪽에 위치한 혈암에서는 최대파고가 4.4 m가 관측된 반면에, 남서쪽에 위치한 구암에서는 최대파고가 1.6 m로 매우 낮았다. 즉, 태풍의 진로와 관련된 울릉도 주변의 풍향에 따라 울릉도 남쪽과 북쪽 연안의 파고 분포가 다르게 나타나는 것으로 고려된다.



[Fig. 4] Monthly mean significant wave height(m) observed by the coastal data buoys near the Ulleungdo and monthly mean wind vector observed at the Ulleung ocean data buoy between 2012 and 2013

울릉도 연안 파고부이는 비록 연안으로부터 0.4~0.8 km 이내에 매우 가깝게 위치하고 있지만, 최대파고 6 m 이상의 이상 고파가 빈번히 관측되었다. 혈암 및 울릉읍 파고부이에서 관측된 최대파고는 각각 10.1 m(2012/4/3), 6.2 m(2013/11/25)로 4월과 11월에 관측되었다. 그러나 울릉도 남서쪽에 위치한 구암 파고부이에서 관측된 최대파고는 태풍 산바 영향 시기에 7.8 m(2012/9/17)이었다.

3. 풍랑특보와 부이 관측 자료 비교

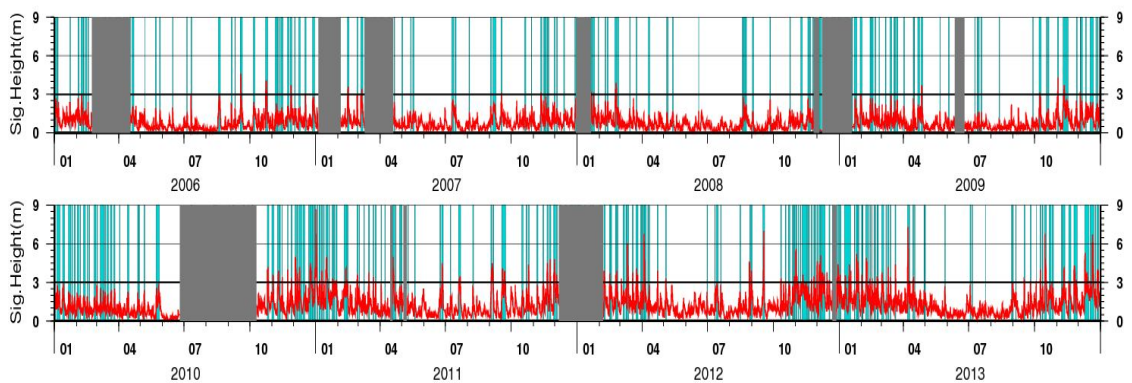
<Table 10>은 2006~2013년에 동해 해양기상부이의 결측 기간을 제외한 관측기간 동안 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령 횟수(A)와 함께 동해 해양기상부이 관측 기간 동안 발령된 풍랑특보

중 동해 해양기상부이에서 풍속 14 m/s 이상 혹은 유의파고 3 m 이상이 관측된 풍랑특보 발령 횟수(B)를 나타낸다. 또한 동해 해양기상부이 관측 기간 동안 발령된 풍랑특보 중 동해 해양기상부이에서 관측된 최대파고가 3 m 미만이었지만 풍랑특보가 발령된 횟수(C)도 함께 나타내었다.

2006~2013년 동안 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령횟수는 총 352차례이며, 이 중 동해 해양기상부이가 결측으로 자료가 없는 기간을 제외하면 풍랑특보 발령 횟수는 286차례이다. 풍속 14 m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3 m 이상이 예상될 때 풍랑주의보를 발령하므로, 동해 해양기상부이의 풍속 및 유의파고 자료를 통해 풍랑특보 발령의 적절성을 비교하였다 <Table 10> [Fig. 5].

