

'98-'99 마라도해역에서의 파랑의 특성

안 용호*, 정 진영*, 류 황진**, 김 도영**

* (사)한국항만협회, ** 홍익대학교 조선해양공학과

Wave Properties in the Sea Area of Mara-do in '98 and '99

Yong-Ho Ahn*, Jin-Young Jung*, Hwang-Jin Ryu*, 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 Mara-do, Korea are examined based on 1998-1999's wave data from a directional wave buoy which is located in Mara-do. 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

삼면이 바다인 우리 나라에서는 앞으로 다가올 해양 시대에 대비하여 해양공간의 이용을 극대화할 수 있는 준비를 갖추어야 한다. 해양개발을 위해서는 공학 전반에 걸쳐 고도의 기술이 요구되고 있으며, 해양구조물 개발에 대한 설계기술을 확립하기 위하여 환경하중의 추정과 해석기술에 대한 연구가 선행되어야한다. 해양구조물이 설치되어서 주어진 임무를 완수하기 위해서는 파랑 중에서 작업환경해상을 제공하며 해상에서 발생하는 폭풍 등 여러 가지 극한 환경 상태 속에서 구조물이 손상을 입지 아니하여야 한다. 해상구조물의 환경인자로는 바람, 파도, 조류, 지진 등을 대표적으로 생각할 수 있다. 이러한 여러 가지 환경인자 가운데서 파랑에 의한 영향은 일반적으로 가장 크며 중요한 것으로 알려져 있다.

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 (해양수산부, 1999, 2000). 본 연구에서는 위의 파랑관측소 중 남제주군 대정읍 가파리 마라도 남서쪽 2.5km 수심 110m인 해상에 설치된 부이식 파고계에서 관측된 '98, '99년 파랑자료를 사용한 각종 통계자료 및 산출

치를 작성하였다.

2. 파랑관측

파군 중에서 파고가 최대인 최대파고 H_{max} , 그리고 이에 해당하는 파주기 T_{max} . 파고가 상위 1/3에 해당하는 파고의 평균 $H_{1/3}$ 즉 유의파고, 그리고 이에 해당하는 파주기의 평균 $T_{1/3}$. 그리고 관측된 파군 전체의 평균파고 H_{mean} , 평균주기 T_{mean} . 등이 있다. 계측된 파도자료로부터 파랑스펙트럼을 계산할 때, 대부분 FFT를 사용한다. 파고의 분포가 레일리분포를 따를 경우 유의파고는 다음과 같이 된다.

파랑관측에 사용된 부이는 Datawell사에서 제작한 파랑관측 부이이며 모양은 구형이고 지름은 약 1m정도의 크기이다. 부이식 파향파고계의 내부에 설치된 가속도계는 3방향 연직가속도를 측정하여 이를 해수면의 변위로 바꾸어 HF(27Mhz)로 육상의 수신소에 관측자료를 실시간으로 송신한다. 자료는 매 1시간 간격으로 약 13분간 측정된다. 이때 관측된 가속계 신호를 이용하여 해수면의 변위에 대한 시계열 자료를 계산하고 이로부터 파랑스펙트럼을 계산한다. 시계열 자료를 이용하여 평균파법으로 각종 통계치들을 계산하고, 또한 스펙트럼법에 의한 각종 통계치들을 계산한다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 마라도 파랑관측소의 98, 99년의 관측율이다. 1998년 관측율은 57.0%이다. 1월에서 3월간은 관측이 거의 되지 않았으며 4월, 7월, 11월에는 70%에 못 미쳤다. 이에 비해 1999년 관측율은 83.2%이다. 2년간의 전체 관측율은 약 70.1%이다.

그림 1에서 4와 표 3에서 8은 98년과 99년의 유의파고와 평균영점상향교차주기의 월별 최대치·최소치·평균치 그래프와 표이다. 2년간의 유의파고 평균은 0.99m이다.

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. 마라도에서는 $H_{1/3}$ 와 H_s 의 비가 0.97~0.99로 나타나고 있다.

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 5에서 7과 표 9에서 11은 마라도의 파향을 계절, 월, 년으로 나누어 나타내었다. 마라도의 파랑방향은 겨울에는 북서방향, 봄에는 동-동북동과 북서와 남남서방향이 혼합된 모습을 보이다가 여름에 남-남남서방향이 되고 가을에는 봄과 같은 모습을 보인다. 여름에 남-남남서방향이 우세한 이유는 남동대륙풍과 지형적 영향이 복합되어 이루어진 것으로 보인다. 월별로 보면 1월과 2월에는 북서방향이고 3월에서 5월은 혼합된 모습을 보이면서 변하다가 6월에서 9월까지 남-남남서방향이 우세하고 10월에서 12월까지 다시 북서방향이 커진다. 연도별로 보면 98년은 1, 2, 3월 파랑자료가 없어서 북서방향이 남남서방향보다 적게 나온다. 98-99년 파향그래프도 이 영향을 받아 북서 방향이 더 작아진다. 99년 파향을 보면 북서방향이 약 40%로 가장 크고 다음으로 남방향이 약 25%이고 동-동북동방향이 약 13%를 나타낸다

