

동해안의 월 최대파에 대한 통계적 특성에 관한 연구

한양대학교 공과대학 부교수 이 정규
전 설 부 상 하 수 도 국 이 상 길

1. 서론

해안에 내습해 오는 파랑은 파고, 주기, 파향등의 모든 요소가 불규칙적으로 변하고 있다. 이러한 불규칙파의 전체 파군을 대표하는 평균파(\bar{H}), $1/3$ 유의파($H_{1/3}$), $1/10$ 유의파($H_{1/10}$), 최대파(H_{max})의 관계에 대한 연구로는 1952년 Longuet-Higgins가 이론적인 상호관계를 발표한 이후 이에 대한 많은 연구^{1), 9), 10), 11), 12)}가 발표되었으며 국내에서는 1973년 안⁶⁾에 의해 "불규칙파의 통계적 특성에 관한 연구"가 대한토목학회지에 발표된 바 있다. 일반적으로 불규칙파의 통계적 특성을 얻기 위한 자료는 기 발표된 바와 같이 일정한 파에 대하여 임의추출 형식으로 취한 값을 사용하여 분석을 하여 왔으나 그럴 경우 자료의 양이 방대하고 작업량이 많기 때문에 본 연구에서는 파랑의 월 최대파만을 추출하여 통계적 분석을 실시, 기존의 연구결과^{1), 5), 8), 9)}와 비교검토하여 본 연구에서 취한 방법이 간편하고 효율적임을 제시하고자 하며 이를 위하여 동해안 지역의 파랑 관측치²⁾로부터 월 최대파만을 추출하여 그 파고의 종횡비와 이론적인 비도분포를 분석하는 등시에 동해안 파고의 계절적인 변화 즉, 변동특성을 고찰 하고, 월 최대파의 대표파 사이에 상호관계를 비교검토코자 한다.

2. 동해안의 파랑 변화

우리 나라 동해안의 파랑 변화를 알기 위해서 표-1에서 각 항의

월별 최대파에 대하여 ⁴⁾순수평균법으로 계산한 평균유의 파고의 분포를 보면 그림-1과 같이 계절적인 변화는 오히려 겨울에 약간 높은 파장이 대용한다고 분수가 있겠으나 조사대상 기간 중에 나타난 고파의 발생 빈도를 보면 4.5m 이상의 고파가 무호항에서는 2월과 9-11월, 삼척·후포·포항항에서는 9월에 각각 발생하였으며 비교적 파고가 얇은 3-8월에도 3~4m 급의 고파가 무호항의 3회와 삼척항의 1회가 발생하는 것을 고찰할 수가 있었다. 이것은 그림-2와 같이 일본연안에서 동계의 고파와 하계의 정온으로 명백히 구분되는 것과는 대조적이다.

표-1. 파고계 설치 위치 및 기기명^{2),3)}.

관측소명	위도(N)	경도(E)	기기명	설치위치	설치년월일
무 호	37 33 18	129 07 41	R. S. W S. G. W	-15m	'71. 8.
삼 척	37 26 21	129 11 53	S. G. W	-16m	'72. 12.
후 포	36 40 18	129 28 25	U. S. W	-18m	'74. 7.
포항상항	36 01 04	129 23 57	U. S. W	-12m	'74. 6.
포항구항	36 02 57	129 22 45	U. S. W	-10.5m	'78. 12.

* R. S. W : Relay 식 계산 저항형 파고계

S. G. W : 수압식 파고계

U. S. W : 초음파식 파고계

따라서 년중 고파의 발생시기로서는 그림에서 보는 바와 같이 1229 및 9-12월을 경계하여야 겠으나 2이위의 시기라도 중 규모의 파 발생 가능성은 항상 고려되어야 할 필요성이 있다

