

不規則波의 特性에 關한 研究

崔 漢 圭* · 윤 강 훈**

A Study on the Characteristic of Sea Wave

Han-Kuy Choi* · Kang-Hun Yun**

Abstract

The remarkable economic growth achieved during 1960—1980 in Korea inevitably demanded the expansion and maintenance of the harbors and their auxiliary seashore facilities. One of the most important elements in the basic design for the expansion of a harbor and its auxiliary facilities is, of course, the proper determination of the design wave which reflects the major characteristics of the seashore under consideration.

In this study, the parameters of significant waves for the industrial harbors on East Coast, Muck-Ho and Po-Hang, are first computed by means of computer programming using S.M.B and P.N.J methods, respectively.

Then the design waves with the return periods of 5—200 years were estimated by frequency analysis of the significant waves. A comparison of the design waves with the observed wave data during the past 10 years made it possible to determine the optimum value of design wave at the two harbors.

The important results of this study can be summarized as follows ;

- 1) It seems appropriate to take the design wave heights with the return period of 50 years at Muck-Ho and Po-Hang as 6.9 and 5.8 meters respectively.
- 2) It was found that for the determination of design waves on East Coast of Korean Peninsula P.N.J method works better than S.M.B method in predicting the significant wave, and the Log-Normal distribution fits best to the wave data which were put to frequency analysis.

1. 서 론

1960년대부터 국내의 경제성장으로 인한 국제교역의 활발화와 함께 해안개발 및 보전의 필요성은 그 하부 구조가 될 항만 및 해안 시설물의 대폭적인 확장과 정비를 요구하고 있으며 또한 임해 공업단지를 위한 매립 및 간척 등의 국토 조성사업이 활발해 지고 있다. 따라서 기

존, 신구를 불구하고 시급한 항만 및 해안시설물 계획을 위한 조사 설계의 주요한 인자는 해안 특성에 최적인 설계파랑에 대한 연구가 아닌가 생각된다.^{4), 10)}

이미 선진 각국에서는 오래전부터 각 항만 및 해안마다 장기적인 파랑관측을 실시하여 해안파에 대한 기상 및 해안 수리 등의 과학기술면의 지속적인 연구로 각 해안 및 항구의 특성설계파 설정으로 시설물 규모의 효율화와 적정화

*江原大學校 工科學科 土木工學科 副教授

**韓國建設技術研究院, 研究員

*Associate Professor, Dep't of Civil Engineering, Kangweon National University

**Researcher, Korea Institute of Construction Technology

(本 論文은 1985年度 江原大學校 學術研究費의 支援에 依한 것임.)

에 많은 기여를 하고 있는 실정에 있다.^{8),9)}

본 연구는 동해연안의 주요 공업항인 묵호와 포항지구의 설계파를 전자계산기를 사용하여 SMB 법과 PNJ 법으로 산출하고 종래의 설계파와의 비교를 통하여 보다 최적의 산출식과 설계파를 계산하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경^{1),13)}

2. 1. S. M. B 법^{2),5)}

심해파의 경우는 일정한 풍속 U와 취송거리 F에 의하여 생성된 유의파고 H 및 주기 T는 정상상태에 도달한 후에 다음과 같은 무차원의 관계로 나타낼 수가 있다.

$$\frac{gH}{U^2} = f_1\left(\frac{gF}{U^2}\right) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \frac{C_g}{U} = f_2\left(\frac{gF}{U^2}\right) \dots\dots\dots(2-2)$$

위의 관계는 Sverdrup와 Munk, Bretschneider 등에 의해서 연구된 것이며 해면의 마찰에 의한 바람에너지의 전달관계에서 구한 것이다.

f_1, f_2 의 함수형에 대해서는 많은 사람들이 연구하여 왔으나 1961년도에 Wilson 이 파거의 많은 자료중에서 비교적 신뢰도가 높은 것을 골라서 풍속을 해상 10m 높이의 값으로 통일하고 이들의 함수형을 결정하였다. Wilson 은 이식을 각종 실험치와 비교하여 4차에 걸쳐서 이식을 수정하였는데 그것은 다음과 같다.

