

파력발전 적지 기장 해역과 동해 해상부이 파랑관측치 비교

유창일* · 박정현* · 김헌태* · 윤한삼† · 윤상준**

(원고접수일 : 2008년 8월 11일, 원고수정일 : 2008년 9월 16일, 심사완료일 : 2008년 11월 21일)

Comparison of Observation Data between Local Waves in Gijang Sea and Donghae Buoy as Optimal Sites for the Wave Power Generation

C.I. Yoo* · J.H. Park* · H.T. Kim* · H.S. Yoon† · S.J. Yoon**

Abstract : Gijang Sea is located on the southeastern coast of Korea. This study establishes a basic system to identify optimal sites for the wave power generation. To achieve this goal, the field measurements were made at the field site in front of Dong-am fishing port at Gijang. In addition, we analyzed the offshore wave data at the Donghae buoy operated by Korea Meteorological Administration (KMA) and compared the data with the wave characteristics in Gijang Sea. The main results were as follows. In winter, the wave direction in Gijang Sea ranged between east and south ($90\sim 180^\circ$). The main wave direction was east (90°). The Significant wave heights and periods were under 2 m and 5~15 sec, respectively. A comparison of water depth and wave direction constitutes one(condition) of the important parameters for selecting the optimal site for the wave power generation.

Key words : Wave power generation(파력발전), Optimal site conditons(적지 조건), Gijang sea(기장해역), Donghae buoy(동해 부이), Wave field observation(파랑관측), Main wave direction(주파향)

1. 서 론

최근 21세기 전반에 예상되는 에너지와 환경의 위기를 해결하기 위해 화석연료의 사용량을 대폭 절감할 수 있도록 새로운 에너지원의 개발이 요구되고 있으며, 각국은 지구환경을 살리는 동시에 경제적으로도 안정적인 에너지를 공급하기 위한 차세

대 동력원을 개발하고 있다. 특히, 태양열, 바람, 조석 등 자연에서 얻을 수 있는 에너지는 지속적으로 재생산이 가능하기 때문에 활용 가능성이 매우 부각되고 있다⁽¹⁾.

특히 해양에는 수온, 파랑, 조류 등 다양한 에너지원이 존재하며, 이를 이용한 다양한 발전시스템이 연구/개발되고 있다. 예로들어 바다의 심해와

† 교신저자(부경대학교 해양산업개발연구소, E-mail: yoonhans@pknu.ac.kr, Tel: 051)629-7375)

* 부경대학교 해양공학과

** (주)KT서브마린

천해의 온도차를 이용한 해양온도차 발전, 파도의 운동에너지를 이용한 파력발전, 바다의 조수간만의 차를 이용한 조력발전 등이 최근 활발히 진행되고 있다^[2]. 하지만 해양에너지를 개발·이용하고자 할 경우 두 가지 점을 유의하여야 한다. 첫째는 바람과 같이 변동성이 강하나 파랑의 예처럼 에너지원의 변동특성과 취득방식의 문제이며, 둘째는 에너지를 취득하는 지점이 심해인지 천해인지의 문제이다. 특히 해양에너지 중에서 파랑은 변동이 바람만큼 심한 편이나, 조석은 6 시간 만에 최저점에서 최고점으로 변화하는 거의 일정한 주기성을 가지며, 해류는 평균치 주위에서 작은 변동을 가진다.

실제 조차를 이용한 조력발전은 변동성이 적어 프랑스 랑스에 발전소가 건립되어 구동 중이지만, 경제성 있는 발전을 하기 위해서는 조차 및 저수량이 커야 하는 한계성이 있다. 또한 발전소 건설을 위한 막대한 비용이 소요되므로 발전량에 비해 경제성이 떨어지는 단점이 있다. 이에 반해 파랑은 모든 해역에 폭넓게 분포하고, 설치 가능한 해역이 광범위하며, 여타의 해양에너지원에 비해 에너지밀

도 및 이용성이 높고 예측 가능한 에너지 자원으로서 한반도의 지형적 특성에 비추어 그 활용가치가 높은 장점을 가진다^[3].

파력발전을 연구해 온 대표적인 선진국으로는 영국, 노르웨이, 스웨덴 등의 유럽과 일본을 중심으로 다양한 국가에서 현재 진행되고 있으며^[4], 국내의 파력발전에 관한 연구로는 해양연구소(1983)가 실시한 동해안 후포 해역에서의 파력발전 예비 타당성 조사(연간 파랑에너지가 44 GWh로서 파력발전 가능성을 제시), 그 후 한국전력공사(1989-1991)가 죽변과 포항해역을 대상으로 1994년 60 kW급 OWC(Oscillating Water Column)를 개발한 바 있다^[1].

