調·査·報·告

東海·南海의 地域別 深海波推定연구

姜 始 桓〈韓國科學技術院 海洋研究所 第2研究部長·工博〉

서 론

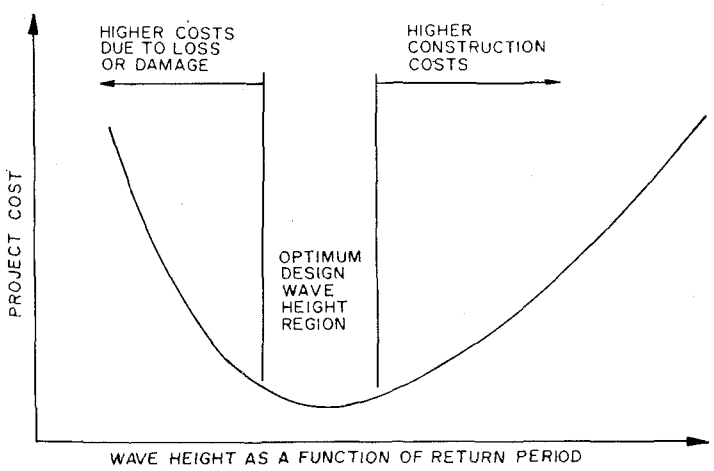
한반도의 위치적 특성으로 인하여 우리 나라 주변의 해상은 아시아 대륙과 태평양의 상이한 기상 영향권에 속해 있고 계절별, 해역별 기상조건과 이에 수반되는 해상상태의 변화폭이 매우 크다. 또한 우리 나라 주변 해역도 동해, 남해 및 서해로 뚜렷이 구분되어 있어 각 해역별로 독특한 해양환경 특성을 지니고 있다. 따라서 전국연안에 산재되어 있는 해상시설물(어항, 항만시설 등)에 대하여 계절별 및 장기간의 기상변동에 따른 해상의 거친 파랑의 발생요인이 다양하며 그에 따른 심해도의 변화폭도 크다.

이러한 상황아래 매년 수차례씩 내습해오는 태풍, 폭풍 및 동계 계절풍은 해상에서 높은 파고를 유발시켜 전국 연안에 분포되어 있는 해상시설의 피해가 빈번하여 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 따라서 해상시설물(어항, 항만시설)의 보호와 안정에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 심해설계파를 보다 정밀하고 합리적인 방법으로 추정함으로써 각종 시설물을 적정하게 설계할 수 있게 하고, 내습파랑에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 방안을 도모할 필요가 있다. 또한 무엇보다도 가장 경제적이고 효율적인 어항 및 항만개발과 유지, 보수 관리를 위해서는 적정 설계도의 설정이 중요한 기본요소라고 하겠다.

우리 나라에서 현재 일반적으로 사용되고 있는 전국항에 대한 설계파기준(건설부, 1975)은 약 10여년전에 설정된 것으로써 그동안 급격히 발전되어온 파랑예측 및 추정기술개발(강시환등, 1984, 1985, 1986, 1987)과 한반도 주변해상에 대한 보다 정도 높은 기상 및 파

랑관측 자료의 축적, 그리고 해상 시설물 주변 지역의 해상환경 변화 등 제반 여건을 고려해 볼 때 현시점에서 각 항이 위치한 해역에 대한 심해설계파를 재산출하여 평가하는 것은 국가적으로 매우 중요한 연구라고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 유럽, 미국, 일본 등 선진외국에서 거의 표준화된 파랑발생 재기년의 심해설계파 산정방법을 사용하여 서해를 제외한 동해 및 남해안 전해역에 대한 심해설계파를 추산하였다.



〔그림 1〕 사업비에 대한 설계파고의 관계

심해설계파의 산정 방법

어느 한 지점 또는 한 해역에 대한 심해설계파의 산정방법에는 설계파랑자료의 산출방법에 따라 다음과 같이 크게 두가지로 구분할 수 있다.

(1) 설정하고자 하는 해역에서의 장기간 관측자료 또는 장기간에 걸쳐 산출된 파랑추산(Wave hindcast)자료를 기초로 극치통계분석 방법에 의한 파랑내습 재현기간(Return period)별 설계파를 산정하는 방법.