—제1차식—

$$\frac{C}{U} = 1.04 \tanh[0.044\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}] \dots\dots\dots(2-3)$$

$$\frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh[0.01\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}] \dots\dots(2-4)$$

—제2차 수정식—

$$\frac{C}{U} = 0.057\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.3} \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\frac{gH}{U^2} = 0.0025\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.4} \dots\dots\dots(2-6)$$

—제3차 수정식—

$$\frac{C}{U} = 1.80[1 - \{1 + 0.00622\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\}] \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\frac{gH}{U^2} = 0.0024\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.45} \dots\dots\dots(2-8)$$

—제4차 수정식—

$$\frac{C}{U} = 1.37[1 - \{1 + 0.008\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\}^{-5}] \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\frac{gH}{U^2} = 0.30[1 - \{1 + 0.004\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}\}^{-2}] \dots\dots\dots(2-10)$$

여기서 C는 파속이며 심해파의 경우는 균속도와와의 사이에 다음의 관계가 있다.

$$C = 2C_g \dots\dots\dots(2-11)$$

이들 식중에서 제4차 수정식이 가장 실측치와 잘 맞는 것으로 알려져 있으므로 본 연구에서는 제4차 수정식을 이용하여 파랑을 추정하기로 하였다.

제4차 수정식을 바꾸어 쓰면 다음과 같이 표시가 된다.

$$\frac{gT}{2\pi U} = \frac{2C_g}{U} = 1.37[1 - \{1 + 0.008\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\}^{-5}] \dots\dots\dots(2-12)$$

$$\frac{gH}{U^2} = 0.30[1 - \{1 + 0.004\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}\}^{-2}] \dots\dots\dots(2-13)$$

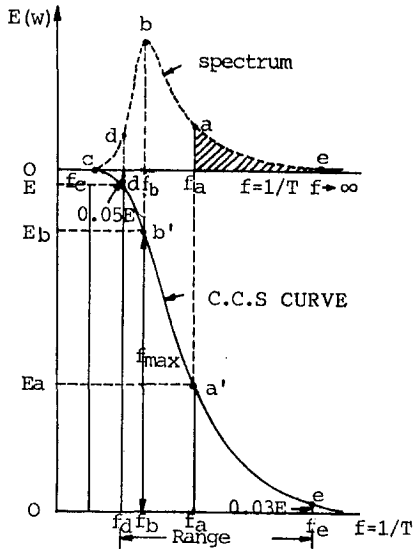
또한 최소취송시간 $t_{min}^{(1)}$ 는 다음과 같이 표시가 된다.

$$t_{min} = \int_0^F \frac{1}{C_g} dF \text{ 또는} \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\frac{gt_{min}}{U} = \int_0^{gF/U^2} \frac{d(gF/U^2)}{gT_{1/3}/4\pi U} \dots\dots\dots(2-15)$$

2. 2. P. N. J 법^{1),3)}

풍속이 크게됨에 따라 큰 물결을 일으키며, 취송시간 및 취송거리가 커지면 역시 큰 물결이 일어나게 된다. 시간과 거리가 유한일 경우에 어떤 한도 이상의 물결은 발생하지 않는다. Neuman은 [Fig. 1]에서 보는 바와 같이 횡축에 $f=1/T$, 종축에 에너지 밀도 $E(w)$ 를 나타낸 그래프를 사용하여 특정 풍속 U에 대한 Neuman의 스펙트럼과 이것을 f 에 대해서 $f=\infty \rightarrow f=0$ 까지 적분한 C, C, S 곡선을 설명하고 있다. 충분히 발달한 물결에서는 스펙트럼 e, a, b, c의 곡선으로 표시되나 유한거리와 유한시간의 경우에는 빗금을 친 형태로 되어, fa보다 적은 주파수의 성분파는 존재치가 않는다.



[Fig. 1]

[Fig. 1]의 C.C.S 곡선중축은 스펙트럼 면적과 같이 물결이 갖는 전 에너지에 비례하고 파고의 자승에 비례한다. 즉 C.C.S 곡선의 중축을 \sqrt{E} 의 눈금으로 나타내면 파고에 비례하게 된다. $H_{1/3}$, $H_{1/10}$ 또는 H 와 \sqrt{E} 와의 관계는 다음과 같은 식으로 된다.

$$\bar{H} = 1.772\sqrt{E} \dots \dots \dots (2-16)$$

$$H_{1/3} = 2.832\sqrt{E} \dots \dots \dots (2-17)$$

$$H_{1/10} = 3.600\sqrt{E} \dots \dots \dots (2-18)$$

이것으로부터 C.C.S 곡선의 중축을 $H_{1/3}$ 으로 표시하게 된다. 이와 같이 해서 각종의 풍속에 대해서 C.C.S 곡선을 그릴 수 있고 그것으로부터 파고를 구할 수 있다. 이 경우 평균주기 \bar{T} (파형이 정수면을 자르는 점에서 측정할 주기의 평균치)는 스펙트럼 밀도 $E(w)$ 에 의하여 다음과 식으로 주어진다.