또한 우리나라 주변해역의 해양에너지 밀도를 분석한 연구로서 1979년부터 2002년까지의 장기 파랑산출 자료를 이용하여 15 km 격자간격으로 한반도 해역의 파랑에너지 분포특성을 연구한 바 있다^[5]. 또한 파랑에너지 밀도가 가장 높은 제주해역에 대해 SWAN모형을 적용하여 1 km의 해상도로 장기파랑 분포 특성을 파악하여 제시한 바 있다^[6].

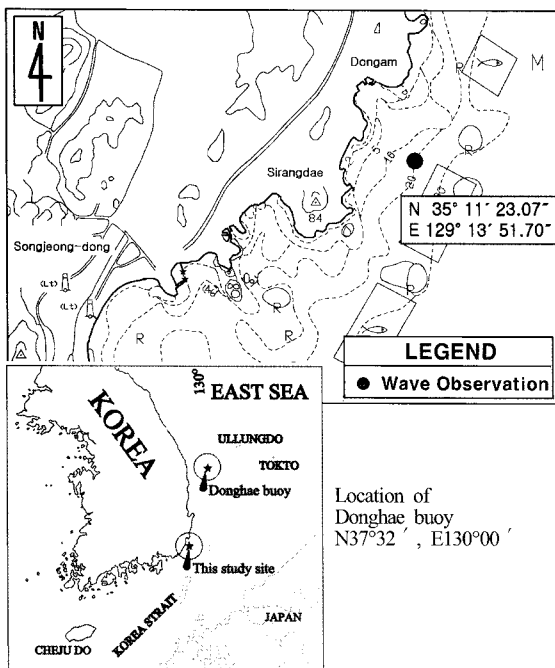


Fig. 1 Locations of the wave observations in this study

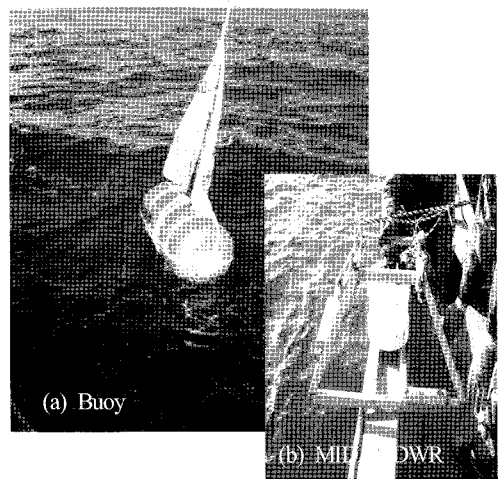


Fig. 2 Photographs of (a) the buoy installed after setting up the equipment and (b) the Midas directional wave recorder (Midas-DWR) used to observe field wave data

상술한 바와 같이 파력발전은 평균 파랑에너지 밀도뿐만 아니라, 계절적으로 얼마나 균일하게 발생되는지의 여부에 따라 효율성이 좌우되므로 적지 선정시 파랑에너지 밀도의 공간적, 시간적 분포특성을 고려하여야 하며, 특히 한반도와 같이 계절 변동성이 클 경우 기상인자와의 상관성에 대해서도 고려할 필요가 있다. 따라서 파력발전에 적합한 지역을 선정하고 선정 지점의 지형적 및 기상학적 특성에 의해 파랑에너지 밀도가 계절적으로 어떻게 변동되는지를 현장관측과 수치실험을 통하여 체계적인 분석 시스템이 구축될 필요가 있다.

본 논문에서는 에너지관리공단의 연구지원하에 케이슨내장형 파력발전 파일럿 플랜트 개발 연구과제 결과의 일부로서⁽⁷⁾, 파력발전 적지로 선정된 부산 기장군 동암항 전면해역에 대해 약 3개월간 동계국지파랑 관측을 실시하고 관측된 자료를 해석하여 기상청에서 운영 중인 동해 해양기상부이의 계측결과와 비교·분석하여 파력발전 적지선정을 위한 시스템 구축의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 현장 파랑관측

본 논문에서는 파력발전 시스템 적지 해역으로 선정된 부산 기장군 동암항 전면해역에 대해 파랑관측을 실시하고자 하였다. 대상해역의 위치는 Fig. 1과 같고 설치 당시의 수심은 25.5 m, 설치 지점의 해저면은 실트 및 점토로 이루어져 있으며 이들 주위는 암반으로 구성되어 있다. Fig. 2는 파랑관측을 위해 착저식 방향성 파고계인 MIDAS-DWR의 현장 설치 장면 및 설치 후 부이(Buoy)로 표시한 사진을 나타낸다.

