
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 1 號 1996年 2月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 33, No. 1, February 1996

극한 설계 파고의 추정

전영기*, 하태범*

Prediction of Extreme Design Wave Height

by

Y. K. Chon* and T. B. Ha*

요 약

본 연구에서는 해상 구조물에 작용하는 설계 파랑 하중을 산정하기 위하여 해상에서 관측되거나 또는 예측된 파랑 자료를 사용하여 해상 구조물의 설계 생존 기간 동안 만나게 될 극한 설계파를 산정하는 기법을 개발하였다. 주어진 파랑 자료에 Order Statistics와 Monte Carlo Simulation 기법을 적용하여 가장 알맞은 파랑 자료의 극한 분포식을 선택하여 이 분포식으로부터 원하는 회귀 주기에 해당하는 극한 설계파를 결정하고 결정된 극한 설계 파고의 불확실성에 대한 범위를 설정함으로써 설계 파고의 여유를 줄 수 있다. 이와 같은 기법을 우리나라 남해안의 1938년부터 1987년까지 태풍에 의한 파랑 자료에 적용하여 극한 설계파를 산정하는 예를 보였다.

이상과 같은 방법을 이용함으로써 대형 해양 구조물을 설계함에 있어 극한 하중 상태를 산정할 수 있는 정보를 설계 초기 단계에 제공할 수 있으며 해당 구조물의 주요 요목, 구조 등의 설계 인자들을 산정할 수 있다.

Abstract

In this study, the technique to evaluate the extreme design wave height of certain return period is developed from the given measured or hindcasted sea state data of concerned area for limited period. By using the order statistics and Monte Carlo Simulation method, the best fit probability distribution function with proper parameters describing the given wave height data is chosen, from which extreme design wave height can be predicted by extrapolation to the desired return period. The fitness and the confidence limit of the chosen probability function are also discussed. Application calculation is carried out for the wave height data given by applying the Wilson wave model theory to major 50 typhoon wind data affecting Korean South coast during the year from 1938 to 1987.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회 ('94.11.12)

접수일자 : 1994년 11월 25일, 재접수일자 : 1995년 10월 1일

* 정회원, 한국선급

1. 서 론

해상구조물의 설계에 있어서는 구조물에 작용하는 외부 하중이 구조물의 허용 강도를 넘어서 일어나는 일시적인 구조물의 파괴를 규명하기 위하여 설계 생존 기간동안 경험할 수 있는 극한 응답에 대한 정보가 필수적이다. 이런 관점에서 극한 응답이 해상의 극한 상태에 기인한다면 구조물의 초기 설계 단계에서부터 극한 해상 상태를 예측하는 것이 우선적인 사항이다. 그러나 불행하게도 설계자들은 구조물의 설계 수명 기간 동안에 존재할 수 있는 해상 상태에 대한 자료들을 이용할 수 없거나 있더라도 제한된 자료만을 확보할 수가 있게 된다. 그러므로 어떤 회귀 주기 동안 구조물에 대한 극한 해상 상태를 추정하기 위하여는 주어진 한정된 자료들에 대한 통계 해석을 수행함으로써 수학적 또는 수치적인 예측 방법을 통하여 정해진 설계 생존 기간 동안의 극한 해상 상태를 예측하는 기법이 필요하게 된다.

본 연구에서는 일정 해역에 바람에 의하여 발생한 파고의 크기를 논하는 문제를 떠나서 과거에 이미 관측되어졌거나 예측되어질 수 있는 파고 자료를 토대로 하여 극한 해상 상태를 예측하는 기법과 이에 대한 계산 프로그램을 개발하였다.

즉, 일정 해역에 파고 자료가 주어지면 이를 내림차순으로 정리하여 참고 문헌 [1]에서 사용된 회귀 분석 공식(plotting Position Formula)을 사용하지 않고 직접 적분에 의한 정확한 회귀 분석 확률(Plotting Position Probability)을 계산하여 해당 확률 종이(Probability Paper)에 거의 직선으로 분포시킨 다음 이를 가장 잘 적합시킬 수 있는 확률 분포 함수를 구하고 이들로 부터 확보된 파고 자료에서 주어진 기간 보다 더 긴 회귀 주기에 해당하는 파고를 외삽법에 의하여 추정하였다. 이러한 회귀 분석 확률(Plotting Position Probability)을 계산하는 방법들에 대하여는 여러 사람들[2,3]에 의해 수행되었는데, 이는 결국 주어진 파고 자료에 대하여 비편향된(Unbiased) 확률 분포를 의미한다. 한편 극한 파고의 분포는 통상적으로 Extremal Type I(Gumbel 분포) 또는 Extremal Type III (Weibull 분포) 확률 분포 함수로 표현할 수 있다는 것이 잘 알려진 사실이다. 이 분포식들은 해당 확률 종이(Probability Paper)위에 주어진 파고 자료에 알맞는 적당한 계수를 가진 직선으로 표현된다. 이들 확

