



Received: 2024/05/13  
Revised: 2024/05/22  
Accepted: 2024/06/15  
Published: 2024/06/30

**\*Corresponding Author:**

**Sang-Shin Byun**

Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy  
1 Jungwon-ro, Jinhae-gu, Changwon-si, Gyung-sangnam-do, 51704, Republic of Korea  
Tel: +82-55-907-5253  
Fax: +82-55-907-5231  
E-mail: ssbyun@navy.ac.kr

# 2020년 2개의 태풍 (Maysak, Haishen)에 의한 해양 반응

## Ocean Response Caused by Two Typhoons(Maysak, Haishen) in 2020

변상신\*

해군 중령/해군사관학교 해양학과 교수

Sang-Shin Byun\*

Commander, ROK Navy/Professor, Dept. of Oceanography, Republic of Korea Naval Academy

**Abstract**

2020년 9월 두 개의 태풍이 상륙하여 동해 연안 부근의 육지를 통과하며 북상하였다. 동해시 동방 약 9 km 해상에 ESROB이 계류되어 있어 이들 태풍이 통과하기 이전부터 통과한 이후까지 해양 반응 데이터를 상세하게 기록할 수 있었다. 이 자료를 활용하여 시간별 수직 수온의 변화와 풍속 및 파고의 변화를 분석하였다. 태풍에 의해 발달한 혼합층의 깊이는 약 20 m였고, 지속시간은 약 2일이었다. 바람이 불고 난 뒤 해상의 파고가 높아지는 시간 지연은 약 70~100분 정도임을 확인하였다. 태풍에 의한 최대 파고는 약 10 m이고, 유의 파고는 약 5 m로 2배의 차이가 있음을 확인하였다.

In September 2020, two typhoons made landfall and moved north, passing through the land near the east coast of Korea. ESROB was moored about 9 km east of Donghae City, allowing detailed ocean response data to be recorded from before to after the passage of these typhoons. Using this unique data, we analyzed changes in vertical water temperature, wind speed, and wave height over time. The depth of the mixed layer developed by the typhoons was about 20 m, and it lasted about 2 days. There is a time delay for the sea wave height to increase after the wind blows, and it was confirmed that the time was about 70 to 100 minutes. The maximum wave height caused by the typhoons was approximately 10 m, and the significant wave height was approximately 5 m, confirming a two-fold difference.

**Keywords**

태풍(Typhoon), 동해연안(East Coast of Korea), 혼합층(Mixed Layer), 파고(Wave Height)

**Acknowledgement**

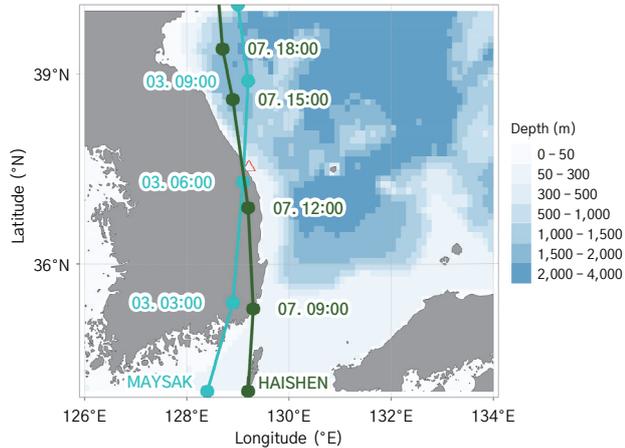
본 논문은 2024년 해군사관학교 해양연구소 학술연구과제 연구비의 지원으로 수행된 연구임.

### 1. 서론

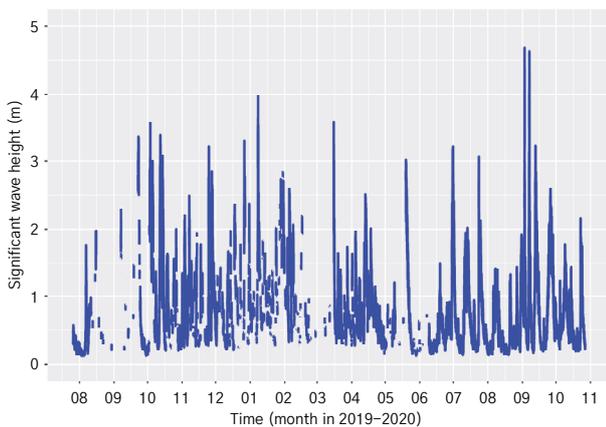
동해는 다양한 해양물리 현상이 나타나는 매우 역동적인 해역이다. 동한 난류가 연안을 따라 북상하다가 북위 38° 부근에서 동쪽으로 방향을 틀어 굽이쳐 흐름에 따라 난수성 소용돌이와 냉수성 소용돌이가 발생된다. 이 소용돌이들의 생성 위치와 규모, 이동 특성 등은 매우 불규칙적이어서 다양한 시-공간적인 해양환경 변화가 나타난다[2,4]. 특히 동해 연안에서는 북한난류와 동한난류가 교차하여 공간적인 수온 변화가 더욱 뚜렷하게 나타난다. 또한 바람의 영향으로 발생하는 에크만 수송과 연안 지형과의 상호작용으로 용승이나 침강 현상이 나타나기도 한다[1,3]. 이러한 현상은 수직적인 수온구조 변화에 직접적인 영향을 미치게 되므로 수층의 음파전달과 해양생물의 서식 환경에도 지대한 영향을 미친다[1,5]. 더욱이 태풍과 같은 강한 바람이 발생하게 되면 동해 연안의 해양환경은 훨씬 더 큰 영향을 받게 될 것이며, 높은 파고로 인해 해상의 상태는 매우 불안정해질 것임을 예상할 수 있다.