(2) 설계파 설정지점에서 가장 강했던 폭풍 또는 태풍의 한 경우를 선정하여 계산된 파랑자료에 의하여 산정하는 방법. 이러한 산출방법을 "Single storm"또는 "가상태풍"접근방법이라고 한다.

이러한 두가지의 산정방법에 대한 최근 외국의 연구 사례를 취합 검토한 결과(수산청, 1988) 본 연구에서는 (1)의 방법을 선택하였다.

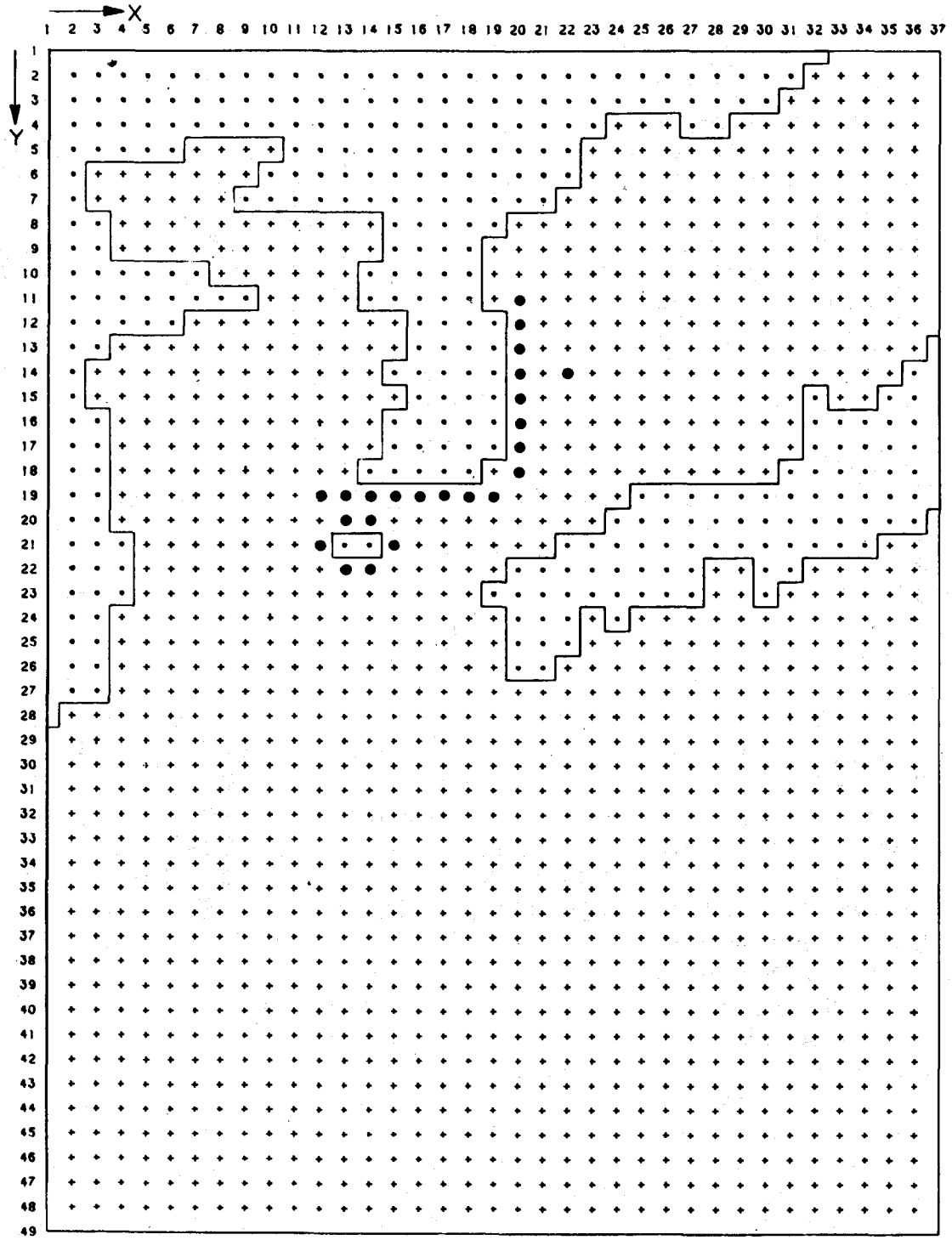
가장 경제적인 최적의 설계파는 항만의 주요 시설인 방파제, 연안보호방벽 그리고 원해의 석유 시추탑 등 해양구조물에 대한 파력의 내구연한을 고려하여 결정된다. 특히 우리 나라의 전 해안선을 따라 산재해 있는 어항과 항만은 그 위치와 역할에 따라 중요도가 각각 달라, 가장 경제적이고 합리적인 건설과 유지 관리를 위해서는 어항과 항만이 위치한 해역별로 재현기간에 대한 설계파의 자료산출이 요청된다.

