

2004~2006년 대한해협 동쪽을 통과한 태풍들에 의한 폭풍파 관측 Measurements of Storm Waves Generated by Typhoons Passed through Eastside of Korea Strait from 2004 to 2006

정원무* · 김상익** · 백원대*** · 오상호****

Weon Mu Jeong*, Sang Ik Kim**, Won Dae Baek*** and Sang-Ho Oh****

요 지 : 최근 우리나라에는 거의 매년 대형 태풍이 내습하였으며 이로 인해 직·간접적으로 많은 피해가 발생하였다. 그러나 태풍의 내습 시 태풍의 외해 진입경로에서 파랑 및 바람자료를 확보한 사례는 매우 드물며 이로 인해 태풍파 모델링의 보정 및 검증자료 확보에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 본 논문은 기상청과 한국해양과학기술원에서 2004~2006년에 내습한 태풍 송다, 나비, 산산으로 인한 폭풍파들을 관측한 기록들을 종합하여 제공함으로써 태풍파 수치모델링 관련 연구자들에게 도움이 되도록 하였다. 태풍 나비와 산산의 진행경로가 대한해협보다 동쪽이었음에도 불구하고 거제도 동쪽에 위치한 남형제도에서 유의파고 8.3 m가 관측되었으며, 특히 영일만방파제 전면 1.4 km 지점에서는 두 태풍 모두 기록적인 유의파고 12.2 m가 관측되었다. 한편, 거제도의 해양기상부이와 남형제도의 과향·파고계로 취득된 자료들의 비교 결과 최대파고는 유사하였으나 유의파고는 상당한 차이를 나타냈다.

핵심용어 : 태풍파, 유의파고, 수치모델링, 태풍경로, 과향·파고계

Abstract : In recent years, strong typhoons have passed South Korea almost every year and severe damages were incurred directly and indirectly. However, instances where wave and wind data were procured from the offshore approach path of the typhoon are very rare and thus researchers are experiencing difficulties in obtaining calibration and verification data of typhoon-generated wave modeling. This paper provides a synthesis of records of observations by the Korea Meteorological Administration and Korea Institute of Ocean Science and Technology on storm waves generated by the typhoons SONGDA, NABI, and SHANSHAN that passed from 2004 to 2006 in order to help researchers interested in typhoon-generated wave numerical modeling. Although the trajectories of typhoon NABI and SHANSHAN were east of the Korea Strait, a significant wave height of 8.3 m was measured at Namhyeongjedo located east of Geoje. Moreover, an unprecedented significant wave height of 12.2 m was measured for both typhoons at a station 1.4 km away from Yeongil Bay breakwater. Meanwhile, a comparative analysis of data obtained with a ocean data buoy at Geoje and a Directional Waverider at Namhyeongjedo showed maximum wave heights that were similar but considerably different significant wave heights.

Keywords : Typhoon-generated wave, Significant wave height, Numerical modeling, Typhoon trajectory, Directional Waverider

1. 서 론

우리나라에는 지난 2000~2006년에 태풍 프라피룬, 사오마이, 루사, 매미, 메기, 나비, 에위니아, 산산 등의 대형 태풍이 내습하였으며 이로 인해 직·간접적으로 많은 피해가 발생하였다. 그 후의 몇 년간은 우리나라에 직접적인 영향을 미친 대형 태풍의 내습이 거의 없었다. 그러나 비교적 최근인 2010년 9월 초에는 태풍 곤파스가 서해를 통해 북상하여 강화도에 상륙하였으며 이례적인 강풍으로 많은 피해를 초래하

였다. 또한 2011년에는 대형 태풍 무이파가, 그리고 2012년 8월과 9월에는 대형 태풍 볼라벤과 산바가 각각 서해안 및 한반도를 통과하여 전국에 막대한 피해를 입혔다.

태풍에 동반된 강풍 및 이로 인한 고파는 해안 및 항만 구조물에 커다란 영향을 미치며 이의 정확한 예측 및 역추산은 해안구조물의 설계에 필수적이다. 그러나 2010년까지는 기상청(KMA; Korea Meteorological Administration)에서 운영하고 있는 8개 지점(덕적도, 외연도, 칠발도, 마라도, 거문도, 거제도, 포항 및 동해)의 해양기상부이에서만 주요 태풍의 진

*한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 책임연구원(Corresponding author : Weon Mu Jeong, Coastal Development & Ocean Energy Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Tel: +82-31-400-6326, Fax: +82-31-408-5823, wmjeong@kiost.ac)

**한국해양과학기술원 연안재해·재난연구센터 책임기술원(Coastal Disaster Research Center, KIEST)

***한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 선임기술원(Coastal Development & Ocean Energy Research Department, KIEST)

****한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 책임연구원(Coastal Development & Ocean Energy Research Department, KIEST)