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 12에서 17은 주기와 파고를 0.5간격으로 계급을 정하였고 이에 해당하는 파도의 발생횟수를 표시하였다. 두 개의 표를 비교해보면 H_s-T_z 그리고 $H_{1/3}-T_{1/3}$ 결합분포가 정성적으로는 비슷한 경향들을 보이고 있다. 그리고 파고의 분포범위 보다는 주기의 분포범위가 더 많은 것을 볼 수 있다. 특히

평균파법에 의한 결과에서 주기의 범위가 훨씬 큰 범위까지 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 T_z 와 $T_{1/3}$ 의 차이에서 오는 결과이다. $T_{1/3}$ 의 주기분포를 보면 주기가 19초가 되는 것도 있다. 마라도에서는 파고와 파침도가 크지 않으나 주기가 긴 파도가 비교적 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 이 지역이 태평양과 접해 있어서 다른 지역에서 발생해서 지나는 너울(swell)의 영향으로 판단된다.

계측한 H_s , T_z 를 이용하여 반복주기 n 년을 가지는 설계파고를 결정하기 위한 n 년 반복주기 유의파고 H_{sn} 를 결정하겠다. 먼저 H_{sn} 을 계산하기 위해서는 본 연구에서는 해양파에 적용되어서 좋은 결과를 주고 있는 분포함수 중에서 Fisher-Tippet Type-1 extreme distribution function (FT-1)과 Weibull distribution function을 사용하였다.

2년간의 관측자료로부터 산출한 유의파고 누적확률 분포도를 작성하였는데, 그림 8은 FT-1 분포, 그림 9는 Weibull 분포이다. 분포도의 자료점들이 선형적으로 직선에 잘 fitting 되는 것을 볼 수 있다.

표 18은 분포도의 자료점들을 최소자승법으로 fitting한 직선에 의해 산출한 10년, 50년, 100년 반복주기 유의파고 산출표이다. 마라도에서는 FT-1 분포와 Weibull 분포의 차이가 매우 작아서 확률분포이용에 따른 차이는 많지 않은 결과를 보이고 있다.

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 19과 20에서는 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_z 는 T_m/T_1 보다 큰 것을 볼 수 있다. 최대파의 주기는 평균주기보다 최대 46%까지 큰 값을 보이고 있으며 최대파의 주기는 평균영점상향교차주기보다 54%정도까지 큰 것을 볼 수 있다. 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기를 평균하여 이의 관계를 근사적으로 산출하면 최대파의 주기는 평균영점상향교차주기의 1.3배 정도이다.

4. 결론

본 연구에서는 마라도에 설치된 파향파고계에서 계측된 파랑자료 중 1998년과 1999년의 자료를 사용하여 통계적인 특성파악 및 설계파 산출에 필요한 n 년 반복주기 유의파고 산출과 설계파의 주기를 추정하

였다. 99년과 99년 2년간의 관측율은 약 70.1%였다. 유의파고와 1/3파고 평균치의 비가 0.97~0.99이었고, 평균유의파고는 0.99m이었다. 파향은 겨울에는 북서방향, 봄에는 동-동북동과 북서와 남남서방향이 혼합된 모습을 보이다가 여름에 남-남남서방향이 되고 가을에는 봄과 같은 모습을 보인다. n 년 반복주기 유의파고 산출에 FT-1 누적확률분포와 Weibull 누적확률분포를 이용하였는데, FT-1 분포와 Weibull 분포의 차이가 매우 작아서 확률분포이용에 따른 차이는 거의 없어 보인다. 98-99년도의 최대파주기에 대한 평균영점상향교차주기의 평균치는 $T_m \approx 1.30T_z$ 이었다.

참고문헌

- [1] Forristall, G.Z., On the statistical distribution of wave heights in a storm. J. Geophys. Res. 80, 2353-2358, 1978
- [2] Tucker M. J., Waves In Ocean Engineering, Measurement, Analysis, Interpretation. Ellis Horwood,
- [3] 김도영, "홍도와 마라도 해역에서의 파후에 대하여", 한국해양환경공학회지 제 1권 제 2호, 1998.
- [4] 한국해양연구소, "1998년 해상파랑관측 및 조사", 해양수산부, 1999.