Earle 등(1985)이 제시한 〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 설계파는 위험부담 분석(Borgman, 1963)을 통하여 재현기간별 설계파고에 대한 건설사업비와 파괴시 손실을 면밀히 검토하여 선정하게 된다. 여기서 재현기간의 설계파라고하는 것은 설계파고 이상의 큰 파가 발생할 수 있는 기간의 평균값으로써, 즉 재현기간 50년의 설계파고 8m인 경우는 8m이상의 파랑이 평균하여 50년에 한번 발생된다는 것을 뜻한다.

예를들면 연안에 위치한 원자력 발전소의 취, 배수 구조물, 많은 인명과 재산을 보호하는 연안보호 방벽과 같은 매우 중요한 해양구조물의 경우에는 50년-100년의 긴 재현기간의 설계파를 사용하며, 주요항의 경우에는 30년-50년 등 해양구조물의 목적, 건설경비 등을 고려하여 가장 경제적인 설계파를 선정한다.

장기간의 파랑추산 자료에 의한 재현기간별 설계파 산정 방법은 원해상에서의 해상풍과 파랑 추정기술이 최근 20년동안 급격히 발전되면서 파랑추산 자료의 정도와 신뢰도가 매우 높아 최근 유럽, 미국, 일본 등 선진외국의 경우에는 이 방법에 의해서 주로 설계파를 산정하고 있으며 거의 표준화되고 있다. 극치통계분석에 따른 오차를 줄이기 위해서는 가급적 장기간의 중요한 태풍, 폭풍 등을 포함한 악기상시의 파랑추산이 요구되나, 과거 기상자료의 정확성이 문제나 되므로 신뢰도가 높은 최근 20~30년간의 기상자료를 주로 이용하여 신뢰도 높은 파랑자료를 산출하고 있다.

본 연구에서는 이러한 심해설계파의 산출을 위하여 우리 나라 연안을 포함한 한반도 주변 해상에서의 기상 및 파랑관측 자료를 취합분석하고, 특히 관측자료가 없거나 불충분한 과거의 태풍, 폭풍 등의 악기상에 대해서는 최근 선

