

포항해역에서의 파랑의 통계적 특성에 대한 연구

안 용호*, 김 도영**

*(사)한국항만협회, **홍익대학교 조선해양공학과

A Study of Statistical Properties of Waves in the Sea Area of Pohang

Yong-Ho Ahn*, Do Young Kim**

*Korea Port and Harbor Association,

**Hongik University, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

KEY WORDS: Directional Waverider (파향파고계), n-year return period wave height (n년 반복주기 파고), wave-period scatter diagram (파고-주기 결합분포표), wave direction (파향)

ABSTRACT: In this paper, statistical properties of waves in the sea area of Pohang, Korea are examined based on 1998-1999's wave data from directional wave buoy which is located Pohang(Janggigog). Wave data acquisition rate, monthly maximum, minimum and mean wave heights, frequency of wave direction are summarized. Wave height and period scatter diagrams and n-year return period wave heights are estimated. Wave periods of maximum wave heights are also estimated.

1. 서론

해양 및 연안의 이용과 활동범위가 크게 신장되면서 항만 및 해안개발 계획, 해안구조물의 설계, 자연재해(태풍 및 폭풍 등)로 인한 피해를 감소하고 경제적인 해상활동에 대한 기본자료인 우리나라 해역의 파랑특성을 파악하는 것은 중요하다. 파랑특성 중 가장 중요한 것 중 하나는 파랑하중이다. 해양파의 발생 원인은 여러 가지가 있겠지만, 대부분의 경우 바다 위에 불어오는 바람에 의해서 발생한다. 바람에 의해서 발생된 파도는 그 성격이 불규칙하므로 구조물과 파도와의 간섭효과를 해석하기 위해서는 통계적인 방법이 필요하다.

한국항만협회에서는 현재 우리나라 각 해역에 설치된 해양수산부의 표준파랑관측소(부이식 파향파고계) 5개소(포항 장기곶, 부산 태종대, 마라도, 홍도, 소청도)와 보조파랑관측소(수중식 파고계) 6개소(부산 태종대, 울릉도 사동, 여수 소리도, 포항 화진, 제주 화순, 강릉)를 관리·

운영하고 있다. 본 연구에서는 위의 파랑관측소 중 경북 포항시 영일군 대보항 북쪽 약 2km 해상(수심 30m)에 설치된 부이식 파고계에서 관측된 '98, '99년 파랑자료를 사용한 각종 통계자료 및 산출치를 작성하였고 이것으로부터 포항해역의 파랑특성에 대해 전반적인 고찰을 하였다. (한국해양연구소, 1998, 1999)

본 연구의 결과는 항만 및 방파제 설계를 위한 설계파 추정, 해양구조물의 극한상태설계를 위한 extreme event의 확률 추정, 선박 및 해양구조물의 작업효율 확보를 위한 operational response 추정, 피로 해석을 위한 모든 해상 상태의 발생 확률 추정, offshore platform 설치를 위한 1년 중 weather window 확률 추정, 파력발전의 출력계산 등에 유용하게 사용 될 수 있을 것이다.

2. 파랑관측

부이식 파향파고계의 내부에 설치된 가속도계는 3

방향 연직가속도를 측정하여 이를 해수면의 변위로 바꾸어 육상의 수신소에 관측자료를 실시간으로 송신한다. 자료는 매 1시간 간격으로 약 13분간 측정된다. 이때 관측된 시계열 자료로부터 스펙트럼을 계산한다. 시계열 자료로는 평균파법으로 통계치들을 계산하고, 스펙트럼으로는 스펙트럼법에 의한 각종 통계치들을 계산한다.

2.1 스펙트럼법

성분파의 파고의 제곱을 주파수의 함수로 표시한 것을 에너지 스펙트럼이라 하고 스펙트럼 모멘트에 의한 파랑특성계수를 표시한다.

- 유의파고 : $H_s = 4\sqrt{m_0}$ (1)
- 평균영점상향교차주기 : $T_z = \left(\frac{m_0}{m_1}\right)^{1/2}$ (2)
- spectrum peak 주기 : $T_p = 1/f_p$ (3)

여기서, m_0 는 파형의 분산이며 스펙트럼 아래의 면적을 나타내고, m_1 은 스펙트럼의 1차 모멘트이다.

2.2 평균파법

개개의 파에서 파고 및 주기를 구하여 다음과 같은 대표치를 정의하여 불규칙한 파랑을 표시한다.