<Table 10> Frequency of high wind-wave alert off the coast in the central part of the East Sea during observation of the Donghae ocean data buoy between 2006 and 2013 (A : Frequency of high wind-wave alert during buoy observation, B : Frequency of high wind-wave alert with the wind speed exceeding 14 m/s or significant wave height more than 3 m, C : Frequency of high wind-wave alert with the maximum wave height less than 3 m)

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
A	28	24	24	38	36	42	44	50	286
B	10	7	8	14	17	26	24	31	137
B/A (%)	35.7	29.2	33.3	36.8	47.2	61.9	54.5	62.0	47.9
C	0	1	3	7	2	1	2	4	20



[Fig. 5] Significant wave height (red) at the Donghae ocean data buoy and the duration (cyan) of high wind-wave alert off the coast in the central part of the East sea between 2006 and 2013

풍랑특보 발령 기간 동안 풍속 14 m/s 이상이 관측되거나 유의파고 3 m 이상이 관측된 사례는 286회 중 137차례로 47.9%의 비율을 보였다. 이러한 풍랑특보 발령기준에 적합한 관측비율은 2006~2009년에는 37% 미만으로 낮다가 2011~2013년에는 55~62%로 증가하는 경향을 보였다. 2011년 이후 풍랑특보 발령기준에 적합한 풍랑특보 발령 비율의 증가는 통신해양기상위성인 천리안 위성의 등장(2011.4.1 정규운영개시), 기상청 슈퍼컴퓨터 3호기 도입 (2011.5.23 현업운영 개시) 등 기상관측 인프라 및 수치 예보 시스템 개선과 관련된 것으로 고려된다. 한편 유의파고가 아닌 최대파고를 기준하였을 때, 풍랑특보 발령 기간 동안 최대파고가 3 m 미만이었지만 풍랑특보가 발령된 횟수는 총 20회로 전체 발령 횟수의

7%이다.

<Table 11>은 풍랑특보 발령 기준에 적합한 풍랑특보 발령율이 비교적 높았던 2011~2013년 동안 월별 풍랑특보 발령 횟수와 풍랑특보 발령 기준에 적합한 관측값을 보인 풍랑특보 발령 횟수를 나타낸다. 2011~2013년에 동해 해양기상부 이 관측 기간 동안 동해 중부 먼바다에서 136차례의 풍랑특보가 발령되었으며, 이 중 59.6%인 81차례만이 동해 해양기상부이에서 풍속 14 m/s 이상 혹은 유의파고 3 m 이상이 관측되었다. 풍랑특보 발령기준에 적합한 풍랑특보 발령율을 월별로 보면, 1월과 12월에는 각각 80.0%와 85.7%로 높지만, 4~7월에는 20.0~37.5%로 매우 낮다. 즉, 봄철과 여름철에는 풍랑특보 발령 기준에 적합한 풍랑특보 발령율이 겨울철보다 매우 낮다.

<Table 11> Monthly mean frequency of the high wind-wave alert off the coast in the central part of the East Sea during observation of the Donghae ocean data buoy between 2011 and 2013 (See the text of <Table 10> about A and B)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
A	15	18	16	18	5	3	8	6	7	17	16	7	136
B	12	13	10	6	1	1	3	3	5	11	10	6	81
B/A (%)	80.0	61.5	62.5	33.3	20.0	33.3	37.5	50.0	71.4	64.7	62.5	85.7	59.6

기상청에서는 동해 해양기상부이 외에 울릉(동해 중부 먼바다 위치)과 포항(동해 남부 먼바다 위치) 해양기상부이를 운용하고 있다. 2012~2013년 사이에 울릉 해양기상부이 관측 동안, 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령 횟수 중 울릉 해양기상부이에서 풍속 14 m/s 이상 혹은 유의파고 3 m 이상이 관측된 사례는 63.6%의 비율을 보였다 <Table 12>. 이러한 비율은 같은 기간 동해 해양기상부이와 동해 중부 먼바다의 경우인 58.5%보다 약 5% 증가한 수준이다. 2012~2013년 사이에 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령 중 동해 해양기상부이의 최대파고가 3 m 미만임에도 풍랑특보가 발령된 사례가 6차례이었지만, 울릉 해양기상부이에서는 한 차례도 없었다. 이러한 결과는 동해 중부 먼바다의 경우, 풍랑특보 발령 구역을

더 세분화할 필요성이 있음을 보여준다.