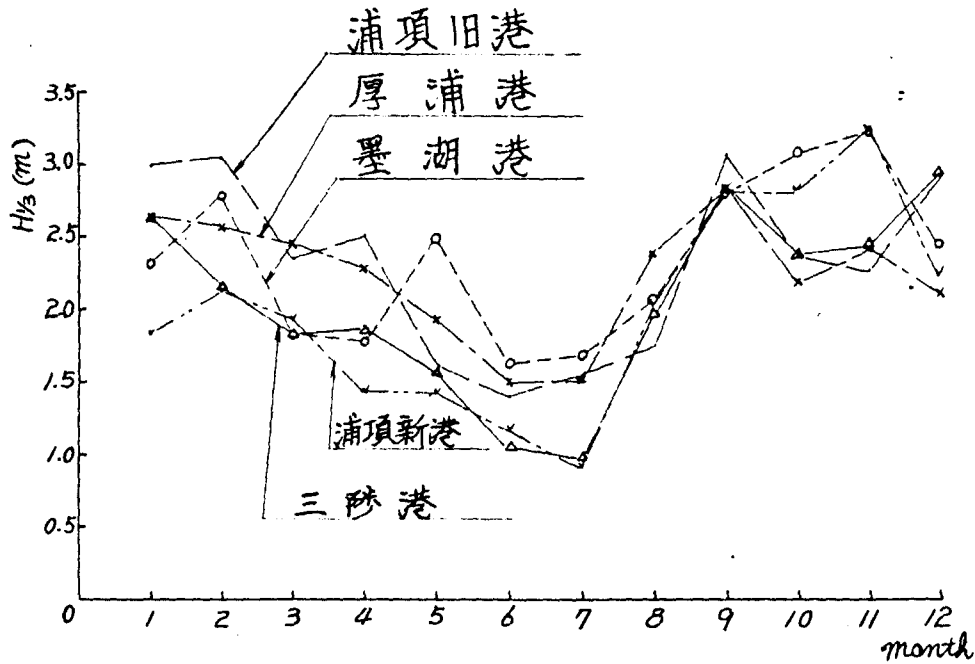


그림-1. 월별 최대 평균유의과고의 변화 (우리사라 동해안)

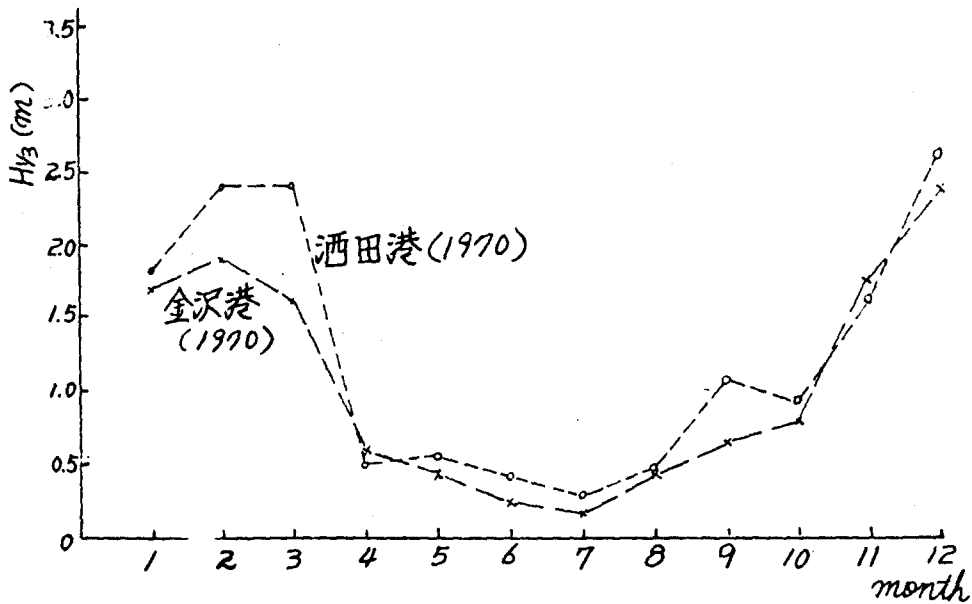


그림-2. 월별 평균유의과고의 변화 (일본 연안)⁵⁾

3. 파고의 출력밴드분포.