- 최대파고와 그 주기(H_{max}, T_{max}) : 파군 중에서 파고가 최대인 파랑 및 이의 주기.
- 1/10파고와 그 주기($H_{1/10}, T_{1/10}$) : 파군 중에서 파고가 큰 쪽부터 세어서 총 파수의 1/10에 해당하는 파고 및 이에 대응하는 주기의 평균 값.
- 1/3파고와 그 주기($H_{1/3}, T_{1/3}$) : 파군 중에서 파고가 큰 쪽부터 세어서 총 파수의 1/3에 해당하는 파고 및 이에 대응하는 주기의 평균 값.
- 평균파고, 평균주기(H_{mean}, T_{mean}) : 관측된 전체 파랑의 파고와 주기를 평균한 값.

3. 결과 및 고찰

3.1 관측율

표 1은 포항(장기곶) 파랑관측소의 98, 99년의 관측

율이다. 일반적으로 부이식 파랑관측기를 사용하는 경우 파랑자료 관측율이 80%이상이면 좋은 관측율로 여겨지고 있다. 1998년 관측율은 61.6%이다. 4월에서 7월간은 관측이 거의 되지 않았으며 2월과 10월에는 70%에 못 미쳤다. 이에 비해 1999년 관측율은 98.9%로서 거의 100%에 가까우며 월별 관측율도 상당히 좋았다. 2년간의 전체 관측율은 80.2%로서 양호하다.

3.2 월별최대치·최소치·평균치

그림 1에서 4는 98년과 99년의 유의파고와 평균영점상향교차주기의 월별 최대치·최소치·평균치 그래프이다. 2년간의 유의파고 평균은 0.92m이다.

이를 토대로 스펙트럼법에 의한 H_s 와 평균파법에 의한 $H_{1/3}$ 의 평균치 비교를 표 2에서 하였다. H_s 평균치와 $H_{1/3}$ 평균치의 차이는 주파수영역에서의 해석법과 시계열에서의 해석법간의 차이를 나타낸다.(김도영, 1998, Forristall, 1978) 통계결과에 의하면 $H_{1/3}$ 와 H_s 의 비는 0.9~1.0 사이로 나오는데 0.9로 갈수록 즉, 두 파고의 차이가 클수록 파고분포는 광대역과 비선형성을 보이고 1.0으로 갈수록 파고분포는 협대역이며 선형이다. 포항에서는 $H_{1/3}$ 와 H_s 의 비가 0.95~1.0으로 나타나고 있다.

3.3 파향별 출현빈도

파고자료에 기록되는 파향은 2차원 스펙트럼분석을 하여 에너지의 분포를 얻는데, 이 중 에너지가 가장 큰 방향을 파향으로 한다. 본 연구에서는 0~360°으로 측정된 파향을 총 16개의 방위로 나누어 그래프로 나타내었다.

그림 5는 포항의 2년간 파향이다. 파향은 계절에 상관없이 북동-북북동방향이 대부분을 보인다.

3.4 파고-주기 결합분포표

파고와 주기의 분포를 보여주는 결합분포표를 작성하였다. 그런데, T_z 는 모든 파들의 영점통과 주기의 평균이어서 각 계급의 유의파고 H_s 의 평균 주기와는 직접적인 관계가 없다. 따라서 파고-주기 관계를 정확히 파악하기는 어렵다는 단점이 있다. 따라서 파고주기 결합분포를 $H_{1/3}$ 과 $T_{1/3}$ 을 바탕으로 표시하는 것도 의미가 있다고 생각되어 두 가지의 파고주기 결합분포도를 제시하였다.

표 3과 4는 주기와 파고를 0.5간격으로 계급을 정하였고 이에 해당하는 파도의 발생횟수를 표시하였다.

주기 1.5초 이하는 물리적으로 큰 의미가 없기에 이는 결합분포표에서 제외하고 표 하단에 제외 개수를 표시하였다. 두 개의 표를 비교해보면 H_5-T_2 그리고 $H_{1/3}-T_{1/3}$ 결합분포가 정성적으로는 비슷한 경향을 보이고 있다. H_5 와 $H_{1/3}$ 의 계급분포는 거의 같지만 T_2 이 $T_{1/3}$ 보다는 계급분포가 작다.

