

확산모수와 케이슨방파제 기대활동량을 이용한 개정 설계파 분석 Assessment of New Design Wave by Spread Parameter and Expected Sliding Distance of Caisson Breakwater

김동현* · 윤길림** · 심재설**

Dong Hyawn Kim*, Gil Lim Yoon** and Jae Seol Shim**

요 지 : 개정설계파의 극치분포를 확산모수를 이용하여 분석하였으며 케이슨방파제 기대활동량 산정을 통하여 확산모수가 방파제 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 확산모수가 통상적 값보다 클 때 극치분포함수를 이용해 발생시킨 년최대 유의파 중에서 50년 빈도 설계파보다 매우 큰 이례적인 파가 발생하는 현상을 확인하였다. 개정설계파의 확산모수는 외국사례와 비교한 결과 상대적으로 큰 값을 가지며 방파제 기대활동량 평가시 결정론적 안전율이 충분히 높은 경우에도 매우 큰 활동량을 유발하는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 설계파, 신뢰성, 기대활동량, 방파제, 확산모수

Abstract : Extreme value distributions for new deep sea wave were analyzed by using spread parameter and correlations between spread parameter and sliding distance of caisson breakwater were shown in numerical example. When spread parameter is larger than as usual, there occurred extra-ordinarily large wave height among 50 annual maximum significant waves generated by extreme value distribution. Spread parameter of new design wave is identified to be comparably larger than some foreign coastal areas and may cause large sliding displacement though deterministic safety factor for sliding is satisfied with enough margin.

Keywords : design wave, reliability, expected sliding distance, breakwater, spread parameter

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 좀 더 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 소

개하고자 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). 기대활동량의 허용치는 요구되는 성능기준에 따라서 달라지지만 보통 30 cm를 넘지 않을 때 성능기준을 만족하는 것으로 본다.

빈도별 파고의 평가를 위해 Goda(2004)는 확산모수를 정

*정회원, 군산대학교 해양시스템공학과 교수

**정회원, 한국해양연구원, 연안개발연구본부 책임연구원

의하여 이 값이 파고의 극치분포에 있어 본질적 변수임을 보인 바 있다. 본 연구에서는 확산모수를 이용하여 개정 빈도별 설계파를 분석을 하였다.

2. 파고 극치분포

년최대유의파는 극치분포를 따르며 극치분포에는 Type I, Type II, Type III가 있다(Ang et al, 1984). 그 중 개정설계파의 확률분포에 사용한 함수는 식 (1)과 같은 비초과확률을 가지는 Weibull분포 함수이다.

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

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

그림에서 γ_{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 유의파를 갖는 극치분포 함수라도 확률분포 함수에 큰 차이를 보이며 이러한 것을 γ_{50} 이라는 새로운 변수로 잘 설명할 수 있다는 사실이다. 특히, γ_{50} 은 그 값이 클수록 확률분포함수의 오른쪽 꼬리부분이 길어지는 효과를 가지므로 50년빈도를 초과하는 큰 파고의 확률이 급격히 증가한다는 사실에 주목할 필요가 있다. 방파제와 같은 연안구조물의 파고는 설계파를 초과하는 파에 의해 발생하기 때문에 γ_{50} 이 클수록 파과확률이 급격히 증가할 수 있다는 것을 쉽게 예상할 수 있다.

Table 1은 노르웨이, 알라스카 지역 심해파에 대한 γ_{50} 의 분포범위를 보여주고 있다(Goda, 2004). 사용한 극치분포의 종류와 특성은 표에 제시된 바와 같이 Weibull 분포이며 γ_{50} 은 1.2를 초과하지 않는다. 또한 Table 2는 일본의 연안(북태평양지역, 남태평양지역 및 동해안 지역)의 극치분포 각각 10, 9, 11개씩을 평균한 결과이며 남태평양 연안에서 평균 1.24를 갖고 표준편차는 0.02 이하로 매우 작은 것으로 나타났다. 이것은 유의수준 3%에서 γ_{50} 의 최대값이 1.2973으로 1.3을 넘지 않는다.

