

## 한국 연안 극치 파고 분포의 확산모수 특성

### Characteristics on Spread Parameter of the Extreme Wave Height Distribution around Korean Marginal Seas

정신택<sup>1</sup>, 김정대<sup>2</sup>, 고동휘<sup>3</sup>, 김태현<sup>3</sup>

Shin Taek Jeong<sup>1</sup>, Jeong Dae Kim<sup>2</sup>, Dong Hui Ko<sup>3</sup> and Tae Heon Kim<sup>3</sup>

#### 1. 서 론

파랑은 항만 및 연안구조물의 설계시 또는 방재시 가장 중요한 환경요소이다. 또한 1970년대 석유파동을 겪으면서 신재생에너지 개발에 대한 관심이 커지면서 파랑에너지를 이용하려는 노력도 증대되고 있다.

해안구조물은 50년 또는 100년 같이 주어진 재현주기에 상응하는 파고에 대하여 설계되어진다. 재현주기별 파고를 추산하기 위하여 세계 여러 지역에서 극치파 분석을 수행하고 있다. 최근 확률론적 개념이 도입된 신뢰성 설계기법이 도입되면서 설계 입력변수의 확률분포에 대한 정보가 중요한 위치를 차지하게 되었다. 관측기기를 사용하거나, 축적된 기상 자료로부터 사후 추정하여 얻은 현장 파랑 자료는 아직까지는 비교적 단기간의 현장 파랑 정보만을 얻을 수 있기 때문에 기존의 이용 가능한 자료로부터 구조물의 내구연도를 고려하여 설계파고를 결정하여야 한다.

Vledder 등(1993)은 극치파에 대한 IAHR Working group을 통해 극치파고 분석은 다양한 추정방법에도 불구하고 극치파고 추정시 단지 약간의 차이만이 발견되었으며, 자료 선택 방법 및 장기간에 걸친 신뢰성 있는 자료가 가장 큰 영향을 미친다고 기술하고 있다.

최근, Shimosako and Takahashi(1999), Takahashi 등(2001)이 토목 구조물들에 신뢰성

기법을 이용한 설계기법을 적용하고 있다. 이러한 신뢰성 설계시에는 여러 설계 변수들을 다양하게 조합하여 수치 모의하는 과정이 요구된다. 이 경우 Monte Carlo 모의 기술이 실제 계산을 위한 방법으로 가장 선호된다.

폭풍파의 발생 확률은 극치파고의 확률 밀도함수를 이용하여 산정할 수 있다. 조위 발생 빈도, 확률 케이슨과 사석기초간의 마찰력 등 기타 설계 변수의 불확실성은 각각의 확률 분포를 이용하여 산정된다. 그러나, 파력발전장치나 방파제 등의 연안 구조물 설계에 있어서 가장 중요한 요소는 주하중, 즉 폭풍파고의 극치분포함수의 적절한 선택이다.

극치파고는 규모, 위치, 그리고 형상 매개변수 값의 조합을 가진 다양한 분포함수에 의하여 추정되어진다. 이들 매개변수는 대상영역의 설계파고를 결정하는데 없어서는 안 되는 것들이지만, 이들 매개변수의 정보만으로 극치파고에 대한 세부적인 분포 특성을 파악하기에는 무리가 있다.

Goda(2004)는 확산모수(50년 빈도 설계파고의 10년 빈도 설계파고에 대한 비)를 도입하여 극치분포 함수의 꼬리부분에 대한 정보를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

김(2003)과 정 등(2004)은 한국해양연구원(2003)의 파랑모델 산출자료를 이용하여 한국연안 심해파의 극치분포 특성을 분석하였고, 김동현 등(2007)은 확산모수와 케이슨방파제 기대할

1 발표자: 원광대학교 토목환경공학과 교수

2 (주)초심기술 대표이사

3 원광대학교 토목환경공학과

동량을 이용한 개정 설계과 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 한국해양연구원(2005)에서 산정한 파랑자료를 이용하여 Goda(2004)가 제안한 확산모수를 산정하고, 기존의 극치해석에 의하여 산정한 값과 비교 검토를 통하여 그 활용성을 검토하였다. 이 확산모수는 세계 각지 극치파고의 특성 비교에 있어서 좋은 정보가 된다.