행경로에 해당되는 외해역에서 바람 및 파랑 자료를 계측하였다. 기상청에서는 2010년에 울릉도, 2013년에 신안에 해양기상부이를 추가로 설치하여 운영 중이다. 해양기상부이에서는 풍향, 풍속 등의 바람 자료와 최대파고, 유의파고, 주기 및 파향 등의 파랑 정보가 실시간으로 제공되고 있다. 그러나 현재까지는 관측된 파랑 정보에 대해 적절한 검·보정이 이루어지지 않고 있어 단순 참고자료로만 사용할 수 있는 형편이며 이의 시급한 개선이 요구된다. 또한 해양기상부이는 주파수 및 방향 스펙트럼에 대한 정보가 전혀 제공되지 않아서 이 동속도가 빠른 태풍에 의한 고파의 방향 스펙트럼 특성에 대해서는 분석이 불가능하다. 한편 국립해양조사원에서는 이어도 해양관측기지에서 Waveradar를 사용한 관측시스템을 2003년부터 운영 중이며 우리나라 외해역의 해양현상을 감시하기 위한 KOGA(Korea Ocean Gate Array) 부이들을 2010년 11월부터 동중국해에 설치하여 운영하고 있으며 최근에는 우리나라 근해로 이동시켜 재설치하였다.

한국해양과학기술원(KIOST: Korea Institute of Ocean Science and Technology, 구 한국해양연구원)에서는 ‘해양 파랑관측 및 조사’ 연구사업과 부산항 신항, 울산신항 등을 대상으로 한 여러 연구용역사업을 통하여 우리나라 남동해안의 심해 및 천해역에 파향·파고계 또는 수압식파고계를 설치하여 연중 파랑관측을 실시하였으며 태풍 내습 시에는 주요 경로에 집중적으로 파향·파고계를 설치하여 태풍과 정밀관측을 시도하였다. 이렇게 수집된 파랑 자료의 일부는 관련된 연구사업 보고서에 포함되거나 몇몇 학술논문에서 활용되기도 하였다. 그러나 특정 태풍들에 대한 파랑관측자료들을 체계적으로 정리하여 관련 연구자들이 활용 가능하도록 제공한 사례는 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 우선 2004~2006년에 대한해협의 동쪽을 통과한 태풍들에 의한 파랑자료들을 모두 수집하여 분석, 정리함으로써 관련 연구에 도움이 되고자 하였다. 이 태풍들은 우리나라에 큰 피해를 초래하였던 태풍들인 사라, 매미, 볼라벤, 산바 등에 비하면 관심도는 상대적으로 낮았지만 관측된 파고는 매우 큰 편이었다.

KIOST에서 태풍과 정밀관측을 시도한 2004년 이후 2006년 까지 수 개의 태풍이 대한해협의 동쪽을 지나 동해상으로 진출하였고 이들에 의하여 발생한 고파들이 남동해안에서 관측되었다. 예를 들면 2004년에는 태풍 송다(SONGDA; 0418), 2005년에는 나비(NABI; 0514), 2006년에는 산산(SHANSHAN; 0613)이 대한해협 동쪽을 지나 동해상으로 진출하였다(Fig. 1 참조). 태풍 송다는 2004년 9월 7일 오전 9시께 서귀포 남동쪽 240 km까지 접근, 제주 동해상을 통과한 뒤 북동쪽으로 급선회하면서 오전 10시께는 일본 큐슈 나가사키현 해안으로 진출하였다. 태풍 나비는 2005년 8월 29일 21시경 미국 팜동북동쪽 약 1,210 km 부근 해상에서 발생하여 9월 6~8일에 동해안을 지나 9월 8일 15시경 일본 삿포로 부근에서 온대성 저기압으로 약화되었다. 태풍 나비는 최저기압 925 hPa, 10분평균 최대풍속 49 m/s, 반경 700 km에 달한 매우 강력한

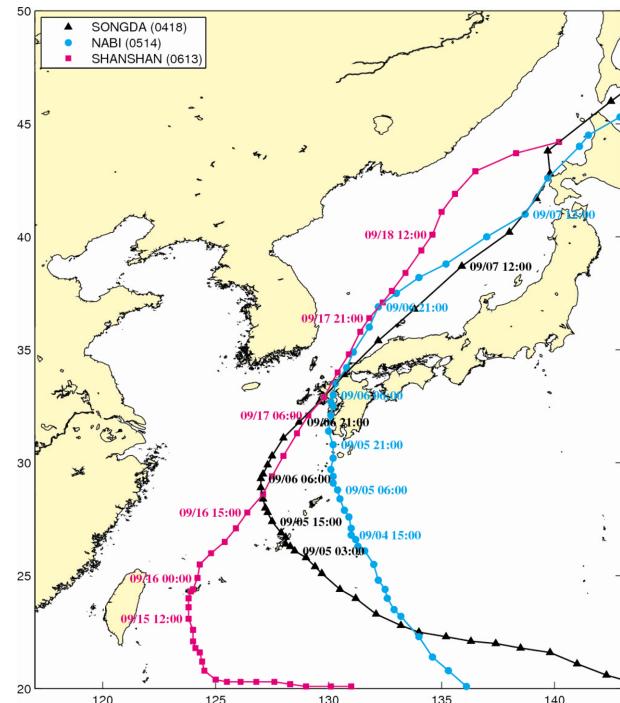


Fig. 1. Tracks of typhoon SONGDA (0418), NABI (0514), and SHANSHAN (0613).