파고관측 정점에서의 관측방법은 장기간에 걸쳐 대상해역에 입사하는 파랑특성을 계측하고자 Sampling rate를 2Hz로 하여 88분 동안 2,048개의 data를 기록, burst mode의 전체 기록시간은 17분 4초가 되도록 하였다. 이는 자료측정에 있어서 계측간격 Δt 는 0.5~1.0초로 하는 것이 적당하다⁽⁸⁾는 보고에 기초한 것이며 스펙트럼 해석시 Δt 가 0.5초일 때 자료수는 2,048개가 얻어지므로

FFT해석을 통한 파랑스펙트럼 해석시 파랑자료길 이로 적합하다고 판단하여 설정하였다⁽⁹⁾.

파랑관측에서 얻어진 data는 각각 압력 센서에서 얻어진 수위자료와 compass 센서에서 얻어진 u, v 방향의 속도벡터를 Fig. 3과 같은 방법으로 하여 각 burst별 대표값을 산출하였다. Fig. 3의 (a)와 같이 비방향성 압력자료인 Raw data를 demean, detrend 처리 후 스펙트럼 분석을 통하여 압력에너지 스펙트럼을 구하고 이를 수심과 주파수 보정을 통하여 파랑에너지 스펙트럼으로 변환하였다. 파향은 Fig. 3의 (b)에서 보여진 바와 같이 u, v data를 demean, detrend 처리 후에 hamming window filter를 사용하여 data set을 만들고 이를 FFT를 사용하여 최종적으로 정규화된 스펙트럼을 계산해 낸다. 관측기간은 MIDAS-DWR의 관측조건을 감안하여 최대 44일로 하였으며, 총 3회에 걸쳐 파랑관측을 실시하였으며 각 관측기간별로 3개의 Case를 설정하였다 (Table 1).

Table 1 Time period of wave observations

Case	Operating Time		Time Period (day)
	Start	End	
I	Nov. 12, 2007	Dec. 1, 2007	20
II	Dec. 17, 2007	Jan. 29, 2008	44
III	Feb. 16, 2008	Mar. 29, 2008	43

2.2 동해 해상부이 관측 자료

기장 동암항 전면해역의 파랑관측 기간과 동일한 기간에 Fig. 1의 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)⁽¹⁰⁾ 동해 해양기상부이의 관측 자료를 분석하였다. 먼저 동해에 위치한 해상부이는 동해시로부터 동쪽 방향으로 약 70 km 떨어진 해상에 위치하며 수심은 1,518 m로서 저면의 영향을 받지 않는 외해에 설치되어 있다. 해상부이가 설치된 해역의 기존 자료 분석결과로부터 해역특성을 살펴보면 풍속은 동계 최대 약 17 m/s 정도로 강하며 하계에는 약 13 m/s 정도로 상대적으로 약하다. 아울러 해양파고는 동계에 약 3 m, 하계엔 약 2 m 로 낮다.

본 논문에서는 동해 해상부이에서 계측된 1시간 간격으로 제공되는 유의파고($H_{1/3}$), 최대파고(H_{max}), 평균파향을 정리하여 파력발전 적지 대상 해역인 부산 기장 동암항 전면해역에서의 파랑관측 data와 비교하였다.

3. 기장해역과 동해 부이의 파랑관측결과 비교

3.1 관측 유의파고 및 주기 비교

Fig. 4는 기장 동암항 전면해역의 파랑관측시 획득되어진 압력자료를 바탕으로 Case I 일 때의 조위변동을 나타낸 것으로, 대조차가 약 1 m 이내이며 소조차가 약 0.3 m 임을 알 수 있다. 파랑관측 현장 인근에 위치한 대변항의 기존 조위관측치

를 살펴보면 대조차 약 86.4 cm, 평균조차 약 58.2 cm, 소조차 약 30.0 cm로 제시된 바 있다⁽¹¹⁾.