률 분포 함수들에 대해서 어느 함수가 주어진 파고 자료를 가장 잘 표현하는 지를 검토하기 위하여는 해당 확률 종이 상에서의 회귀 분석 확률점(Plotting Position Probability)에 해당하는 주어진 파고 자료와 전술한 극한 확률 분포식으로 부터 얻은 파고 자료 사이의 평균 자승 편차(Mean Squared Deviation; 이하 "DATA MSD")을 계산하여 주어진 파고 자료에 가장 적합한 확률 분포식을 조사하였다. 또한 주어진 파고 자료는 사실상 많은 파고 자료 중에서 대표되는 한가지의 파고 자료 집합이므로 이에 적합된 확률 분포 함수가 편향되지 않고 대표할 수 있는 지를 조사하여야 한다. 이를 위하여 각 확률 분포 함수로부터 임의의 파고 자료 집합군을 만들기 위하여 Monte Carlo 모사구현 기법이 사용되었다. 각각의 확률 분포 함수에 Monte Carlo 모사구현 기법을 통해서 얻은 임의의 갯수의 파고 자료 집합에 대한 MSD 값들을 계산하여 이 MSD값들의 누적 분포도를 만들어서 원하는 누적치에서의 MSD값과 파고 자료에서 계산된 MSD와의 비를 이용하면 가장 적합한 확률 분포 함수를 선택할 수 있다.

주어진 파고 자료에 가장 적합한 확률 분포 함수가 결정되면 이 분포식을 이용하여 구조물의 설계 회귀 주기에 대응하는 파고와 조우 확률 (Encounter Probability)등이 예측될 수 있다. 또한 잘 적합된 분포 함수에 의해 추정된 파고에 대한 불확실성의 한계가 역시 Monte Carlo 모사구현 기법을 통하여 추정될 수 있다.

이상의 방법을 한국 남해안의 지난 50년 동안 지나간 태풍에 의한 파고 자료[4]에 적용하여 극한 설계 파고를 추정하는데 이 파고 자료는 태풍시에 측정된 바람 자료에 Wilson Wave Model을 적용하여 구한 파고 자료이다.

2. 파고 자료와 확률 분포 함수

2.1 파고 자료

해상 구조물이 설치되어 있는 주변 환경과 파고 자료의 사용 목적에 따라 바람에 의해 생성되는 파고의 크기를 예측하는 방법은 여러가지가 있을 수 있다. 다만 여기서 지켜져야 할 전제 조건은 태풍에 의한 것 또는 계절풍에 의한 것 등 균일한 주변 환경 인자에 의한 파고 자료가 마련되어야 한다는 것

이다. 본 연구에서는 이 부분에 대한 상세한 사항은 참고 문헌[4]를 참고하였는데 계산 예로서 사용된 사고 자료는 우리 나라 남해안에 지난 50년 동안 영향을 준 50개의 태풍에 기인한 사고들이다. 계산 예의 지역적인 위치는 부산항 남쪽 해안 경도 129.38°, 위도 34.86° 이고 연간 평균 태풍의 숫자는 $\lambda=1.0$ 이다.

2.2 확률 분포 함수

일정 기간 동안 수집된 사고 자료를 가지고 가능한 한 정확하게 원하는 확률 수준 또는 구조물의 설계 생존 기간 동안의 극한 설계 사고를 외삽법으로 예측하기 위하여서는 사고 자료를 가장 적합한 수학적 형태로 표현할 필요가 있다.