대형 태풍이었으며, 당시 관측된 최대 유의파고는 남형제도에서 8.3 m, 영일만 방파제 전면에서 12.2 m로 기록적인 값을 기록하였다. 태풍 나비는 일본에 큰 피해를 입혔으며 우리나라에서도 영도하수종말처리장, 울산항 남측 매립지 방파호안 등지에 큰 피해를 유발하였다. 한편, 태풍 산산은 2006년 9월 10일 미국 팜 서북서쪽 약 1,140 km 부근 해상에서 발생한 중심기압 980 hPa의 중형급 태풍으로 울릉도에서 45.6 m/s, 포항에서 34.6 m/s의 최대풍속을 기록하였다. 태풍 산산에 의한 강한 바람과 해상의 높은 너울로 인해 동남해안의 연안·항만시설물이 큰 피해를 입었다.

본 논문에서는 2004~2006년에 운영되었던 기상청의 8개 해양기상부이 중에서 이 세 가지 태풍들의 경로에 인접한 마라도~동해부이 구간의 5개소, KIOST에서 파향·파고계(DW: Directional Waverider)로 관측한 성산, 남형제도, 해운대 및 대연항의 4개소, 그리고 KIOST에서 수압식파고계(WTG: Wave and Tide Gauge)로 관측한 거제홍도~속초 구간의 11개소에서 수집된 풍속, 풍향, 파향 및 파고 등의 자료를 분석, 정리하였다. 이 자료들은 대한해협 동쪽을 통과한 태풍으로 발생한 폭풍파들을 재현하는 관련 수치실험의 보정 및 검증자료로 소중하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 현장조사(2004~2006년) 및 자료 분석

각 기관에서 다른 관측기기로 관측된 파랑 자료들은 관측장비별로 또는 시기별로 정리하여 분석할 수 있다. 본 연구에서는 자료 품질의 균질성이 다르고 또 계측항목에도 차이

가 있는 점을 감안하여 먼저 기관별로 수행된 관측내역을 정리한 다음 태풍별로 파향·파고계와 수압식 파고계의 순서로 관측된 폭풍파들의 분석 결과들을 정리하였다.

2.1 해양기상부이(기상청)

Fig. 2에는 2004~2006년 동안에 기상청과 한국해양과학기술원에서 운영한 파랑관측지점의 위치들을 제시하였다. 기상청의 해양기상부이의 위치는 기상청의 홈페이지에서 확인할 수 있다. 본 연구에서 고려한 태풍들의 경로에 인접한 해양기상부이로는 마라도, 거문도, 거제도, 포항 및 동해를 들 수 있으며 상기 태풍들 내습 시의 자료 취득상황을 Table 1에 정리하였다.

2.2 파향·파고계 및 수압식 파고계(한국해양과학기술원)

한국해양과학기술원에서 2004~2006년 동안 전국에서 운영한 파랑관측소의 위치는 Fig. 2에 제시되어 있으며 각 관측소의 위·경도 및 파고계 설치 수심 등의 자세한 정보는 Table 2에 정리하였다. 또한 각 태풍에 대하여 KIOT의 파랑관측소별 자료 취득 상황도 Table 2에 포함하였다. Table 2에서 성산, 남형제도, 해운대 및 대연항의 파랑관측소들은 태풍 내습 시에 외해파의 단기 집중계측의 일환으로 운영되었다. 태풍 나비와 산산의 경우 이들이 대형 태풍으로 성장하

여 우리나라에 직접적인 영향을 미칠 것이 예상됨에 따라 나비의 경우 3대, 산산의 경우 2대의 파향·파고계를 각각의 예상 진로 부근에 단기간 설치하였다.

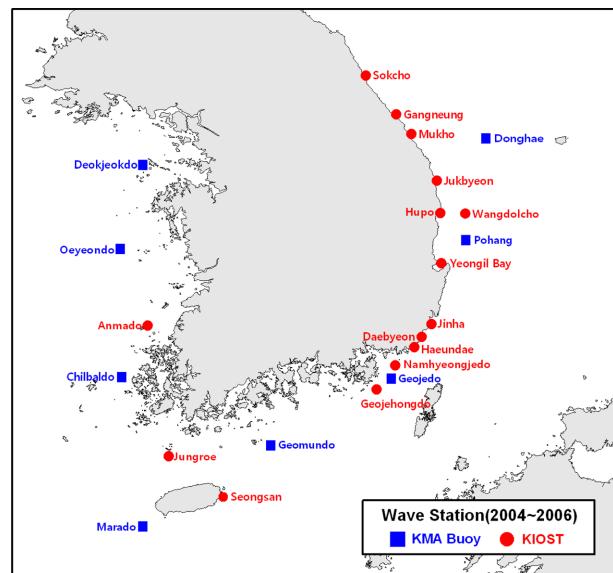


Fig. 2. Location map of KMA buoy and KIOT wave measurement stations.