년	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년
1998	-	-	-	33.3	90.3	86.7	41.9	100.0	100.0	100.0	33.3	95.1	57.0
1999	34.2	85.0	81.3	96.7	100.0	60.0	90.6	54.5	97.3	100.0	100.0	100.0	83.2

표 1. 마라도 파랑관측소의 관측율(%)

연도	H_s	$H_{1/3}$	$H_{1/3}/H_s$
1998	0.94	0.93	0.99
1999	1.04	1.01	0.97

표 2. H_s 평균치와 $H_{1/3}$ 평균치의 비교

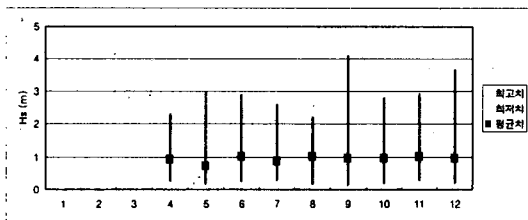


그림 1 H_s 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1998)

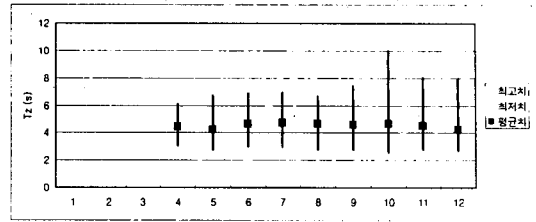


그림 2. T_z 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1998)

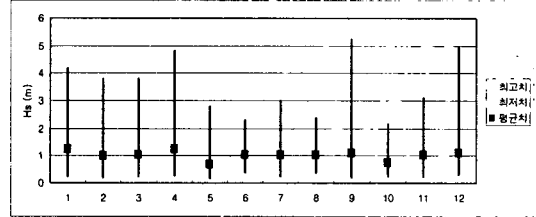


그림 3 H_s 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1999)

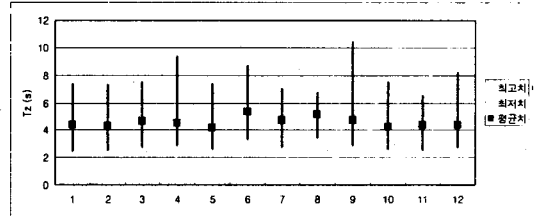
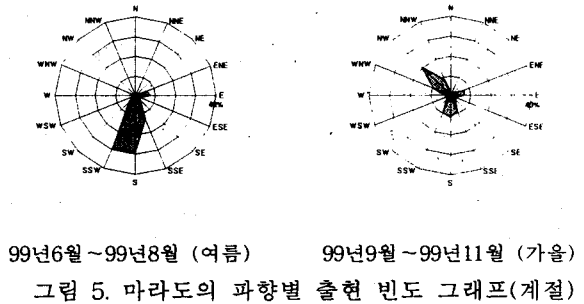
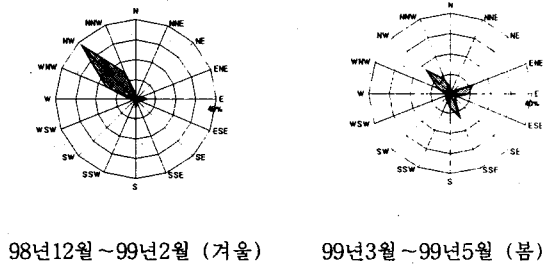


그림 4 T_z 의 최대치·최소치·평균치 그래프 (1999)



99년1월

99년2월

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tp (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
1											
2											
3											
4	2.30	8.70	6.09	3.19	15.36	2.77	8.52	2.17	7.80	1.44	6.77
5	2.96	10.53	6.75	4.67	9.76	3.60	8.38	2.88	8.22	1.91	7.23
6	2.87	9.52	6.85	4.18	19.57	3.25	10.24	2.69	9.18	1.91	9.91
7	2.59	8.33	6.97	4.01	9.24	3.09	10.55	2.44	9.09	1.61	7.50
8	2.22	14.29	6.67	3.45	13.13	2.71	10.86	2.17	10.67	1.43	7.56
9	4.10	25.00	7.42	5.60	19.95	4.52	15.59	3.71	15.59	2.37	13.67
10	2.78	25.00	10.00	4.46	18.27	3.31	15.54	2.73	14.61	1.91	10.64
11	2.91	10.53	8.04	3.95	18.70	3.43	18.70	2.85	18.70	2.10	12.50
12	3.66	28.57	8.00	5.84	15.65	4.69	10.50	3.58	9.42	2.32	8.84
년최대	4.10	28.57	10.00	5.84	19.95	4.69	18.70	3.71	18.70	2.37	13.67