그러나 지금까지 동해 연안에서 태풍에 의한 강한 바람이 혼합층을 얼마나 깊게 발달시키며, 어느 정도의 기간 뒤에 다시 이전 상태로 회복하는지, 그리고 태풍이 지나간 뒤 얼마 후에 파고가 일정 수준 이하로 낮아지는지에 대한 연구는 부족하였다. 가장 큰 원인은 아마도 태풍 시기의 강한 바람과 높은 파고 등 악기상의 영향으로 해상 상태의 실시간 관측이 제한되기 때문일 것이다. 하지만 동해

동방 약 9 km 해상에 해양관측부이(ESROB: East Sea Real-time Ocean Buoy)가 설치되어 있어 당시 태풍에 의한 바람, 파고, 수심별 수온, 염분 등 해양환경 특성 변화를 실시간으로 관측한 자료를 얻을 수 있었다(Fig. 1(a) 참조).



(a) 태풍 이동경로 및 해양관측부이(ESROB) 위치



(b) ESROB에서 관측된 유의 파고 분포

Fig. 1. 연구해역 및 유의 파고 현황

2019년 7월부터 2020년 10월까지 1년이 넘는 기간 동안 ESROB에서 관측된 유의 파고를 살펴보면 2020년 9월에 4 m 이상의 높은 파고가 두 번 뚜렷하게 관찰된다(Fig. 1(b) 참조). 이는 2019년 겨울철의 파고보다 훨씬 높은 것으로, 당시 약 4일의 차이를 두고 태풍 2개(Maysak, Haishen)가 한반도에 상륙한 뒤 동해안으로 빠져나간 시기와 일치한다(Fig. 1(a) 참조). 이처럼 해상의 파고가 높으면 항해 안전에 막대한 지장을 초래하므로 함정 운항이 제한된다. 또한 강한 바람 응력이 해표면으로 전달될 경우 높은 파

고를 유발함과 동시에 하층과의 혼합 작용을 일으켜 혼합층이 깊어지는 효과를 나타낼 수 있는데, 이는 음파 탐지와 수중 통신의 전달 거리에도 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 ESROB에서 관측된 자료를 이용하여 2020년 9월 한반도에 상륙한 2개의 태풍(Maysak, Haishen)에 의한 해양 반응을 세부적으로 살펴보고자 한다.

## 2. 자료 및 분석방법

연구에 사용된 자료는 동해시 동방 약 9 km, 수심 약 130 m에 계류된 실시간 해양관측부이(ESROB)로부터 획득되었다(www.seanoe.org). ESROB의 위치(37° 32.24'N, 129° 12.92'E)는 Fig. 1의 지도상에 빨간색 삼각형으로 표시한 바와 같다. 이번 연구에 사용된 것은 2019년 7월부터 2020년 10월까지 기록된 자료이다.

수온과 염분은 수심 20 m, 40 m, 60 m, 110 m에서 각각 10분 간격으로 자료가 기록되었다. 해표면으로부터 약 3.4 m 높이 상공에 부착된 센서에 의해 바람 정보와 기압 등 다양한 대기 변수 자료가 기록되며, 부이 하부에 파고계가 부착되어 있어 파랑의 정보도 기록하고 있다. 다만, 아쉽게도 2020년 9월 두 개의 태풍이 지나갈 당시 센서 이상으로 인해 태풍이 접근함에 따라 변화하는 대기압 정보는 얻을 수 없었다.

한편 풍속과 파고 간 상관관계를 통계적으로 분석하기 위하여 R에서 제공하는 CCF(Cross Correlation Function)과 astsa(Applied Statistical Time Series Analysis) package를 활용하였다.

## 3. 태풍의 발생 및 이동

2020년 북서태평양에서는 총 23개의 태풍이 발생하였고, 이 중 4개의 태풍이 우리나라에 영향을 주었다. 그 중에서 2개의 태풍은 한반도에 상륙하였는데, 그것은 제9호 태풍 Maysak과 제10호 태풍 Haishen이었다. 당시 북태평양고기압이 일본 부근에서 북쪽으로 크게 확장한 상태였으므로 Maysak과 Haishen이 한반도 방향으로 북진하기에 유리한 조건이 형성되었다.

### 3.1. 태풍 마이삭(Maysak)

태풍 Maysak은 8월 28일 15:00시경 필리핀 마닐라 동북동쪽 해상(17.2°N, 130.3°E)에서 열대저압부가 발달하면서 성장하기 시작했다. 9월 1일 09:00시경, 일본 오키나와 서쪽 약 200 km 부근 해상(26.9°N, 126.0°E)에 위치할 당시에는 최대 강도인 중심기압 935 hPa, 중심최대풍속 49 m/s로 매우 강한 태풍으로 발달하였다.