## 2. 파고분포의 확산모수

극값에 대한 분포함수는 일반적으로 규모, 형상 그리고 위치의 3개 매개변수로써 표현된다. 이들 매개변수는 각 분포의 함수형태를 결정하나, 확률밀도함수의 오른쪽 꼬리부분 형태를 묘사하는 데는 효과적이지 못하다. 그것은 재현기간에 대한 극치파고 확산 정도를 지배한다. Goda(2004)는 오른쪽꼬리 부분을 더 잘 표현하기 위해서, 10년 재현파고  $H_{10}$ 에 대한 50년 재현파고  $H_{50}$ 의 비  $\gamma_{50}$ 을 새로운 확산모수(Spread parameter)로 도입하였다. 즉,

$$\gamma_{50} = H_{50} / H_{10} \quad (1)$$

이다. 우리나라나 일본과 같이 50년 빈도 설계파고를 사용하는 국가의 경우, 방파제 설계시 확산모수  $\gamma_{50}$ 을 사용하지만 100년 빈도 설계파고를 사용하는 국가의 경우, 동일한 방법으로 확산모수  $\gamma_{100} = H_{100} / H_{10}$ 을 활용할 수 있다.

## 3. 극치분포함수의 특성

극치분포 해석에 사용되는 극치분포함수는 연구영역(홍수량, 강우량, 풍속, 파고 분석 등)에 따라 매우 다양하게 제안되어 있으며, 분석하고자 하는 극값의 성격 또는 지역적 특성에 따라 범용적으로 사용되는 극치분포 함수가 다른 양상을 보이고 있다. 그러나, 어떤 극치분포 함수를 사용한다 할지라도 원하는 신뢰도를 확보한다면, 기본적으로 분석 과정상의 문제는 발생하지 않는다. 일반적으로 해양 구조물 설계시 사용하는 극치분포의 종류에는 Fisher-Tippett type I (FT-I)분포, Fisher-Tippett type II (FT-II)분포, 그리고 Weibull 분포 등이 있으나, 본 연구에서는 한국해양연구원(2005)에서 개정 설계과의 확률분포 산정에 이용한 Weibull 분포함수를 대상으로 분석하였다. 분포형에 대한 확률밀도함수, 가중밀도함수, 그리고 매개변수 추정 방법 등은

Kite(1988), 국립방재연구소(1998), Rao and Hamed(2000), 김정대(2003), 정 등(2004)의 자료를 이용하였다.

Weibull 분포의 누가분포함수와 확률밀도함수는 각각 다음 식 (2), (3)과 같이 주어진다 (Johnson and koltz, 1970).

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^\beta\right\} : x_0 \leq x < \infty \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^\beta\right\} \quad (3)$$

여기서,  $\alpha$ 는 규모매개변수(Scale parameter),  $\beta$ 는 형상매개변수(Shape Parameter),  $x_0$ 는 위치매개변수(Location Parameter)이다. 형상매개변수,  $\beta$ 를 Goda(2000)는 0.75, 1.0, 1.4, 2.0으로 미리 가정하였다.

매개변수를 추정하는 방법으로 모멘트법(Method of Moments), 최우도법(Method of Maximum Likelihood), 그리고 확률가중모멘트법(Method of Probability Weighted Moments)을 사용한다. 통계적인 관점에서 보면, 최우도법은 표본크기가 충분히 클 때 가장 효율적인 방법으로 평가되지만 수렴성에 있어 문제가 발생할 수 있으며, 표본의 크기가 작을 때 일반적으로 잘 일치하지 않는 결과를 얻게 된다. 최근에는 모멘트법의 단점을 보완한 확률가중모멘트법(Greenwood et al., 1979)과 L-모멘트법(Hosking, 1989)이 제안되었다. 확률가중모멘트법은 자료에 가중치를 부여하여 매개변수를 추정하는 방법으로 표본크기가 작거나 왜곡된 자료일 때 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있다. L-모멘트법은 확률가중모멘트의 함수를 선형 조합하여 매개변수를 추정하는 방법이다. 한국해양연구원(2005)에서는 확률가중모멘트법을 이용하여 빈도별 설계파고를 산정하였다.

## 4. 규모 및 위치 매개변수의 설계파고에 미치는 영향

규모 및 위치 매개변수는 길이 차원을 가지고 있다. Fig. 1은 Weibull 분포에 대하여 형상매개변수는  $\beta = 1$ 로 고정하고, 규모 매개변수  $\alpha$ , 위치 매개변수  $x_0$ 를 변화시키면서 확산모수  $\gamma_{50}$ 과 50년 빈도 설계파고  $H_{50}$ 을 도시한 것이다. Fig.