가. 파랑기록 분석

해면의 한점에 있어서 연속적으로 파형을 기록하면 그림-3과 같은 불규칙적인 파형이 된다

그림에서와 같이 파고 H 를 파봉에서 파곡까지의 수직거리로 하고 주기 T 를 파봉과 파봉사이의 시간으로 하는 Crest-to-Crest 법에 의해서 주기 T 를 정의할수도 있고 Zero-up-Cross 법에 의해 파고와 주기를 정의하는 방법도 있으나 평균수면이 명백하지 않으므로 여기서는 Crest-to-Crest 법에 의하여 파고와 주기를 정의한 것이다¹⁾.

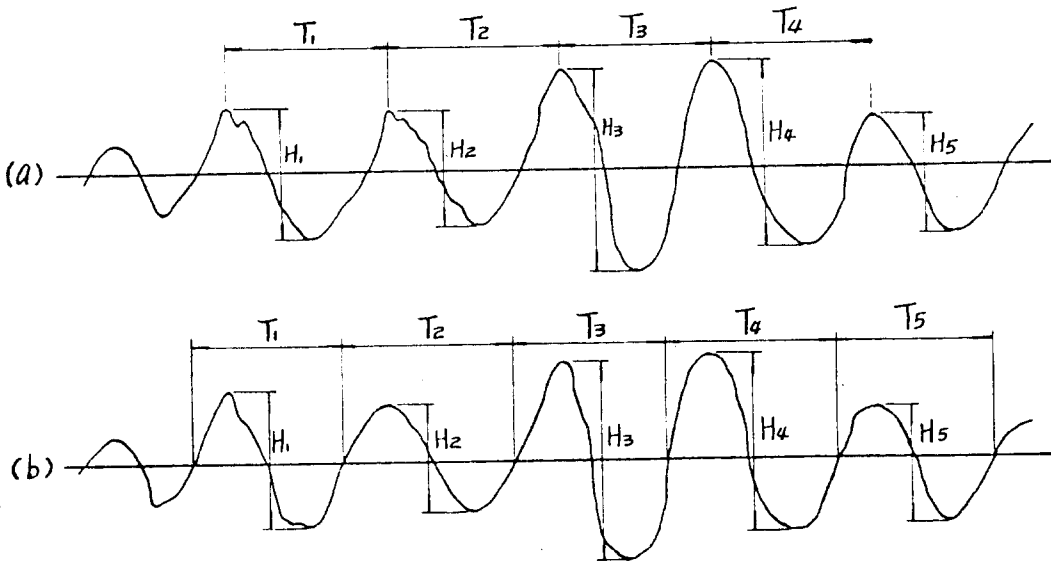


그림-3. (a) Crest-to-Crest 法 . (b) Zero-up-Cross 法

4. 파고의 출력밴드 분석

Longuet-Higgins 에 의하면 바다의 한 지점에 있어서 일정한 기간에 관측한 파랑의 파고 밴드분포는 스펙트럼폭이 작은 경우 Rayleigh 분포에 잘 따른다고 한다.⁶⁾

일정한 기간 동안의 기록에서 구한 파괴 H의 평균치를 \bar{H} 라고 하여

$$\eta = H/\bar{H} \text{ ----- (1)}$$

로 나타낼때 Rayleigh 분포는 다음과 같다

$$P(\eta) = \frac{\pi}{2} \cdot \eta \cdot e^{-\frac{\pi}{2}\eta^2} \text{ ----- (2)}$$

η 의 분포를 H의 분포로 변환하면

$$P(H) = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{H}{\bar{H}}\right) \cdot e^{-\frac{\pi}{2}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2} \text{ ----- (3)}$$

