

## 울진해역의 Freak wave 특성과 스펙트럼 근사에 대한 연구

유황진\* · 홍사영\*\*

\*(주)한국해양기술

\*\*한국해양연구원 해양구조물플랜트연구부

### Study on Freak Wave Characteristics and Approximation of Wave Spectrum in Uljin Sea Area

Hwang-Jin Ryu\* and Sa Young Hong\*\*

\*Korea Ocean Engineering & Consultants CO., LTD, Suwon, Korea

\*\*Marine Structure & Plant Research Department, MOERI/KORDI, Daejeon, Korea

**KEY WORDS:** Hs-Tz Scatter Diagram 파고-주기 결합분포표, Freak wave, Skewness 파형의 상하 비대칭성, Aftness 파형의 전후 비대칭성, Kurtosis 빈도분포의 첨예도, Spectrum bandwidth parameter 스펙트럼 대역폭

**ABSTRACT:** This paper investigates the statistical properties of waves in the sea area of Uljin, which is located in the East Sea area of Korea. The wave data were measured using AWAC (Acoustic Wave and Current Meter), which was installed at a 16-m water depth from November 2010 to March 2011. The wave data acquisition rate, Hmax, monthly mean Hs, Tz, Tp, and wave direction are summarized. The distributions of Hs and Tz were analyzed using the Hs-Tz scatter diagrams. The measurement wave data were analyzed to investigate freak wave characteristics. By comparing the wave spectrum using the measurement wave data with the wave spectrum obtained by varying the JONSWAP wave spectrum, it was possible to approximate the wave spectrum shape at the Uljin Sea area

#### 1. 서 론

실해역 파랑의 발생 원인은 여러 가지가 있겠지만, 대부분의 경우 바다위로 불어오는 바람에 의해 발생한다. 바람에 의해 발생한 파랑은 그 성격이 기본적으로 불규칙하며 다방향으로 전파되는 각 성분파를 토대로 이루어져 있다. 이러한 파랑은 선박 및 해양구조물에 파랑하중과, 상호간섭 그리고 운동을 발생시킨다. 따라서 파랑은 선박 및 각종 해양구조물에 가장 중요한 설계인자 중의 하나이다(김도영, 2006). 그리고 파랑은 시간과 장소에 따른 입력에너지가 변화하는 변동성과 분산성을 갖고 있어, 파력 에너지 이용을 목적으로 한 발전설비를 설계할 경우 우선적으로 파악되어야 하는 정보는 가용 파랑에너지 양과 파랑의 물리적 분포특성이다(유황진, 2006). 상대적으로 우수한 파랑 에너지 밀도는 파력발전 적지 선정의 중요한 요구조건이며, 파랑특성은 발전장치의 효율 관점에서 최적화를 지배하는 주요 인자이기 때문이다(홍기용 등 2005).

이러한 것의 기초자료인 파랑자료는 필요로 하는 모든 지점에서 결측이 전혀 없이 현장관측으로 연속적인 자료를 관측하기란 현실적으로 거의 불가능하다. 그리고 현장관측으로는 한 시점과 장소에 대해서는 정확한 파랑 정보를 제공하나 시공간적인 제한점이 있으므로, 이를 보완하기 위해서는 파랑추산모델 [SWAN (Simulating Waves Nearshore), WAM(Wave model)]과 파랑변

형모델(Mild slop equation, boussinesq)로 대표되는 파랑수치모델을 이용하여 간접적으로 파랑을 산출하는 방법을 택하지 않을 수 없다. 특히 불규칙파랑에 대한 파랑의 변형과 추산을 하기 위해서는 파랑추산모델의 입사와 경계에서 파랑스펙트럼을 가정하여 조파하게 되는데 JONSWAP(Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼의 경우 첨대계수(Peak enhancement factor,  $\gamma$ ) 값을 결정해야 하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 2010년 11월 17일 부터 2011년 3월 30일 까지, 경북 울진군 북면 나곡1리 한국수력원자력 전면 수심 16m 해역에 Nortek사의 AWAC(Acoustic wave and current meter) 초음파 파고계를 설치하여 취득된 파랑자료를 이용하여 해당해역의 파랑특성을 분석하고, 파랑의 비선형특성을 조사하여 Freak wave 특성분석을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 그리고 계측된 파랑자료를 이용한 파랑스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼의 g값을 변화시켜 얻어진 스펙트럼을 비교하여 해당해역의 파랑스펙트럼 형상을 근사하였다.