1에서  $H_{50} = 8m$ 인 경우,  $\alpha$ 와  $x_o$ 는 다양한 조합이 가능하다. 즉,  $\alpha = 0.8m$ ,  $x_o = 4.8704m$ ,  $\alpha = 1.0m$ ,  $x_o = 4.088m$ ,  $\alpha = 1.25m$ ,  $x_o = 3.114m$ ,  $\alpha = 1.5m$ ,  $x_o = 2.132m$  총 4가지의 경우 모두 설계파고가  $8m$ 가 된다. 그러나 확산모수  $\gamma_{50}$ 은 1.1918, 1.2518, 1.336, 1.4322로 각각 다른 값을 갖는다. 이러한 경우 확률분포함수의 오른쪽 꼬리 형태가 상이하여, 방파제의 성능 설계 시 단면의 형태가 일정하지 않게 된다. 또 다른 문제는 규모 및 위치 매개변수의 변동성으로, 이러한 경우 이들 매개변수들만으로는 확률분포함수의 오른쪽 꼬리 형태의 거동을 판단하는 것이 힘들다.

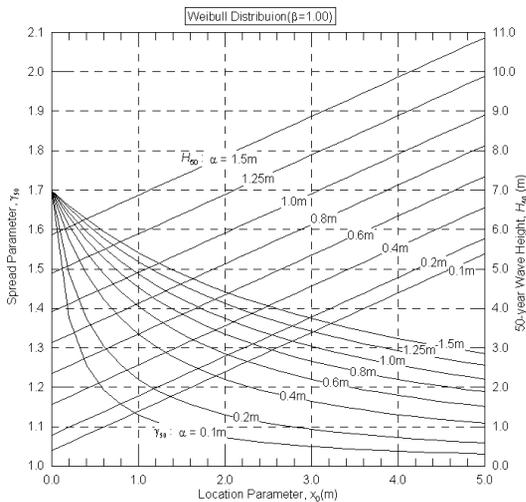


Fig. 1. Variations of  $\gamma_{50}$  and  $H_{50}$  of Weibull distribution for  $\beta = 1$ , various values of  $\alpha$ , and  $x_o$ .

### 5. Weibull 분포형의 초과 확률

확산모수가 Weibull 분포형에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에는 확산모수  $\gamma_{50}$ 이 1.05에서 1.35까지 0.05씩 증가하고, 10년 빈도 파고  $H_{10}$ 이 6.0 m 일 때 Weibull 분포의 초과확률 곡선 7종류가 도시되어 있다. 확산모수가 작은 경우에는 극값의 변화도 미세하다. 그러나 확산모수가 커지면 극값의 변화가 점차 커진다. 이와 같은 결과로부터 확산모수를 무시하고 확률분포형을 규정하는 경우 극치확률분포형의 오른쪽 꼬리부분을 정밀하게 묘사하는 것이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

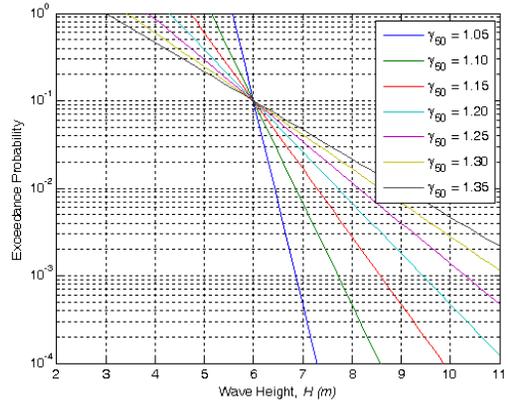


Fig. 2. Exceedance probability curves of Weibull distribution with  $\gamma_{50}$  ranging from 1.05 to 1.35.