일반적으로 사고의 극한치 분포는 Lognomal, Extremal Type I(이하 "Gumbel"), Extremal Type II 또는 Extremal Type III(이하 "Weibull")의 확률 분포 함수를 따른다고 알려져 있다. 본 연구에서는 편의를 위하여 적용할 확률 분포 함수로서 Gumbel과 Weibull 분포 함수를 대상으로 하였는데 이를 다른 확률 분포 함수로 확장하는 것은 그리 어려운 일이 아니다. Gumbel과 Weibull 확률 분포 함수는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\Pr\{E(H_{\max}) \leq x\} = \text{EXP}(-\text{EXP}(-(x-B)/A)) \quad (1)$$

$$\Pr\{E(H_{\max}) \leq x\} = 1 - \text{EXP}(-(\frac{x-B}{A})^k) \quad (2)$$

여기서 $\Pr\{E(H_{\max}) \leq x\}$ 는 최대 사고의 기대치 $E(H_{\max})$ 가 x 이하일 확률을 의미하고, k 는 Weibull 확률 분포 함수에 대한 형상 계수(Shape Parameter)이다. 본 논문의 계산에서는 $k=0.75-2.0$ 을 사용하였다. 그리고 계수 A, B 는 주어진 사고 자료를 적합시키는 과정에서 얻어질 수 있는 분포 계수(Distribution Parameter)이다. 위의 확률 분포 함수는 보다 편리하게 외삽법을 적용할 수 있게 하기 위하여 다음과 같이 표현될 수 있는 Reduced Variate r_v 를 사용하면 선형식으로서 확률 종이(Probability Paper)위에 표현할 수 있다.

$$x = Ar_v + B \quad (3)$$

라 놓고 식 (1),(2) 양변의 Logarithm을 취하면

$$r_v = -\ln(-\ln(\Pr\{E(H_{\max}) \leq x\})) \quad (4)$$

$$r_v = (-\ln(1 - \Pr\{E(H_{\max}) \leq x\}))^{1/k} \quad (5)$$

가 되는데 식 (4),(5)는 중축이 $E(H_{\max})$, 횡축이 r_v 인 확률 종이 상에 직선으로 표시될 수 있다.

2.3 Plotting Position Probability

위에서 설명한 확률 분포 함수를 적절히 사고 자료에 적합시키기 위하여 먼저 주어진 사고 자료 $E(H_{\max})$ 를 내림 차순으로 정리하고 각 순위 값에 대한 확률을 계산한다. 서론에서 언급한 대로 회귀 분포 확률(Plotting Position Probability)은 주어진 사고자료에 상대적으로 편향되지 않도록 결정되어야 한다.

식 (1),(2)에서 $y = (x-B)/A$ 라 하고, $F(y) = \Pr\{E(H_{\max}) \leq x\}$ 라 놓으면

$$F(y) = e^{-e^{-y}} \quad (6)$$

$$F(y) = 1 - e^{-y^k} \quad (7)$$

이 되는데 식 (6),(7)이 주어진 사고 자료와 편향되지 않기 위하여는 회귀 확률, $P_{m,N}$ 은 다음 식에 따라 결정되어야 한다[8]. 즉,

$$P_{m,N} = e^{-e^{-E(y_{m,N})}} \quad (8)$$

$$P_{m,N} = 1 - e^{-[E(y_{m,N})]^k} \quad (9)$$

여기서 $y_{m,N}$ 은 N 개의 임의 집합중에 m 번째 임의 변수이고 $E(y_{m,N})$ 은 $y_{m,N}$ 의 기대치이다. 또한 $E(y_{m,N})$ 은 임의의 확률 분포 함수 $F(y)$ 에 대하여 다음 식처럼 표현될 수 있으므로[9]

$$E(y_{m,N}) = \frac{N!}{(N-m)!(m-1)!} \cdot \int_0^1 y [1-F(y)]^{m-1} [F(y)]^{N-m} dF(y) \quad (10)$$

식 (6),(7)을 식 (10)에 대입하고 다시 식 (8),(9)

를 이용하면 주어진 파괴 자료에 대한 해당 회귀 분포 확률을 구할 수 있다.

반면에 식(8),(9)를 다음 식에서처럼 간단한 형태로도 표현할 수가 있다.

$$P_{m,N} = 1 - (m - \alpha) / (N + \beta) \quad (11)$$

여기서 α , β 는 식 (10)을 식 (8),(9)에 대입하여 식 (11)과의 사이에 최소 자승법을 적용하면 구해질 수 있는데 대부분 식 (11)을 사용하여 회귀 분포 확률을 계산한다. 본 연구에서는 식 (10)을 직접 계산하여 식 (8),(9)에 대입하여 회귀 분포 확률을 계산하였다.