#### 2. 파랑계측

한국전력연구원에서 연구 중인 가동물체형 파력발전장치 설치해역인 경북 울진군 북면 나곡1리 한국수력원자력 전면 수심 16m 해역(N: 37°05' 45.72", E: 129°23' 32.46")에 대한 파랑의 역

학적 특성을 파악하기 위하여, 2010년 11월 17일 부터 2011년 3월 30일까지 Nortek사의 AWAC 초음파 파고계를 이용하여 매 1시간 간격으로 3500초 동안 4Hz로 파랑을 계측하였다.

Fig. 1과 2에서는 AWAC 초음파 파고계 설치장면과 위치를 보여주고 있다.

### 3. 울진해역의 파랑특성 분석

#### 3.1 파고, 주기 특성분석

Table 1은 월평균 유의파고( $H_s$ ), 평균영점상향교차주기( $T_z$ ), 평점파정주기( $T_p$ )와 관측율을 나타낸 표이다. 계측기간 동안 약 92%의 관측율을 보이는 가운데, 2010년 12월과 2011년 1월의 관측율이 90%이하로 떨어진 이유는 초음파파고계에 저장된 파랑데이터 수집과 배터리 교환 등, 유지보수에 걸린 시간동안 파랑계측을 하지 못해서 이다.

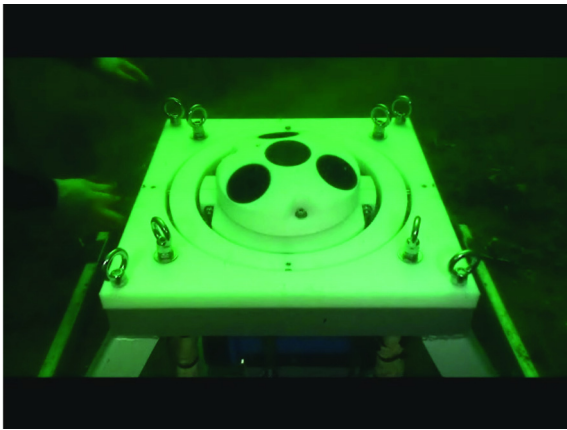


Fig. 1 Set up AWAC



Fig. 2 Location of AWAC

Table 1 Wave parameters and acquisition rate

Mon	$H_{max}$ (m)	$H_s$ (m)	$T_z$ (s)	$T_p$ (s)	Acquisition rate (%)
2010. 11	5.08	0.56	3.82	6.32	100
2010. 12	6.60	0.99	4.76	7.47	87
2011. 01	8.96	1.36	5.57	8.68	85
2011. 02	6.57	0.97	4.37	6.82	100
2011. 03	5.22	0.69	3.96	6.31	95

계측 기간 동안 평균  $H_s$ 는 0.95m이고 평균  $T_z$ 와  $T_p$ 는 각각 4.55, 7.17sec 이다. Table 1에서 볼 수 있듯이  $H_s$ 가 높은 달이 다른 달에 비해서 상대적으로 긴  $T_z$ 와  $T_p$ 를 나타내는 것을 볼 수 있다. 계측기간 동안 울진 해역의 최대파고( $H_{max}$ )는 Table 1에서 볼 수 있듯이 8.96m이고, 주기는 12.03초로 나타났다. Fig. 3은 2011년 1월 1일 13시 30분경에 계측된  $H_{max}$ 의 시계열을 보이고 있다. 그리고 매 1시간 간격으로 3500초 동안 4Hz로 파랑을 계측하여 얻은  $H_s$ 와  $T_z$ 의 시계열은 Fig. 5에 도시하였다.

McCowan(1894)은 수심과 쇄파파고에 대하여 다음과 같은 식을 제안했다.

$$H_b = kh_b, \quad k = 0.78 \tag{1}$$

여기서  $H_b$ 는 쇄파 파고이고,  $h_b$ 는 수심이다.