$$\bar{T} = 2\pi \sqrt{\int_0^\infty E(w) dw / \int_0^\infty w^2 E(w) dw} \dots \dots \dots (2-19)$$

취송거리 또는 시간이 충분히 긴 경우

$$T = \frac{\sqrt{3}}{g} \pi U (m\text{-sec}) \dots \dots \dots (2-20)$$

취송거리 또는 시간이 유한한 경우

$$T = \frac{\sqrt{3\pi}}{g} \phi \left(\frac{1.56Ta}{U} \right) \cdot U (m\text{-sec}) \dots \dots \dots (2-21)$$

여기서 Ta : 성분파의 최대주기 (sec)

U : 풍속 (m/sec)

ϕ : Ta/U 에 따라 주어지는 함수

2. 3. 파라추산법의 한계

현재 사용되고 있는 파라추산법에는 2개의 커다란 제약이 있어 $\pm 10 \sim 20\%$ 이상의 정밀도는 기대하기가 곤란하다.

1) 바람의 문제로서 해상풍의 대부분을 천기도상의 등압선 간격 및 곡률반경에 의존하고 있으나, 해상 부분의 등고선은 연안의 육상관측점과 극소수의 해상관측점의 기상 Data를 기초로 하여 기상예보관이 눈짐작으로 그리는 것이므로 그 정확성과 신뢰성에 많은 의문이 제기된다.

2) 파고, 주기, 풍속, 취송거리, 취송시간의 관계를 나타내는 Fetch Graph 상의 Data 점의 산란은 수십%에 달하므로 단지 평균적 곡선으로서의 의미밖에 갖지 못하고 있다.

3. 연구 및 분석

3. 1. 자료의 분석

S.M.B 법의 경우 :

$$H_{1/3} = \frac{0.30xU^2}{g} \{1 - [1 + 0.004 \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}]^{-2}\}$$

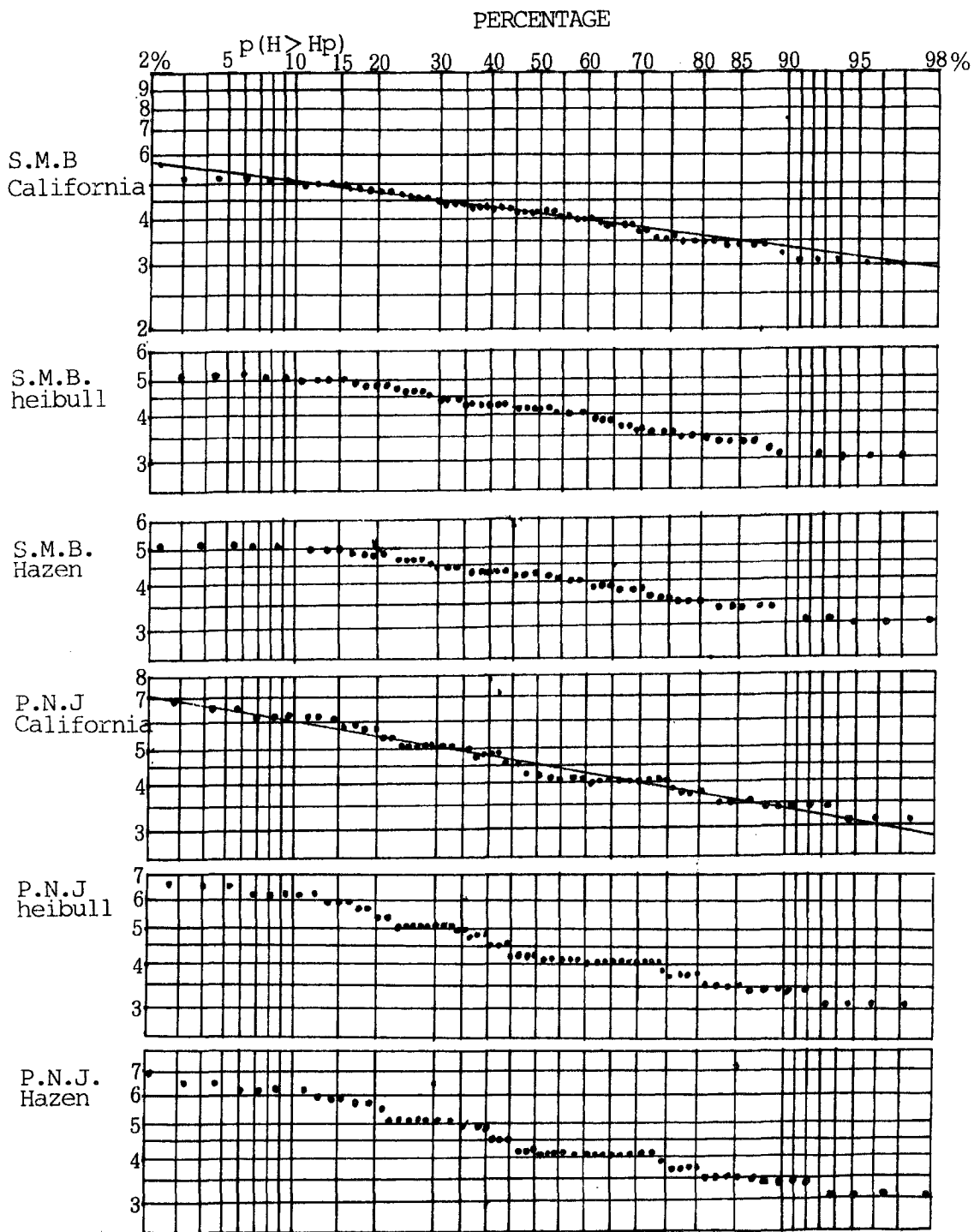
$$T_{1/3} = \frac{2\pi U x 1.37}{g} \{1 - [1 + 0.008 \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}]^{-5}\}$$