Table 1에 본 연구에서 계산 예로 보인 파괴 자료와 이를 내림 차순으로 정리하여 회귀 분포 확률을 계산한 결과를 보여준다. 식 (8),(9)에서 계산한 Plotting Position Probability를 가지고 식 (4),(5)에 대입하여 r_i 를 구하고 이들 자료에 대하여 최종적으로 최소 자승법을 적용하면 각각 확률 분포 함수의 분포 계수 A, B 를 구할 수 있는데 본 논문의 계산 예에 대한 A, B 값들이 Table 2에 보여지고 각 확률 분포 함수에 적용된 결과들이 Fig. 1.1, 1.2에 보여진다.

3. 적합한 분포식들에 대한 검토

주어진 파괴 자료에 가장 적합한 분포식을 결정하기 위하여 다음과 같이 무차원화된 DATA MSD를 먼저 계산한다.

$$MSD = \frac{1}{NA^2} \sum_{m=1}^N [x_{m,N} - x_{m,N}^P]^2 \quad (12)$$

여기서 $x_{m,N}^P$ 은 식(8),(9)에 의해 계산된 회귀 분포 확률을 가지고 식 (3)에서 계산된 $E(H_{max})$ 의 값이다. 또한 식(12)에서 A^2 으로 나눈 이유는 무차원화된 평균 자승 편차를 살펴 보기 위함이다. 본 논문의 계산 예에 대한 DATA MSD 값들은 Table 2에 나타내었다. 이 값들을 보면 형상 계수 2.0을 갖는 Weibull 분포가 가장 낮은 DATA MSD 값을 갖는다는 것을 알 수가 있다. 즉, 주어진 자료에 가장 적합한 확률 분포 함수로 생각될 수도 있으나 이에 대하여는 각 확률 분포 함수가 주어진 파괴 자료

를 가장 잘 대표할 수 있다는 "대표성(Representativeness)"이 추가하여 검토되어야 한다. 만일 특정한 분포 함수가 주어진 파괴 자료를 잘 표현한다면 그 분포 함수의 통계적 특성 내에서 생성된 임의의 자료들의 MSD값들도 평균적인 의미에서 그 분포 함수의 DATA MSD처럼 유사한 MSD를 가져야 한다는 것이다. 이를 확인하기 위한 작업으로 각 분포 함수들로 부터 Monte Carlo 모사구현법에 의하여 만들어진 각 500개의 자료 집합군으로 부터 구한 500개의 MSD값을 누적하여 50%가 넘는 누적 확률에서 MSD값에 대한 각 분포 함수의 DATA MSD비를 구하였다. 각 확률 분포 함수에 대해 만들어지는 500개의 자료 집합군을 생성하는 Monte Carlo 모사구현법의 개념을 Fig. 2에 보였다.

먼저 각 분포함수에 대하여 식 (1),(2)를 통하여 누적 확률치를 계산한 다음 4자릿수의 임의의 숫자를 발생시켜서 각 누적 분포 함수와 결합하여 10개, 20개, 30개, 50개, 60개 등의 임의의 파괴 갯수를 가지는 파괴 자료 집합군을 500개 만들었다. 이와 같은 각각의 자료 집합군에 대하여 (12)식을 적용하여 각각의 MSD를 계산하고 이들의 누적분포도를 통하여 50%의 MSD값을 결정한 다음 DATA MSD로 나눈 값을 50% MSD Ratio라고 한다. 50% MSD Ratio가 작을 수록 만들어진 집합군이 원래 주어진 파괴 자료에 비해 흩어짐 정도가 작은 것을 의미한다. 다른 말로 하면 적은 50% MSD Ratio를 가진 확률 분포 함수가 임의의 파괴 자료 집합군을 만들 때 평균적으로 원래의 파괴 자료와 유사한 자료를 만들 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 50% MSD Ratio가 작은 확률 분포 함수가 주어진 파괴 자료에 가장 적합한 분포 함수로 선택될 수 있다.

남해안 지역의 계산 예에 대한 50% MSD Ratio 계산 결과를 Table 2에 보여주는데 이 결과로 부터 이번 계산 예에 대한 가장 적합한 분포 함수는 형상 계수 $k=1.5$ 를 가지고 분포 계수 $A=3.37$, $B=3.23$ 을 가진 Weibull 확률 분포 함수가 선택될 수 있다.