Table 1. Data acquisition situation from KMA Ocean Bouy

Typhoon	Data availability at KMA Ocean Buoy				
	Marado	Geomundo	Geojedo	Pohang	Donghae
SONGDA (0418)	×	○	○	×	×
NABI (0514)	×	○	○	×	×
SHANSHAN (0613)	×	○	○	×	○

Table 2. Location information and data availability of KIOT wave stations

Station	Location			Typhoon			Depth (m)
	Latitude	Longitude	SONGDA	NABI	SHANSHAN		
Anmado	35°23'47.8"N	126°05'17.7"E	○	○	○	○	15.5
Jungroi	33°47'51.1"N	126°19'20.8"E	×	×	○	○	15.5
Seongsan	33°23'03.8"N	127°00'47.9"E	×	○	○	×	130.0
Geojeongdo	34°32'02.7"N	128°43'53.1"E	○	○	○	○	22.0
Namhyeongjedo	34°57'33.6"N	128°54'10.5"E	×	○	○	×	80.0
Haeundae	35°08'14.7"N	129°10'02.5"E	×	○	○	×	15.0
Daebyeon	35°11'09.1"N	129°16'45.2"E	×	×	○	○	80.0
Jinha	35°23'11.1"N	129°21'38.1"E	×	×	○	○	18.0
Yeongil Bay	36°06'53.4"N	129°27'49.4"E	×	○	○	○	15.5
Wangdolcho	36°43'10.3N	129°43'52.9"E	○	○	○	○	15.0
Hupo	36°41'59.1"N	129°29'03.4"E	○	○	○	○	17.5
Jukbyeon	37°03'37.2"N	129°26'00.0"E	×	×	○	○	18.0
Mukho	37°32'52.5"N	129°07'30.4"E	×	○	○	○	15.0
Gangreung	37°47'50.8"N	128°55'43.2"E	×	○	○	○	13.0
Sokcho	38°12'27.9"N	128°36'59.6"E	○	×	○	○	18.5

2.3 자료 분석방법

파향·파고계로부터는 매 30분마다 0.78125초 간격으로 1,024개 또는 2,048개의 자료가 수집되었으며 수압식파고계로부터는 0.5초 간격의 연속된 자료가 수집되어 이를 30분마다 2,048개씩 분할하여 분석에 사용하였다. 자료 분석에는 스펙트럼법이 기본적으로 사용되었고 보조적으로 영점 상향교차법도 사용되었다.

관측된 파랑 자료로부터 취득 가능한 다양한 파랑 파라미터들 중에서 본 연구에서는 파랑 특성을 이해하는 데 가장 중요한 요소라고 할 수 있는 유의파고(H_s), 침두주기(T_p), 유의파주기(T_s), 대표파향(θ ; 침두주기에서의 파향)을 주요 분석 대상으로 하였다. 대표파향은 최우도법(Maximum likelihood method)에 의해 추정하였으며(Panicker and Borgman, 1974), 유의파고는 파 스펙트럼의 0차 모멘트를 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$H_s = 4\sqrt{m_0}, m_0 = \int_{f_1}^{f_2} S(f) df$$

여기서, f 는 파의 주파수, $S(f)$ 는 파의 스펙트럼 밀도를 나타내며, 하한 절단주파수(low cutoff frequency) $f_1 = 5/128$ Hz로, 상한 절단주파수(high cutoff frequency) $f_2 = 64/128$ Hz로 설정하였다. 한편, 유의파주기는 영점 상향교차법(zero-upcrossing)에 의한 상위 1/3파의 평균 주기($T_{1/3}$)로 정의하였다.

3. 태풍별 파후 특성

3.1 태풍 송다(2004년 9월)

태풍 송다 내습 시에는 거문도와 거제도의 해양기상부이에서 관측자료가 구해졌으며 안마도, 거제홍도, 왕돌초, 후포, 묵호, 속초에서는 수압식 파고계로 계측된 파랑자료가 취득되었다. 본 기간에 취득된 해양기상부이의 자료들 중에서 파고, 주기 등의 파랑특성계수들의 정확도에 대해서는 동일 장소에서 동시관측된 자료가 없는 관계로 직접적인 비교가 곤란하였다. 해양기상부이에서는 풍향, 풍속, 기압, 최대파고, 유의파고, 주기, 파향 등의 정보가 제공되었으며, 풍향과 풍속은 디지털 값 대신 16방위로 제시되었다. 태풍 송다에 의한 최대 유의파고는 거문도의 경우 2004년 9월 7일 5시의 3.6 m, 거제도의 경우 9시의 2.5 m로 각각 나타났다. 그러나 이들 자료에서는 최대파고가 유의파고의 2배를 넘는 경우($H_{max}/H_{1/3} > 2$ 인 파는 이상파(Freak wave)라고 불리우며 출현빈도가 높지 않은 것으로 알려져 있음)가 대부분이고 결측된 시각도 적지 않아서 검토 대상에서는 제외하였다.