P.N.J 법의 경우

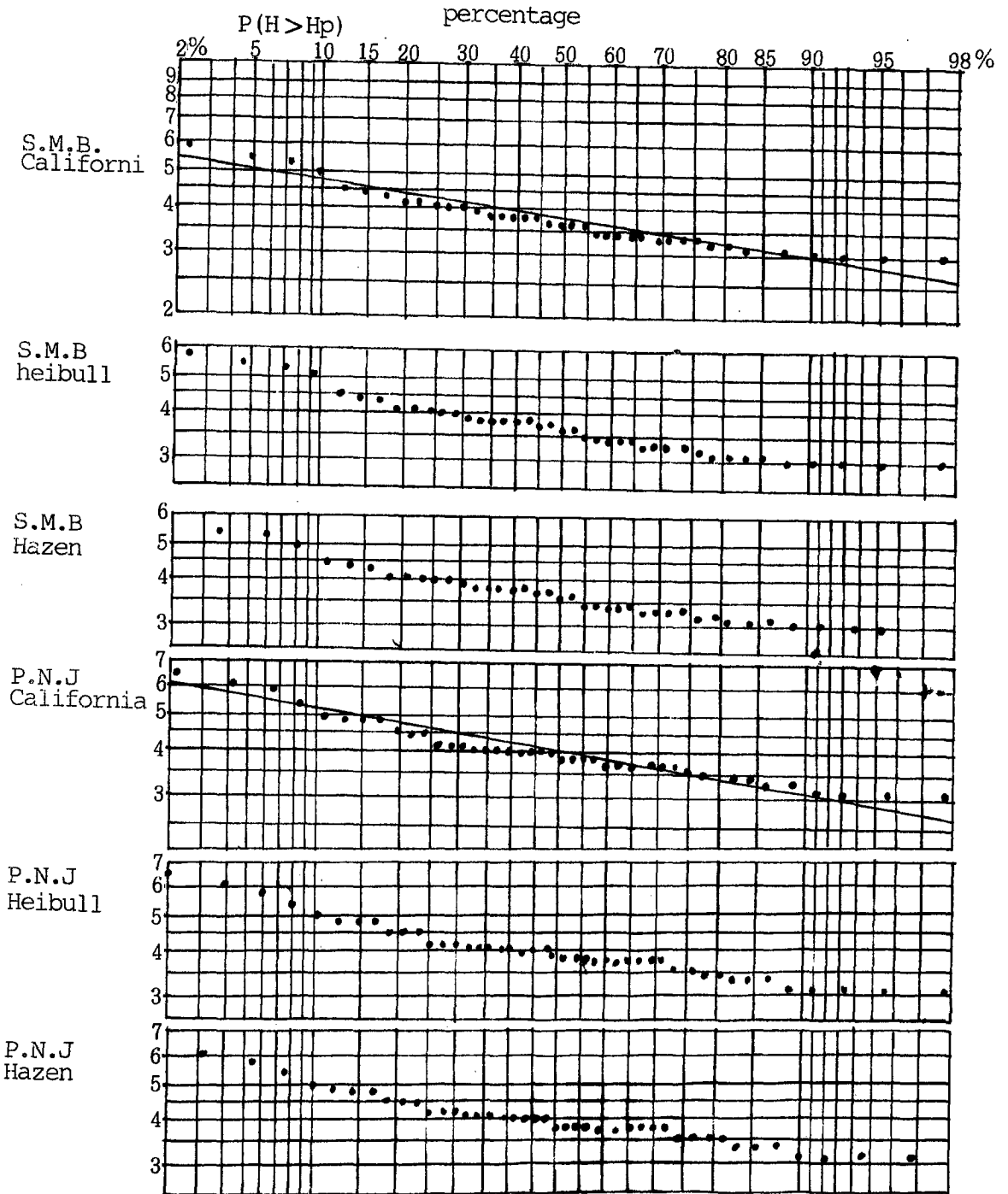
$$H_{1/3} = 2.882\sqrt{E}$$

$$T_{1/3} = 1.02 \times \frac{\sqrt{3}}{g} \pi U$$

를 적용하고 1960년~1980년까지의 20년간에 동해안지역에 내습한 주요 태풍^{6),7),12)} 8개의 Data를 Computer에 입력하여 파고 3m 이상의 유의파고에 대하여 연 초파치 계열을 구성하고 확률 지상에 적정 Plotting Position을 결정하기 위하여 California법, Haien법, Weibull법, 등을 사용하여 Nomal Probability Pape와 Log-Normal Probability Paper 상에 Plotting한 것이 [Fig. 2], [Fig'3]과 같다.



[Fig. 2. Muck-Ho]



[Fig. 3. Po-Hang]

3. 2. 결과 및 검토

앞의 분석결과 California 법으로 Log-Normal Probability Paper 상에 그 분포가 거의 직선에 가깝게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 그러므

로 빈도계수법을 사용하여 Computer에 의한 빈도 해석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. S.M.B. method.

(Unit : m)

Year	5	10	20	30	40	50	70	100	200
Muck-Ho	4.7	5	5.3	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.2
Po-Hang	4.3	4.6	4.9	5.1	5.2	5.2	5.4	5.5	5.7

Table 2. P.N.J. method

(Unit : m)

Year	5	10	20	30	40	50	70	100	200
Muck-Ho	5.3	5.9	6.3	6.6	6.8	6.9	7.1	7.4	7.8
Po-Hang	4.6	5	5.4	5.5	5.7	5.8	5.9	6.1	6.3

Table 3. Observed wave data(Muck-Ho)