이후 일본 오키나와 서쪽 약 200 km 부근 해상에서 북동쪽으로 전향하여 9월 3일 02:20시경 부산 남서쪽 해안(35.1°N, 128.9°E)에 상륙하였다. 태풍이 북상함에 따라 9월 1일 22:00시 제주도 남쪽 먼바다에 태풍주의보가 발효된 것을 시작으로 3일 10:00시 울릉도, 독도 등에 태풍경보가 해제될 때까지 약 38 시간 동안 한반도에 영향을 주었다[6]. 태풍 Maysak이 9월 3일 06:00시 ESROB 부근을 지날 때 중심기압은 960 hPa, 최대 풍속은 39 m/s로 강도 강의 상태를 유지하였다(Table 1 참조).

**Table 1.** 제9호 태풍 Maysak 현황

일시 (KST)	중심위치		중심기압 (hPa)	최대풍속 (m/s)	강풍반경 (km)	이동속도 (km/h)
	(°N)	(°E)				
9. 3. 00:00	34.0	128.4	950	43	350	36
9. 3. 03:00	35.4	128.9	960	39	350	54
9. 3. 06:00	37.3	129.1	960	39	300	70
9. 3. 09:00	38.9	129.2	970	35	300	59
9. 3. 12:00	40.1	129.0	970	35	-	-

### 3.2 태풍 하이선(Haishen)

태풍 Haishen은 9월 1일 21:00시경 괌 북쪽 약 780 km 부근 해상(20.5°N, 143.9°E)에서 열대저압부가 발달하면서 성장하기 시작했다. 9월 5일 15:00시경 일본 오키나와 동남동쪽 약 410 km 부근 해상(24.7°N, 131.5°E)에서 최대 강도인 중심기압 915 hPa, 중심최대풍속 55 m/s로 초강력의 태풍으로 발달하였다.

이후 9월 7일 09:00시 중심기압 955 hPa, 강도

강의 상태로 울산 남남서쪽 약 30 km 부근 육상에 상륙하였다. 태풍이 북상함에 따라 9월 6일 09:00시 제주도 남쪽 먼바다에 태풍주의보가 발효된 것을 시작으로 7일 20:00시 동해 중부 앞바다와 먼바다에 풍랑 경보로 변경될 때까지 약 35시간 동안 영향을 주었다[6].

태풍 Haishen이 9월 7일 12:00시 ESROB 부근을 지날 때 중심기압은 965 hPa, 최대 풍속은 32 m/s로 강도 중의 상태를 유지하였다(Table 2 참조).

**Table 2.** 제10호 태풍 Haishen 현황

일시 (KST)	중심위치		중심기압 (hPa)	최대풍속 (m/s)	강풍반경 (km)	이동속도 (km/h)
	(°N)	(°E)				
9. 7. 06:00	34.0	129.2	955	40	380	41
9. 7. 09:00	35.3	129.3	955	35	380	48
9. 7. 12:00	36.9	129.2	965	32	350	59
9. 7. 15:00	38.6	128.9	970	30	330	64
9. 7. 18:00	39.4	128.7	970	28	280	38

## 4. 태풍에 의한 해양반응 분석

### 4.1. 풍속의 변화

해표면으로부터 약 3.4 m 높이에 설치된 ESROB의 센서로부터 수집된 풍속을 Fig. 2에 제시하였다. 그래프에 나타낸 기간은 8월 30일~9월 11일이며, 해당 기간에 태풍 Maysak과 Haishen의 중심이 ESROB 부근을 통과하였다.

풍속의 현황을 살펴보면 9월 3일 Maysak 통과 당시 최대 풍속 약 11.5 m/s가 기록되었고, Haishen 통과 당시 최대 약 12 m/s에 이르는 풍속이 관측되었다. 또한, 6 m/s 이상의 풍속이 유지된 시간도 태풍 Haishen 시기가 더 길었다. 이는 태풍 Haishen의 이동속도가 상대적으로 더 낮을 가능성을 내포하는 것으로, 실제 ESROB 부근을 지날 당시 두 태풍의 이동속도는 각각 70 km/h와 59 km/h였음이 확인되었다(Tables 1-2 참조).

태풍 Haishen이 상대적으로 더 느린 속도로 이동함에 따라 ESROB에 기록된 강한 바람의 지속시간 역

시 더 길게 유지되었던 것이다. 반면, 태풍이 영향을 주지 않은 다른 기간에는 대부분 풍속이 3 m/s 이하로 유지되어 태풍 시기의 풍속이 이례적으로 강했음을 알 수 있다.

