

## 케이슨방파제 기대활동량을 이용한 개정 설계파 분석 Analysis of Newly Proposed Design Wave Using Sliding Distance of Caisson Breakwater

김동현<sup>1</sup>, 윤길림<sup>2</sup>, 심재설<sup>2</sup>  
 Dong Hyawn Kim<sup>1</sup>, Gil Lim Yoon<sup>2</sup> and Jae Seol Shim<sup>2</sup>

### 1. 서 론

태풍 매미, 루사 등 최근의 강력해진 태풍에 대비하여 연안의 피해를 줄이고자 설계파를 개정한 바 있다(한국해양연구원, 2005). 개정 설계파는 다양한 관측자료와 파랑 수치모델을 통해 얻은 파고를 이용하여 재현빈도별로 그 값을 제시하고 있다. 방파제 등의 설계에 쓰이는 파고는 50년 빈도에 해당하는 파고이므로 현재와 같이 결정론적 설계법을 따르는 설계기준에 의하면 좀더 보수적인 파고에 대비하여 방파제를 설계하도록 유도하였다. 그러나, 파고의 출현확률을 고려한 신뢰성 설계법에 의하면 단순히 50년 빈도의 파고만을 고려하는 결정론적 설계법에서 나타나지 않는 파고분포의 문제점을 발견하였기 때문에 본 논문에서 소개하고자 한다. 특히, 항만구조물에 대한 신뢰성설계법이 향후 수년 내에 도입될 것이므로 합리적인 설계파 분포는 신뢰성설계법에 있어 필수적이다.

파고분포의 문제점 분석을 위해 케이슨식 방파제의 신뢰성 해석기법 중의 하나인 기대활동량 평가를 수행하였다. 기대활동량이란 파고의 확률분포를 이용하여 방파제에 활동을 유발할 수 있는 큰 태풍이 1년에 1회 발생한다고 가정하여 그 활동량을 50년동안 누적한 총 활동량의 기대치를 구하는 방법으로 일본에서부터 그 유래를 찾을 수 있다(김동현, 2005). 기대활동량을 보통 30cm를 넘지 않을 때 성능기준을 만족하는 것으로 본다.

빈도별 파고의 평가를 위해 Goda(2004)는 spread parameter를 정의하여 이 값이 파고의 극치분포에 있어 본질적 변수임을 보인 바 있다. 본 연구에서는 spread parameter를 이용하여 개정 빈도별 설계파를 분석을 하였다.

### 2. 파고 극치분포

설계파의 확률분포 추정에 사용한 함수는 식(1)과 같은 비초과확률은 가지는 Weibull분포 함수이다.

$$F_{H_s}(X) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{X-C}{B}\right)^k\right] \quad (1)$$

여기서  $B, C, k$ 는 각각 척도모수, 위치모수, 형상모수이다. 식(1)은 년최대 유의파고가  $X$ 를 초과하지 않을 확률을 나타내며 이를 이용하여 50년 빈도파고가 7.5m이고 형상모수가 1.5일 때 파고의 초과확률을 나타내면 Fig. 1과 같다.

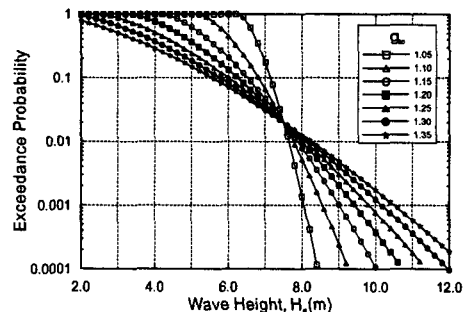


Fig. 1. Exceedance probability of annual max.  $H_s$

1 발표자: 군산대학교 해양시스템공학과 교수

2 한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원

그림에서  $\gamma_{50}$ 은 식 (2)와 같이 50년 빈도 유의파고 ( $H_{50}$ )와 10년 빈도 유의파고( $H_{10}$ )의 비로서 Goda(2004)가 처음 제안했다.

$$\gamma_{50} = H_{50}/H_{10} \quad (2)$$

위 그림에서 알 수 있는 것은 동일한 50년빈도 유의파고를 갖는 극치분포 함수더라도 확률분포 함수에 큰 차이를 보이며 이러한 것을  $\gamma_{50}$ 이라는 새로운 변수로 잘 설명할 수 있다는 사실이다. 특히,  $\gamma_{50}$ 은 그 값이 클수록 확률분포함수의 오른쪽 꼬리부분이 길어지는 효과를 가지므로 50년빈도를 초과하는 큰 파고의 확률이 급격히 증가한다는 사실을 주목할 필요가 있다. 방파제와 같은 연안구조물의 파괴는 설계파를 초과하는 파에 의해 발생하기 때문에  $\gamma_{50}$ 이 클수록 파괴확률이 급격히 증가할 수 있다는 것을 쉽게 예상할 수 있다.