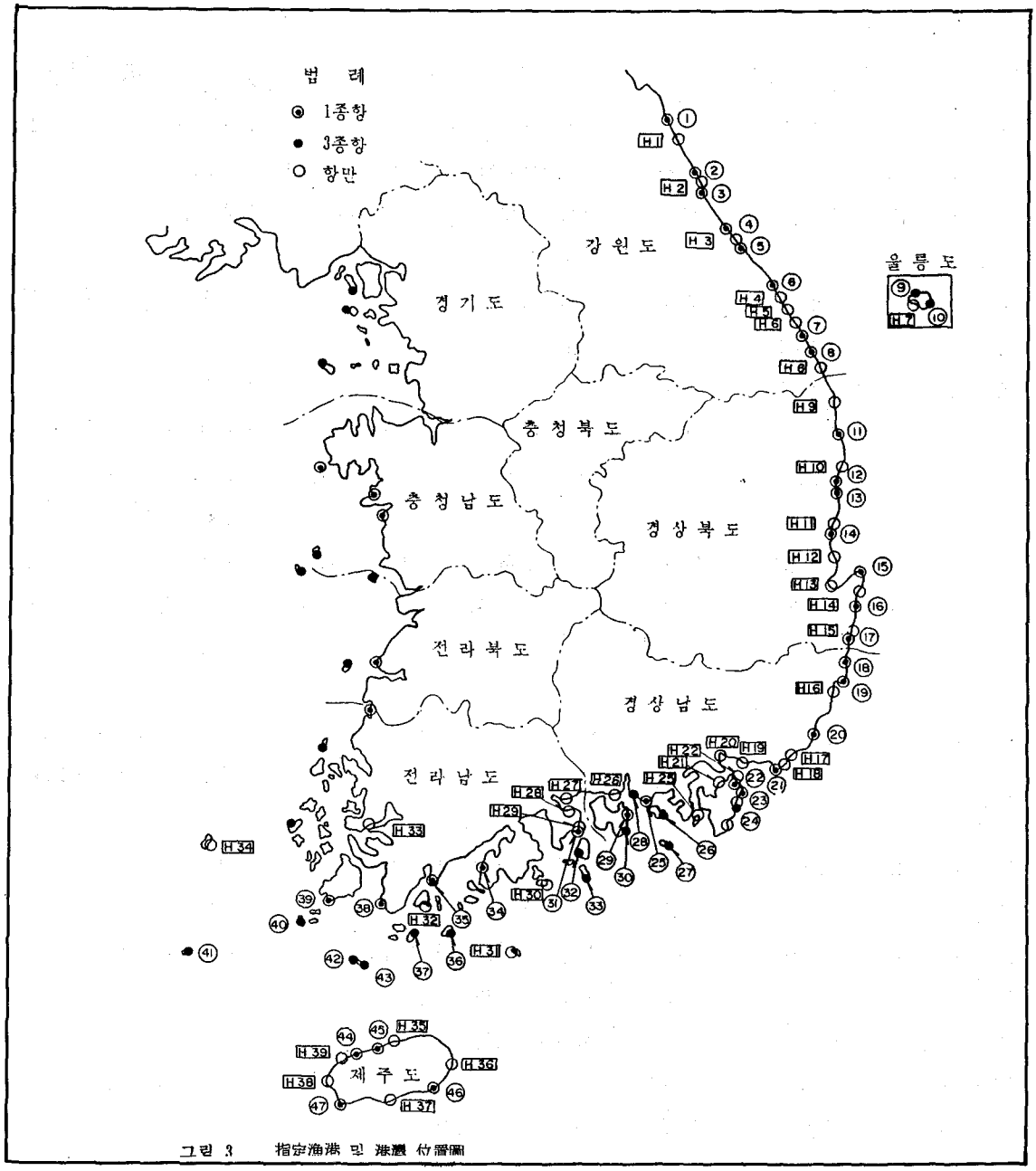


〔그림 2〕 波浪推算모델 格子網

진 외국에서 연구개발되어 우리나라 한반도에 대해서 적용 검증 보완을 거친 해상풍 추산모델과 HYPA등의 파랑추산 모델 (강시환 등, 1984, 1985, 1986, 1987)을 사용하여 최근 30~50년의 장기간