<Table 12> Frequency of the high wind-wave alert off the coast in the central part of the East Sea during observation of the Ulleung ocean data buoy between 2012 and 2013 (See the text of <Table 10> about A, B and C)

Year	2012	2013	Total
A	57	42	99
B	38	25	63
B/A (%)	66.6	59.5	63.6
C	0	0	0

2009~2013년 사이에 포항 해양기상부이 관측 동안 동해 남부 먼바다 풍랑특보 발령 횟수 중

포항 해양기상부이에서 풍속 14 m/s 이상 혹은 유의파고 3 m 이상이 관측된 비율은 50.9%였다 <Table 13>. 이러한 비율은 같은 기간 동해 해양 기상부이를 기준으로 한 동해 중부 먼바다 풍랑 특보 적합율(53.3%)보다 낮다. 2009~2013년 사이에 동해 해양기상부이에서 최대파고가 3 m 미만임에도 동해 중부 먼바다에서 풍랑특보 발령된 사례는 16차례이었지만, 같은 기간 동안 포항 해양기상부이에서 최대파고가 3m미만임에도 동해 남부 먼바다에서 풍랑특보가 발령된 사례는 30차례로 약 2배 이상 증가하였다. 이러한 결과는 동해 중부 해역에 비해 동해 남부 해역이 풍랑특보 예측의 정확도가 낮음을 보여준다. 동해 남부 해역이 동해 중부 해역보다 상대적으로 활발한 조업 및 여객선 운항 활동을 고려할 때 동해 남부 해역의 풍랑특보 정확도를 높이기 위한 개선책이 요구된다.

<Table 13> Frequency of high wind-wave alert off the coast in the southern part of the East Sea during observation of the Pohang ocean data buoy between 2009 and 2013 (See the text of <Table 10> about A, B and C)

Year	2009	2010	2011	2012	2013	Total
A	45	49	41	52	43	230
B	21	21	24	26	25	117
B/A(%)	46.7	42.9	58.5	50.0	58.1	50.9
C	11	2	4	7	6	30

IV. 결론 및 토의

이 연구에서는 동해 해상기상 변동 특성을 조사하기 위하여 2006~2013년 동안 동해 남부 및 동해 중부 먼바다 풍랑특보 및 동해상에 설치된 부이 관측 자료를 분석하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 2006~2013년 동안 동해 남부 및 동해 중부

먼바다 풍랑특보 발령일 및 동해상에 설치된 관측부이의 유의파고 월 평균 자료는 년 중 6월에 가장 낮으며(구룡포와 혈암은 7월), 년 중 12월에 가장 높다(단, 구룡포는 1월).

(2) 동해 중부 먼바다의 경우, 풍랑특보 발령 기간의 합은 2008년에 44.3일로 가장 적었으며, 2012년에 78.9일로 가장 많았다. 특히, 2010~2013년 동안 연 평균은 2006~2009년 동안 연 평균에 비교하여 풍랑특보 발령 기간은 약 1.4배, 부이 관측 자료의 유의파고는 약 1.6배 증가한 경향을 보였다. 이러한 최근의 증가 경향은 겨울철, 특히 12월에 뚜렷하다.

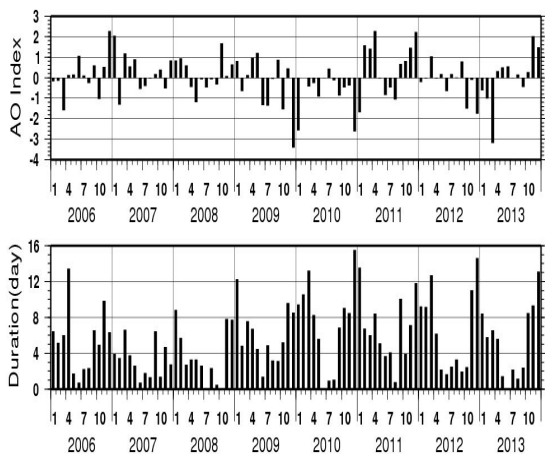
(3) 2006~2013년 동안 동해 해양기상부이에서 관측이 이루어진 기간 중 동해 중부 먼바다 풍랑특보 발령 횟수 중 풍랑특보 기준에 따른 발령비율은 47.9%였으며, 겨울철보다는 봄·여름철에 낮았다.