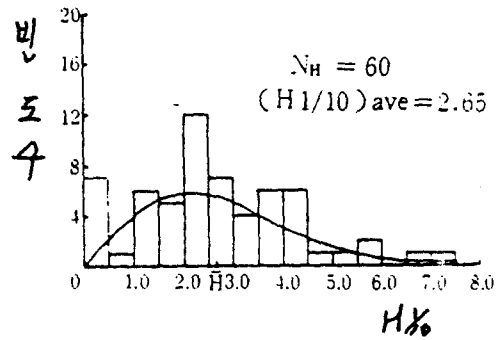
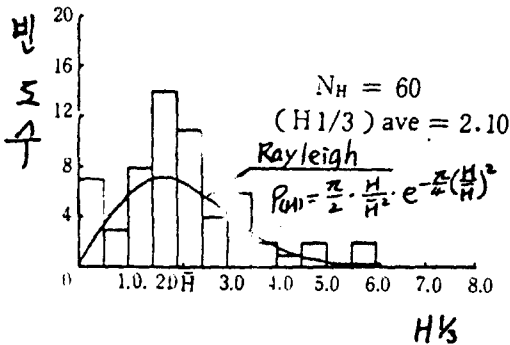
다음에 임의의 H보다 큰 파괴가 중첩하는 확률 즉 초과 발생 확률

$P(\eta)$ 는 (2)식의 확률 밀도 함수를 적분하여 구할 수 있다.

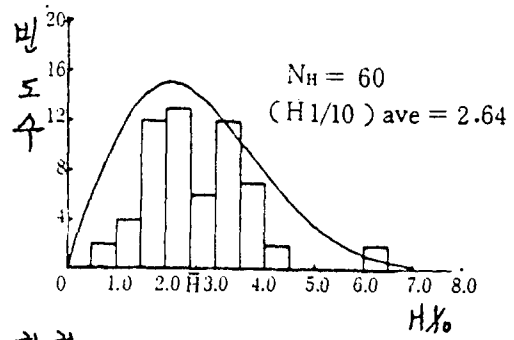
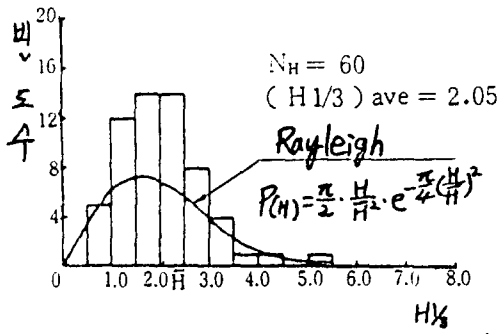
$$P(\eta) = 1 - \int_0^\eta P(\eta) d\eta = e^{-\frac{\pi}{2}\eta^2} = e^{-\frac{\pi}{2}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2} \text{ ----- (4)}$$

동해안 각항에서의 월 최대 파괴로서 파괴-중첩 변도간의 관계를 도시한 것이 그림-4이며 이론적인 Rayleigh의 분포곡선도 함께 표시 되어 있다.

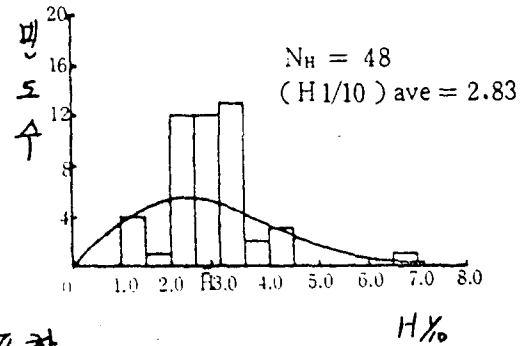
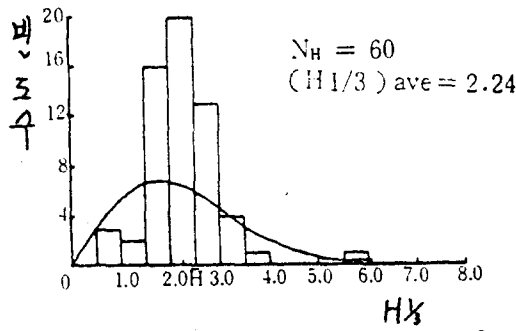
그림에서 보면 일반적으로 평균 파괴보다 $H/3$ 은 조금 작은 파괴의 도수가 많고 $H/10$ 은 조금 큰 파괴의 도수가 많은 것을 볼 수 있었다.