4. 회귀 주기와 조우 확률

적합된 분포 함수는 $E(H_{max})$ 의 발현 빈도 및 기간, 즉 회귀 주기에 대해서는 어떤 정보도 가지고 있지 않으므로 회귀 주기와 $E(H_{max})$ 의 발현 확률

Table 1 Maximum Wave Height and Position Probabilities

Rank	E(max) m	POSITION PROBABILITIES					
		G^{-1}	W_1^2	W_2^3	W_3^4	W_4^5	W_5^6
1	12.400	.98883	.98850	.98824	.98806	.98792	.98783
2	9.900	.96888	.96925	.96890	.96865	.96846	.96834
3	9.700	.94893	.94956	.94915	.94886	.94864	.94850
4	9.600	.92898	.92978	.92933	.92900	.92876	.92860
5	9.400	.90902	.90997	.90948	.90913	.90886	.90869
6	9.350	.88907	.89016	.88963	.88925	.88897	.88879
7	9.200	.86912	.87033	.86977	.86937	.86907	.86888
8	8.550	.84917	.85050	.84992	.84950	.84918	.84898
9	8.450	.82921	.83067	.83006	.82962	.82929	.82908
10	7.900	.80926	.81084	.81020	.80975	.80940	.80918
11	7.900	.78931	.79101	.79035	.78987	.78952	.78929
12	7.900	.76936	.77118	.77050	.77000	.76963	.76940
13	7.800	.74940	.75135	.75064	.75014	.74975	.74951
14	7.790	.72945	.73152	.73079	.73027	.72988	.72963
15	7.550	.70950	.71169	.71094	.71040	.71000	.70974
16	7.500	.68955	.69187	.69109	.69054	.69012	.68986
17	6.800	.66960	.67204	.67125	.67068	.67025	.66998
18	6.700	.64964	.65221	.65140	.65082	.65038	.65010
19	6.650	.62969	.63238	.63155	.63096	.63051	.63023
20	6.300	.60974	.61256	.61171	.61110	.61064	.61035
21	6.150	.58979	.59273	.59186	.59124	.59077	.59048
22	5.900	.56983	.57290	.57202	.57132	.57091	.57060
23	5.850	.54988	.55308	.55217	.55153	.55104	.55073
24	5.830	.52993	.53325	.53233	.53167	.53118	.53086
25	5.800	.50998	.51342	.51249	.51182	.51131	.51099
26	5.750	.49002	.49360	.49265	.49196	.49145	.49112
27	5.750	.47007	.47377	.47280	.47211	.47159	.47126
28	5.700	.45012	.45395	.45296	.45226	.45173	.45139
29	5.500	.43017	.43413	.43312	.43241	.43187	.43153
30	5.400	.41021	.41430	.41328	.41256	.41201	.41166
31	5.300	.39026	.39448	.39345	.39271	.39215	.39180
32	5.200	.37031	.37466	.37361	.37286	.37229	.37193
33	5.200	.35036	.35483	.35377	.35301	.35244	.35207
34	5.100	.33040	.33501	.33393	.33316	.33258	.33221
35	4.900	.31045	.31519	.31410	.31331	.31273	.31235
36	4.900	.29050	.29537	.29426	.29347	.29287	.29249
37	4.750	.27055	.27554	.27442	.27362	.27302	.27264
38	4.750	.25060	.25572	.25459	.25378	.25317	.25278
39	4.700	.23064	.23590	.23475	.23393	.23332	.23292
40	4.400	.21069	.21608	.21492	.21409	.21347	.21307
41	4.400	.19074	.19626	.19509	.19425	.19362	.19321
42	4.300	.17079	.17644	.17526	.17441	.17377	.17336
43	4.300	.15083	.15662	.15543	.15457	.15393	.15351
44	4.000	.13088	.13681	.13560	.13474	.13408	.13367
45	4.000	.11093	.11699	.11578	.11490	.11425	.11383
46	3.950	.09098	.09718	.09596	.09508	.09442	.09400
47	3.800	.07102	.07738	.07615	.07526	.07460	.07418
48	3.750	.05107	.05758	.05635	.05547	.05481	.05438
49	3.700	.03112	.03781	.03660	.03573	.03507	.03465
50	3.400	.01117	.01813	.01701	.01620	.01559	.01519

Note *1 Gumbel Distribution

*2, *3, *4, *5, *6 Weibull Distribution k=1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.2

Table 2 Parameter A,B of Canded Probability Distribution Function

Distribution Function	A	B	DATA MSD	50%MSD RATIO	RANK
Gumbel	1.61	5.36	0.0364	0.624	4
Weibull k=1.25	2.76	3.71	0.0146	0.818	5
k=1.5	3.37	3.23	0.0060	0.525	1
k=1.75	3.92	2.78	0.0044	0.538	2
k=2.0	4.43	2.35	0.0043	0.576	3
k=2.2	4.81	2.01	0.0046	0.896	6