수압식파고계에 의한 최대 유의파고는 안마도에서 2.40 m, 거제도에서 3.50 m, 왕돌초에서 4.76 m, 후포에서 2.36 m, 속초에서 3.80 m를 기록하였다. Fig. 3에는 태풍 송다 내습 시 왕돌초, 후포, 속초에서 관측되었던 유의파고의 변화를 2004

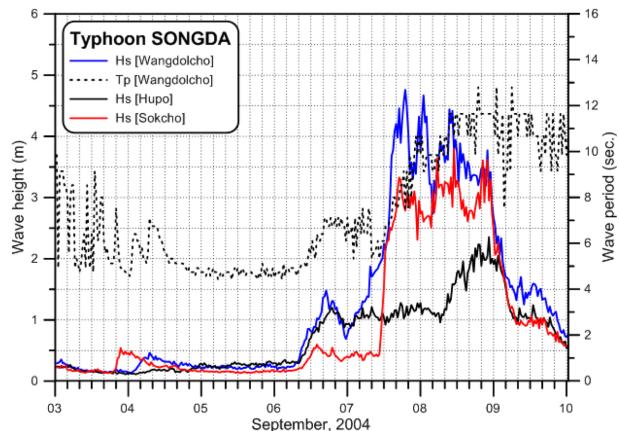


Fig. 3. Variation of H_s and T_p measured at stations Wangdolcho, Hupo, and Sokcho during the attack of typhoon SONGDA.

년 9월 3일 0시부터 10일 0시까지 30분 간격으로 제시하였으며, 외해역에 위치한 왕돌초의 경우 침두주기의 변화도 같이 도시하였다. 태풍의 이동경로에 가까웠던 왕돌초의 파고가 상대적으로 컸으며 후포보다는 속초에서의 파고가 더 크게 나타났다.

3.2 태풍 나비(2005년 9월)

태풍 나비 내습 시에도 거문도와 거제도의 해양기상부이에서 관측자료가 구해졌으며 성산, 남형제도, 해운대에서는 부이형 파향·파고계에 의한 정보들이 구해졌다. 그리고 안마도, 거제홍도, 영일만방파제, 왕돌초, 후포, 묵호, 강릉, 속초에서는 수압식 파고계로 계측된 파랑자료가 취득되었다. 태풍 나비에 의한 최대 유의파고는 거문도의 경우 2005년 9월 5일 18시의 2.3 m, 거제도의 경우 9월 5일 13시의 4.4 m로 각각 나타났다. 그러나 해양기상부이 자료에서는 전년도와 마찬가지로 최대파고가 유의파고의 2배를 넘는 경우가 대부분인 것으로 나타났다. 서로 인근에 위치한 거제도 해양기상부이와 남형제도의 파향·파고계로 구해진 자료들의 일치도를 검토하기 위하여 두 자료들을 동기화시키고 Fig. 4(a)에는 유의파고끼리, Fig. 4(b)에는 최대파고끼리 비교하였다. 먼저 유의파고의 경우 남형제도의 유의파고에 비해 거제도의 유의파고가 약 50~70%의 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 최대파고의 경우에는 양자가 상당히 양호한 일치도를 보였다. Fig. 4에 보인 자료를 이용하여 $H_{max}/H_{1/3}$ 의 값을 계산해보면 거제도 해양기상부이 자료는 2.82, 남형제도 자료는 1.67로 계산되는데, 통상적으로 $H_{max}/H_{1/3}$ 의 값이 심해에서 1.8 부근, 그리고 천해에서는 1.3~1.4의 값을 가지는 점을 고려하면 남형제도의 유의파고 관측값이 더 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

한편, Figs. 5~7에는 파향·파고계에 의해 성산, 남형제도 및 해운대에서 2005년 9월 3일부터 9월 9일까지 구해진 유의파고의 시간 경과에 따른 변화 추이를 각각 도시하였다. 이 그림들에서 파향은 0° 가 N, 90° 가 E, 180° 가 S, 그리고 270°

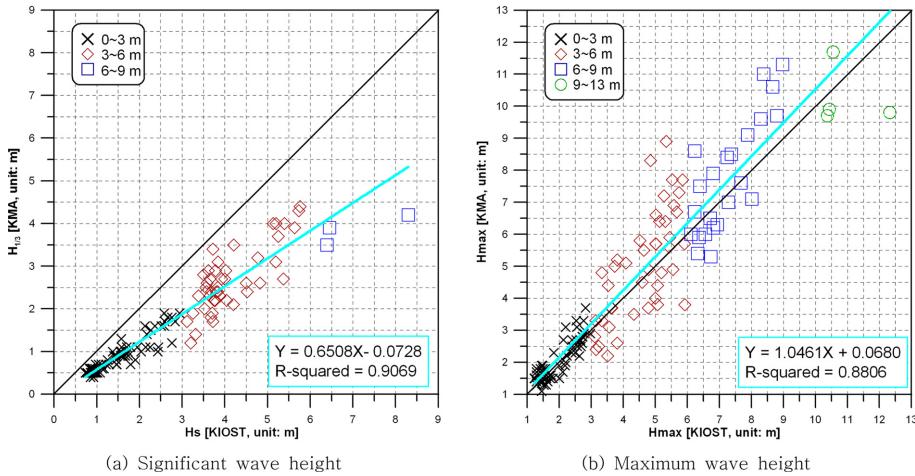


Fig. 4. Comparison of H_s and H_{\max} measured by KMA ocean buoy and KIOST Directional Waverider during the attack of typhoon NABI.