표 3. 1998 마라도 월별최대치

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tp (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
1											
2											
3											
4	0.27	3.08	3.06	0.39	3.13	0.32	3.65	0.26	3.76	0.18	3.87
5	0.18	2.27	2.78	0.22	3.13	0.20	3.38	0.18	3.54	0.12	3.74
6	0.26	2.86	2.97	0.32	3.16	0.29	3.63	0.25	3.63	0.18	3.80
7	0.29	2.56	2.99	0.39	3.47	0.34	3.72	0.28	4.11	0.19	4.13
8	0.16	2.04	2.75	0.22	3.14	0.19	3.33	0.16	3.46	0.11	3.68
9	0.14	1.75	2.74	0.17	3.19	0.15	3.38	0.12	3.46	0.09	3.61
10	0.21	2.22	2.55	0.30	3.27	0.26	3.49	0.22	3.63	0.16	3.76
11	0.28	2.56	2.74	0.40	3.49	0.33	3.73	0.28	3.80	0.19	3.86
12	0.20	2.25	2.68	0.27	3.13	0.22	3.39	0.19	3.43	0.13	3.58
년최소	0.14	1.75	2.55	0.17	3.13	0.15	3.33	0.12	3.43	0.09	3.58

표 4. 1998 마라도 월별최소치

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tp (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
4	0.93	6.01	4.46	1.36	5.57	1.10	5.58	0.90	5.55	0.62	5.15
5	0.73	5.95	4.21	1.07	5.40	0.87	5.41	0.71	5.37	0.49	4.98
6	1.03	6.45	4.65	1.50	5.93	1.23	5.95	1.00	5.89	0.69	5.38
7	0.88	6.08	4.73	1.28	5.55	1.04	6.00	0.85	5.97	0.58	5.48
8	1.01	6.48	4.68	1.47	5.82	1.20	5.82	0.98	5.80	0.66	5.33
9	0.96	6.36	4.59	1.37	5.76	1.13	5.82	0.92	5.76	0.63	5.30
10	0.95	7.13	4.67	1.68	7.24	1.35	7.37	1.11	7.13	0.76	6.30
11	1.01	6.48	4.51	1.58	6.46	1.37	6.95	1.18	7.11	0.89	6.86
12	0.97	6.19	4.20	1.40	5.52	1.14	5.51	0.94	5.43	0.65	5.00
년평균	0.94	6.40	4.52	1.39	5.82	1.13	5.88	0.93	5.82	0.64	5.34

표 5. 1998 마라도 월별 평균치

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tp (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
1	4.17	12.50	7.33	5.43	11.55	4.56	9.05	3.56	8.77	2.31	8.22
2	3.80	28.57	7.30	5.67	17.10	4.14	12.89	3.52	11.37	2.42	8.39
3	3.79	12.50	7.50	5.51	19.65	4.47	10.26	3.60	9.80	2.50	9.00
4	4.81	11.11	9.35	7.41	10.78	5.63	10.17	4.51	10.17	3.84	10.68
5	2.80	10.53	7.32	4.19	13.13	3.32	9.03	2.73	8.80	1.84	7.79
6	2.29	14.29	8.66	3.94	12.41	2.74	12.48	2.24	12.87	1.49	9.62
7	3.01	13.33	6.99	5.15	11.49	3.58	10.42	2.89	9.70	1.97	7.69
8	2.38	11.76	6.73	3.39	12.11	2.77	9.92	2.24	9.30	1.47	7.54
9	5.22	15.38	10.42	7.65	17.36	5.92	13.56	4.87	13.98	3.21	12.07
10	2.18	14.29	7.46	3.31	11.59	2.66	11.11	2.03	10.83	1.43	8.63
11	3.11	11.11	6.51	4.75	10.77	3.82	10.27	3.07	9.12	1.97	7.55
12	4.95	11.76	8.21	7.30	11.29	5.63	10.09	4.79	9.78	3.18	9.20
년최대	5.22	28.57	10.42	7.65	19.65	5.92	13.56	4.87	13.98	3.84	12.07

표 6. 1999 마라도 월별최대치

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tn (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
1	0.23	2.00	2.50	0.28	3.13	0.25	3.45	0.21	3.60	0.15	3.82
2	0.21	2.44	2.56	0.33	3.13	0.28	3.34	0.23	3.49	0.17	3.74
3	0.23	2.94	2.80	0.30	3.26	0.27	3.58	0.23	3.84	0.16	3.89
4	0.27	2.33	2.88	0.36	3.13	0.30	3.50	0.26	3.76	0.18	3.81
5	0.17	2.13	2.65	0.23	3.20	0.21	3.49	0.17	3.61	0.12	3.81
6	0.40	3.51	3.30	0.49	3.72	0.45	3.91	0.37	4.14	0.26	4.10
7	0.23	2.94	2.78	0.35	3.31	0.29	3.90	0.24	4.06	0.16	4.06
8	0.37	4.26	3.46	0.55	4.52	0.44	4.79	0.37	4.63	0.24	4.51
9	0.22	2.04	2.92	0.28	3.21	0.25	3.77	0.21	3.88	0.15	3.95
10	0.26	2.11	2.66	0.33	3.12	0.29	3.23	0.25	3.41	0.17	3.59
11	0.24	2.11	2.58	0.29	3.15	0.26	3.43	0.23	3.61	0.15	3.69
12	0.31	2.20	2.80	0.39	3.14	0.34	3.38	0.29	3.51	0.21	3.82
년최소	0.17	2.00	2.50	0.23	3.12	0.21	3.23	0.17	3.41	0.12	3.59