$H_{1/3}-T_{1/3}$ 결합분포표를 보면 파고와 파침도가 크지 않으나 주기가 긴 파도가 비교적 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 이 지역이 다른 지역에서 발생해서 지나는 너울(swell)의 영향이 있다고 볼 수 있다.

3.5 n년 반복주기 유의파고의 산출

계측한 H_s , T_2 를 이용하여 반복주기 n 년을 가지는 설계파고를 결정하기 위한 n 년 반복주기 유의파고 H_{Sn} 을 결정하겠다.

먼저 H_{Sn} 을 계산하기 위해서는 적절한 확률분포함수를 선정해야 하는데 이를 선정하는 방법에는 특별히 정해진 이론은 없으며 경험적으로 선정한다. 본 연구에서는 해양파에 적용되어서 좋은 결과를 주고 있는 분포함수 중에서 Fisher-Tippet Type-1 extreme distribution function (FT-1)과 Weibull distribution function을 사용하기로 한다.

각각의 누적분포함수는 다음과 같다.

FT-1 distribution :

$$P(H) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{H-\varepsilon}{\theta}\right]\right\} \quad (4)$$

Weibull distribution (Type III_L) :

$$P(H) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{H-\varepsilon}{\theta}\right)^\alpha\right] \quad (5)$$

여기서 θ 는 shape parameter이고, ε 은 mode(또는 location parameter), α 는 shape parameter라 불리며 일반적으로 0.75와 2.0 사이의 값을 가진다. θ 와 α 는 관측자료에서 결정한다. 일반적으로 최소자승법(least-square method)을 많이 사용한다.

일반적으로 관측된 파랑자료에서 해양구조물의 설계에 사용하는 설계파고를 추정하는 데에는 구조물의 설치지역에서 최소 2-3년의 파랑

관측 자료를 사용하는 것이 권장된다.

2년간의 관측자료로부터 산출한 유의파고 누적확률분포도를 작성하였는데, 그림 6은 FT-1 분포, 그림 7은 Weibull 분포이다. 분포도의 자료점들이 선형적으로 직선에 잘 fitting 되는 것을 볼 수 있다.

표 5는 분포도의 자료점들을 최소자승법으로 fitting한 직선에 의해 산출한 10년, 50년, 100년 반복주기 유의파고 산출표이다. Weibull 분포를 이용한 것이 FT-1 분포를 이용한 추정보다 좀 더 큰 값을 주는 것을 볼 수 있다. 이 차이는 0.5m에서 0.6m 정도인데 이는 50년 반복주기 유의파고와 100년 반복주기 유의파고와의 차이와 비슷하다. 이는 상당히 큰 차이이기 때문에 두 분포함수의 직선 fitting에 대한 오차를 비교하여 더 작은 분포함수를 택하여야 한다.

3.6 최대파고와 그 주기특성

Longuet-Higgins(1983)는 이론적으로 최대파의 주기(T_{max})의 크기는 평균주기 T_1 에 접근한다고 설명하였다. 그러나 관측된 파랑들의 최대파의 주기는 평균주기보다 다소 긴 경향을 보이고 있다. 또한 Tucker(1991)는 각 해상에서 최대파의 영점상향교차주기의 기대값은 평균 영점상향교차주기보다 매우 크다는 것을 보였다.

설계파고는 앞 절에서 언급한 방법으로 산출할 수 있지만 이에 따른 주기는 앞 절과 같은 방법으로 산출하지 못한다. 따라서 설계파고에 따르는 주기의 특성을 파악하기 위해 실제 계측된 큰 파도에서의 파고와 주기의 관계를 관측하여 간접적으로 추정하기로 한다. 표 6과 7에서는 1998년과 1999년에 관측된 파랑자료 중에서 최대파고 그룹(상위 10개까지)에 속하는 파에 대한 여러 가지 주기를 보여주고 있다. 최대파의 순위가 유의파고의 순위가 아님을 볼 수 있고, 최대파의 크기가 크다고 주기가 길지도 않음을 볼 수 있다. 최대파의 주기 T_m 과 평균주기 T_1 의 비를 살펴보면, T_m/T_1 은 1보다 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 최대파와 평균영점상향교차주기의 비 T_m/T_2 는 T_m/T_1 보다 큰 것을 볼 수 있다. 최대파의 주기는 평균주기보다 최대 46%까지 큰 값을 보이고 있으며 최대파의 주기는 평균영점상향교차주기보다

31%정도까지 큰 것을 볼 수 있다. 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기를 평균하여 이의 관계를 근사적으로 산출하면 다음과 같다.

$$T_m \approx 1.23 T_z \quad (6)$$

4. 결론

본 연구에서는 포항(장기곶)에 설치된 파향파고계에서 계측된 파랑자료 중 1998년과 1999년의 자료를 사용하여 통계적인 특성파악 및 설계파 산출에 필요한 n 년 반복주기 유의파고 산출과 설계파의 주기를 추정하였다.