3. 개정 설계파 현황

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

Fig. 2는 전국의 총 106개 지점의 심해설계파에 대하여 γ_{50} 의 빈도를 대표적인 세 방향 즉, 동향(E), 남향(S), 서향(W)의 각 방향별로 보여주고 있다. W방향은 대부분 1.5 이하에 그 값이 분포하였다. 이에 비해 E, S방향은 대부분 1.3을 초과하고 평균값은 1.5내외를 갖는다. 또한, 두 방향(E,

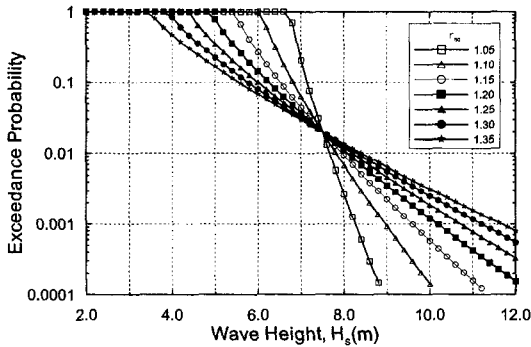


Fig. 1. Exceedance probability of annual maximum H_s .

Table 1. Spread parameters at foreign coastal areas

area	distribution function	H_{10}	H_{50}	γ_{50}
Haltenbanken (Norway)	Weibull (k = 2.0)	13.25 m	14.78 m	1.115
Kodiak (Alaska)	Weibull (k = 1.4)	10.51 m	11.91 m	1.133

Table 2. Spread parameters at Japanese coasts

area	distribution function	samples	mean	std
N. Pacific	Weibull (k = 1.0)	10	1.2113	0.0133
S. Pacific	FT-I	9	1.2430	0.0193
East Sea	Weibull (k = 1.4)	11	1.1306	0.0038

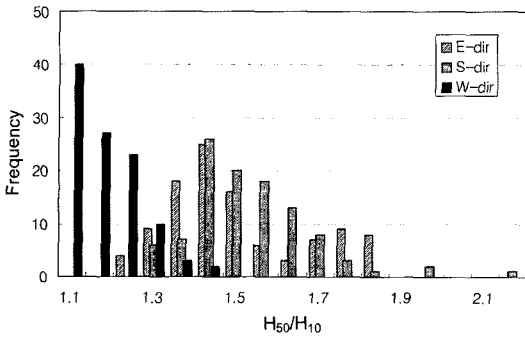


Fig. 2. Frequency of in E, S, W-direction.

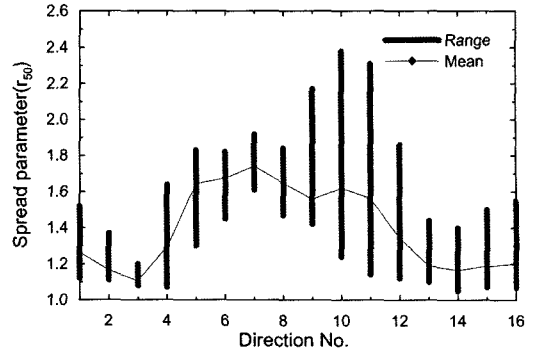
S)에서는 1.5를 초과하는 값도 매우 높은 빈도를 보여 주고 있다.

Fig. 3은 서해안의 모든 방향에 대한 설계파를 이용하여 구한 γ_{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 SSE방향의 γ_{50} 이 가장 크고 최대값을 기준으로는 NNE방향에서 가장 크게 나타났다. Fig. 2와 Fig. 3을 통해 우리나라와 일본, 알래스카, 노르웨이 등지의 심해파를 비교하면 우리나라의 경우가 이 매우 큰 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