그리고 Weggel(1972)은 해안경사에 따른 쇄파파고의 관계를 여러 실험 결과를 통해 다음과 같이 제안했고, 식 (2)는 해안경사( $m$ )이 0°일 때,  $k = 0.78$ 로 수렴한다.

$$k = b(m) - a(m) \frac{H_b}{gT^2} \tag{2}$$

여기서  $a(m) = 13.6(1.0 - e^{-19m})$  이고

$$b(m) = \frac{1.0}{0.64(1.0 + e^{-19.5m})} \text{ 이다.}$$

초음파 파고계 설치 수심이 16m인 점을 감안하여, McCowan 이 제안한 식 (1)에 따르면 쇄파파고는 약 12.5m가 된다. 물론 2011년 1월 1일 13시30분경 발생한  $H_{max}$ 가 12.5m에 이르지 못했지만,  $H_{max}$ 가 8.0m 이상 되는 파랑이 빈번히 발생하는 모습을 Fig. 4에서 볼 수 있다. 특히  $H_{max}$ 가  $H_s$ 의 2배 이상인 파랑을 Freak Wave라 정의 할 때, 울진해역에서 2011년 1월 1일 13시 30분경에 관측된 파랑자료는  $H_{max}/H_s=2.15$ 로 Freak Wave에 해당된다.

신승호 등(2007)은 Freak wave 예보의 토대를 마련하고자 실측 파랑자료를 이용하여 파형의 상하 비대칭성( $S_k$ : Skewness), 전후 비대칭성( $A_i$ : Atiltness), 빈도분포의 첨예도( $K$ : Kurtosis) 및 스펙트럼 대역폭 파라미터( $\epsilon$ : Spectrum bandwidth parameter)를 분석하여, 각 파라미터와 Freak wave의 상관관계를 나타내었다. 각각의 비선형 파라미터에 대한 식은 다음과 같다.

$$S_k = \frac{1}{\eta_s^3} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\eta_i - \bar{\eta})^3 \tag{3}$$

$$A_i = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (\eta_i - \bar{\eta})^3}{\left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (\eta_i - \bar{\eta})^2 \right]^{3/2}} \tag{4}$$