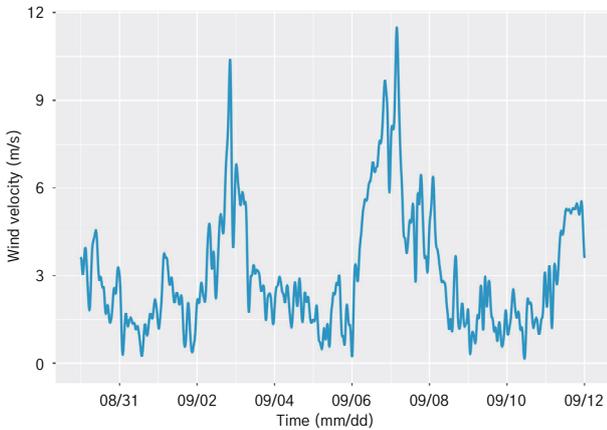


Fig. 2. ESROB에서 관측된 풍속 현황(10분 평균 풍속)

강한 바람에 의해 발생된 최대 파고와 유의 파고 분포는 Fig. 3에 제시하였다. 태풍의 영향으로 9월 3일과 9월 7일에 최대 파고 약 9 m, 유의 파고 약 5 m가 관측되었는데, 앞서 살펴본 바람 분포와 유사하게 높은 파고가 유지된 시간은 태풍 Haishen 영향 시기가 더 길었다. 일반적으로 높은 파고가 발달하기 위한 조건은 다음과 같다. 첫째, 강한 바람, 둘째, 바람의 지속시간, 셋째, 풍역대가 얼마나 넓게 유지되는가가 그것이다. 앞서 Haishen 시기에 풍속이 더 강했고 바람의 지속시간도 길었음을 확인하였다. 또, Table 1과 Table 2로부터 강풍 반경은 각각 300 km와 350 km인 것을 고려할 때 태풍 Haishen 시기에 더 높은 파고가 잘 발달할 수 있는 조건이었음을 알 수 있다.

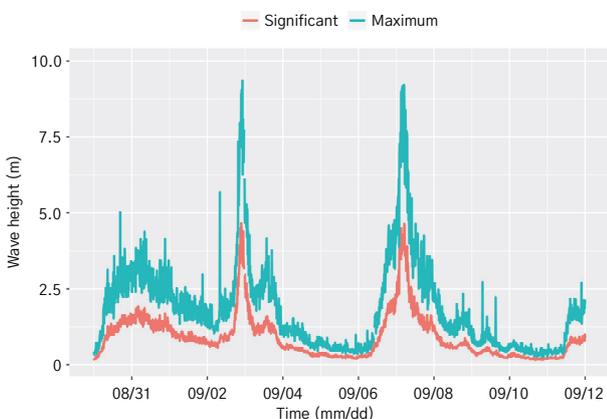


Fig. 3. ESROB에서 관측된 최대 파고와 유의 파고 현황

#### 4.2 수온의 변화

두 태풍이 영향을 준 시기와 그렇지 않은 시기의 수온 변화를 살펴보면 Fig. 4와 같다. 먼저, 태풍 내습 이전인 9월 2일, 수심 5 m - 110 m의 수온은 각각 약 25 °C, 17 °C, 15 °C, 10 °C, 3 °C로 수심별 큰 차이를 보이며 혼합층은 거의 형성되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이후 태풍 Maysak이 영향을 미친 9월 3일 표층인 수심 5 m의 수온은 다소 감소한 반면, 그 이상의 깊은 수심에서의 수온은 일제히 상승하였다가 다시 급격히 하강한 뒤 9월 4일부터 재상승하여 9월 5일까지 수심 약 20 m 부근까지 수온이 일정한 혼합층이 형성되었음을 알 수 있다.

이후 태풍 Haishen이 영향을 미친 시기에도 이전 태풍 시기와 유사한 형태를 보이는데, 9월 7일 00:00 시경 수심 20 m - 110 m의 수온이 일제히 상승하였다가 9월 7일 20:00시경에는 수온이 이전 태풍 시기보다 훨씬 더 급격히 하강하였으며, 9월 8일부터는 다시 수온이 상승하기 시작하여 9월 10일까지 수심 20 m까지 혼합층이 유지되었음을 알 수 있다. 이때 혼합층은 이전 태풍 시기보다 다소 깊게 유지되었다. 이후 9월 10일부터는 표층(수심 5 m)을 제외한 전 층의 수온이 다시 이전 수준으로 복귀하였다.

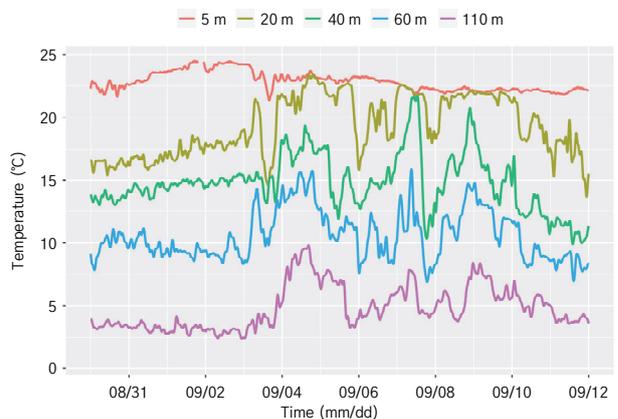


Fig. 4. ESROB에서 관측된 수심별 수온 현황

좀 더 세부적인 시간 변동은 아래의 확대된 Fig. 5를 통해 살펴보도록 하겠다.