(Unit : m)

Name	Helen	7220	Fran	비교
day	1966. 9. 25	1972. 9. 19	1976. 9. 11	1966, 1971~1976
H ¹ / ₃ max	5.3m	6.3m	5.2m	5m이상 파고

4. 결 론

1) 동해안의 설계파를 산정하는 방법은 P.N.J 법으로 유의파를 추정하고 California 법으로 연초파치계열을 작성한 후 Log-Normal Probability paper 상에서 빈도해석을 실시하는 것이 실측치에 비교적 가까운 값을 가진다.

2) 설계파는 50년 빈도의 경우 목호항 6.9m, 포항항만 5.8m로 하는 것이 타당하다.

참 고 문 헌

1. 최영박 : 한국 동해안의 설계파에 관한 연구, 1970.
2. 최영박 : 해안 및 항만공학, 문운당, 1977.
3. 건설부 : 수리공식해설, 1969.
4. 안수환 : 불규칙파의 통계적 특성에 관한 연구, 토목학회지 제21권, 1호, 1973. 3월
5. 항만청 : 설계파 결정을 위한 조사 연구 보고서, 1976.
6. 건설부 : 동해안 항만구조물 설계를 위한 파랑연구, 1966.
7. 항만청 : 파랑자료 분석 보고서, 1973~1977.
8. 건설부 : 해상관측자료 정리분석 및 각항의 설계파 결정 용역 보고서, 1971.
9. 건설부 : 파랑관측자료 분석 연구 보고서, 1973.
10. 심명필 : 목호항의 파랑특성, 수문학회지 제10권 제1호, 1977. 6월
11. Pierson, W. J and Marks, W : "The Power Spectrum Analysis of Ocean Wave Records.", American Geophysical Union Vol. 33, No. 6, Dec, 1952.
12. Goda, Yoshimi : 동해안 설계파고에 대한 실험안, 토목학회지 제21권, 1호, 1973. 3월
13. Longuet-Higgins M.S : On the Statistical distribution of the heights of sea Waves.", Journal of Marine Research Vol. II No. 3 pp. 245~266, 1952.