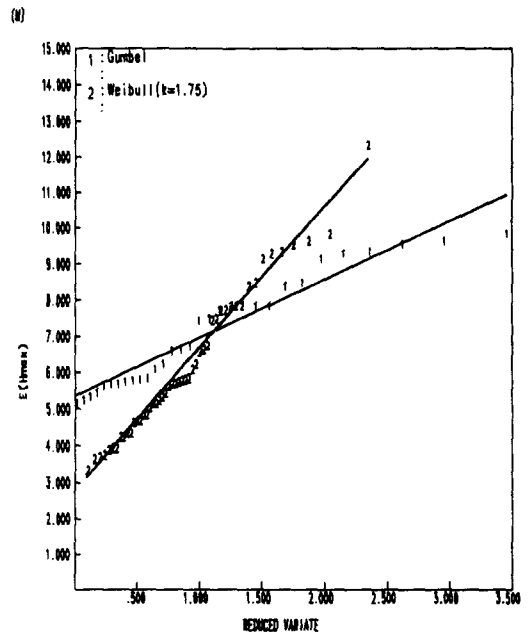


Fig. 1.1 Results for Candidate Function

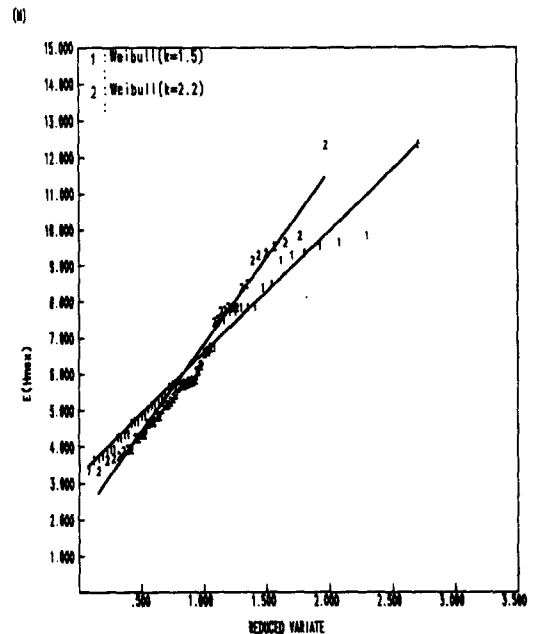


Fig. 1.2 Results for Candidate Function

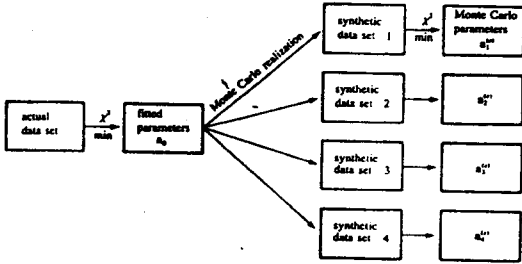


Fig. 2 Monte Carlo Simulation

파의 관계를 정의하여야 하는데 회귀 주기는 최대 파고 $E(H_{max})$ 가 임의 파고 x 이상으로 발생하는 평균 주기(년 단위) 로서 정의할 수 있다. 즉,

$$R_p = \frac{1}{\lambda(1 - \Pr[E(H_{max}) \leq x])} \quad (13)$$

여기서 λ 는 수집된 자료의 기록 간격(년 단위)을 뜻한다.

본 논문의 계산에서는 λ 는 태풍의 사이에 평균 년 간격을 의미한다. 식 (13)을 식 (4) 또는 식 (5)를 이용하여 $E(H_{max})$ - 확률 관계로 바꾸면 회귀 주기 - $E(H_{max})$ 관계로 표현할 수가 있고 이것으로부터 원하는 회귀 주기에 해당하는 극한 파고 $E(H_{max})$ 를 외삽법으로 예측할 수 있게 한다. 그러므로 이 설계치는 어떤 회귀 주기 안에 평균적으로 한번 초과할 수 있는 값으로 정의할 수 있다. Fig. 3은 이와 같은 관계가 확률치와 회귀 주기 축으로 그려져 있다. 여기서 흥미있는 사실은 50년 회귀 주기의 $E(H_{max})$ 값이 100년 회귀 주기 값보다 그리 차이가 크지 않다는 것이다. 그러나 이것은 극한 해상 상태가 시간에만 지배적이지 않다는 것을 의미한다.