Table 2와 Fig. 5는 기장 동암항에서 계측된 파랑자료를 분석한 값을 나타낸 것이다. Case I의 경우 유의파고($H_{1/3}$) 2.28 m, 유의주기($T_{1/3}$) 5.7~12.8 sec이며, Case II의 경우 유의파고($H_{1/3}$) 5.22 m, 유의주기($T_{1/3}$) 4.89~12.8 sec이고, Case III의 경우 유의파고($H_{1/3}$) 2.67 m, 유의주기($T_{1/3}$) 5.49~15.81 sec로 관측되었다. 이상의 결과를 종합하면 관측해역에서의 동계 국지파랑은 유의파고($H_{1/3}$) 약 1.0~2.0 m의 범위에 분포하지만 최대 5.22 m의 파고가 내습하는 것을 알 수 있으며, 유의주기($T_{1/3}$)는 대략적으로 평상파의 단주기 성분일 경우는 5~6 sec, 해일성의 장주기 성분의 경우는 10~15 sec의 파랑이 내습하는 것을 알 수 있다. 이는 기존 제시한 파력발전 시스템

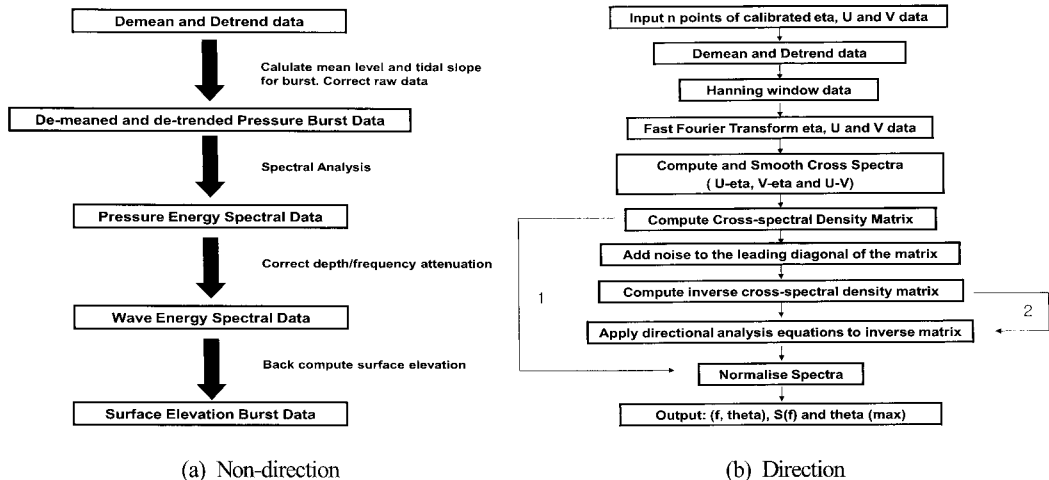


Fig. 3 Flowcharts of the analysis of the observed wave data: (a) non-directional and (b) direction

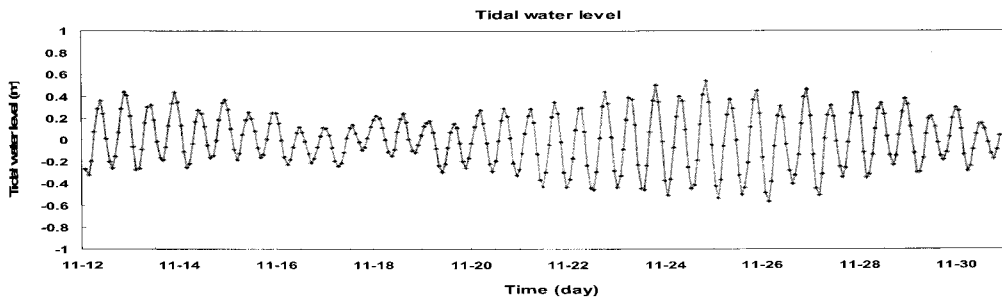


Fig. 4 Tidal water level observed at this site using the Midas-DWR equipment from Nov 12 to Dec 1, 2007