〈표 1〉 주요 계산격자점의 좌표

	X	Y	경 도	위 도	어 항 명	항 만 명
1	20	11	129.07	38.80	대진, 아야진 대포	거진, 속초
2	20	12	129.19	38.31	대진, 아야진, 대포, 남애, 사천진	거진, 속초, 주문진
3	20	13	129.30	37.82	아야진, 대포, 남애, 사천진, 금진	주문진
					금진, 덕산, 장호	
4	20	14	129.42	37.34	금진, 덕산, 장호	묵호, 북평, 삼척, 임원
5	22	14	130.64	37.51	현포, 저동	도동
6	20	15	129.53	36.86	사동	죽변, 후포
7	20	16	129.64	36.38	사동, 대진, 축산, 구계, 대보	죽변, 후포, 강구, 월포
8	20	17	129.75	35.90	구계, 대보, 양포, 읍천, 정자,	강구, 월포, 포항,
					방어진	구룡포, 감포, 울산
9	20	18	129.85	35.42	양포, 읍천, 정자, 방어진, 대변	구룡포, 감포, 울산
10	19	19	129.38	34.86	대변, 다대포, 외포, 능포, 지세포	부산, 진해, 마산, 옥포,
						장승포, 충무, 구조라
						고현
11	18	19	128.80	34.77	다대포, 외포, 능포, 지세포	부산, 진해, 마산, 옥포,
						장승포, 충무, 구조라,
						고현
12	17	19	128.23	34.67	욕지, 능양, 맥전포, 신수, 물건, 미조	삼천포
13	16	19	127.66	34.57	안도, 돌산, 국동	광양, 여수, 나로도
14	15	19	127.09	34.47	녹동, 마량, 소안, 청산도	나로도, 거문도, 완도
15	14	19	126.53	34.36	어란진, 소안, 청산도	완도
16	13	19	125.96	34.24	서거차, 서망	목포
17	12	19	125.40	34.12	소흑산도	대흑산도
18	13	20	126.10	33.78	추자, 신양, 애실, 도두, 소안,	제주, 한림
					청산도, 서거차, 서망	
19	14	20	126.66	33.89	추자, 신양, 애월, 도두, 소안,	제주
					청산도, 마량, 녹동	
20	15	21	127.35	33.53		성산포
21	14	22	126.92	32.97	모슬포, 위미	서귀포
22	13	22	126.37	32.86	모슬포, 위미	서귀포
23	12	21	125.69	33.20		화순



〔그림 3〕 지정어항 및 항만 위치도

에 걸쳐 우리나라 해상의 파랑자료를 산출하였다. 이러한 방대한 파랑자료를 기초로 극치통계분석하여 동해안의 전해역과 남해안의 전해역(목포에서 대흑산도를 잇는 선 남측)에 대한 해역별 심해설계파를 추정하였다.

심해파랑 추산

(1) 추산의 대상과 영역

남해와 동해의 해역별 심해도를 추산하기 위하여 한반도를 중심으로 위도 22.07°N−40.67°N, 경도 115.22°E−140°E의 해역에 대해서 〈그림2〉와 같은 모델계산 격자망을 구성하였다. 격자간격은 55㎞, 격자점은 1,813(37×49)개이다. 동해

〈표 2〉 지정어항 (1·3종)표

일련번호	지정항	구분	일련번호	지정항	구분
1	대진	1종항	25	맥전포	1종항
2	아야진	〃	26	양지	3종〃
3	대대포	〃	27	능욕	〃
4	남애	〃	28	신물	〃
5	사천	〃	29	미수건조동	〃
6	금진	〃	30	국산도동	3종항
7	덕산	〃	31	돌량도	1종항
8	장호	〃	32	안진망	3종〃
9	현포	3종항	33	녹차도	〃
10	저동	〃	34	미차양	1종항
11	사동	1종항	35	청월두	3종항
12	대진	〃	36	소미포	〃
13	축산	〃	37	어산	〃
14	구계	〃	38	서란	1종항
15	대보	〃	39	서	〃
16	양포	〃	40	서거	3종항
17	읍천	〃	41	소산	〃
18	정자	〃	42	추흑	〃
19	방어진	〃	43	신	〃
20	대변	〃	44	애	1종항
21	대포	〃	45	도	〃
22	외포	〃	46	위	〃
23	능포	〃	47	모슬포	〃
24	지세포	3종항			

〈표 3〉 대상 항만표

일련번호	항만	일련번호	항만
H 1	거진	H 21	현포
H 2	속초	H 22	포라
H 3	주문진	H 23	무포
H 4	묵호	H 24	양일
H 5	북평	H 25	수도
H 6	삼척	H 26	도도
H 7	도동	H 27	도포
H 8	임원	H 28	도주
H 9	죽변	H 29	포포
H 10	후포	H 30	순림
H 11	강구	H 31	승조
H 12	월포	H 32	천로
H 13	구항	H 33	문
H 14	룡포	H 34	흑산
H 15	감포	H 35	산
H 16	울산	H 36	산
H 17	부산	H 37	귀
H 18	부산항	H 38	고
H 19	남해	H 39	욱
H 20	진마산		장
			구
			충
			삼
			광
			삼
			여
			나
			거
			완
			목
			대
			제
			성
			서
			화
			한