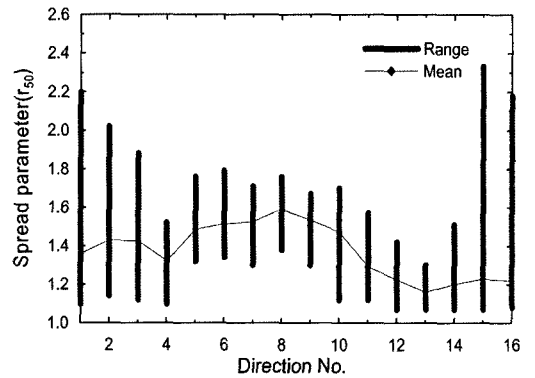
방파제 등의 설계를 위해서는 심해파 자료와 비선형 파랑변형 등을 고려할 수 있는 다양한 수치모델을 이용하여 방파제 설치위치에서의 천해파를 구하게 된다. 따라서, 심해설계파의 γ_{50} 값 보다 천해에서의 값이 보다 중요한데 Table 3에 3개의 항만에서 심해(γ_{50}^o)와 천해(γ_{50}^s)에서의 두 값을 비교하였다. 이들 항에 한정하여 말할 수 있는 것은 파랑 변형에 의해 심해와 천해에서의 γ_{50} 이 크게 변하지 않는다는 사실이다. 물론 더 다양한 항만에 대하여 이러한 사실에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다. 결과적으로 심해설계파에 대한 γ_{50} 이 참고문헌에 제시된 몇몇 외국의 값과 비교해서 상당히 큰 값을 가지며 이러한 값이 천해에서도 그대로 재현된다는 사실이다.

4. 케이슨방파제 기대활동량

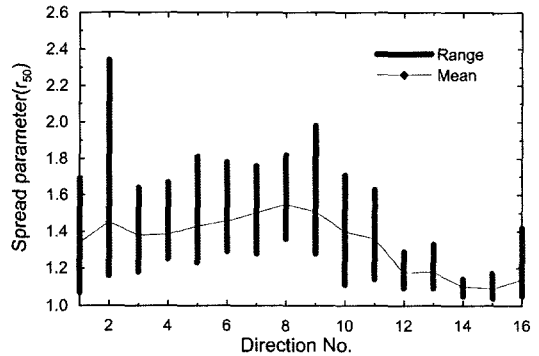
케이슨 방파제의 기대활동량은 1년에 활동을 유발할 수 있는 큰 태풍이 1회 내습하며 약 2시간(1,000파)의 지속시간 동안 방파제에 영향을 미친다는 가정하에 그 활동량을 50년간 누적하여 평균값을 얻는 수치해석 기법이다. 본 연구에서는 개정 설계파 분포를 이용하여 기대활동량을 평가



(a) East coast



(b) South coast



(c) West coast

Fig. 3. Range of toward 16 directions.

Table 3. Change of γ_{50} through transformation

location	γ_{50}^o	γ_{50}^s	$\gamma_{50}^s/\gamma_{50}^o$	Ref.
동해	1.317	1.329	1.009	김승우 외(2005)
울산1	1.3151	1.3152	1.0001	삼성물산(1999)
울산2	1.3159	1.3158	0.9999	대우건설(2004)

하므로써 방파제의 성능에 미치는 개정 설계파의 적정성을 평가하였다.

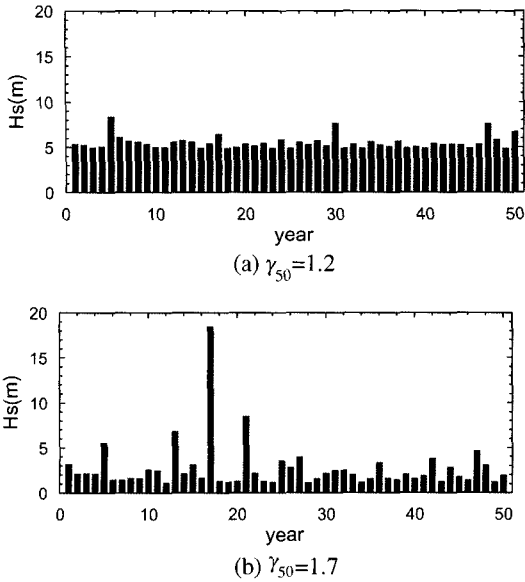


Fig. 4. Annual significant wave heights.