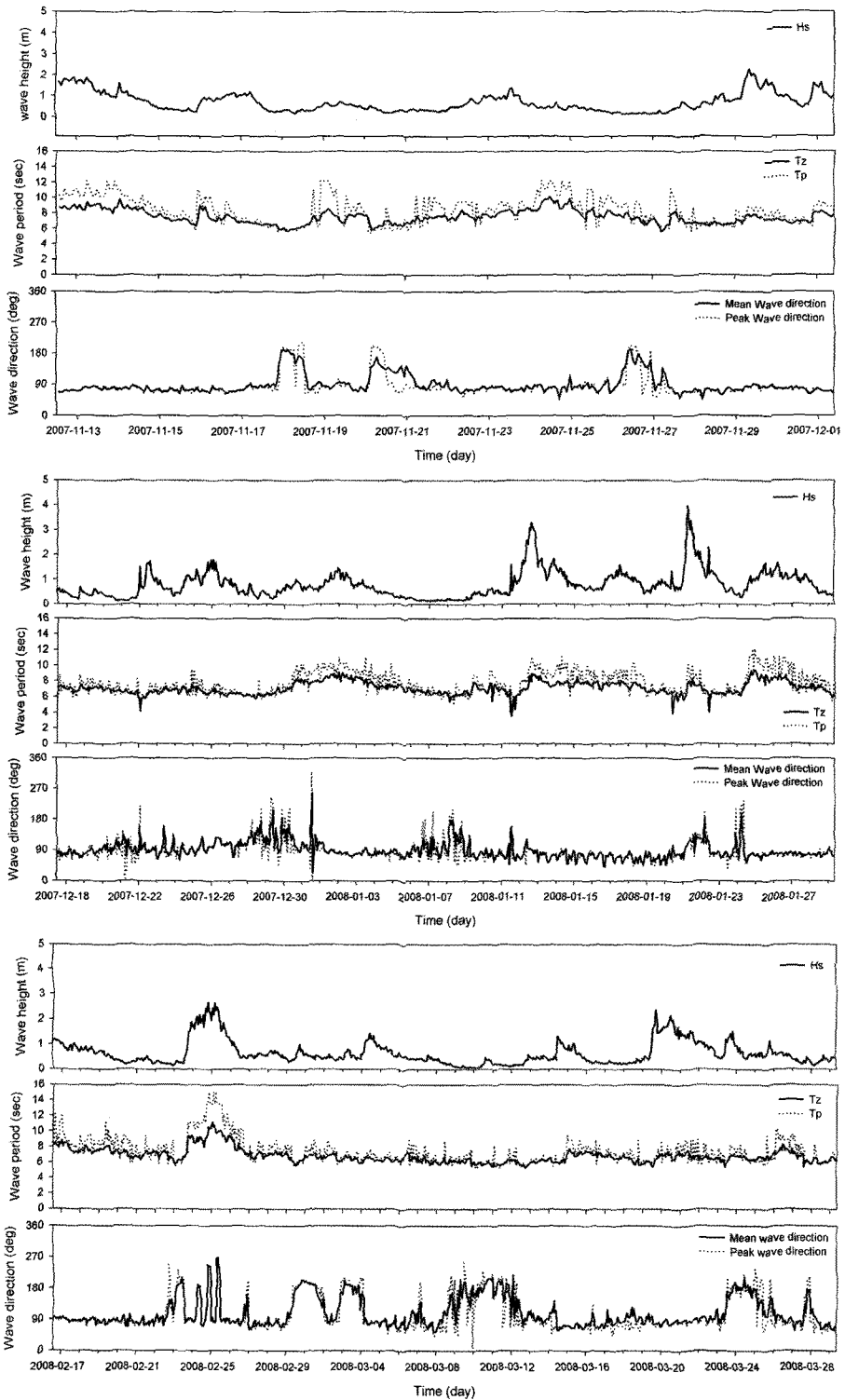


Fig. 5 Wave characteristics measured in the Gijang Sea during the entire period

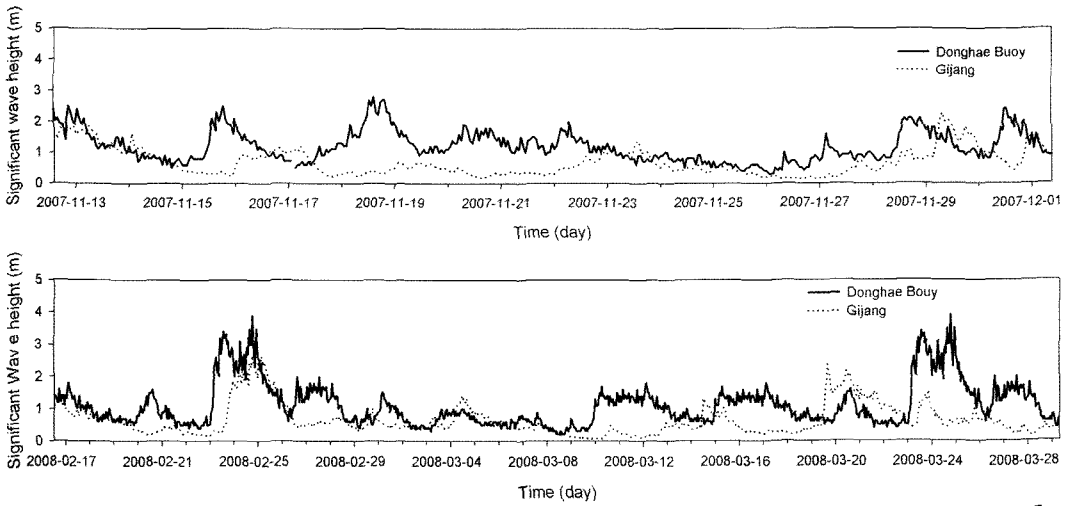


Fig. 6 Comparison with significant wave heights of the Gijang Sea and Donghae buoy during the period of Case I & III