〈표 4〉 파랑추산에 사용된 태풍

일련번호	태풍명		계산기간	파랑추산 모델	
				유의파법	스펙트럼법
1	3999		39 07 07 15 – 39 07 12 09	Wilson	
2	4007		40 07 12 09 – 40 07 15 09	Wilson	
3	4008		40 07 21 21 – 40 07 25 09	Wilson	
4	4112		41 08 06 21 – 41 08 12 21	Wilson	
5	4118		41 08 20 21 – 41 08 24 21	Wilson	HYPA
6	4216		42 08 25 21 – 41 08 28 21	Wilson	
7	4410		44 07 29 09 – 44 08 03 21	Wilson	
8	4508	EVA	45 07 21 09 – 45 08 04 09	Wilson	
9	4609		46 07 26 15 – 46 07 30 09	Wilson	
10	4612	LILLY	46 08 15 21 – 46 08 22 09	Wilson	
11	4806	PEARL	48 06 06 09 – 48 06 08 09	Wilson	
12	4819	HAZEL	48 09 06 21 – 48 09 09 09	Wilson	
13	4904	FAYE	49 07 15 21 – 49 07 19 21	Wilson	
14	4909	JUDITH	49 08 14 09 – 49 08 20 15	Wilson	
15	5008	GRACE	50 07 18 21 – 50 07 23 09	Wilson	
16	5111	MARGE	51 08 17 21 – 51 08 23 21	Wilson	
17	5209	KAREN	52 08 15 09 – 52 08 19 09	Wilson	
18	5507	CLARA	55 07 12 21 – 55 07 18 03	Wilson	
19	5522	LOUISE	55 09 25 21 – 55 10 01 09	Wilson	
20	5609	BABS	56 08 15 09 – 56 08 18 21	Wilson	
21	5612	EMMA	56 09 07 21 – 56 09 10 21	Wilson	
22	5707	AGNES	57 08 18 21 – 57 08 21 21	Wilson	HYPA
23	5914	SARAH	59 09 15 21 – 59 09 18 09	Wilson	HYPA
24	6006	POLLY	60 07 25 09 – 60 70 29 09	Wilson	
25	6015	CARMEN	60 08 20 09 – 60 08 23 21	Wilson	
26	6123	TILDA	61 10 02 09 – 61 10 06 21	Wilson	
27	6205	JOAN	62 07 09 09 – 62 07 11 15	Wilson	
28	6209	NORA	62 07 31 21 – 62 08 03 09	Wilson	
29	6304	SHIRLEY	63 06 18 09 – 63 06 20 21	Wilson	
30	6309	BESS	63 08 06 09 – 63 08 12 09	Wilson	
31	6409	FLOSSIE	64 07 26 09 – 64 07 29 21	Wilson	
32	6411	HELLEN	64 07 30 21 – 64 08 03 21	Wilson	
33	6515	JOAN	65 08 04 09 – 65 08 06 09	Wilson	
34	6518	MARY	65 08 19 09 – 65 08 24 09	Wilson	
35	6615	WINNIE	66 08 21 09 – 66 08 25 21	Wilson	

〈표 5〉 파랑추산에 사용된 동계 계절풍 (동해선풍)