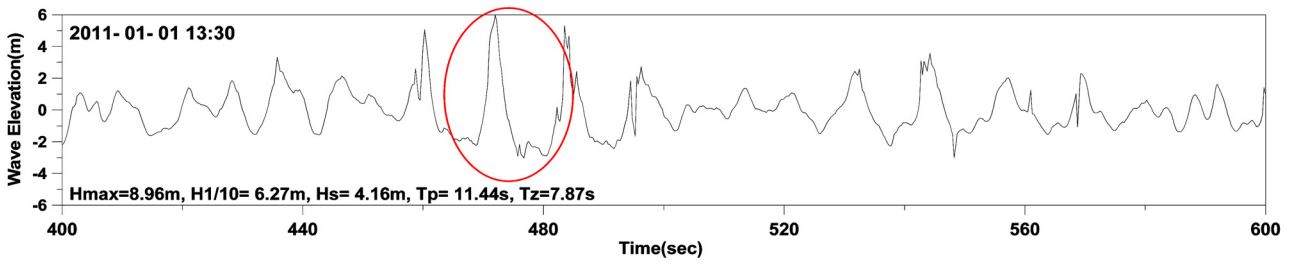


Fig. 3 Time Series of  $H_{max}$

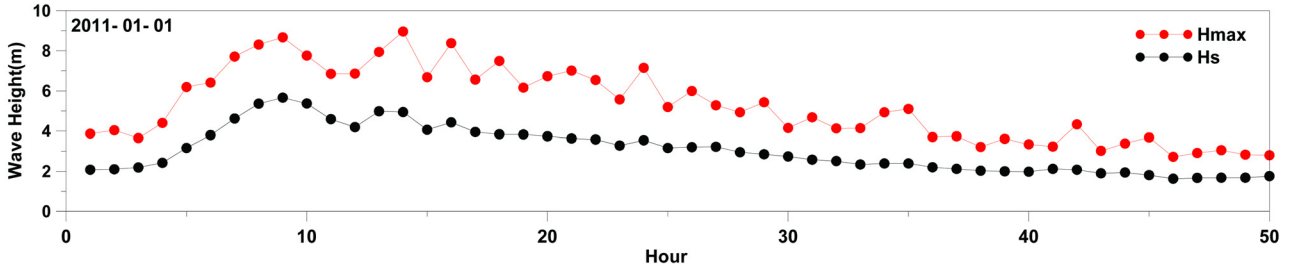


Fig. 4 Comparison of  $H_{max}$  and  $H_s$

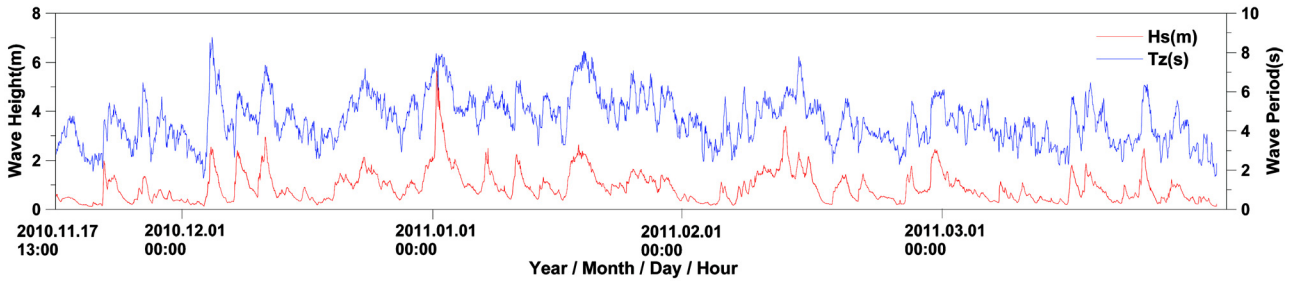


Fig. 5 Time Series of  $H_s$  and  $T_z$

$$K_t = \frac{1}{\eta_s^4} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\eta_i - \bar{\eta})^4 \quad (5)$$

$$\epsilon = [1 - m_2^2 / (m_0 m_4)]^{1/2} \quad (6)$$

여기서,  $\eta_s$ 는 수면 변동량의 제곱평균제곱근(root mean square),  $i=1,2,\dots,N$ 은 수면 변동량의 시계열,  $\eta_i$ 는 시계열의 수면 변동량,  $\bar{\eta}$ 는 시계열 수면 변동량의 평균을 나타낸다. 그리고  $\dot{\eta}_i$ 는 시계열  $n$ 번째 수면 변동량과  $n+1$ 번째 수면 변동량의 변화율로서 각 계측점의 증분  $\Delta\eta$ 를 계측 시간 간격  $\Delta t$ 로 나눈 값이다. 그리고  $m_0, m_2, m_4$ 는 각각 파랑스펙트럼의 0차, 2차, 4차 모멘트이다.

식 (3)~식 (6)을 이용하여 울진해역에서 2011년 1월 1일 13시 30분경에 관측된 Freak wave의 비선형 파라미터를 분석하여 Table 2에 나타내었고, 여기서  $H_{max}$ 와  $T_{max}$ 는 Freak wave의 파고와 주기이다. 이 파랑자료는 2011년 1월 1일 13시30분부터 3500초 동안 4Hz로 계측한 자료이다.

파형의 상하 방향 왜곡 정도를 나타내는  $S_k$ 는 수면 빈도분포에서 좌우의 대칭 정도를 표현하게 되며, 완전 대칭일 경우 0이 된다. 파형의 기울어짐 정도를 나타내는  $A_t$ 는 수심의 영향을 받지 않는 심해에서는 통상 0의 값을 나타내게 된다. Table 2에서

보이는  $S_k, A_t$ 값은 각각 0.639, 1.009로 신승호 등(2007)의 결과보다 다소 큰 값을 보인다. 이는 무한수심(41m, 45m)에서 계측된 파랑자료를 이용한 신승호 등(2007)과 김도영(2010)의 결과에 비해 상대적으로 낮은 유한수심(16m)에서 계측된 파랑자료의 차이점이라고 생각된다. 즉 무한수심에서 진행해 오던 파랑이 바다의 영향을 받아  $S_k, A_t$ 값이 커지는 것이다. 이는 신승호(2001)의 결과에서도 확인 할 수 있다.