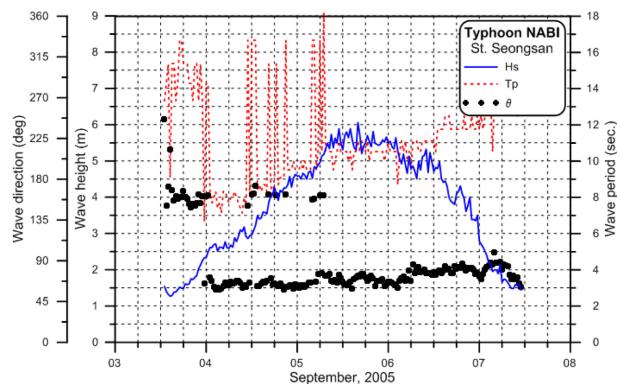


Fig. 5. Variation of H_s , T_p and θ measured at station Seongsan during the attack of typhoon NABI.

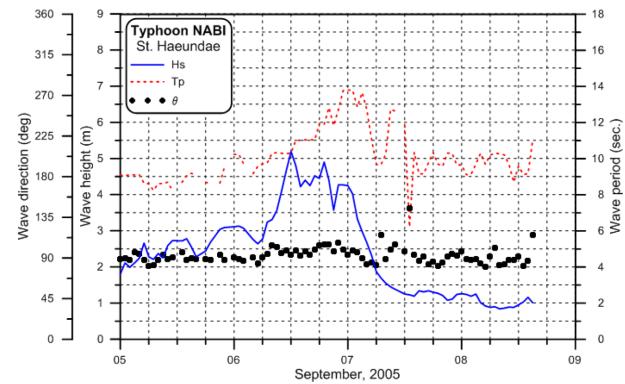


Fig. 7. Variation of H_s , T_p and θ measured at station Haeundae during the attack of typhoon NABI.

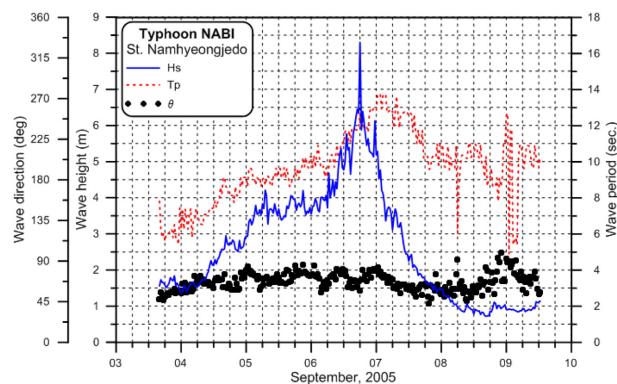


Fig. 6. Variation of H_s , T_p and θ measured at station Namhyeongjedo during the attack of typhoon NABI.

가 W를 각각 나타낸다. 성산 자료의 경우 대표파향은 대부분 ENE를 중심으로 분포하였으며 첨두주기는 유의파고가 최대가 되기 전에는 7~16초로 매우 큰 폭으로 변화하였으나 최대 유의파고 출현과 더불어 10~11초에서 12~13초로 길어지지만 비교적 일정한 값을 나타내었다. 유의파고의 성장과 감쇠는 그 속도가 비교적 느렸으며 관측기간 중의 최대 유의파고는 9월 5일 16시의 6.06 m로 나타났다. Fig. 6에 보인 남형제도 자료의 경우에도 대체로 ENE 계열의 파가 우세하였

다. 첨두주기는 유의파고가 최대가 되기 전에는 9~11초였으나 유의파고의 최대값 출현과 더불어 12초 이상으로 상당히 길어졌다가 10~11초로 다시 짧아졌다. 관측기간 중의 최대 유의파고는 9월 6일 18시의 8.30 m(이 때의 최대파고는 12.33 m, 첨두주기는 12.7초, 대표파향은 N57°E)로 나타났는데 그 전후의 유의파고들을 자세하게 살펴보면 9월 6일 17시 = 6.45 m, 17시 30분 = 6.34 m, 18시 = 8.30 m, 18시 30분 = 5.88 m, 19시 = 6.39 m로 나타나서 9월 6일 18시를 중심으로 전후 30분동안 유의파고가 2 m 이상 크게 변화하는 특이 현상이 발생하였으며 원시자료를 직접 확인하였으나 이상이 없음을 확인하여 순간적인 강풍에 의해 나타난 현상인 것으로 추정되었다. 해운대 전면에서의 관측 결과인 Fig. 7을 살펴보면 대표파향은 대부분 E~ESE 계열의 파가 우세하였으며 첨두주기는 대체로 9초 이상이었고 유의파고의 첨두치가 출현한 후에는 14초까지 길게 나타나기도 하였다. 관측기간 중 최대 유의파고는 9월 6일 12시의 5.19 m로 나타났다.