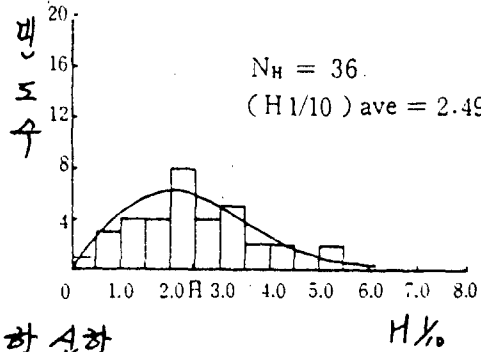
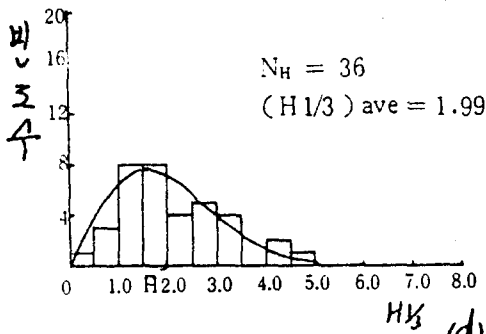
(a) 무포항



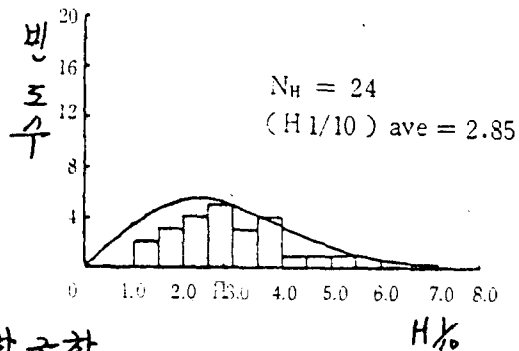
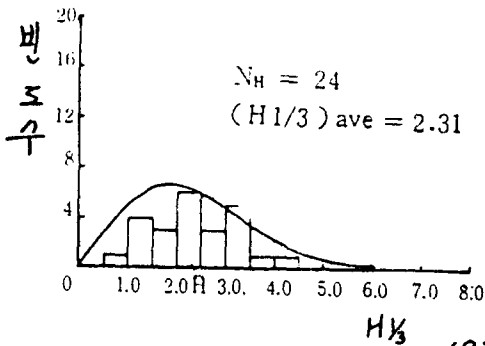
(b) 삼척항



(c) 후포항



(d) 포항항



(e) 포항구항

그림-4 파고의 도수 분포도

4. 파고 및 주기의 상관관계

Rayleigh 분포의 식은 $\eta = H/\bar{H}$, 즉 파고를 평균파로 표준화한 무차원 변수의 분포식이다. 설계파로서는 유의파 ($H_{1/3}$)를 사용하는 경우가 많으므로 Rayleigh 식으로부터 $H_{1/3}$ 과 \bar{H} 의 관계를 구해보면 다음과 같다. 즉 유의파고는 큰것으로 부터 순차적으로 늘어 놓았을때 제일 큰것으로 부터 총 파수의 $1/3$ 번째 까지의 파고를 평균한 값이므로 $P(\eta) = 0.333$ 에 대응하는 η 보다 큰것에 대해서 확률을 생각한 평균치를 취하므로서 다음과 같은 관계를 얻을수있다.

$$H_{1/3} = 1.6 \bar{H} \quad \text{같은 방법으로서 } H_{1/10} \text{ 과 } \bar{H} \text{ 의 관계를}$$

$$\text{구해보면 다음식과 같다. } H_{1/10} \approx 2.03 \bar{H}$$

또한 파고중에서 가장큰 파고, 즉 최대파고 (H_{max})는 기록파수 (N)에 따라 다르며 Longuet-Higgins에 의하면 다음과 같다.