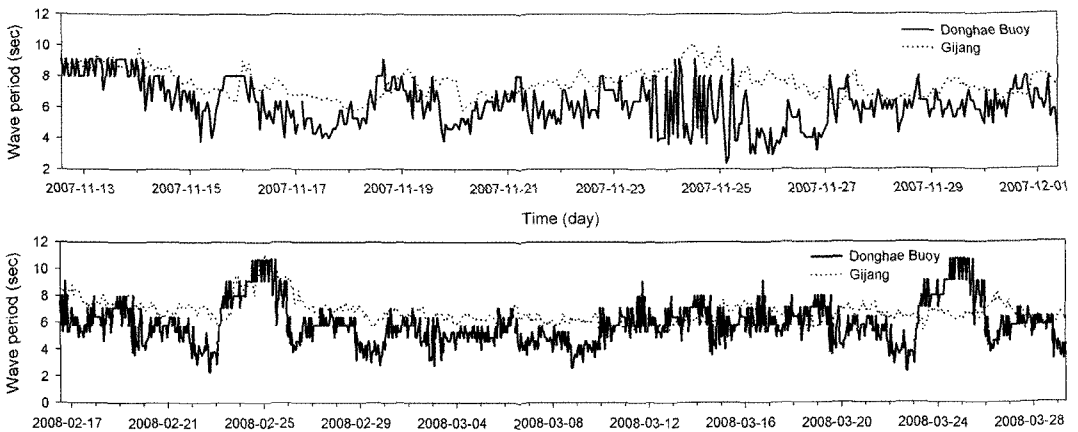


Fig. 7 comparison with the wave periods of the Gijang Sea and Donghae buoy during the period of Case I & III

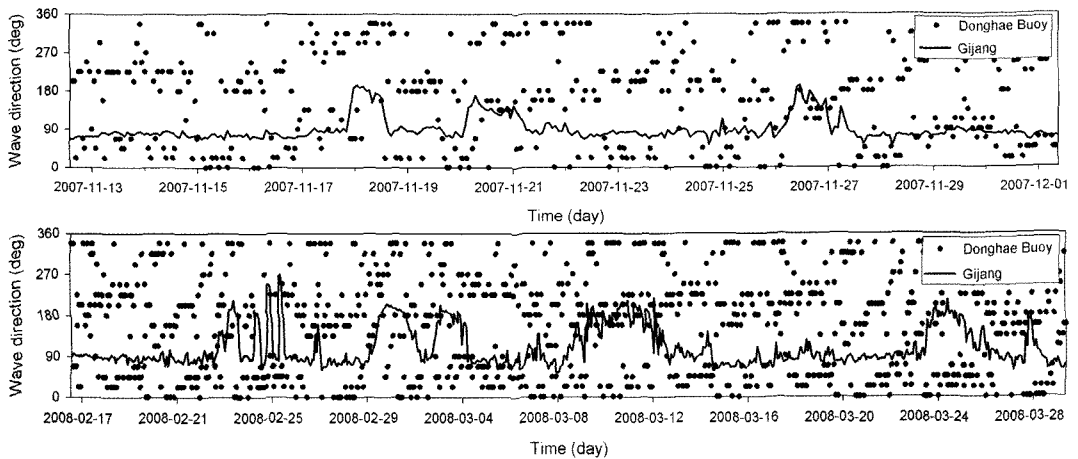


Fig. 8 Comparison with the wave directions of the Gijang Sea and Donghae buoy during the period of Case I & III

적지선정을 위한 해상 조건으로서^[3] 유의파고 1~4 m, 유의주기 4~7 sec의 범위에 해당하는 것으로 해당 기장 동암항 전면해역은 파력발전을 위한 적지로서 적합함을 알 수 있다.