수압식 파고계에 의한 최대 유의파고는 영일만방파제 중앙부에서 외해 방향으로 1.4 km 지점에서 9월 7일 0시 30분에 관측된 12.21 m였으며, 그 때의 첨두주기는 12.80초, 유의파고 주기는 10.98초, 평균주기는 5.14초였다. 비슷한 시각에 다른

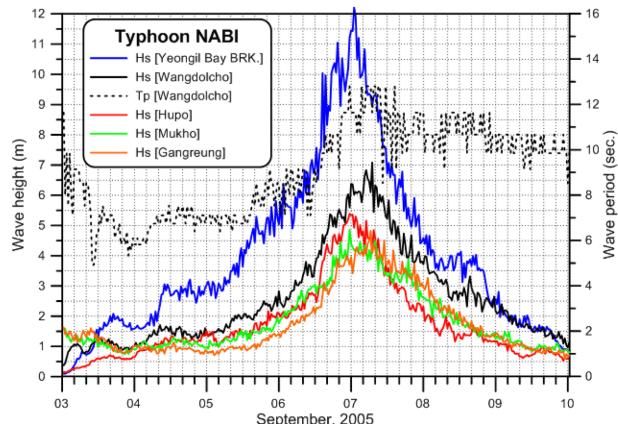


Fig. 8. Variation of H_s and T_p measured at stations Yeongil Bay Breakwater, Wangdolcho, Hupo, Mukho and Gangreung during the attack of typhoon NABI.

지점에서 관측된 유의파고는 왕돌초에서 7.09 m, 후포에서 5.39 m, 목호에서 4.86 m, 강릉에서 4.83 m를 각각 기록하였다. Fig. 8에는 상기 5개 관측소에서 태풍 나비에 의해 발생되었던 유의파고의 변화를 2005년 9월 3일 0시부터 10일 0시까지 30분 간격으로 제시하였다. 이 그림에는 왕돌초에서의 첨두주기의 변화도 같이 도시하였다. 영일만방파제는 무공케이슨방파제이므로 직각에 가깝게 입사하는 경우 제체 전면에서의 반사율이 매우 클 것으로 예상되며 그로 인해 형성되는 중복파의 영향으로 유의파고 10 m 이상의 파고가 관측된 것으로 추정된다. 한국해양과학기술원에서는 1980년대 중반부터 동해안 파랑관측을 실시해 왔으며 유의파고 10 m를 초과하는 파가 관측된 것은 이 때가 최초였다. 한편, 영일만방파제 파랑관측소를 제외하고는 태풍의 이동경로에 가까웠던 왕돌초의 파고가 상대적으로 큰 편이었으며 그보다 북쪽에 위치한 관측소일수록 파고가 작아지는 경향을 나타냈다.

3.3 태풍 산산(2006년 9월)

태풍 산산 내습 시에는 거문도, 거제도 및 동해의 해양기상부이 및 대변항의 부이형 파향·파고계에서 관측된 파랑자료가 구해졌다. 그리고 안마도~속초에 이르는 11개 관측소에서는 수압식 파고계로 계측된 파랑자료가 취득되었다. 태풍 산산에 의한 최대 유의파고는 거문도에서 2006년 9월 17일 18시의 2.5 m, 거제도에서 9월 17일 22시의 3.5 m, 동해에서 9월 18일 3시의 4.6 m로 각각 나타났다. 그러나 해양기상부이 자료에서는 2004년과 2005년과 마찬가지로 최대파고가 유의파고의 2배를 넘는 경우가 대부분인 것으로 나타났다.

파향·파고계에 의해 대변항에서 2006년 9월 16일부터 9월 19일까지 구해진 유의파고의 시간 경과에 따른 변화 추이를 Fig. 9에 도시하였다. 대변항 자료의 경우 대표파향은 대부분 ENE를 중심으로 분포하였으며 첨두주기는 유의파고의 증대와 함께 길어지는 경향을 보였으며 유의파고가 최대일 때 11초 정도의 값을 나타내었다. 유의파고가 성장하고 감쇠하

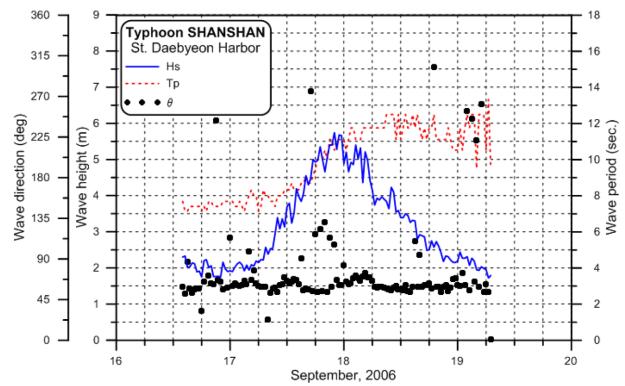


Fig. 9. Variation of H_s , T_p and θ measured at station Daebyeon Harbor during the attack of typhoon SHANSHAN.

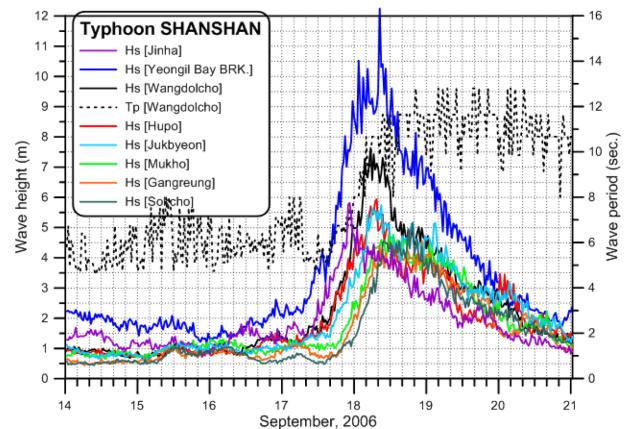


Fig. 10. Variation of H_s and T_p measured at stations Jinha, Yeongil Bay Breakwater, Wangdolcho, Hupo, Jukbyeon, Mukho, Gangreung, and Sokcho during the attack of typhoon SHANSHAN.