표 7. 1999 마라도 월별최소치

월별	스펙트럼법			평균파법							
	Hs (m)	Tp (sec)	Tz (sec)	Hmax (m)	Tmax (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	Hmean (m)	Tmean (sec)
1	1.27	6.31	4.39	1.37	5.34	1.13	5.40	0.92	5.35	0.63	4.97
2	1.01	6.25	4.29	1.78	6.29	1.41	6.67	1.15	6.51	0.79	5.75
3	1.06	6.63	4.63	1.61	6.32	1.29	6.38	1.06	6.27	0.72	5.62
4	1.27	6.38	4.51	1.98	5.95	1.61	5.99	1.31	5.91	0.89	5.40
5	0.70	5.65	4.14	1.04	5.27	0.83	5.28	0.62	5.25	0.46	4.92
6	1.05	7.84	5.34	1.55	6.87	1.24	6.94	1.01	6.87	0.68	6.06
7	1.04	7.44	4.69	1.54	6.43	1.23	6.42	1.00	6.24	0.68	5.53
8	1.03	7.76	5.11	1.53	6.73	1.24	6.78	1.01	6.71	0.68	5.91
9	1.11	6.92	4.74	1.69	6.29	1.39	6.33	1.13	6.22	0.77	5.53
10	0.78	6.28	4.23	1.14	5.71	0.93	5.69	0.76	5.60	0.53	5.07
11	1.05	6.28	4.39	1.51	5.74	1.24	5.75	1.01	5.67	0.70	5.18
12	1.13	6.33	4.39	1.63	5.71	1.33	5.71	1.09	5.66	0.74	5.18
년평균	1.04	6.51	4.48	1.53	5.96	1.24	6.01	1.01	5.92	0.69	5.35

표 8. 1999 마라도 월별 평균치

Dir.	98년12월~ 99년2월(겨울)		99년3월~ 5월(봄)		99년6월~ 8월(여름)		99년9월~ 11월(겨울)	
	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)
N	39	2.65	40	3.08	6	1.21	38	1.75
NNE	13	0.88	19	1.46	0	0	32	1.48
NE	19	1.29	26	2	2	0.4	42	1.94
ENE	53	3.61	159	12.26	29	5.84	152	7.01
E	82	5.58	118	9.1	36	7.24	141	6.5
ESE	38	2.59	50	3.86	13	2.62	64	2.95
SE	22	1.5	45	3.47	18	3.62	75	3.46
SSE	36	2.45	170	13.11	65	13.08	186	8.58
S	68	4.63	94	7.25	143	28.77	244	11.25
SSW	25	1.7	56	4.32	144	28.97	203	9.36
SW	12	0.82	38	2.93	23	4.63	65	3
WSW	7	0.48	35	2.7	5	1.01	39	1.8
W	41	2.79	37	2.85	2	0.4	69	3.18
WNW	235	15.99	89	6.86	6	1.21	193	8.9
NW	561	38.16	215	16.58	4	0.8	434	20.01
NNW	219	14.9	106	8.17	1	0.2	192	8.85

표 9. 마라도의 파향별 출현빈도표 (계절)

1998 Mara-do			1999 Mara-do			1998-1999 Mara-do		
Dir.	No.	Prop.(%)	Dir.	No.	Prop.(%)	Dir.	No.	Prop.(%)
N	61	1.24	N	121	2.20	N	182	1.75
NNE	22	0.45	NNE	64	1.16	NNE	86	0.83
NE	57	1.16	NE	86	1.57	NE	143	1.37
ENE	279	5.68	ENE	380	6.92	ENE	659	6.33
E	869	17.69	E	339	6.17	E	1208	11.61
ESE	250	5.09	ESE	157	2.86	ESE	407	3.91
SE	119	2.42	SE	156	2.84	SE	275	2.64
SSE	129	2.63	SSE	467	8.50	SSE	596	5.73
S	326	6.64	S	570	10.37	S	896	8.61
SSW	808	16.45	SSW	433	7.88	SSW	1241	11.92
SW	463	9.42	SW	141	2.57	SW	604	5.80
WSW	92	1.87	WSW	103	1.87	WSW	195	1.87
W	190	3.87	W	141	2.57	W	331	3.18
WNW	455	9.26	WNW	449	8.17	WNW	904	8.69
NW	560	11.40	NW	1307	23.79	NW	1867	17.94
NNW	233	4.74	NNW	581	10.57	NNW	814	7.82