99년과 99년 2년간의 관측율은 80.2%였다. 월별최대치·최소치·평균치를 그래프로서 작성하였고, 이것으로 유의파고와 1/3파고 평균치의 비가 0.95~1.0이었고, 평균유의파고는 0.92m이었다.

파향빈도를 그래프를 작성하였고, 파향은 년 중 큰 변화없이 북동-북북동방향이 대부분을 보였다.

파고와 주기의 상관관계를 보여주는 H_s-T_z 결합분포표와 $H_{1/3}-T_{1/3}$ 결합분포표를 작성하였다.

n 년 반복주기 유의파고 산출에 FT-1 누적확률분포와 Weibull 누적확률분포를 이용하였는데, Weibull 누적확률분포의 산출치가 FT-1 누적확률분포의 산출치 보다 약간 컸다.

연도별 최대파고의 상위 10개까지를 다른 주요 측정치들과 나열한 표를 작성하였다. 98-99년도의 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기의 평균치는 $T_m \approx 1.23 T_z$ 이었다.

참고문헌

- [1] Forristall, G.Z., On the statistical distribution of wave heights in a storm. J. Geophys. Res. 80, 2353-2358, 1978
- [2] Longuet-Higgins, The effect of non-linearities on statistical distributions in the theory of sea waves. J. Fluid Mech., 1963, 17(3), 459-480.
Longuet-Higgins, M.S. (1984) 'Statistical properties of wave groups in a random sea.' Phil. Trans, Roy. Soc. A. 312, 219-250.
- [3] Tucker M. J., Waves In Ocean Engineering,

Measurement, Analysis, Interpretation. Ellis Horwood,

- [4] 일본해안개발기술연구센터(NOWPHAS), "1997 전국항만해양파랑관측자료", 일본운수성항만국감수, 1998.
- [5] 일본해안개발기술연구센터(NOWPHAS), "1970~1994 전국항만해양파랑관측 25년간 통계자료", 일본운수성항만국감수, 1996.
- [6] 김도영, "홍도와 마라도 해역에서의 파후에 대하여", 한국해양환경공학회지 제 1권 제 2호, 1998.
- [7] 한국해양연구소, "1999년 해상파랑관측 및 조사", 해양수산부, 2000.
- [8] 한국해양연구소, "1998년 해상파랑관측 및 조사", 해양수산부, 1999.

표 1. 포항(장기곶) 파랑관측소의 관측율(%)

| 달 \ 년 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 년 |
|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1998 | 100.0 | 69.0 | 83.9 | - | - | - | 32.3 | 87.1 | 100.0 | 66.7 | 100.0 | 100.0 | 61.6 |
| 1999 | 91.9 | 98.2 | 100.0 | 100.0 | 96.8 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.9 |

표 2. H_s 평균치와 $H_{1/3}$ 평균치의 비교

| 연도 | H_s | $H_{1/3}$ | $H_{1/3}/H_s$ |
|------|-------|-----------|---------------|
| 1998 | 0.95 | 0.93 | 0.95 |
| 1999 | 0.88 | 0.88 | 1.00 |

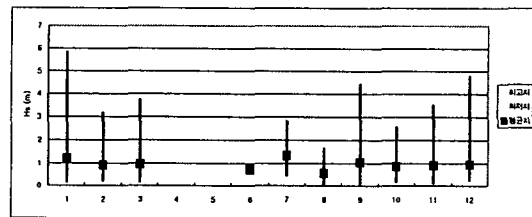


그림 1. H_s 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1998)

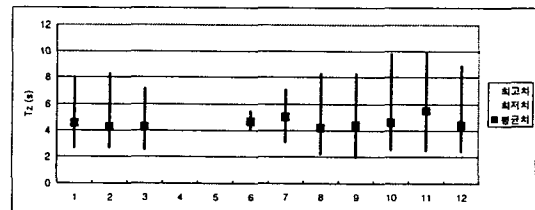


그림 2. T_z 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1998)