또한 해상 구조물의 설계의 관점에서는 조우 확률 (Encounter Probability)이 유용한 정보가 될 수 있는데 이 값은 설계파가 구조물의 설계 수명 동안의 지정된 기간 T_L 동안 초과하는 확률을 의미하고 이의 관계는 다음과 같다[10].

$$E = 1 - e^{(-T_L/R_p)} \quad (14)$$

따라서 50년 회귀 주기의 설계파가 20년, 50년 그리고 100년 안에 초과될 확률은 각각 0.33, 0.632 그리고 0.865가 된다.

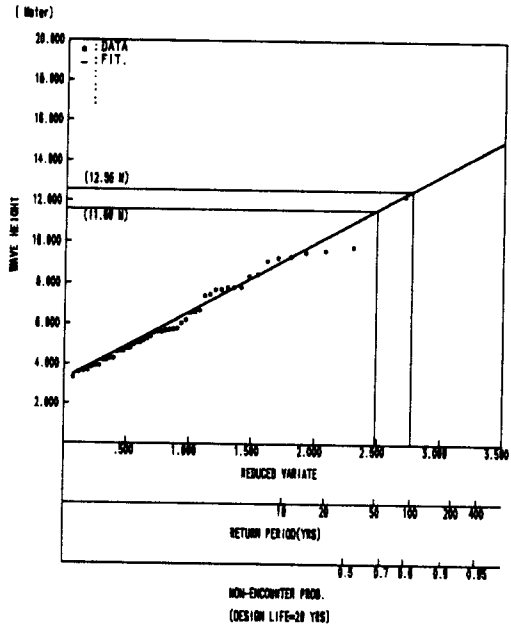


Fig. 3 Design Wave Height

5. 불확실성 범위

이상과 같이 주어진 파고 자료에 가장 잘 적합한 확률 분포 함수로부터 원하는 회귀 주기에 해당하는 $E(H_{max})$ 값이 외삽법에 의해서 추정되었다. 그러나 사용된 파고 자료 그리고 확률 분포 함수들은 매년 수집된 파고의 평균 숫자, 참값으로 가정된 파고 자료의 대표성 그리고 확률 분포 함수의 형상 계수의 추정등에 많은 불확실성을 내포하고 있다. 그러나 위와 같은 불확실성 중에서 정량적으로 분석이 가능한 것은 계수의 추정에 포함된 불확실성이며, 이는 실제 설계에 있어서 추정된 설계파에 불확실성에 대한 여유를 고려하는 실용적인 방법이 될 수 있다. 불확실성을 주는 수준은 다음과 같은 확률 형태로 표시될 수 있다. 즉,

$$\Pr(\phi_1 \leq \frac{\hat{x} - x}{\hat{A}} \leq \phi_2) = q \quad (15)$$

여기서 ϕ_1, ϕ_2 는 무차원화된 불확실성의 하한치 및 상한치를 의미하며 \hat{x} 는 주어진 확률 수준, 즉 주어진 Reduced Variate r_i 에 대한 분포값 (Population Value), x 에서의 Sample Value이다. 식 (15)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\Pr(\hat{x} - \hat{A}\phi_2 \leq x \leq \hat{x} - \hat{A}\phi_1) = q \quad (16)$$

이 식을 통하여 분포값 x 에 대하여 Sample Value를 예측할 수가 있다. 즉, 특정한 Reduced Variate에 대한 x 는 확신도(Confidence Level) $q(0.0 \leq q \leq 1.0)$ 를 가지고 $(\hat{x} - \hat{A}\phi_2)$ 와 $(\hat{x} - \hat{A}\phi_1)$ 사이에 놓여 있다고 말할 수 있다.

ϕ_1, ϕ_2 를 구하기 위해서 앞에서 사용한 Monte Carlo 모사구현법을 다시 사용한다. 즉, 적합한 확률 분포 함수에 대해 각각 70개의 자료 갯수를 가지는 1000개의 자료집합군을 만든 다음 각각의 자료 집합에 대하여 \hat{A}, \hat{B} 를 계산하여 참값으로 가정된 파고 자료 분포치 x 의 A, B 에 대한 $\tau = \frac{\hat{x} - x}{\hat{A}}$ 를

여러개의 Reduced Variate에 대해 계산한다. 이 τ 값들의 분포도로 부터 각 확신도 $q\%$ 에 대한 하한치 ϕ_1 및 상한치 ϕ_2 를 구할 수 있다.

본 논문의 계산 예에 대한 결과로서 $q=60\%$, 90% 의 $\phi_{60\%}, \phi_{90\%}$ 에 대해서 Fig. 4에 보여 준다.