Table 2 Nonlinear wave parameter

Description	Value
$H_{max} (m), T_{max} (s)$	8.96, 12.81
$H_s (m)$	4.16
$T_p (s)$	11.44
$T_z (s)$	7.87
Skewness ( $S_k$ )	0.639
Atiltness ( $A_t$ )	1.009
Kurtosis ( $K_t$ )	3.722
Spectrum bandwidth parameter ( $\epsilon$ )	0.977

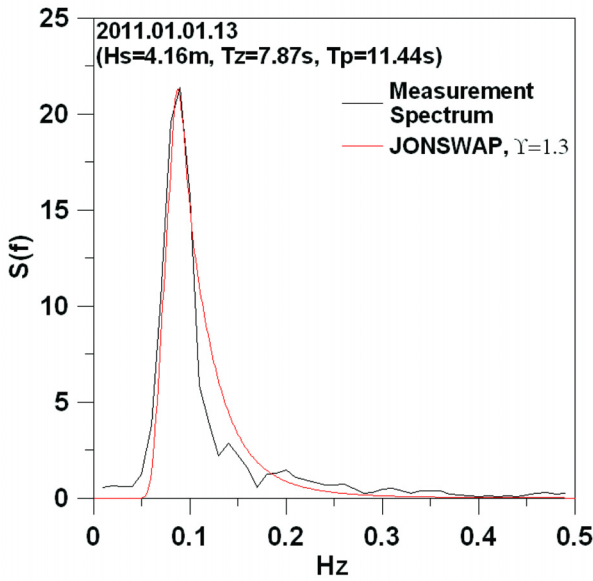


Fig. 6 Comparison of Real Sea Wave Spectrum and JONSWAP Spectrum (2011.01.01.13)

주파수 스펙트럼의 대역폭을 나타내는  $\epsilon$  은 0보다 크고 1보다 작은 값을 나타내게 된다. 험대역인 경우  $\epsilon$  은 0이 되고, JONSWAP Spectrum  $\gamma = 3.3, \sigma_a = 0.07, \sigma_b = 0.09$  일 때  $\epsilon$  은 0.39이다. Table 2와 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 Freak wave가 발생했을 때  $\epsilon$  값은 0.977로, 이는 계측된 파랑자료를 이용한 스펙트럼을 JONSWAP 스펙트럼으로 근사하여 얻어진  $\gamma$  값이 1.3으로 광대역 파랑분포를 보이기 때문이다.

Mori (2004)와 Stansell (2005) 등의 연구 결과는 파랑의 비선형성은 파형의  $S_R$ 보다는  $K_f$ 에 의한 영향이 크다는 것을 보여주고 있다. 그리고 김도영(2010)은  $K_f$  값이 크다는 것이 Freak wave의 발

생을 의미하는 것은 아니지만, 강한 연관성이 있을 가능성을 추정하였고, 신승호 등(2007)은  $K_f$ 가 타 비선형 파라미터에 비해 다소 개선된 관계를 보여줌을 밝혔다. Table 2에서 볼 수 있듯이 Freak wave가 발생 했을 때의  $K_f$ 는 3.722로 김도영(2010)과 신승호 등(2007)의 연구 결과와 정성적으로 비슷한 값을 나타내고 있다.

3.2 파향 분포

Table 3와 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 계측기간 동안, 초음파 파고계 설치 해역의 주파향은 북동방향이 우세하다.

Table 3 Monthly Main Wave Direction

	Mon	2010.11	2010.12	2011.01	2011.02	2011.03
Main Wave Direction		NE	ENE	NE	NE	NE

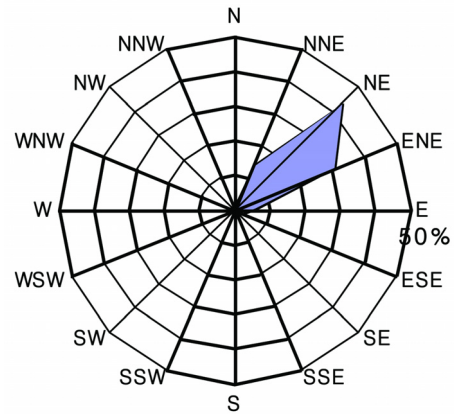


Fig. 7 Distribution of Wave Direction

Table 4  $H_s-T_z$  Scatter Diagram (2010.11.17-2011.03.30)