표 3. Hs-Tz 결합분포표

| Tz \ Hs | 1.5-2.0 | 2.0-2.5 | 2.5-3.0 | 3.0-3.5 | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 | 9.0-9.5 | 9.5-10.0 | Sum | Prop | Accu | Prop |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|------|-------|-------|
| 5.5-6.0 | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 2 | 0.0 | 2 | 0.0 |
| 5.0-5.5 | | | | | | | | | | | | 1 | 5 | | | | | 6 | 0.0 | 8 | 0.1 |
| 4.5-5.0 | | | | | | | | | | | 2 | 6 | 5 | | | | | 15 | 0.1 | 23 | 0.2 |
| 4.0-4.5 | | | | | | | | | | | 1 | 6 | 29 | 6 | 1 | | | 43 | 0.3 | 66 | 0.5 |
| 3.5-4.0 | | | | | | | | | | | 26 | 29 | 21 | 3 | 2 | | | 84 | 0.6 | 150 | 1.1 |
| 3.0-3.5 | | | | | | | | | | | 14 | 58 | 34 | 22 | 7 | 5 | 2 | 144 | 1.0 | 294 | 2.1 |
| 2.5-3.0 | | | | | | | | | | | 24 | 79 | 58 | 22 | 15 | 8 | 5 | 222 | 1.6 | 516 | 3.7 |
| 2.0-2.5 | | | | | | | | | | | 27 | 183 | 125 | 68 | 49 | 19 | 20 | 497 | 3.6 | 1013 | 7.3 |
| 1.5-2.0 | | | | | | | | | | | 5 | 75 | 291 | 283 | 191 | 143 | 91 | 1117 | 8.1 | 2130 | 15.4 |
| 1.0-1.5 | | | | | | | | | | | 26 | 185 | 666 | 530 | 391 | 220 | 174 | 2324 | 16.8 | 4454 | 32.3 |
| 0.5-1.0 | | | | | | | | | | | 298 | 882 | 996 | 987 | 721 | 644 | 327 | 5090 | 36.9 | 9544 | 69.1 |
| 0.0-0.5 | 1 | 284 | 1003 | 923 | 801 | 630 | 321 | 170 | 68 | 35 | 13 | 6 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4266 | 30.9 | 13810 | 100.0 |
| Sum | 1 | 284 | 1301 | 1831 | 1987 | 2358 | 1890 | 1695 | 1024 | 711 | 372 | 201 | 79 | 39 | 23 | 8 | 6 | 13810 | | | |
| Prop(%) | 0.0 | 2.1 | 9.4 | 13.3 | 14.4 | 17.1 | 13.7 | 12.3 | 7.4 | 5.1 | 2.7 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | | | | |
| Accu | 1 | 285 | 1586 | 3417 | 5404 | 7762 | 9652 | 11347 | 12371 | 13082 | 13454 | 13655 | 13734 | 13773 | 13796 | 13804 | 13810 | | | | |
| Prop(%) | 0.0 | 2.1 | 11.5 | 24.7 | 39.1 | 56.2 | 69.9 | 82.2 | 89.6 | 94.7 | 97.4 | 98.9 | 99.4 | 99.7 | 99.9 | 100.0 | 100.0 | | | | |