6. 결 론

제한된 파고 자료를 가지고 합리적으로 수학적인 확률 분포 함수에 적용하여 외삽법을 통하여 원하는 회귀 주기에 해당하는 극한 설계파를 예측하는 기법을 논하였다.

여러가지 확률 분포 함수에 주어진 파고 자료를 적합시키기 위하여는 최소 자승법을 사용하여 각 분포 함수의 계수들을 구하였고 적용된 여러가지 확률

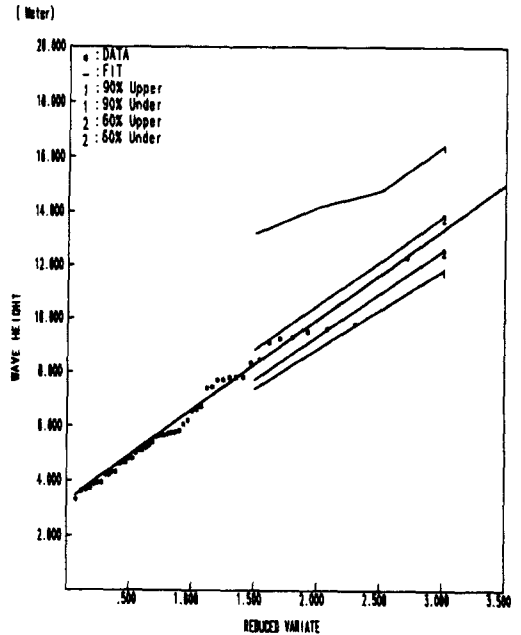


Fig. 4 Uncertainty Limit (Weibul $K=1.5$)

분포 함수로 부터 가장 적합한 확률 분포 함수를 찾기 위하여 평균 자승 편차(Mean Squared Deviation) 및 Monte Carlo 모사구현을 통하여 MSD Ratio를 계산함으로써 주어진 파고 자료에 가장 근접한 Sample Data를 만들어낼 수 있는 확률 분포 함수의 잠재적인 능력, 즉 대표성을 확인하기 위한 세밀한 검토가 수행되었다.

이러한 과정을 통하여 적은 DATA MSD값을 갖는 확률 분포 함수가 항상 적은 MSD Ratio를 갖는 것은 아니라는 것이 밝혀졌고 주어진 파고 자료에 가장 적합한 확률 분포 함수를 결정할 때 MSD Ratio가 계산될 필요가 있다는 것을 의미한다.

또한 일정한 회귀 주기를 갖는 파고의 조우 확률이 논의되었으며 산정된 파고에 대한 불확실성의 수준이 논의되었는데 이를 통하여 설계파 산정의 실용적 여유치를 고려할 수 있다.

후 기

본 연구는 대한민국 과학기술처의 특정 연구 개발 사업(94 국제 공동 연구 사업)의 지원하에 울산대학교 "해양 공간 이용 사업 연구" (공동 연구 참여 기관 : 현대 중공업(주), 삼성 중공업(주))의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] Petruaskas, C. and Aagaard, P. M., "Extrapolation of Historical Storm Data for Estimating Design Wave Heights," Offshore Tech. Conf., OTC 1190, 1970
- [2] Kimball, B. F., "On the Choice of Plotting Positions on the Probability Paper," J. of Amer. Stat. Assn., Vol.55, 1960
- [3] Gringorten, I. I. "A Plotting Rule for Extreme Probability Paper," J. of Geophys. Res., Vol.68, 1963
- [4] Kang, S., "Estimation of Deep Sea Waves of South and East Coast of Korea," KORDI Report No.BSPG 00067-197-2(in Korean), 1988
- [5] Wilson, B. W., "Deep Water Wave Generations by Moving Wind Systems," ASCE, Vol.87, No.WW2, 1961
- [6] Sarpkaya, T. and Isaacson, M., "Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures," Van Nostrand Rheinhold Co., 1981.
- [7] Chakrabarti, S. K., "Hydrodynamics of Offshore Structures," Computational Mech. Publications, 1987.
- [8] Blom, Gunnar, "Statistical Estimates and Transformed Beta Variables," Wiley, N.Y., 1958
- [9] Gumbel, E. J., "Statistics of Extremes," Columbia University Pres., N.Y., 1958
- [10] Borgman, L. E., "Risk Criteria," J. of Waterways and Harbors Div., ASCE, Vol.89, No.WW3, 1963