$T_z$ $H_s$	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0	9.0-9.5	9.5-10.0	10.0-10.5	10.5-11.0	11.0-11.5	11.5-12.0	12.0-12.5	12.5-13.0	13.0-13.5	Sum	S-Per (%)	Accu	A-Per (%)
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	1	0.0
6.5-7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	2	0.1
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	2	0.1
5.5-6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.1	4	0.1
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	5	0.2
4.5-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.1	7	0.2
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.1	10	0.3
3.5-4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0.3	19	0.6
3.0-3.5	0	0	0	0	0	0	1	5	2	0	4	4	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.6	36	1.2
2.5-3.0	0	0	0	0	0	0	3	7	0	4	12	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	1.1	68	2.3
2.0-2.5	0	0	0	0	2	3	16	35	30	19	31	12	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153	5.1	221	7.4
1.5-2.0	0	0	0	1	13	48	48	69	70	30	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	297	10.0	518	17.4
1.0-1.5	0	0	1	10	44	70	104	179	116	59	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	599	20.1	1117	37.5
0.5-1.0	0	3	34	90	188	231	225	159	43	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	980	32.9	2097	70.5
0.0-0.5	12	62	147	236	224	145	45	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	878	29.5	2975	100.0
Sum	12	65	182	336	457	461	425	411	277	170	65	69	36	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2975	100.0		
S-per (%)	0.4	2.2	6.1	11.3	15.4	15.5	14.3	13.8	9.3	5.7	2.2	2.3	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Accu	12	77	259	595	1052	1513	1938	2349	2626	2796	2861	2930	2966	2973	2975	2975	2975	2975	2975	2975	2975	2975	2975	2975				
A-per (%)	0.4	2.6	8.7	20.0	35.4	50.9	65.1	79.0	88.3	94.0	96.2	98.5	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0				



3.3 파고-주기 결합분포표

계측된 파랑자료를 이용하여  $H_s$ - $T_z$ 의 결합분포를 파고 0.5m, 주기 0.5초 구간으로 나누어 작성하였다. Table 4에서 Sum과 S-per는 각각 개별 파랑의 출현수와 그 백분율이고, Accu는 누적 파랑수, A-per는 누적 파랑수의 백분율이다.

Table 4에서 볼 수 있듯이, 계측기간 동안,  $H_s$  중 0.5m~1.0m 범위에 포함된 파랑 출현율이 32.9%로 가장 높은 파랑 출현율을 보이고,  $H_s$  0.0m~0.5m, 1.0m~1.5m 범위의 파랑은 각각 29.5%, 20.1%로 두 번째, 세 번째 높은 파랑 출현율을 보이고 있다. 계측기간 동안,  $T_z$ 는 4.0sec~4.5sec 범위에 포함된 파랑 출현율이 15.5%로 가장 높은 파랑 출현율을 보이고 있고,  $T_z$  3.5sec~4.0sec, 4.5sec~5.0sec 범위의 파랑이 각각 15.4%, 14.3% 두 번째, 세 번째 높은 파랑 출현율을 보이고 있다.

3.4 스펙트럼 분석

계측된 파랑자료를 이용한 파랑스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma$ 값을 변화시켜 얻어진 스펙트럼을 비교하여 울진해역의 파랑스펙트럼 형상을 근사해 보았다.

JONSWAP Spectrum은 식 (7)과 같으며

$$S(f) = \alpha H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(f/f_m)^{-4}] \gamma^{\exp[-(f-f_m)^2/(2\sigma^2 f_m^2)]} \quad (7)$$

여기서

$$\alpha \cong \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}}$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a = 0.07 & \text{for } f < f_m \\ \sigma_b = 0.09 & \text{for } f > f_m \end{cases} \text{이다.}$$

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 대표적인  $H_s$ 에 해당하는 실패역의 파랑 스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma$ 값을 변화시켜 얻어진