(4) 울릉도 북쪽 연안에 위치한 혈암 파고부이는 가을철과 겨울철에 울릉도 남쪽 연안에 비교하여 유의파고가 높으며, 울릉도 남쪽에 위치한 구암과 울릉읍 파고부이는 혈암 파고부이에 비교하여 여름철에 유의파고가 높다. 이러한 차이는 울릉도 지형 특성 및 풍향 분포와 밀접한 관련을 갖는 것으로 고려된다.

(5) 2006~2013년 동안 동해 해양기상부이에서 관측된 최대파고 중 상위 10개 발생 사례는 4월에 3차례로 가장 많으며, 태풍 시기인 9월과 10월에 각각 2차례, 겨울철인 12월에 2차례 등 주로 4월과 겨울철에 집중되었다.

최근의 겨울철을 중심으로 한 풍랑특보 발령일 증가와 관련하여, 겨울철을 중심으로 한반도를 포함한 동아시아 지역 기후에 영향을 미치는 것으로 활발히 연구되고 있는 극지방과 중위도 지역 기압장의 상호 원격 상관성을 나타내는 북극진동(Arctic Oscillation, AO)의 변동을 검토할 수 있다 (Jeong and Ho, 2005; Park et al., 2011). Gong and Ho(2002)는 북극진동이 겨울철 유라시아 대륙을 지배하는 시베리아 고기압 세기 변동

에 영향을 미치고 있다고 제안하였다. 북극진동이 양의 모드보다 음의 모드를 나타낼 때 동아시아 지역의 한파 발생은 상대적으로 증가한다 (Jeong and Ho, 2005). [Fig. 6]은 2006~2013년의 월별 동해 남부 먼바다 풍랑특보 지속 기간과 북극진동 지수를 나타낸다. 2009/2010, 2010/2011, 2012/2013 겨울철에 북극진동이 강한 음의 모드를 나타낸다. 그러나 2009년 이전에는 겨울철 북극진동이 양의 모드를 주로 나타내었다. 최근 들어 주로 겨울철을 중심으로 한 풍랑특보 발령일 혹은 기상부이에서 관측된 유의파고 증가는 북극진동으로 상징되는 북반구 중고위도 대기 순환 패턴과 관련성을 고려해 볼 수 있다.



[Fig. 6] Arctic Oscillation Index(upper panel, data source: National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) and duration(lower) of the high wind-wave alert off the coast of the southern part of the East sea between 2006 and 2013

울릉도는 작지만 해안선의 절벽 지형과 상대적으로 높은 지형 때문에 풍향에 따라 계절별로 울릉도 남쪽 및 북쪽의 파고 분포가 확연히 다르며, 이러한 파고 분포는 해양생태계에도 영향을 미칠 수 있다. 심해로 둘러싸여 있으면서도 높은 지형 특성을 갖는 섬 주변에서는 바람 및 해류로 인한 활발한 혼합에 따라 섬 주변의 해양 생산력

이 증가하는 섬 효과(island mass effect)가 빈번히 보고되어 왔다 (Andrade et al., 2014). 섬 효과와 관련하여 울릉도 지형특성으로 인해 영향을 받는 바람장 및 파고 분포의 공간적 범위에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

2006~2013년 동안 동해 해양기상부이에서 관측된 10대 이상 고파는 최근 3년 동안 그리고 겨울철 및 4월에 집중적으로 발생하였다. 향후 지구 환경 변화 등에 따라 이상 고파의 위력도 점차 증대될 것으로 예측되므로 연안 재해 예방을 위한 예측 능력의 향상 및 이상 고파 발생 시 대응 매뉴얼 수립, 해안 구조물 설계 기준 등에 대한 점검이 요구된다. 또한, 울릉도의 경우 최근 겨울철 해양기상 악화 증가와 관련하여 생필품 보급 등 겨울철 주민 고립 사태를 막기 위한 다양한 이동 대책이 적극적으로 검토되어야 할 것으로 고려된다.