6 data are excluded

표 4. H_{1/3}-T_{1/3} 결합분포표

| T _{1/3} \ H _{1/3} | 3.0-3.5 | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 | 9.0-9.5 | 9.5-10.0 | 10.0-10.5 | 10.5-11.0 | 11.0-11.5 | 11.5-12.0 | Sum | Prop | Accu | Prop |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|------|-------|------|
| 5.5-6.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.0 | 1 | 0.0 |
| 5.0-5.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.0 | 3 | 0.0 |
| 4.5-5.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | 0.1 | 13 | 0.2 |
| 4.0-4.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | 0.2 | 26 | 0.4 |
| 3.5-4.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 28 | 0.4 | 54 | 0.7 |
| 3.0-3.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 66 | 0.9 | 120 | 1.7 |
| 2.5-3.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 105 | 1.5 | 225 | 3.1 |
| 2.0-2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 279 | 3.9 | 504 | 7.0 |
| 1.5-2.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 580 | 8.0 | 1084 | 15.0 |
| 1.0-1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1294 | 17.9 | 2378 | 32.9 |
| 0.5-1.0 | 21 | 102 | 140 | 262 | 322 | 405 | 428 | 382 | 276 | 185 | 106 | 78 | 46 | 15 | 4 | 2 | 2 | 2777 | 38.4 | 5155 | 71.4 | |
| 0.0-0.5 | 16 | 146 | 261 | 331 | 384 | 302 | 253 | 162 | 90 | 51 | 33 | 25 | 10 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2068 | 28.6 | 7223 | 100.0 | |
| Sum | 37 | 255 | 420 | 655 | 848 | 928 | 950 | 845 | 688 | 570 | 387 | 278 | 178 | 89 | 38 | 27 | 11 | 14 | 5 | 7223 | | |
| Prop(%) | 0.5 | 3.5 | 5.8 | 9.1 | 11.7 | 12.8 | 13.2 | 11.7 | 9.5 | 7.9 | 5.4 | 3.8 | 2.5 | 1.2 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | | | |
| Accu | 37 | 292 | 712 | 1367 | 2215 | 3143 | 4093 | 4938 | 5626 | 6196 | 6583 | 6861 | 7039 | 7128 | 7166 | 7193 | 7204 | 7218 | 7223 | | | |
| Prop(%) | 0.5 | 4.0 | 9.9 | 18.9 | 30.7 | 43.5 | 56.7 | 68.4 | 77.9 | 85.8 | 91.1 | 95.0 | 97.5 | 98.7 | 99.2 | 99.6 | 99.7 | 99.9 | 100.0 | | | |

표 6. 최대파고와 그 주기에 대한 여러 가지 비교 (1998)

표 5. n년 반복주기 유의파고 산출표

| 누적분포 함수 | FT-1 | | | Weibull | | |
|-----------|------|------|------|---------|------|------|
| | n년 | 반복주기 | | 10 | 50 | 100 |
| 1998 | 5.08 | 5.77 | 6.07 | 4.92 | 5.55 | 5.81 |
| 1999 | 6.61 | 7.52 | 7.91 | 6.71 | 7.62 | 8.02 |
| 1998-1999 | 6.45 | 7.29 | 7.65 | 6.49 | 7.33 | 7.69 |

| Hs | Tz | Hm | Tm | Tl | Hm/Hs | Tm/Tl | Tm/Tz | Tl/Tz |
|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 5.17 | 7.74 | 8.81 | 9.56 | 8.13 | 1.70 | 1.18 | 1.24 | 1.05 |
| 5.84 | 7.99 | 8.25 | 9.70 | 8.73 | 1.41 | 1.11 | 1.21 | 1.09 |
| 4.45 | 7.43 | 8.01 | 9.46 | 8.13 | 1.80 | 1.16 | 1.27 | 1.09 |
| 4.92 | 7.35 | 7.83 | 8.56 | 7.74 | 1.59 | 1.11 | 1.16 | 1.05 |
| 4.71 | 7.44 | 7.66 | 9.10 | 7.54 | 1.63 | 1.21 | 1.22 | 1.01 |
| 5.04 | 7.74 | 7.65 | 10.47 | 8.33 | 1.52 | 1.26 | 1.35 | 1.08 |
| 5.25 | 7.49 | 7.61 | 9.42 | 7.60 | 1.45 | 1.24 | 1.26 | 1.01 |
| 4.56 | 6.94 | 7.60 | 9.52 | 7.33 | 1.67 | 1.30 | 1.37 | 1.06 |
| 5.24 | 7.60 | 7.60 | 11.52 | 7.90 | 1.45 | 1.46 | 1.52 | 1.04 |
| 4.86 | 7.57 | 7.48 | 8.41 | 7.93 | 1.54 | 1.06 | 1.11 | 1.05 |

표 7. 최대파고와 그 주기에 대한 여러 가지 비교 (1999)