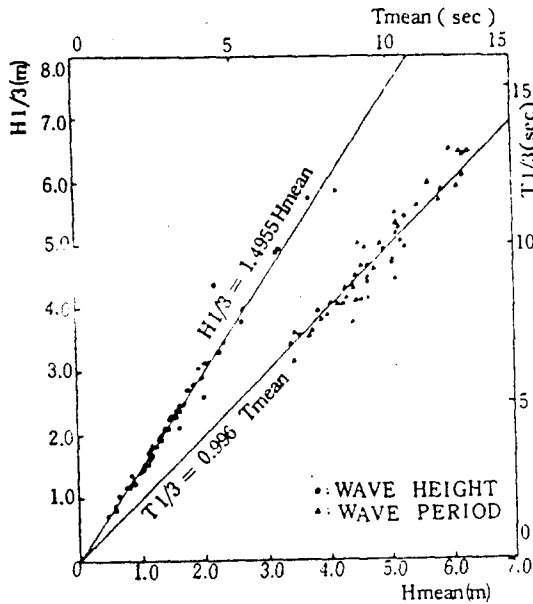
$$H_{max}/H_{1/3} \approx \frac{1}{1.416} (\log_e N)^{1/2} + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot (\log_e N)^{-1/2} \quad (\because \gamma = 0.5m^2)$$

N 에 대한 H_{max}/\bar{H} , $H_{max}/H_{1/3}$, $H_{max}/H_{1/10}$ 의 이론적인 값은 표 2와 같다.

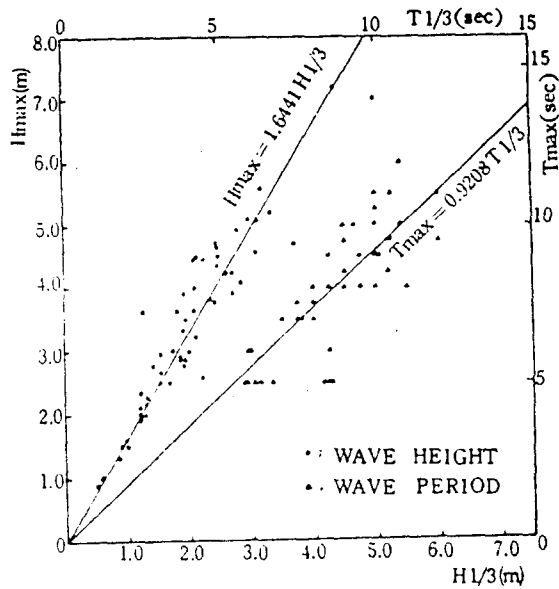
표-2 기록파수 N 에 대한 각 파고사이의 관계

N	H_{max}/\bar{H}	$H_{max}/H_{1/3}$	$H_{max}/H_{1/10}$
10	1.93	1.206	0.951
20	2.144	1.340	1.056
50	2.4	1.5	1.182
100	2.516	1.61	1.269
200	2.742	1.714	1.351
500	2.947	1.842	1.452
1000	3.094	1.934	1.524