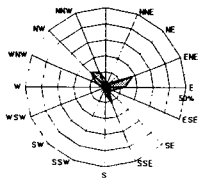
표 10. 마라도의 파향별 출현빈도표 (년)

Hs	Tz	Hm	Tm	T1	Hm/Hs	Tm/T1	Tm/Tz	T1/Tz
3.31	6.21	5.84	7.46	6.73	1.76	1.11	1.20	1.08
3.91	7.30	5.60	11.25	7.98	1.43	1.41	1.54	1.09
3.66	7.11	5.52	8.06	7.54	1.51	1.07	1.13	1.06
3.57	7.20	5.49	7.13	6.33	1.54	1.13	0.99	0.88
3.10	6.45	5.11	14.45	7.31	1.65	1.98	2.24	1.13
2.84	6.42	5.04	8.12	7.17	1.77	1.13	1.26	1.12
4.10	7.42	4.93	11.08	7.59	1.20	1.46	1.49	1.02
2.96	6.03	4.87	7.06	6.53	1.65	1.08	1.17	1.08
3.27	6.11	4.86	6.68	6.52	1.49	1.02	1.09	1.07
2.62	6.24	4.84	8.83	7.44	1.85	1.19	1.42	1.19

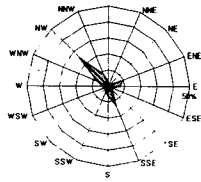
표19. 최대파고와 그 주기에 대한 여러 가지 비교 (1998)

Hs	Tz	Hm	Tm	T1	Hm/Hs	Tm/T1	Tm/Tz	T1/Tz
5.22	10.23	7.65	10.64	10.58	1.47	1.01	1.04	1.03
4.59	7.18	7.41	8.85	7.70	1.61	1.15	1.23	1.07
4.31	6.64	7.35	8.17	7.31	1.71	1.12	1.23	1.10
4.54	7.43	7.30	11.29	7.98	1.61	1.41	1.52	1.07
4.38	7.12	6.74	9.16	7.65	1.54	1.20	1.29	1.07
4.95	7.24	6.66	8.82	7.85	1.35	1.12	1.22	1.08
4.64	6.69	6.52	8.71	6.97	1.41	1.25	1.30	1.04
3.92	6.44	6.51	8.30	7.46	1.66	1.11	1.29	1.16
4.81	7.26	6.32	8.14	7.78	1.31	1.05	1.12	1.07
3.79	6.79	6.05	8.74	7.49	1.60	1.17	1.29	1.10

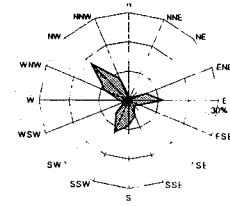
표20. 최대파고와 그 주기에 대한 여러 가지 비교 (1999)



99년3월

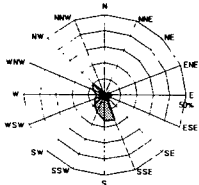


99년4월

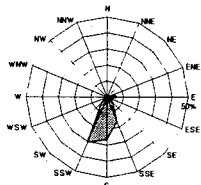


1998년~1999년

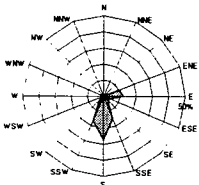
그림 7. 마라도의 파향별 출현빈도율 그래프 (년)



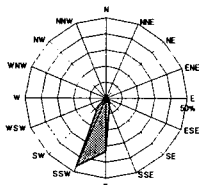
99년5월



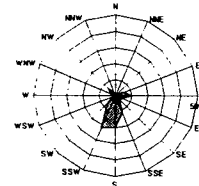
99년6월



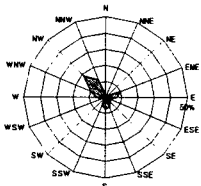
99년7월



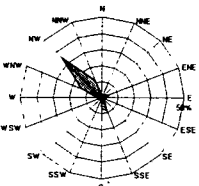
99년8월



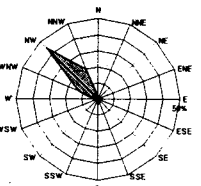
99년9월



99년10월

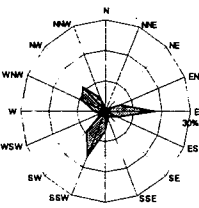


99년11월

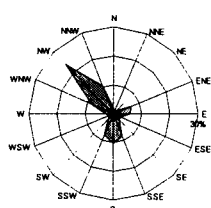


99년12월

그림 6. 마라도의 파향별 출현빈도율 그래프 (월)