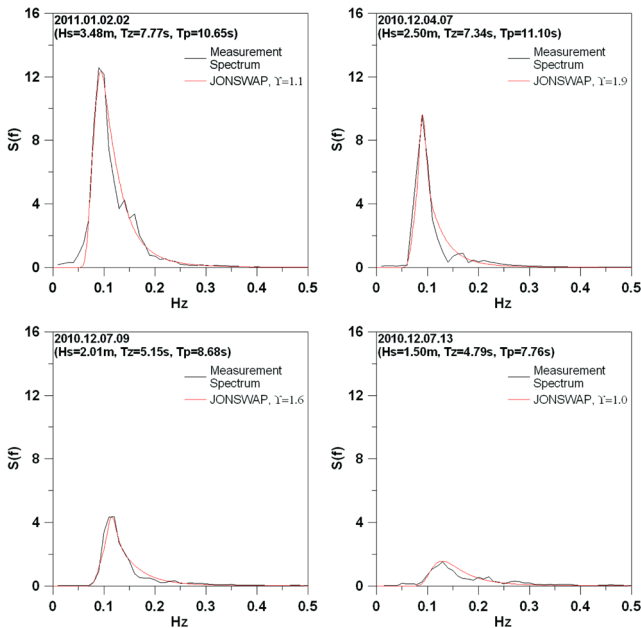


Fig. 8 Comparison of Real Sea Wave Spectrum and JONSWAP Spectrum

스펙트럼이 정성적으로 잘 일치함을 볼 수 있다.

울진해역에서 계측된 모든 파랑자료를 JONSWAP 스펙트럼 의로 근사시킨  $\gamma$ 값의 분포, 백분율 그리고  $\gamma$ 에 대한  $H_s$ 와  $T_p$ 의 선형 근사식을 Fig. 9과 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 울진해역의 파랑스펙트럼을 JONSWAP 스펙트럼이라 가정했을 때, JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma = 1.0$ 이 가장 많은 분포를 보이고 있고,  $\gamma = 3.0$ 이하의 분포가 전체의 97.5%를 차지한다. JONSWAP 스펙트럼에서  $\gamma = 3.3$ 을 기준으로  $\gamma$ 값 3.3 이상이면 해당 해역은 협대역 파랑분포를 보이고,  $\gamma$ 값 3.3 이하이면 광대역 파랑분포를 보이는 점을 감안했을 때, 울진해역은 광대역 파랑분포를 보이는 것을 알 수 있다. 그리고  $\gamma$ 에 대한  $H_s$ 와  $T_p$ 의 선형 근사식을 보면  $\gamma$ 이 커짐에 따라 기울기가 커짐을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 2010년 11월 17일 부터 2011년 3월30일 까지, 경북 울진군 북면 나곡1리 한국수력원자력 전면 수심 16m 해역에 Nortek사의 AWAC 초음파 파고계를 설치하여 취득된 파랑자

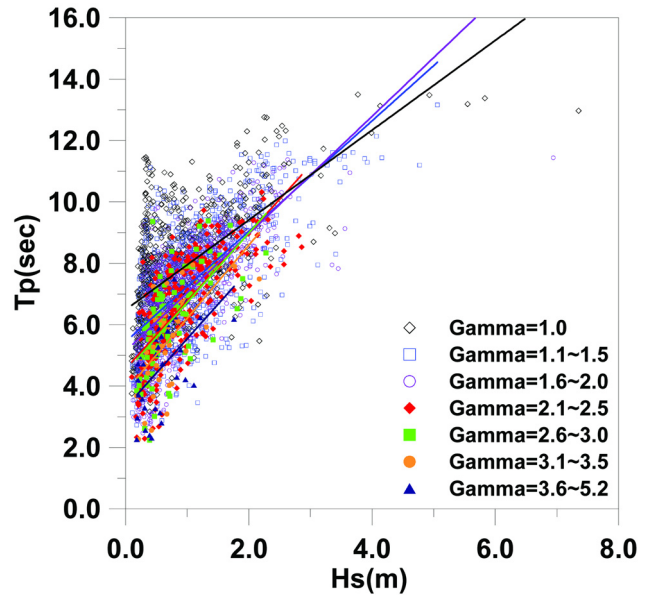


Fig. 9  $\gamma$  Distribution at Uljin Sea Area Using JONSWAP Spectrum

Table 5 Approximate Equations of the  $H_s, T_p$  to  $\gamma$

$\gamma$	%	Approximate Equations
1.0	24.8	$T_p = 1.462 H_s + 6.489$
1.1~1.5	36.2	$T_p = 1.799 H_s + 5.444$
1.6~2.0	23.5	$T_p = 1.914 H_s + 5.135$
2.1~2.5	9.9	$T_p = 2.209 H_s + 4.563$
2.6~3.0	3.1	$T_p = 2.264 H_s + 4.460$
3.1~3.5	1.4	$T_p = 2.379 H_s + 3.831$
3.6~5.2	1.1	$T_p = 2.239 H_s + 3.307$

료를 분석하여 해당해역의 파랑특성과 파랑의 비선형특성을 조사하여 Freak wave 특성분석을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 그리고 파랑자료를 이용한 스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma$ 값을 변화시켜 얻어진 스펙트럼을 비교하여 해당해역의 파랑 스펙트럼 형상을 근사하여 다음의 결론을 얻을 수 있다.