는 경사가 비슷하여 좌우 대칭에 가까운 모양을 나타냈으며 관측기간 중의 최대 유의파고는 9월 17일 22시의 5.74 m로 나타났다.

수압식 파고계에 의한 최대 유의파고는 진하에서 5.82 m, 영일만방파제에서 12.25 m, 왕돌초에서 7.64 m, 후포에서 5.94 m, 죽연에서 5.75 m, 목호에서 4.77 m, 강릉에서 4.56 m, 속초에서 5.16 m를 각각 기록하였다. Fig. 10에는 상기 8개소에서 태풍 산산 내습 시 관측된 유의파고의 변화를 2006년 9월 14일 0시부터 21일 0시까지 30분 간격으로 제시하였으며 첨두주기의 변화는 왕돌초에서 관측된 값을 도시하였다. 영일만방파제에서는 9월 18일 8시에 유의파고 12.25 m가 관측되었고, 이것은 2005년 태풍 나비 때와 마찬가지로 중복파의 영향 때문인 것으로 추정된다. 당시 관측된 첨두주기는 11.64초, 유의파주기 11.28초, 평균주기 5.09초였다. 한편, 이 시각을 전후하여 나타난 두 번째로 큰 유의파고는 10.52 m였으며, 최대 유의파고와는 상당히 큰 차이를 보였다. 태풍 나비 때와 마찬가지로 영일만방파제 파랑관측소 외에는 태풍의 이동경로에 가까웠던 왕돌초의 파고가 상대적으로 커으며 북쪽에 위치한 관측소일수록 파고가 작아지는 경향을 나타냈다.

4. 결론 및 토의

본 논문에서는 2004~2006년 매년 9월에 대한해협의 동쪽을 지나 동해안에 진출한 태풍 송다, 나비, 산산에 의해 발생된 폭풍파들을 대상으로 기상청과 한국해양과학기술원이 관측한 분석 결과들을 수집, 정리하였으며 그 주요 사항은 다음과 같다.

- 3개 태풍들의 이동경로에 인접한 성산, 남형제도, 해운대, 대변항 등에서는 파향·파고계, 진하~속초의 동해안 천해역에서는 수압식 파고계에 의한 파랑관측기록을 태풍으로 인한 폭풍파의 최대값을 중심으로 4~7일 동안 제시하여 수치모델링에 의한 재현성 확인에 도움이 되도록 하였다.

- 특히, 남형제도, 해운대, 대변항의 파향·파고계로 관측된 파고와 파향 자료들은 대한해협 동쪽을 통과한 태풍으로 발생한 폭풍파들을 재현하는 관련 수치실험의 보정 및 검증 자료로 소중하게 사용될 것으로 판단된다.

- 태풍 나비와 산산의 진행경로가 대한해협보다 동쪽이었음에도 불구하고 거제도 동쪽에 위치한 남형제도에서 유의파고 8.3 m가 관측되었으며, 특히 영일만방파제 전면 1.4 km 지점에서는 두 태풍 모두 기록적인 유의파고 12.2 m가 관측되었다.

- 거제도의 해양기상부이와 남형제도의 파향·파고계로 취득된 자료들의 비교 결과 최대파고는 유사하였으나 유의파고는 상당한 차이를 보였다.

- 남형제도의 유의파고가 짧은 시간 동안 급격하게 상승하여 침수값에 이르는 현상 및 영일만방파제 전면 1.4 km 지점에서 관측된 거대 중복파의 발생 메카니즘에 대해서는 추후 자세한 분석이 요구된다.

마지막으로, 본 논문에 제시된 주요 파랑 자료들은 주저자에게 연락하여 제공받을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국해양과학기술원의 “천해용-해상도시 건설을 위한 계류앵커 기술 개발” 연구사업 및 국토교통부가 주관하고 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 2012년도 지역기술혁신사업(12 지역기술혁신 B01)의 지원을 받아 수행되었으며 현장자료의 취득에 도움을 주신 모든 연구사업 관계자들에게 감사를 드립니다.

References

- Korea Ocean Research and Development Institute (2004). Research and development of the coastal hydraulic phenomena in Busan New Port, Fourth Report.
 Korea Ocean Research and Development Institute (2009). Report on measurement and investigation of ocean waves, BSPE98321-2151-1.
 Panicker, N. N. and Borgman, L. E. (1974). Enhancement of directional wave spectrum estimates. Proceedings of 14th International Conference on Coastal Engineering, 258-279.

원고접수일: 2014년 2월 6일

수정본채택: 2014년 3월 5일

게재확정일: 2014년 3월 13일