1998년



1999년

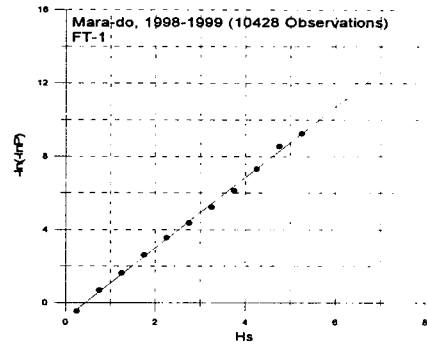


그림 8. H_s 의 누적확률분포도(FT-1)

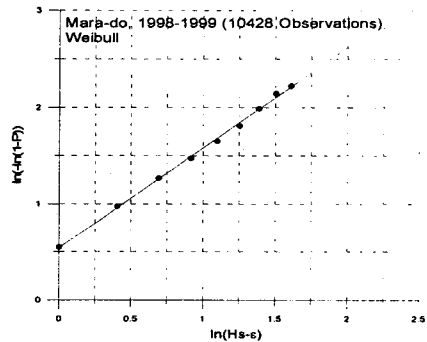


그림 9. H_s 의 누적확률분포도 (Weibull)

누적분포 함수	FT-1			Weibull		
	10	50	100	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

표 18. n 년 반복주기 유의파고 산출표

Dir.	99년11월		99년12월		99년3월		99년4월	
	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)
N	7	3.18	14	5.69	28	4.69	12	2.64
NNE	3	1.36	4	1.63	16	2.68	3	0.66
NE	3	1.36	5	2.03	20	3.35	5	1.1
ENE	11	5.00	12	4.88	109	18.26	43	9.47
E	12	5.45	20	8.13	73	12.23	33	7.27
ESE	6	2.73	14	5.69	29	4.86	11	2.42
SE	1	0.45	12	4.88	22	3.69	18	3.96
SSE	0	0.00	24	9.76	68	11.39	60	13.22
S	2	0.91	60	24.39	25	4.19	29	6.39
SSW	0	0.00	25	10.16	9	1.51	18	3.96
SW	0	0.00	11	4.47	8	1.34	9	1.98
WSW	0	0.00	4	1.63	2	0.34	17	3.74
W	2	0.91	10	4.07	11	1.84	14	3.08
WNW	35	15.91	35	14.23	38	6.37	31	6.83
NW	117	53.18	208	84.55	77	12.9	115	25.33
NNW	28	12.73	108	43.90	62	10.39	36	7.93

Dir.	99년5월		99년6월		99년7월		99년8월	
	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)
N	0	0	2	1.33	2	0.94	2	1.48
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0
NE	1	0.41	0	0	2	0.94	0	0
ENE	7	2.85	7	4.67	22	10.38	0	0
E	12	4.88	9	6	26	12.26	1	0.74
ESE	10	4.07	4	2.67	8	3.77	1	0.74
SE	5	2.03	7	4.67	7	3.3	4	2.96
SSE	42	17.07	25	16.67	32	15.09	8	5.93
S	40	16.26	40	26.67	58	27.36	45	33.33
SSW	29	11.79	46	30.67	35	16.51	63	46.67
SW	21	8.54	7	4.67	7	3.3	9	6.67
WSW	16	6.5	2	1.33	2	0.94	1	0.74
W	12	4.88	0	0	2	0.94	0	0
WNW	20	8.13	0	0	5	2.36	1	0.74
NW	23	9.35	0	0	4	1.89	0	0
NNW	8	3.25	1	0.67	0	0	0	0

Dir.	99년9월		99년10월		99년11월		99년12월	
	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)	No.	Prop.(%)
N	6	0.85	15	2.02	17	2.36	16	2.17
NNE	9	1.28	13	1.75	10	1.39	6	0.81
NE	12	1.7	14	1.88	16	2.22	8	1.08
ENE	38	5.39	78	10.48	36	5	17	2.3
E	68	9.65	52	6.99	21	2.92	12	1.62
ESE	29	4.11	25	3.36	10	1.39	10	1.35
SE	24	3.4	33	4.44	18	2.5	5	0.68
SSE	78	11.06	49	6.59	59	8.19	22	2.98
S	139	19.72	53	7.12	52	7.22	27	3.65
SSW	152	21.56	42	5.65	9	1.25	5	0.68
SW	49	6.95	8	1.08	8	1.11	4	0.54
WSW	16	2.27	15	2.02	8	1.11	20	2.71
W	3	0.43	43	5.78	23	3.19	21	2.84
WNW	18	2.55	75	10.08	100	13.89	91	12.31
NW	43	6.1	141	18.95	250	34.72	329	44.52
NNW	21	2.98	88	11.83	83	11.53	146	19.76