Table 1 및 2는 노르웨이, 알래스카 및 일본 연안의 심해파에 대한  $\gamma_{50}$ 의 분포범위는 보여주고 있다 (Goda, 2005). 노르웨이, 알래스카 등지의  $\gamma_{50}$ 의 1.2를 초과하지 않고 있으며 일본의 연안에서는 남태평양 연안에서 평균 1.24를 갖고 표준편차는 0.02 이하로 매우 작은 것으로 나타났다. 이것은 유의수준 3%에서  $\gamma_{50}$ 의 최대값이 1.2973으로 1.3을 넘지 않는다.

Table 1. Spread parameters at foreign coastal areas

area	$H_{10}$	$H_{50}$	$\gamma_{50}$
Haltenbanken (Norway)	13.25m	14.78m	1.115
Kodiak (Alaska)	10.51m	11.91m	1.133

Table 2. Spread parameters at Japanese coasts

area	Dist. Fnc	samples	mean	std
N. Pacific	Weibull	10	1.2113	0.0133
S. Pacific	FT-I	9	1.2430	0.0193
East Sea	Weibull	11	1.1306	0.0038

### 3. 개정 설계파 현황

2005년부터 국내 연안의 심해 설계파가 개정되어 사용되고 있다. 이는 최근의 대형 태풍 등에 의한 파고의 증가를 연안구조물의 설계에 반영하고자 하는 노력의 결과이다.

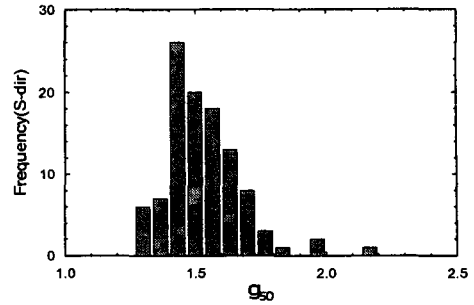


Fig. 2. Frequency of  $\gamma_{50}$  in S-direction

Fig. 2는 총 106개 지점의 심해설계파 중 S방향에 대한  $\gamma_{50}$  값을 발생 빈도에 따라 표시한 그래프이다. 1.4-1.5사이에서 발생빈도가 가장 크며 2.0을 넘는 경우도 존재한다. 그리고 대부분의 경우 1.3을 모두 초과하고 있다. Fig. 3은 서해안의 모든 방향에 대한 설계파를 이용하여 구한  $\gamma_{50}$  값의 평균과 최대 최소 값 범위를 보여주고 있다. 그림에서 방향 1은 N방향을 나타내고 시계방향으로 변하여 16번 방향인 NNW까지를 나타내고 있다. 평균값을 기준으로 8번 방향인 SSE 방향의  $\gamma_{50}$ 이 가장 크고 최대값을 기준으로는 NNE방향에서 가장 크게 나타났다. Fig. 2와 Fig. 3을 통해 우리나라와 일본, 알래스카, 노르웨이 등지의 심해파를 비교하면 우리나라의 경우가  $\gamma_{50}$ 이 매우 큰 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

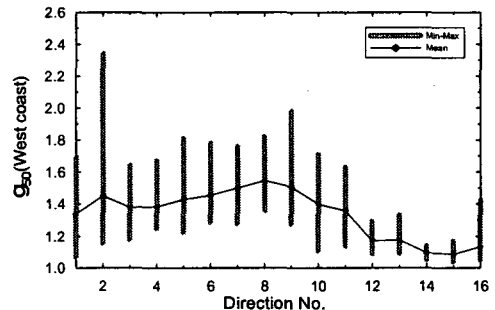


Fig. 3. Range of  $\gamma_{50}$  at west coasts

방파제 등의 설계를 위해서는 심해파 자료와 비선형 파랑변형 등을 고려할 수 있는 다양한 수치모델을 이용하여 방파제 설치위치에서의 천해파를 구하게 된다. 따라서, 심해설계파의  $\gamma_{50}$  값보다 천해에서의 값이 보다 중요한데 Table 3이 3개의 항만에서 심해( $\gamma_{50}^s$ )와 천해( $\gamma_{50}^t$ )에서의 두 값을 비교하였다. 이들 항에 한정하여 말할 수 있는 것은 파랑 변형에 의해  $\gamma_{50}$ 이 크게 변하지