먼저, 태풍 Maysak 영향 시기인 9월 3일 00:00 시부터 풍속이 강해지기 시작함과 동시에 표층 이하 깊은 수심의 수온이 일제히 상승하는 경향을 보이다가 3일 07:00시경 풍속이 5 m/s 이하로 갑자기 약

해집과 동시에 전 층의 수온이 하강하는 형태를 보였다. 이때 수심 20 m의 수온은 약 21 °C에서 15 °C로 약 6 °C가 감소하였고, 수심 60 m의 수온은 약 15 °C에서 10 °C로 약 5 °C가 감소하였다. 이후 3일 18:00 시경 풍속이 약 3 m/s 정도로 약해진 시간부터 전 층의 수온은 일제히 상승하기 시작하여 수심 20 m의 수온은 수심 5 m의 수온과 거의 동일해졌고, 수심 40 m의 수온은 14 °C에서 18 °C로 상승하였으며, 수심 60 m의 수온은 10 °C에서 15 °C까지 상승하였다. 4일 18:00시 이후 표층과 수심 20 m를 제외한 수온은 점차 하강하기 시작하였으며, 수심 20 m의 수온은 수심 5 m의 수온과 거의 유사하게 5일 20:00시경까지 유지되다가 6일 00:00시에 이전 수준으로 하강하였다. 즉 혼합층은 표층부터 수심 약 20 m 부근까지 형성되어 약 2일간 유지되었다.

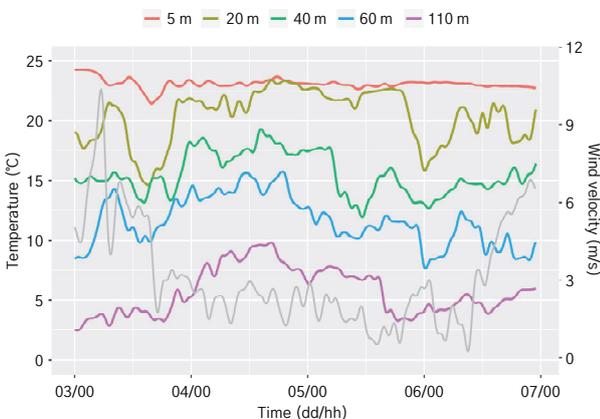
한편, 태풍 Haishen 영향 시기인 9월 7일 00:00시부터 풍속이 강해지자 표층 이하 깊은 수심의 수온은 풍속이 최대에 이른 7일 12:00시경까지 일제히 상승하였다가 풍속이 5 m/s 이하로 급격히 약해진 시기인 7일 18:00시까지 이전 태풍 시기보다 수온이 더 큰 폭으로 하강하는 현상을 보였다. 즉, 수심 20 m의 수온은 약 22 °C에서 약 18 °C로 하락하였고, 수심 40 m의 수온은 가장 큰 변동을 보였는데, 약 22 °C에서 10 °C까지 12 °C가 하락하였다. 혼합층은 이전 태풍 시기보다 약간 더 깊어져 수심 20 m까지 형성되었고, 이렇게 형성된 혼합층은 8일 00:00시경부터 10일 00:00시경까지 약 2일간 지속된 뒤, 다시 이전 수준으로 복귀하였다.

두 태풍의 영향 시기에 수심별 수온 변동의 경향성은 전반적으로 유사한 형태를 보였다. 즉, 바람이 강해지면서 수온이 증가하다가 태풍의 중심 부근이 ESROB에 이른 시기에는 태풍의 눈에 가까워져 저기압에 의한 용승 현상으로 일시적으로 수온이 감소하였다. 이후 태풍이 통과하자 수온이 다시 점차 증가하는 형태를 보였다. 태풍 Haishen 시기에 표층 아래 깊은 수심의 수온 하강 폭이 더 큰 이유는 태풍 이동속도가 상대적으로 느려, 기압이 주변보다 훨씬 낮은 태풍의 눈 부근이 상대적으로 더 오랫동안 ESROB에 머물렀기 때문으로 추정된다.

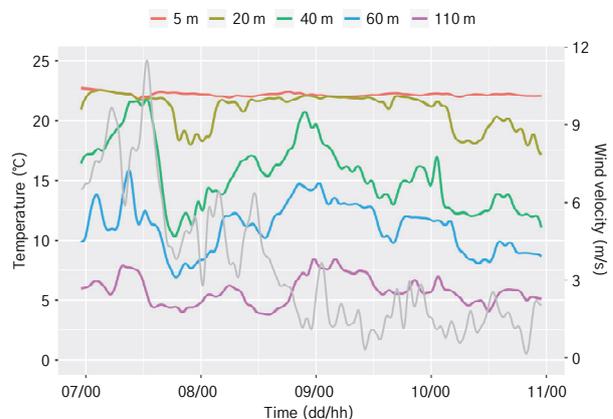
#### 4.3 파고의 변화

태풍 Maysak의 영향으로 동해 연안 ESROB에서 관측된 해상의 최대 파고는 9월 2일 18:00시부터 파고 2.5 m를 넘기 시작하여 2일 22:00시경 최대 약 10 m에 이르렀다가 3일 03:00시 다시 2.5 m 수준으로 감소하였다. 즉 약 9시간 동안 2.5 m 이상의 높은 파고가 유지되었다. 유의 파고도 유사한 형태를 보였는데, 2일 19:00시경 파고 2.5 m 이상으로 상승하여 2일 21:00시경 파고 약 5 m에 이르렀다가 3일 00:00시부터 파고 2.5 m 이하로 낮아졌다 (Fig. 6(a) 참조).