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

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 7.5 m를 초과한다. 그러나, 10 m를 초과하는 파는 보이지 않는다. 한편, $\gamma_{50} = 1.7$ 일 때는 50년 빈도 설계파의 2배가 넘는 파가 17년째 발생하며 나머지 파는 대부분 5 m를 넘지 않았다. 즉, γ_{50} 가 커짐에 따라 발생파고가 양극화되어 평년에는 파가 작다가 이례적으로 큰 파가 올 수 있는 매우 비 현실적인 파고 분포를 유발하는 것을 알 수 있다.

γ_{50} 이 1.2, 1.4, 및 1.7인 세 가지 경우에 대하여 기대활동량을 평가하였다. 시뮬레이션은 각각에 대하여 5,000회 반복하여 활동량의 기대값을 구하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. γ_{50} 이 1.2일 때 즉, 10년빈도파에 비하여 50년빈도파가 20% 클 때는 안전율 1.3에서도 기대활동량 한계치인 30 cm를 초과하지 않았으며 안전율이 2.1까지 증가하면 1 cm 이하로 줄어들었다. 그러나, γ_{50} 이 1.4일 때는 안전율 1.9이상에서 기대활동량 기준치 30 cm를 만족하였고 γ_{50} 이 1.7일 때는 안전율 2.1에서도 기대활동량이 1.14 m로 나타났다.

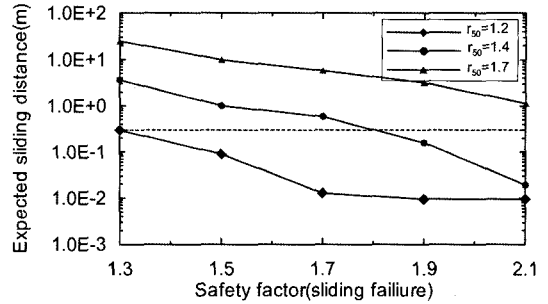


Fig. 5. Expected sliding distances.

방파제의 기대활동량 평가를 통해서 알 수 있는 것은 γ_{50} 이 1.2~1.4범위에서는 안전율을 통해서 기대활동량을 충분히 제어할 수 있으나 γ_{50} 이 1.7정도로 커지면 통상적인 1.2~2.0 사이의 안전율을 가지고도 기대활동량 성능기준을 만족시키기 어렵고 더 큰 안전율을 확보해야 한다.

5. 결 론

확산모수를 이용하여 개정설계과의 극치분포 특성을 분석하였으며 기대활동량과의 상관관계를 수치해석을 통해 확인하였다. 일반적으로 확산모수가 클수록 설계파를 초과하는 동일한 유의파에 대하여 초과파들이 증가하여 50년간 년 최대 유의파를 확률적으로 발생시킬 경우 방파제 사용기간 중 이례적으로 높은 파고가 발생함을 확인하였다. 방파제의 기대활동량 평가에서는 확산모수가 클수록 기대활동량이 급격히 증가함을 확인하였다. 수치해석 결과 확산모수가 1.7일 때 결정론적 활동안전율이 2.1을 만족하여도 기대활동량이 30 cm를 초과하는 결과를 확인하였다. 즉, 확산모수가 과도하게 커지면 결정론적 설계법의 안전율을 충분히 높게 설정하더라도 기대활동량 성능기준을 맞추기가 매우 어렵다는 사실이다. 확산모수는 극치분포에 사용된 관측치 및 후측자료의 불확실성, 사용한 극치분포함수의 적합성 등에 영향을 받을 수 있기 때문에 항만구조물의 신뢰성설계에 심해파 극치분포를 도입하기 위해서는 보다 다양한 실증적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

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 심해설계과 추정 보고서 II.
- Ang, A.H.S. and Tang. W.H. (1984). Probability concepts in engineering planning and design, Vol. II: decision, risk, and reliability. John Wiley & Sons.
- 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 기본실시설계용역 보고서.
- 삼성물산. (1999). 울산신항방파제 1단계(1공구)축조공사실시설계보고서.

Received November 7, 2007

Accepted April 9, 2007