(1) 계측기간 동안,  $H_s$  중 0.5m~1.0m 범위에 포함된 파랑 출현율이 32.9%로 가장 높은 파랑 출현율을 보이고,  $T_z$ 는 4.0sec~4.5sec 범위에 포함된 파랑 출현율이 15.5%로 가장 높은 파랑 출현율을 보이고, 계측 기간 동안 평균  $H_s$ 는 0.95m이고 평균  $T_z$ 와  $T_p$ 는 각각 4.55, 7.17sec 이다.

(2) 울진해역에서 계측된 파랑의 파형 상하 비대칭성( $S_k$ : Skewness), 전후 비대칭성( $A_f$ : Atiltness), 빈도분포의 첨예도( $K_f$ : Kurtosis) 및 스펙트럼 대역폭 파라미터( $\epsilon$ : Spectrum bandwidth parameter)를 분석하여, 무한수심에서 발생한 Freak wave의  $S_k$ ,  $A_f$  값에 비해 유한수심에서 발생한 Freak wave의  $S_k$ ,  $A_f$  값이 커지는 것을 알 수 있었다. 그리고 Freak wave 발생 시  $K_f$  값이 선행 연구결과와 정성적으로 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

(3) 울진해역에서 계측된 파랑 스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma$ 값을 변화시켜 얻어진 스펙트럼이 정성적으로 잘 일치한다.

(4) 울진해역의 파랑스펙트럼을 JONSWAP 스펙트럼이라 가정했을 때, JONSWAP 스펙트럼의  $\gamma = 1.0$ 이 가장 많은 분포를 보이고 있고, 울진해역은 광대역 파랑분포를 보이는 것을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부와 국토해양부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행중인 “가동물체형 고효율 파력발전시스템 동유체 역학적 특성해석”과 “파력에너지 실용화 기술개발”의 연구결과 중 일부임을 밝히며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김도영 (2006). “해양파의 개별파고 분포에 대하여”, 한국해양공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp 367-372.
- 김도영 (2010). “비선형 해양파의 통계적 특성에 대한 해석”, 한국해양환경공학회지, 제13권, 제2호, pp 112-120.
- 류황진 (2006). “수치파랑모델을 이용한 파력발전 적지 선정에 대한 연구”, 홍익대학교 조선해양공과 박사학위 논문, pp 1-8.
- 신승호 (2001). “해안구조물 배후의 해빈변형 기구 및 모델링에 관한 연구”, 큐슈대학학위논문”, p 187.
- 신승호, 홍기용, 문재승 (2007). “Freak wave 특성 파악을 위한 파랑관측 자료의 분석”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제6호, pp 471-478.
- 홍기용 등 (2005). “파력에너지 실용화 기술 개발”, 해양수산부, pp 181-223
- McCowan, J. (1894). “On the Highest Wave of Permanent Type”, Philos. Mag. J. Sci., Vol 38, pp 351-358.
- Mori, N. (2004). Occurrence probability of a freak wave in a nonlinear wave field, Ocean Engineering 31, pp 165-175.
- Mori, N., Paul, C.L. and Yasuda, T. (2002). Analysis of freak-wave measurements in the Sea of Japan, Ocean Engineering 29, pp 1399-1414.
- Stansell, P. (2005). “Distributions of Extreme Wave, Crest and Trough Heights Measured in the North Sea”, Ocean Engineering, 32, pp 1015-1036.
- Weggel, J.R. (1972). “Maximum Breaker Height”, J. Waterways, Harbors Coastal Eng. Div., ASCE, Vol 98. No 4, pp 529-548.

2011년 8월 24일 원고 접수

2012년 3월 27일 심사 완료

2012년 4월 19일 게재 확정