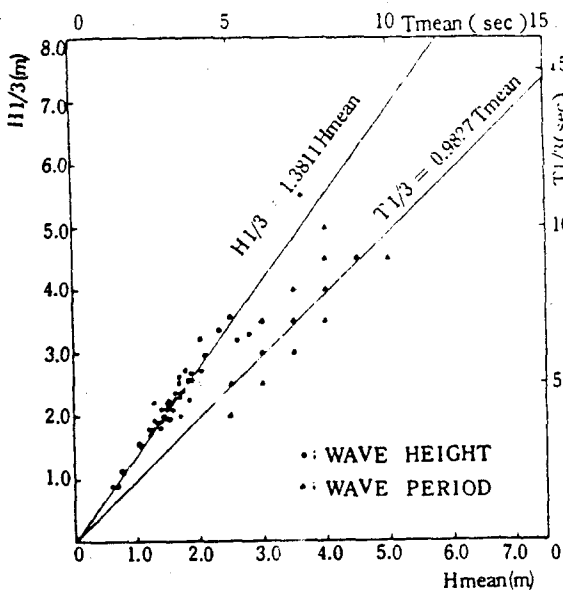
그리고 등해안의 파고기록치로부터 \bar{H} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$ 및 H_{max} 의
 율 최대와 사이의 상관도를 그렸듯이 그림-5이다.



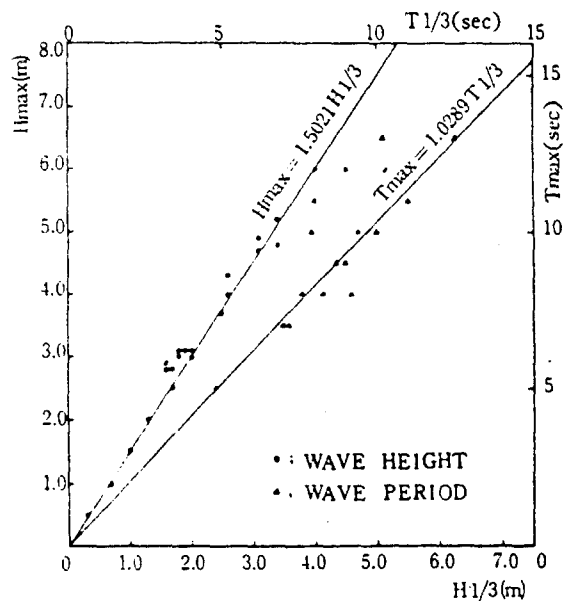
(a) 무흐항



(b) 삼척항



(c) 후포항



(d) 포항 선항

그림-5 율 최대와의 상관도

표-3. 파고 및 주기비 상관표 (동해안 및 일본연안)

위치	파 고 비				주 기 비			
	$H\%/\bar{H}$	$H\%/\bar{H}$	$H\%/\bar{H}\%$	$H_{max}/H\%$	$T\%/\bar{T}$	$T\%/\bar{T}$	$T\%/\bar{T}\%$	$T_{max}/T\%$
북호항	1.4955	1.865	1.243	1.6193	0.996	0.9156	0.9804	0.9755
삼척항	1.4829	1.8924	1.2562	1.6441	0.9288	0.8934	0.9613	0.9208
후포항	1.3811	1.7018	1.2338	1.6225	0.9829	0.9654	0.9823	1.0103
포항신항	1.4576	1.8024	1.2386	1.5024	1.014	1.026	1.0128	1.0289
포항구항	1.403	1.7264	1.2317	1.5669	1.0517	1.0715	1.0188	0.9874
평균	1.444	1.7975	1.2407	1.591	0.9946	0.9864	0.9911	0.9846
일본연안	1.4	1.82	1.3	1.8	1.05	0.97	-	-

표-4. Measured Statistical Ratios for Ocean Waves (after Wiegel and Kukuk, 1957)

Location and type of wave recorder	Statistical ratios						Remarks
	$H_{max}/H_{1/10}$	$H_{max}/H_{1/3}$	H_{max}/H_{mean}	$H_{1/10}/H_{1/3}$	$H_{1/10}/H_{mean}$	$H_{1/3}/H_{mean}$	
Davenport, Calif., surface recorder		1.40	1.90	1.19	1.61	1.37	11mo, 12-20min interval every 12hr, water depth 46' MLLW (Wiegel and Kukuk, '57)
Davenport, Calif., bottom pressure recorder		1.64	2.64	1.32	2.09	1.48	5mo, 12-20min interval every 12hr, Water depth 46' MLLW (Wiegel and Kukuk, '57)
Lajolla, Calif., bottom pressure recorder		1.63				1.49	46 Waves (Munk and Arthur, '51)
Greymouth, N.Z., bottom pressure recorder				1.24	1.94	1.58	109 records, 17min interval, every 2hr (Watters, 1953)
Hachijo I, Japan (surface ?)			2.0			1.5	11 records, 10min interval various locations (Yoshida, Kajiura, and Hidaka '53)
Long Branch, N.J., BEB surface recorder		1.29	1.93			1.5	1 record of 102 waves (Pierson, Neumann and James, 1955)