태풍 Haishen의 영향 시기에 최대 파고는 9월 6일 15:00시에 파고 2.5 m 이상으로 높아지기 시작하여 7일 03:00시부터 06:00시까지 약 3시간 동안 최대 약 10 m의 높은 파고를 유지하였다. 이후 8일 00:00시가 지나면서 파고 2.5 m까지 낮아졌다. 파



(a) 9월 3~6일 기간에 관측된 수온 및 풍속



(b) 9월 7~10일 기간에 관측된 수온 및 풍속

Fig. 5. ESROB에서 관측된 수심별 수온 및 풍속 현황(컬러선: 수온, 회색선: 풍속)

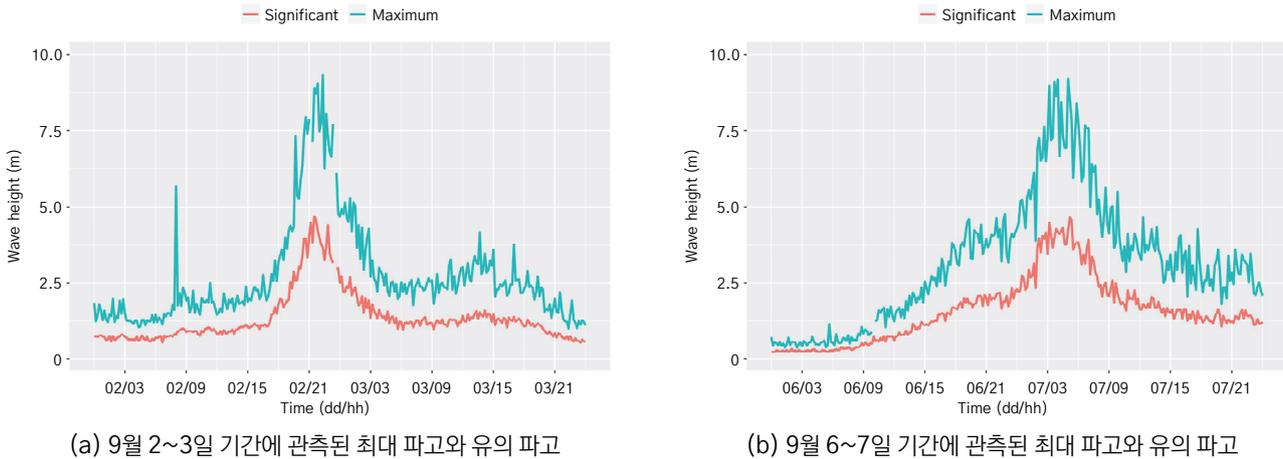


Fig. 6. ESROB에서 관측된 최대 파고와 유의 파고 현황

고 2.5 m 이상의 최대 파고가 유지된 시간은 33시간으로 이전 태풍의 유지 시간인 9시간에 비해 1일(24시간)이 더 길었다. 유의 파고는 7일 00:00시부터 파고 2.5 m 이상으로 높아지기 시작하여 7일 03:00시에 약 5 m까지 높은 파고를 유지하였다가 7일 09:00시에 다시 파고 2.5 m 이하로 낮아졌다 (Fig. 6(b) 참조).

살펴본 바와 같이 최대 파고와 유의 파고의 차이는 약 5 m 정도로, 유의 파고 대비 최대 2배의 차이를 보였다. 해상에서는 평균적인 파고보다 갑자기 한 번씩 밀려오는 큰 파고가 안전에 더욱 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 해상에서의 안전을 위해서는 보다 더 엄격한 기준 적용이 필요하므로 유의 파고보다는 최대 파고를 기준으로 하는 것이 합리적으로 보인다. 특히, 유사한 강도의 태풍을 고려할 때 이동 속도가 상대적으로 느린 경우에는 높은 파고가 지속되는 시간도 더 길게 나타날 수 있음을 참고할 필요가 있다.

#### 4.4 바람과 파고의 상관관계

해상에서는 바람이 불자마자 즉시 파고가 높아지지 않으며 일정한 시간 지연이 존재한다. 따라서 이번 연구의 관심 기간인 2020년 8월 30일부터 9월 11일까지 풍속과 해상의 파고 간의 상관관계가 어떻게 나타나는지를 확인해 보았다. 분석에 사용된 통계적인 방법으로 R에서 제공하는 CCF(Cross Correlation Function)을 이용하였으며, 이 함수를 통하여 풍속과 파고의 교차 상관관계를 계산하였다. 더불어 R에

서 제공하는 `astsa`(Applied Statistical Time Series Analysis) package를 이용하여 lag별 상관성을 산점도 그래프로 나타냈다.

Fig. 7은 평균 풍속과 유의 파고와의 교차 상관성을 lag 별로 나타낸 것인데, 상관관계가 가장 높은 것은 lag -10의 경우임을 알 수 있다. 기록된 데이터의 시간 간격이 10분임을 고려하면 lag -10은 100분의 차이가 있다는 것을 의미한다. 또 lag가 음수(-)인 것은 풍속이 파고보다 선행함을 의미한다. 즉, 바람이 불고 나서 일정한 시간이 경과한 뒤에 파고가 높아진다는 것이다. 그래프에서 확인할 수 있는 바와 같이 평균 풍속과 유의 파고는 양의 상관관계를 가지며, 바람이 불고 난 뒤 약 100분 후에 해상의 유의 파고가 높아질 수 있음을 알 수 있다. 이때의 교차 상관관계는 0.66으로 높은 상관성을 보였다.