Table 2 Wave characteristics based on the wave data observed at field site in the Gijang Sea

Factor	Case I	Case II	Case III
$H_{1/3}$ (m)	0.13~2.28	0.11~5.22	0.06~2.67
H_{max} (m)	0.21~3.57	0.17~8.19	0.10~4.20
$T_{1/3}$ (sec)	5.72~12.80	4.89~12.80	5.49~15.81
T_p (sec)	5.45~12.19	4.66~12.19	5.25~15.06
Mean dir. (deg)	47.7~194.2	22.5~256.0	54.4~269.3
Peak dir. (deg)	42.8~213.8	2.5~319.0	7.4~267.9

Fig. 6은 동해 해상부이의 관측 기간 중 Case II 기간 동안의 자료가 계측되지 않아 Case I과 Case III의 동해 해상부이와 기장해역 관측값만을 시간 변화에 따라 비교한 것이다. Fig. 6의 동일시점에서 기장해역에서 계측된 유의파고의 경우, Case I과 Case III 유의파고는 주로 0.4~1.2 m 범위를 가지며 최대 2.67 m까지 기록되었으며, 동해 해상부이의 유의파고는 주로 0.6~1.8 m에 분포하며 최대 3.9 m를 기록하였다. 동해 해상부이의 유의파고 값이 상대적으로 높게 나타났으나 2008년 2월 23일~26일을 제외하고는 동해 해상부이와 기장해역의 유의파고 연관성은 극히 적다고 할 수 있다. 참고적으로 동해 해상부이의 파고는 기상청에서 관측하는 다른 해상부이 관측결과와 비교해 볼때 칠발도를 제외한 다른 정점들 보다 상대적으로 높은 경향을 나타낸다.

Fig. 7은 두 해역의 주기를 나타낸 것으로 동해 해상부이의 주기 변동성이 상대적으로 크고 그 평균값이 기장해역에 비해 그 값이 상대적으로 작게 나타났다. 이는 기장 연안으로 입사되는 파랑이 상대적으로 긴 주기를 가짐을 알 수 있으며 주기는 발전량에 비례하므로 동해 부이보다 파고는 작지만 주기로서 발전량을 보충할 수 있다고 생각된다.

3.2 입사파향 특성 비교

동해 해상부이 관측정점에서의 풍향은 대체적으로 동계에 북풍계열이 우세한데 비해 춘계부터 추계까지는 남풍과 북풍이 모두 우세하다. 이에 비해 파향은 풍향과 일치하지 않게 나타난다. 동계에 북서풍이 우세한데 비해 파향은 풍향과 반대방향의 북향이 우세하며 하계에 우세한 남풍에도 불구하고 북향의 파랑은 아주 약하게 나타나며 오히려 남향의 파랑이 우세하다(). 그러나 본 연구에서는 Fig. 8과 같이 기장 동암항 전면해역에서 계측된 파향은 E계열(동향, 90°)이 매우 탁월하였으며, 불규칙적으로 S계열(남향, 180°)의 파랑도 발생하였다. 그러나 동해 해상부이에서 계측된 파향은 연안()에서 관측된 파향에 비해 매우 불규칙적임을 알 수 있다. 이는 대상해역이 외해에 위치하여 남서(SW) 및 북동(NE) 계열의 내습파랑의 중복 및 대기의 바람장 조건에 따라서 수시로 변화된 결과로 생각할 수 있다.

따라서 연안역에서의 내습 파랑의 파향 변동특성을 고려할 때, 파력발전 적지 선정에 있어서 발전 방식 및 구조물 형상 뿐만 아니라 내습 파랑의 파향의 불규칙성을 대표할 수 있는 대표 파향을 결정하는 것이 중요하다고 판단된다. 본 연구에서 관측되어진 파랑관측결과는 향후 상술한 바와 같이 내습 파랑의 대표 파향을 결정함에 있어서 유의한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 에너지관리공단의 연구지원하에 케이슨내장형 파력발전 파일릿 플랜트 개발 연구과제 결과의 일부로서, 파력발전 적지로 선정된 부산 기장군 동암항 전면해역에 대해 약 3개월간 동계국지 파랑 관측을 실시하고 관측된 자료를 해석하여 기상청에서 운영 중인 동해 해양기상부이의 계측결과와 비교·분석하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기장 동암항 전면해역에서 관측된 동계 국지 파랑은 유의파고($H_{1/3}$)는 약 1.0~2.0 m의 범위에

분포하지만 최대 5.22 m의 파랑이 내습하는 것을 알 수 있으며, 유의주기($T_{1/3}$)는 대략적으로 평상파의 단주기 성분일 경우는 5~6 sec, 해일성의 장주기 성분의 경우는 10~15 sec의 파랑이 내습하는 것을 알 수 있다. 이는 기장 동암항 전면해역이 파력발전을 위한 적지로서 적합함을 알 수 있다.