## 6. 파랑자료

해국해양연구원(2005)은 해양수산부의 의뢰를 받아 우리나라 전 해역에 대한 장기 파랑 자료를 산출하여 연안 및 해상 구조물의 설계, 운영, 해안선 변형, 연안 방재 대책 등에 활용할 수 있는 기본 파랑정보 데이터베이스를 수립하였다. 태풍에 대한 자료를 바탕으로 태풍 시 해상풍을 개선하여 태풍에 의한 이상 파랑 정밀 추산을 수행하여 1951년 이후의 주요 태풍에 대해서도 별도의 파랑 산출에 의해 매 18 km 격자에 대해 매시간의 태풍 파랑 데이터베이스가 만들어졌다. 우리나라의 남해와 동해 및 서해 남부 등 대부분이 태풍에 의해 설계파가 결정되기 때문에 태풍에 대한 파랑의 정확한 산출을 위해 태풍 시 해상풍의 추산이 매우 중요하다. 태풍의 경우는 바람의 공간적 변화가 매우 크고 이동 속도가 빨라 시간적 변화도 매우 커 작은 시간 간격 및 공간 격자에서의 해상풍을 정확하게 산출하기 위해 미육군 공병대, Ocean Weather사 등 전문가관과의 협력 연구를 통하여 최신 태풍 시 해상풍 정밀 추산 기술을 이 전받아 사용하였다. 비태풍에 대해서는 유럽중규모기상예보센터(ECMWF) 해상풍 자료를 이용하여 연속적으로 파랑을 산출하여 전 해상에 약 18 km 간격의 격자에 대해 1979년부터 2003년 사이의 25년 동안 매시간 간격의 파고, 주기, 파향 등 파랑정보가 생산되어 데이터베이스화하였다.

## 7. 결 론

재현주기별 파고에 의한 계산 결과와 모멘트법에 의한 계산 결과 거의 동일한 결과를 보여주고 있다.

한편, 106개 지점에서 산출된 확산모수의 값은 최소 1.14, 최대 2.08 이며, 이는 상당히 넓게 분포한다. Goda(2004)는 확산모수가 1.1에서 1.3 정도의 범위를 가진다고 밝힌바 있다. 따라서 개정된 설계파고에 대한 차후 추가적인 연구 및 분석이 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 해양에너지 전문인력 양성사업의 일환으로 수행된 결과입니다.

## 참고문헌

- 국립방재연구소(1998). 강우분석 프로그램의 개발.
- 김동현, 윤길림, 심재설(2007). 확산모수와 케이슨방파제 기재활동량을 이용한 개정 설계파 분석. 한국해양·해양공학회지, 19(2), 146~150.
- 김정대(2003). 한국연안 심해파의 극치분포 특성, 석사학위논문, 원광대학교.
- 정신택, 김정대, 조홍연(2004). 한국 연안 심해 설계파고의 극치분포 특성. 한국해양·해양공학회지, 16(3), 130~141.
- 한국해양연구원(2003). 파랑모델 산출자료 (<http://wave.kordi.re.kr/>).
- 한국해양연구원(2005). 전해역 심해설계파 추정 보고서 II.
- 해양수산부, 2000. 해상파랑관측 및 조사.
- Goda, Y.(2000). Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific.
- Goda, Y.(2004). Spread Parameter of Extreme Wave Height Distribution for Performance-Based Design of Maritime Structures. J. Wtrwy., Port, Coast. and Oc. Engrg., 130(1), 29-38.
- Goda, Y., Konogaya, O., Takeshita, N., Hitomi, H., and Nagai, T., 2000. Population distribution of extreme wave heights estimated through regional analysis, Proc. Coastal Engrg., pp. 1078

~1091.

- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., and Wallis, J. R.(1979). Probability Weighted Moments : Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse Form., Water Resources Research, 15(5), pp. 1049~1054.
- Gumbel, E. J., 1958. Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York.
- Haan, C.T., 2002, Statistical Methods in Hydrology, Iowa State Press.
- Hosking, J. R. M. (1989). The Theory of Probability Weighted Moments, Research Report RC12210, IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Height, New York.
- Johnson, N. L. and Kotz, S.(1970). Continuous Univariate Distribution-1, Houghton Mifflin Company, Boston.
- Kite, G.W.(1988). Frequency and Risk Analysis in Hydrology,
- Landwehr, J. M., Matalas, N. C. and Wallis, J. R., 1979. Probability Weighted Moments Compared with Samd Traditional Techniques in Estimation Gumbel Parameters and Quantiles, Water Resources Research, 15(5), pp. 1055~1064.
- Rao, A.R. and Hamed, K.H.(2000). Flood Frequency Analysis, CRC Press LLC.
- Shimosako, K., and Takahashi, S.(1999). Application of reliability design method for coastal structures-expected sliding distance method of comosite breakwaters. Proc., Coastal Structures, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp 363-371.
- Takahashi, S., Shimosako, K., and Hanzawa, M.(2001). Performance design for maritime structures and its application to vertical breakwaters. Proc., Advanced Design of Maritime Structures, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan, pp 63-73.
- Vladder, G. van, Goda, Y., Hawkes, P., Mansard, E., Martin, M.H., Mathiesen, M., Peltier, E., and Thompson. E.(1993). Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis, Proc. 2nd Int. Symp. Ocean Wave Measurement and Analysis, ASCE, pp. 978~992.