한편, Fig. 8은 순간 최대 풍속과 최대 파고와의 상관관계를 보여준다. 그러나, 여기서는 lag가 -7인 경우의 상관관계가 가장 높게 나타난다. 즉, 순간적으로 강한 바람이 불고 난 뒤 70분 후에 해상에 최대 파고가 나타날 수 있음을 의미한다. 이때의 교차 상관관계 역시 0.67로 역시 높은 상관성을 보였다.

종합하면, 바람이 불고 난 뒤 해상의 파고가 높아지는 현상은 일정한 시간 지연을 갖는데, 본 연구에서는 70~100분의 시간차가 발생함을 확인할 수 있었다. 특히 유사한 경로를 가지고 남쪽에서 북쪽으로 이동하는 두 개의 태풍이 동해 연안의 ESROB로 접근함에 따라 풍속과 파고의 분포가 어떻게 변화하는지를 비교할 수 있어서 매우 의미 있는 분석이 되었다.

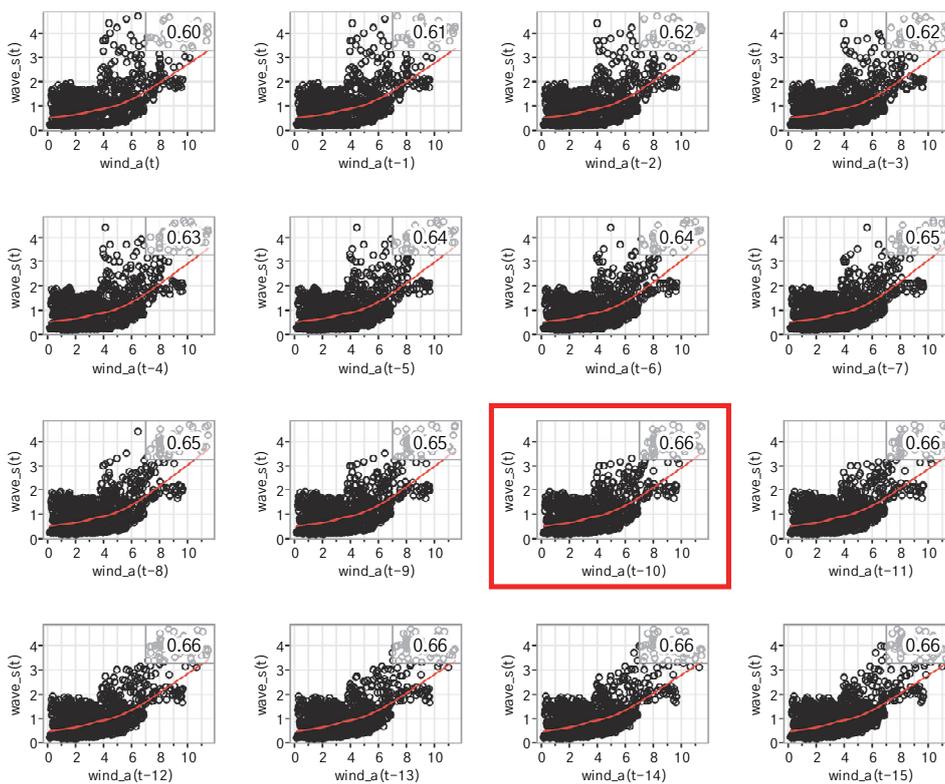


Fig. 7. 10분 평균 풍속과 유의 파고와의 교차 상관관계 분석 결과

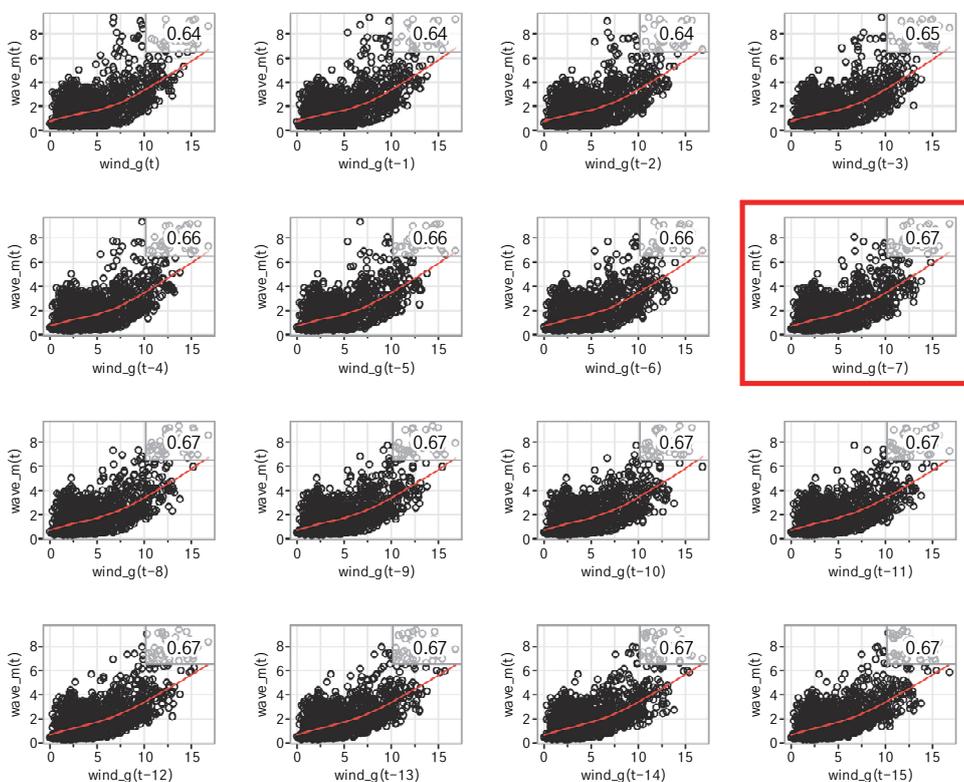


Fig. 8. 최대 풍속과 최대 파고와의 교차 상관관계 분석 결과

## 5. 결론

2020년 9월 초 약 4일 간격으로 두 개의 태풍 (Maysak, Haishen)이 상륙하여 동해 연안 부근을 따라 북상하였다. 두 태풍은 이동 경로와 강도 또한 유사하여 태풍에 의한 해양 반응을 비교·분석할 수 있는 매우 특별한 자료가 획득되었다. 이번 연구에서는 두 개의 태풍이 해양관측 부이로 접근함에 따라 반응하는 수직적인 수온 변화와 풍속 및 파고의 변화를 중점적으로 고찰하였는데, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 태풍 Maysak보다는 Haishen이 ESROB을 통과할 때 좀 더 강한 풍속이 나타났고, 그 지속 시간도 상대적으로 더 길었음을 확인하였다. 둘째, 이에 따라 태풍의 영향으로 발생한 혼합층의 깊이 또한 태풍 Haishen 시기에 좀 더 깊게 유지되었는데, 그 깊이는 20 m였다. 셋째, 태풍이 접근함에 따라 강풍에 의한 혼합 효과로, 표층 하부의 수온이 먼저 상승한 뒤 태풍의 눈 주변이 위치할 때는 일시적으로 수온이 하강하였으며, 태풍이 완전히 통과한 뒤에는 수온이 다시 상승하여 혼합층이 이전보다 깊게 발달하는 세 가지의 단계가 확인되었다. 넷째, 태풍의 영향으로 깊어진 혼합층이 다시 이전 수준으로 회복되는데 소요되는 기간은 약 2일이었다. 다섯째, 최대 파고와 유의 파고는 최대 2배의 차이가 나타남을 확인하였다. 여섯째, 풍속과 파고 발생의 상관관계는 매우 높게 나타났으며, 바람이 불고 난 뒤 해상에 파고가 높게 나타나는 시간 지연은 70~100분으로 확인되었다.

태풍으로 인해 파고가 2.5 m 이상 높게 유지되는 시간은 Maysak의 경우 9시간, Haishen의 경우는 33시간으로 확인되었다. 혼합층이 유지되는 기간은 약