일 련 번 호	계 산 기 간	파랑추산 모델
1	1959/01/04 09 – 1959/01/05 09	DSA–5
2	1959/01/16 09 – 1959/01/17 21	DSA–5
3	1959/12/20 09 – 1959/12/21 09	DSA–5
4	1960/01/16 09 – 1960/01/16 21	DSA–5
5	1960/01/22 21 – 1960/01/24 21	DSA–5
6	1960/02/20 21 – 1960/02/21 09	DSA–5
7	1961/01/04 09 – 1961/01/04 21	DSA–5
8	1961/01/25 09 – 1961/01/26 09	DSA–5
9	1961/01/13 09 – 1961/12/14 09	DSA–5
10	1962/01/01 09 – 1962/01/02 21	DSA–5 HYPA
11	1962/01/18 21 – 1962/01/19 21	DSA–5 HYPA
12	1962/12/04 21 – 1962/12/05 21	DSA–5
13	1963/01/05 21 – 1963/01/07 21	DSA–5 HYPA
14	1964/01/18 09 – 1964/01/19 21	DSA–5
15	1965/01/08/09 – 1965/01/09 21	DSA–5
16	1965/02/02 21 – 1965/02/03 09	DSA–5
17	1966/12/26 09 – 1966/12/27 21	DSA–5
18	1967/01/01 09 – 1967/01/02 21	DSA–5
19	1967/02/22 09 – 1967/02/23 09	DSA–5
20	1969/02/04 21 – 1969/02/05 21	DSA–5
21	1969/12/02 09 – 1969/12/03 09	DSA–5
22	1969/12/07 09 – 1969/12/08 21	DSA–5
23	1970/01/03 21 – 1970/01/05 09	DSA–5
24	1970/01/30 09 – 1970/02/01 21	DSA–5 HYPA
25	1970/02/08 21 – 1970/02/09 21	DSa–5
26	1970/12/02 09 – 1970/12/03 09	DSA–5
27	1970/12/12 21 – 1970/12/13 21	DSA–5
28	1971/01/04 09 – 1971/01/05 09	DSA–5 HYPA
29	1971/02/16 21 – 1971/02/17 21	DSA–5
30	1972/02/19 09 – 1972/02/19 21	DSA–5
31	1974/12/13 21 – 1974/12/14 09	DSA–5
32	1978/01/21 09 – 1978/01/21 21	DSA–5
33	1979/02/01 09 – 1979/02/02 09	DSA–5 HYPA
34	1980/12/23 21 – 1980/12/24 09	DSA–5
35	1981/01/01 21 – 1981/01/02 09	DSA–5 HYPA
36	1982/01/27 21 – 1982/01/29 09	DSA–5
37	1982/11/23 09 – 1982/11/25 09	DSA–5
38	1983/02/18 09 – 1983/02/19 21	DSA–5
39	1983/12/10 21 – 1983/12/12 09	DSA–5
40	1985/02/09 09 – 1985/02/10 09	DSA–5
41	1986/12/18 21 – 1986/12/19 21	DSA–5
42	1987/01/12 09 – 1987/01/14 09	DSA–5
43	1987/02/02 09 – 1987/02/05 21	DSA–5 HYPA
44	1987/02/24 21 – 1987/02/26 21	DSA–5

(계속)

일련번호	태풍명		계산기간	파랑추산 모델	
				유의파법	스펙트럼법
36	6617	BETTY	66 08 27 09 – 66 09 01 09	Wilson	
37	6710	DOT	66 07 24 09 – 67 07 30 99	Wilson	
38	6807	POLLY	68 08 12 09 – 68 08 17 09	Wilson	
39	6816	DELLA	68 09 23 09 – 68 09 27 09	Wilson	
40	7002	OLGA	70 07 03 09 – 70 07 08 09	Wilson	
41	7009	WILDA	70 80 12 09 – 70 80 16 09	Wilson	
42	7011	BILLIE	70 08 27 09 – 70 08 31 21	Wilson	
43	7119	OLIVE	71 08 02 09 – 71 08 06 09	Wilson	HYPA
44	7120	POLLY	71 08 08 21 – 71 08 11 21	Wilson	
45	7128	BESS	71 09 22 09 – 71 09 26 03	Wilson	
46	7207	RITA	72 07 24 09 – 72 07 26 21	Wilson	HYPA
47	7209	TESS	72 07 22 09 – 72 07 24 21	Wilson	
48	7303	BILLIE	73 07 16 09 – 73 07 19 21	Wilson	
49	7310	IRIS	73 08 14 09 – 73 08 17 21	Wilson	
50	7408	GILDA	74 07 04 21 – 74 07 08 09	Wilson	
51	7416	POLLY	74 08 30 09 – 74 09 02 21	Wilson	
52	7505	PHYLLIS	75 08 15 09 – 75 08 19 09	Wilson	
53	7612	ANITA	76 07 23 21 – 76 07 26 09	Wilson	
54	7617	FRAL	76 09 09 09 – 76 09 13 21	Wilson	
55	7707	AMY	77 08 22 09 – 77 08 25 09	Wilson	
56	7803	POLLY	78 06 17 21 – 78 06 21 09	Wilson	
57	7808	WENDY	78 07 27 09 – 78 08 03 21	Wilson	
58	7818	IRAMY	78 09 12 09 – 78 09 16 21	Wilson	
59	7910	IRVING	79 08 15 09 – 79 08 18 09	Wilson	HYPA
60	7911	JUDY	79 08 22 21 – 79 08 27 09	Wilson	
61	8013	ORCHID	80 09 10 09 – 80 90 12 09	Wilson	
62	8105	JUNE	81 06 19 21 – 81 06 23 03	Wilson	
63	8110	OGDEN	81 07 30 09 – 81 08 01 09	Wilson	
64	8118	AGENES	81 08 31 09 – 81 09 04 09	Wilson	HYPA
65	8211	CECIL	82 08 09 21 – 82 08 14 21	Wilson	HYPA
66	8213	ELLIS	82 08 24 21 – 82 08 27 21	Wilson	
67	8310	FORREST	83 09 25 21 – 83 09 28 21	Wilson	
68	8509	LEE	85 08 12 09 – 85 08 14 21	Wilson	HYPA
69	8520	BRENDA	85 10 04 09 – 85 10 07 09	Wilson	HYPA
70	8613	VERA	86 08 26 09 – 86 08 29 09	Wilson	HYPA
71	8705	THELMA	87 07 14 09 – 87 07 16 09	Wilson	HYPA
72	8712	DINAH	87 08 29 21 – 87 08 31 21	Wilson	