대표파의 상관관계는 이상과 같이 실측치에서도 구할수가 있고 이론적으로는 Rayleigh 분포등에서 이들의 상관관계를 계산해 낼수도있다 우리 나라 동해안의 실측치에서 계산된값과 외국에서 연구한 각 대표파 사이의 관계를 비교해보면 표-3과 표-4에서 보는바와 같이 비교적 가까운 값으로 나타나고 있다.

5. 결론

가. 우리나라 동해안에서는 계절에 관계없이 고파가 발생할 가능성이 있으며 그중에서도 1월 ~ 2월 및 9월 ~ 12월이 가장 위험하다

4. 동해안의 불규칙파에 대한 월 최대파고의 출력 빈도 분석결과 삼척항과 포항항은 이론적인 Rayleigh 분포에 비교적 잘 맞으나 묵호항과 후포항은 맞지 않았다

그러므로 여기에 대해서는 좀더 많은 자료를 이용하여 통계분석을 해볼 필요가 있다

다. 동해안의 불규칙파에 대한 월 최대파고의 상관관계는 대체적으로 다음과 같다.

$$H_{1/3}/\bar{H} = 1.444, H_{1/10}/\bar{H} = 1.821, H_{1/10}/H_{1/3} = 1.241, H_{max}/H_{1/3} = 1.591$$

라. 불규칙파의 통계적 특성을 얻기 위해서는 매년 월 최대파를 추출하여 분석한 결과와 임의 추출 형식으로 취하여 얻은 분석치가 서로 비슷한 값으로 나타나므로 본 연구에서 취한 방법이 더 편리하고 효율적이다.

* 참고 문헌

1. 해운항만청 : 항만설계기준 상침 P17 ~ P25
2. 무호. 삼척. 후포. 포항항의 해상관측조사보고서('76.1.1 ~ '80.12.31)
3. 해운항만청 : 과광자료분석 보고서 (1973 ~ 1977) '78. 11.
4. 정영진 : 실용현대통계학. 선진문화사. 1982.
5. Goda. Yoshimi (안익선 번역) : 동해안 설계과고에 대한 선제안.
대한토목학회지 Vol. 21, No. 1. Mar. 1973.
6. 안수환 : 불규칙과의 통계적 특성에 관한 연구
대한토목학회지 Vol. 21, No. 1. Mar. 1973.
7. 菅野一, 佐藤貞一, 寺西宗登, 堀口孝男; 港灣および
海岸工学. P38 ~ P39. 昭和 46年
8. Robert L. Wiegel; Oceanographical Engineering 1988-1901
Wind waves and Swell.
9. M. S. Longuet-Higgins "On the statistical Distribution of
the heights of sea waves." Journal of Marine Research.
Vol. 11. No. 3. 1952. P245 ~ P266.
10. Wiegal, R. L. and J. Kukuk. "Wave measurements along
the california coast." Vol. 38. No. 5. 1957. P667 ~ P674
11. M. S. Longuet-Higgins "On the Distribution of the
Heights of Sea Waves; Some Effects of Nonlinearity
and Finite Band Width." Journal of Geophysical
Research. Vol. 85. No. C3. Mar. 20. 1980. P1519 ~ P1523.
12. G. Z. Forristal. "On the statistical Distribution
of wave Heights in a storm." Journal of
Geophysical Research. Vol. 83. No. C5. Mar. 20
1978. P2353 ~ P2358.