동해 남부 및 중부 먼바다 풍랑특보 발령 기간 중 해양기상부이에서 풍속 14 m/s 이상 혹은 유의파고 3 m 이상이 관측된 비율은 비록 최근에 증가하고 있지만, 동해 해양기상부이의 경우 2006~2013년 동안 절반 미만인 47.9%에 불과하였다. 특히, 이러한 비율은 겨울철 보다는 주로 4-8월 사이인 봄철과 여름철에 상대적으로 낮게 나타나 동해상 풍랑특보 발령기준에 대한 재검토 혹은 동해 해상기상예측 정확도를 향상시키기 위한 관측 인프라 증가의 필요성을 제시한다. 풍랑특보 예측 정확도 향상을 위해 1) 동해 외해역에 해양기상부이 추가 계류, 2) 울릉도에 기상 레이더 신설(현재는 강릉시에 설치된 기상레이더가 동해 중부 해역을 관측) 등이 검토될 수 있다. 해양기상부이 추가 계류의 경우, 기존 부이와 공간적 분포를 고려하여 우선적으로 울릉도 정남쪽 심해역 그리고 독도 주변 및 울진 동쪽 심해역이 검토될 수 있다. 더불어 현재 운용중인 해양기상 및 파고부이의 경우, 1) 갑작스런 해양기상 변동 파악을 위해 현재 1시간 간격으로 수집되고 있는 자료 수집 간격의 조밀화, 2) 현재 부이에는 해양

센서로 파고와 함께 표층 수온 센서만을 장착하고 있지만 대기-해양 상호작용 이해를 통한 해양 기상 예측 정확도 향상을 위해 해양 상층부의 수온(염분) 연직 구조 파악을 위한 추가적인 해양 센서 장착이 요구된다.

또한, 2012~2013년 동안 동해 해양기상부이에서는 최대파고가 3 m 미만임에도 동해 중부 먼바다에서 풍랑특보가 발령된 사례는 6차례이었지만, 울릉 해양기상부이에서는 적어도 부이 관측 동안 한 차례도 없어 동해 중부 먼바다의 경우, 울릉도 해역을 중심으로 풍랑특보 발령 구역을 더 세분화할 필요성이 있다.

Acknowledgements

풍랑특보 및 부이 관측 자료를 제공해주신 기상청 관계자 여러분에게 감사드립니다. 본 논문을 심사해 주신 익명의 심사위원들과 유익한 토론을 해주신 울릉주민 조준호님, 해군사관학교 임세한 교수, 한국해양과학기술원 박재훈 박사께 감사드립니다.

References

Andrade, I. · Sangra, P. · Hormazabel, S. and Correa-Ramirez, M.(2014). Island mass effect in the Juan Fernadez Archipelago (33°S), Southeastern Pacific, *Deep. Sea. Res.*, 84, 86~99.

Gong, D. Y. and Ho, C. H.(2002). The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, *Theor. Appl. Climatol.*, 72, 1~9.

Jackson, S. A. and Winant, C. D.(1983). Effect of a kelp forest on coastal currents, *Cont. Shelf Res.*, 2(1), 75~80.

Jeong, J. H. and Ho, C. H.(2005). Changes in occurrence of cold surges over East Asia in association with Arctic Oscillation, *Geo. Phy. Res.*, 32, L14704, doi:10.1029/2005GL023024.

Jeong, W. M. · Oh, S. H. and Lee, D. Y.(2007). Abnormally High Waves on the East Coast. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 19(4), 295~302.

Lim, S. H. · Chang, C. J. · Oh, I. S. and Park, J. (2012). Climatology of the mixed layer depth in the East/Japan Sea, *J. Mar. Sys.*, 96-97, 1~14.

Kim, S. K. and Kang, J. P.(2011). A study on the Relationships between the Casualties of Fishing Boats and Meteorological Factors, *Jour. Fish. Mar. Sci. Edu.* 23(3), 351~360.

Kim, S. S.(1972). A study on the mechanism of Rapid Development of Cyclones in the Area of the Sea of Japan for the Spring Season. *J. Kor. Meteo. Soc.*, 8(1), 50~60.

Park, T. W. · Ho, C. H. and Yang, S.(2011). Relationship between Arctic Oscillation and cold Surges over East Asia, *J. Climate.*, 24, 68~83.

-
- 논문접수일 : 2014년 06월 23일
 - 심사완료일 : 1차 - 2014년 07월 22일
2차 - 2014년 08월 01일
 - 게재확정일 : 2014년 08월 08일