| Hs | Tz | Hm | Tm | Tl | Hm/ Hs | Tm/ Tl | Tm/ Tz | Tl/ Tz |
|------|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 4.48 | 7.37 | 8.08 | 9.24 | 9.63 | 1.80 | 0.96 | 1.25 | 1.31 |
| 4.63 | 8.84 | 7.49 | 9.57 | 9.96 | 1.62 | 0.96 | 1.08 | 1.13 |
| 4.37 | 7.42 | 7.29 | 8.72 | 7.64 | 1.67 | 1.14 | 1.18 | 1.03 |
| 5.17 | 7.51 | 6.67 | 8.64 | 8.06 | 1.29 | 1.07 | 1.15 | 1.07 |
| 3.51 | 6.50 | 6.66 | 8.85 | 6.78 | 1.90 | 1.31 | 1.36 | 1.04 |
| 4.29 | 7.10 | 6.48 | 8.66 | 7.55 | 1.51 | 1.15 | 1.22 | 1.06 |
| 4.43 | 7.55 | 6.33 | 8.84 | 8.09 | 1.43 | 1.09 | 1.17 | 1.07 |
| 5.18 | 7.76 | 6.32 | 7.98 | 7.40 | 1.22 | 1.08 | 1.03 | 0.95 |
| 5.74 | 8.80 | 6.31 | 9.62 | 8.84 | 1.10 | 1.09 | 1.09 | 1.00 |
| 4.87 | 7.95 | 6.29 | 9.89 | 8.49 | 1.29 | 1.16 | 1.24 | 1.07 |

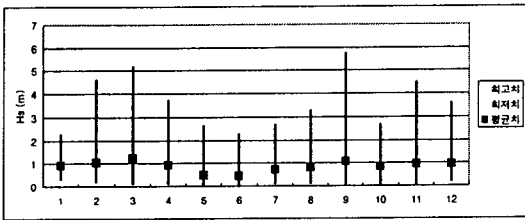


그림 3. Hs의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1999)

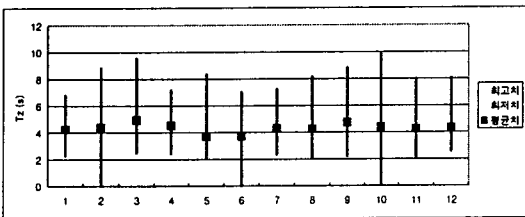


그림 4. Tz의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1999)

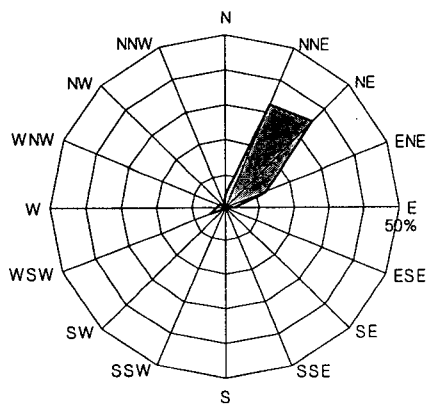


그림 5. 파향별 출현빈도를 그래프

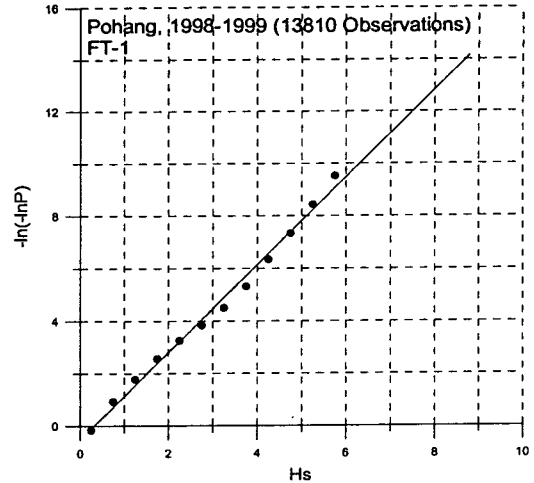


그림 6. Hs의 누적확률분포도 (FT-1)

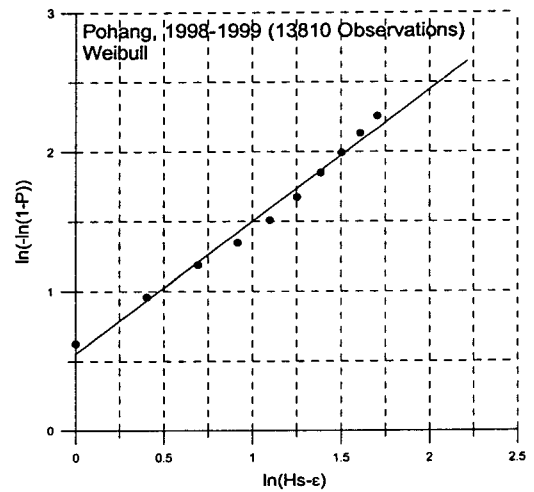


그림 7. Hs의 누적확률분포도 (Weibull)