않는 다는 사실이다. 물론 더 다양한 항만에 대하여 이러한 사실에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다. 결과적으로 심해설계파에 대한  $\gamma_{50}$ 이 참고문헌에 제시된 몇몇 외국의 값과 비교해서 상당히 큰 값을 가지며 이러한 값이 천해에서도 그대로 재현된다는 사실이다.

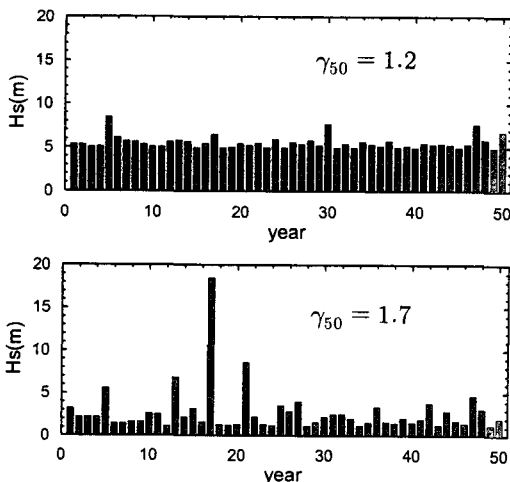
**Table 3.** Change of  $\gamma_{50}$  through transformation

location	$\gamma_{50}^o$	$\gamma_{50}^s$	$\gamma_{50}^s/\gamma_{50}^o$	Ref.
동해	1.317	1.329	1.009	김승우 외(2005)
울산	1.3151	1.3152	1.0001	삼성물산(1999)
울산	1.3159	1.3158	0.9999	대우건설(2004)

#### 4. 케이슨방파제 기대활동량

케이슨 방파제의 기대활동량은 1년에 활동을 유발할 수 있는 큰 태풍이 1회 내습하며 약 2시간(1000파)의 지속시간 동안 방파제에 영향을 미친다는 가정하에 그 활동량을 50년간 누적하여 평균값을 얻는 수치해석 기법이다. 본 연구에서는 개정 설계파 분포를 이용하여 기대활동량을 평가하므로써 방파제의 성능에 미치는 개정 설계파의 적정성을 평가하였다.

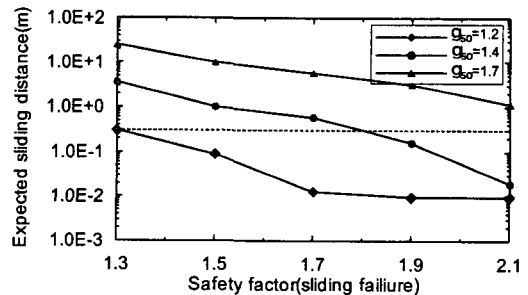
수치해석을 위해 수심 20m의 해상에 4m의 사석 마운드를 설치하고 천단고 4.5m, 케이슨 폭 18m의 방파제를 설치하였을 때를 가정하였다. 50년 빈도 유의파고는 7.5m이며 안전율 1.3일 때의 무게가 841.8t/m이며 안전율을 2.1까지 변화시키면서 기대활동량을 구하였다.



**Fig. 4.** Annual significant wave heights

기대활동량 평가를 위해 50년 동안의 년최대 유의파를 발생시켰는데  $\gamma_{50}=1.2$ 일 때와 1.7일 때의 발생파고를 Fig. 4에 비교하였다.  $\gamma_{50}=1.2$ 일 때는 최대파고가 5년째에 발생하며 이는 50년 빈도 파고 7.5m를 초과한다. 그러나, 10m를 초과하는 파고는 보이지 않는다. 한편,  $\gamma_{50}=1.7$ 일 때는 50년 빈도 설계파의 2배가 넘는 파가 17년째 발생하며 나머지 파는 대부분 5m를 크게 하회하는 것을 볼 수 있다. 즉,  $\gamma_{50}$ 가 커짐에 따라 발생파고가 양극화 되어 평년에는 파가 작다가 이례적으로 큰 파가 올 수 있는 매우 비 현실적인 파고 분포를 유발하는 것을 알 수 있다.