표 11. 마라도의 파향별 출현빈도표 (월)

Tz	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	10.0-10.5	Sum	Prod (%)	Accu	Proo (%)
4.0-4.5									1								1	0.0	1	0.0
3.5-4.0						1	1		3								5	0.1	6	0.1
3.0-3.5						1	5	1									7	0.1	13	0.3
2.5-3.0					3	11	14	8	2								38	0.8	51	1.0
2.0-2.5					19	41	55	31	15	4	2	3					170	3.5	221	4.5
1.5-2.0				33	123	166	129	62	20	6	1						540	11.0	761	15.5
1.0-1.5		5	103	277	324	263	110	27	16	6		2					1133	23.0	1894	38.5
0.5-1.0	33	229	498	562	373	204	66	13	2	2	1			1	1		1985	40.3	3879	78.8
0.0-0.5	34	187	379	268	137	35	2										1042	21.2	4921	100.0
Sum	67	421	980	1140	976	712	375	153	62	24	4	5	0	0	1	1	4921			
Prop(%)	1.4	8.6	19.9	23.2	19.8	14.5	7.6	3.1	1.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0				
Accu	67	488	1468	2608	3584	4296	4671	4824	4886	4910	4914	4919	4919	4919	4920	4921				
Prop(%)	1.4	9.9	29.8	53.0	72.8	87.3	94.9	98.0	99.3	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0				

표 12. Hs-Tz 결합분포표. 총 관측횟수 4921. 마라도. 1998

Tz	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	10.0-10.5	Sum	Prod (%)	Accu	Proo (%)
5.0-5.5																1	1	0.0	1	0.0
4.5-5.0								1	4								5	0.1	6	0.1
4.0-4.5								1	6	3	1	1		1	1	1	15	0.3	21	0.4
3.5-4.0							1	10	5	7	3	2					28	0.5	49	0.9
3.0-3.5					2	11	24	18	7	4	2	1					69	1.3	118	2.1
2.5-3.0						15	50	37	20	2				1			125	2.3	243	4.4
2.0-2.5				5	29	111	72	38	10	1							266	4.8	509	9.2
1.5-2.0			3	76	175	156	102	43	13	1	3	6	2				580	10.5	1089	19.8
1.0-1.5		8	135	321	306	201	111	45	12	8	3	1					1151	20.9	2240	40.7
0.5-1.0	36	334	612	593	367	161	54	12	3	1							2173	39.5	4413	80.1
0.0-0.5	82	301	314	260	102	31	3			1							1094	19.9	5507	100.0
Sum	118	643	1064	1255	979	677	404	210	88	35	14	12	3	2	1	2	5507			
Prop(%)	2.1	11.7	19.3	22.8	17.8	12.3	7.3	3.8	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0				
Accu	118	761	1825	3080	4059	4736	5140	5350	5438	5473	5487	5499	5502	5504	5505	5507				
Prop(%)	2.1	13.8	33.1	55.9	73.7	86.0	93.3	97.1	98.7	99.4	99.6	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0				

표 13. Hs-Tz 결합분포표. 총 관측횟수 5507. 마라도. 1999

Tz	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	10.0-10.5	Sum	Prod (%)	Accu	Proo (%)
5.0-5.5																1	1	0.0	1	0.0
4.5-5.0									1	4							5	0.0	6	0.1
4.0-4.5								1	6	4	1	1		1	1	1	16	0.2	22	0.2
3.5-4.0						2	11	5	10	3	2						33	0.3	55	0.5
3.0-3.5						2	12	29	19	7	4	2	1				76	0.7	131	1.3
2.5-3.0						18	61	51	28	4				1			163	1.6	294	2.8
2.0-2.5				5	48	152	127	69	25	5	2	3					436	4.2	730	7.0
1.5-2.0			3	109	298	322	231	105	33	7	4	6	2				1120	10.7	1850	17.7
1.0-1.5		13	238	598	630	464	221	72	28	14	3	3					2284	21.9	4134	39.6
0.5-1.0	69	563	1110	1155	740	365	120	25	5	3	1			1	1		4158	39.9	8292	79.5
0.0-0.5	116	488	693	528	239	66	5			1							2136	20.5	10428	100.0
Sum	185	1064	2044	2395	1955	1389	779	363	150	59	18	17	3	2	2	3	10428			
Prop(%)	1.8	10.2	19.6	23.0	18.7	13.3	7.5	3.5	1.4	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0				
Accu	185	1249	3293	5688	7643	9032	9811	10174	10324	10383	10401	10418	10421	10423	10425	10428				
Prop(%)	1.8	12.0	31.6	54.5	73.3	86.6	94.1	97.6	99.0	99.6	99.7	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0				

표 14. Hs-Tz 결합분포표. 총 관측횟수 10428. 마라도, 1998- 1999