(2) 동계 동해 해상부이에서 계측된 파향은 매우 불규칙적이었으나 기장 동암항 전면해역에서 계측된 파향은 E 계열이 매우 탁월하였으며, 불규칙적으로 S 계열의 파랑도 발생하였다.

이를 종합적으로 판단하면, 대수심인 외해의 경우 파랑에너지밀도가 높기는 하지만, 파향이 다방향으로서 불규칙하고 고정식 파력발전 구조물을 설치할 경우 구조물 주설계 방향의 결정에 어려움이 따른다. 이에 반해 파향이 일정한 기장 동암항 전면해역의 경우 파향이 일정하고 파랑에너지의 가용량도 유효한 것으로 밝혀져 파력발전 적지로서 적합한 것으로 사료된다.

본 연구는 동계국지파랑에 한정해서 해석한 연구 결과로서 향후 계절별로 보다 지속적인 관측을 실시하여 계절별 변동특성 분석 및 대표 파향 결정 등 파력발전 적지선정을 위한 기초 자료로 활용될 필요성이 있다.

참고문헌

- [1] 김정환, 김유택, 이영호, "해양에너지를 이용한 파력발전시스템", 유체기계저널, 제10권, 제1호, pp. 65-76, 2007.
- [2] 홍석원, 김현주, 강윤구 역, 해양에너지공학, 신기술, pp. 11-27, 1998.
- [3] 홍기용, 류황진, 신승호, 홍석원, "파력발전 적지 선정을 위한 제주 해역 파랑에너지 분포특성 연구", 한국해양공학회지, 제18권, 제6호, pp. 8-15, 2004.
- [4] 최영도, 이영호, "파력발전의 개요 및 연구개발 현황", 태양에너지, 제6권, 제1호, pp. 17-24, 2007.
- [5] 송무석, 김도영, 김민, 홍기용, 전기천, "장기 수치모사 파랑자료를 바탕으로 한 한국해역의 파랑에너지밀도 분석", 한국해양환경공학회지, 제7권, 제3호, pp. 152-157, 2004.
- [6] 류황진, 홍기용, 신승호, 송무석, 김도영, "SWAN 모델을 이용한 제주해역 장기 파랑분포 특성 연구", 한국해양환경공학회지, 제7권, 제3호, pp. 137-145, 2004.
- [7] KT서브마린, 케이슨 내장형 파력발전 시스템 적지대상해역 해양조사 및 설계파랑 검토 1차년도 진도보고서, pp. 7-30, 2008.
- [8] Goda, Y., Random seas and design of Marine structures, Univ. of Tokyo press, 1985.
- [9] 류청로, 김희준, 손병규, "연안해역의 기상·파랑관측망 설계 및 해석기술의 구축-해양파랑 관측자료의 해석방법", 한국수산학회지, 제30권, 제1호, pp. 16-30, 1997.
- [10] 기상청, <http://www.kma.go.kr/>.
- [11] 부산광역시, 바다목장벨트화 기본계획 수립용역 종합보고서, pp. 41-43, 2005.
- [12] 고희중, 방익찬, 김태희, "한반도 주변 해역 5개 정점에서 파랑과 바람의 관계", 한국지구과학회지, 제26권, 제3호, pp. 240-252, 2005.

저 자 소 개



유창일(劉昌一)

1975년생, 2002년 부경대학교 해양공학과 졸업, 2006년 동 대학원 졸업(공학석사), 2008년 동 대학원 공학박사수료, 현재 부경대학교 해양산업개발연구소 전임연구원



박정현(朴庭賢)

1983년생, 2007년 부경대학교 해양공학과 졸업, 2009년 현재 동 대학원 석사과정 재학 중



김헌태(金憲泰)

1959년생, 1988년 부산수산대학교(현 부경대학교) 해양공학과 졸업, 1991년, 1994년 일본오사카대학교 토목공학과 대학원 졸업(공학석사, 공학박사), 현재 부경대학교 해양공학과 부교수



윤한삼(尹漢森)

1971년생, 1997년 부경대학교 해양공학과 졸업, 1999년, 2004년 동 대학원 졸업(공학석사, 공학박사), 현재 부경대학교 해양산업개발연구소 조교수



윤상준(尹相竣)

1974년생 1999년 부경대학교 해양공학과 졸업, 2001년 동 대학원 졸업(공학석사), 2001~2003년 한국해양연구원(연구원), 2007년 부경대학교 해양산업공학(협) 수료(공학박사), 2003년~현재(주)KT서브마린 과장