2일이었다. 따라서, 해상의 파고가 낮아진 뒤에도 일정 시간 동안 혼합층은 상대적으로 깊게 유지될 수 있으므로 대잠 탐색과 수중 통신에 참고할 필요가 있다. 더불어 유의 파고와 최대 파고의 차이가 2배로 매우 크게 나타남을 확인하였으므로 함정의 항해 안전을 위해서는 최대 파고를 참고할 필요가 있겠다. 또한, 태풍 접근에 따른 강풍 발생 시 해상의 파고는 약 1~2시간 이내에 높아질 수 있음을 알 수 있었다.

이러한 정보를 지속적으로 수집·분석 및 관리한다면 향후 유사한 태풍의 영향 시, 함정의 작전 투입 및 무인 장비 운용, 탐색 및 구조작전, 연안 대잠 탐색 시기 판단 등에 도움이 될 것이다.

## 참고문헌

- [1] K.-A. Park and K.-R. Kim, "Unprecedented coastal upwelling in the East/Japan Sea and linkage to long-term large-scale variations," *Geophys. Res. Lett.* 37(9) (2010).
- [2] K.-I. Chang, W. J. Teague, S. J. Lyu, H. T. Perkins, D.-K. Lee, D. R. Watts, Y.-B. Kim, D. A. Mitchell, C. M. Lee, and K. Kim, "Circulation and currents in the southwestern East/Japan Sea: Overview and review," *Prog. Oceanogr.* 61, 105-156 (2004).
- [3] S. H. Nam, J. Y. Yun, and K. Kim (2004). Observations on the coastal ocean response to typhoon MAEMI at the East Sea Real-time Ocean Buoy. *The Sea: J. Korean Soc. Oceanogr.*, 9(3), 111-118.
- [4] S.-S. Byun, J. J. Park, K.-I. Chang, and R. W. Schmitt, "Observation of near-inertial wave reflections within the thermocline layer of an anticyclonic mesoscale eddy," *Geophys. Res. Lett.* 37(1) (2010).
- [5] S.-S. Byun, and C.-B. Cho. "Coastal upwelling observed off the East coast of Korea and variability of passive sound detection environment," *J. Acoust. Soc. Kor.* 41(6), 601-609 (2022).
- [6] 2020년 태풍 분석보고서, 기상청 국가태풍센터 (2021).