$\gamma_{50}$ 이 1.2, 1.4, 및 1.7인 세 가지 경우에 대하여 기대활동량을 평가하였다. 시뮬레이션은 각각에 대하여 5000회 반복하여 활동량의 기대값을 구하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다.  $\gamma_{50}$ 이 1.2일 때 즉, 10년빈도파에 비하여 50년빈도파가 20% 클 때는 안전율 1.3에서도 기해활동량 한계치인 30cm를 초과하지 않았으며 안전율이 2.1까지 증가하면 1cm이하로 줄어들었다. 그러나,  $\gamma_{50}$ 이 1.4일 때는 안전율 1.9이상에서 기대활동량 기준치 30cm를 만족하였고  $\gamma_{50}$ 이 1.7일 때는 안전율 2.1에서도 기대활동량이 1.14m로 나타났다.



**Fig. 5.** Expected sliding distances

방파제의 기대활동량 평가를 통해서 알 수 있는 것은  $\gamma_{50}$ 이 1.2~1.4범위에서는 안전율을 통해서 기대활동량을 충분히 제어할 수 있으나  $\gamma_{50}$ 이 1.7정도로 커지면 통상적인 1.2~2.0 사이의 안전율을 가지고도 기대활동량을 만족시킬 수 없다는 것이다. 이러한 현상이 발생하는 근본적인 이유는 개정설계파의 빈도별 파고를  $\gamma_{50}$ 로 평가했을 때 대부분의 해안에서 1.5를 초과하는 매우 이례

적인 현상이 발생하기 때문이다.  $\gamma_{50}$ 이 현재와 같이 큰 상태로 방파제를 설계하여 성능조건을 만족하기 위해서는 안전율을 비 이상적으로 키워야 하므로 경제성을 만족시키기 어렵다. 따라서, 개정된 빈도별 설계파고의 분포를 조정할 필요가 있으며 이를 위해서는 50년 빈도 파고는 그대로 두고 10년 빈도 및 30년 빈도파를 현재보다 더 높이는 방법이 합리적이라고 판단된다.

## 5. 결 론

개정 설계파고 분포를 이용하여 방파제의 기대활동량을 평가하였으며 10년빈도 파에 대한 50년 빈도 파의 비가 외국의 몇몇 해안과 비교했을 때 매우 큰 분포를 보인다는 사실을 확인했다. 또한, 이로 인해서 결정론적 설계법의 안전율을 충분히 높게 설정하더라도 기대활동량 성능기준을 맞추기가 매우 어렵다는 사실을 확인하였다. 향후 항만구조물에 대한 신뢰성 설계법이 도입된다면 경제적 단면을 얻기 어렵기 때문에 빈도별 파고의 조정이 필요할 것으로 판단되며 현실적 방법으로는 50년 빈도 파고를 그대로 두고 10년 및 30년 빈도 파고를 상향하는 방법이 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부 및 한국해양수산기술진흥원의 “항만구조물 신뢰성 설계법 개발” 사업의 연구비지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김동현. (2005). 소파케이슨 방파제의 기대활동량 산정방법. 한국해양해양공학회지. 17(4), pp. 213-220.
- 김승우, 서경덕, 오영민. (2005). 동해항 방파제를 대상으로 한 신뢰성 설계법의 비교연구(1. 피복블록의 안정성). 한국해양해양공학회지. 17(3), pp. 188-201.
- 한국해양연구원. (2005). 전해역 심해설계파 추정 보고서 II.
- Goda, Y. (2004). Spread parameter of extreme wave height distribution for performanc-based design of maritime structures. J. Wtrwy., Port, Coast. and Oc. Engrg., 130(1), 29-38.
- 대우건설. (2004). 울산신항 남방파제 및 기타공사 기본설시설계용역 보고서.
- 삼성물산. (1999). 울산신항방파제 1단계(1공구) 축조공사실시설계보고서.