〈표 6〉 SMB모델에 사용된 일기도로부터 구한 바람 (남해서부 및 제주도 북해 해역)

일련번호	일 시	풍 향	풍 속	일련번호	일 시	풍 향	풍 속
1	1961/01/25 00	317.0	12.6	19	1979/11/18 00	338.0	11.7
2	1962/12/04 12	337.0	12.9	20	1980/01/30 00	346.0	21.4
3	1963/01/30 00	338.0	11.7	21	1980/10/26 00	328.0	9.7
4	1964/12/18 00	317.0	13.1	22	1981/02/26 00	348.0	11.5
5	1965/02/02 12	348.0	9.8	23	1981/12/12 00	348.0	9.1
6	1966/10/27 12	326.0	20.3	24	1981/12/19 00	307.0	14.8
7	1967/12/28 00	338.0	11.6	25	1982/01/18 00	338.0	11.2
8	1968/01/14 12	337.0	13.1	26	1983/03/17 00	326.0	16.6
9	1969/12/02 12	317.0	11.8	27	1983/09/28 00	7.0	9.8
10	1970/12/13 00	337.0	14.7	28	1983/11/30 00	336.0	17.3
11	1971/01/04 00	348.0	11.8	29	1983/11/17 00	337.0	12.7
12	1972/03/31 00	336.0	17.0	30	1983/12/11 00	317.0	15.2
13	1973/12/21 00	346.0	18.6	31	1984/02/07 12	318.0	10.3
14	1974/03/21 00	336.0	16.1	32	1984/12/29 00	339.0	7.7
15	1975/12/22 12	349.0	8.4	33	1985/02/21 12	328.0	9.4
16	1976/12/08 12	316.0	17.5	34	1986/01/05 00	329.0	8.2
17	1977/03/04 12	329.0	7.2	35	1987/01/13 00	337.0	13.6
18	1978/01/20 12	327.0	12.1	36	1987/02/03 00	357.0	14.9

및 남해의 주요 계산 격자점의 좌표는 〈표1〉과 같고 〈그림3〉은 지정어항과 항만의 위치도이며, 〈표2〉는 지정어항(1, 3종), 〈표3〉은 대상 항만이다.

(2) 파랑추산의 대상 기상요인

한반도 주변의 심해에서 해상구조물의 설계를 위한 기초파랑자료가 될 수 있는 큰 파랑의 발생은 우리 나라 인근 해역의 지형적, 해양물리적 제반 특성과 기상여건에 따라 크게 좌우되며, 그 발생요인 또한 다양하다.

그러나, 큰 파랑을 야기시키는 기상요인은 대체로 태풍과 비태풍으로 크게 구분될 수 있다. 즉, 하계에는 남해 전역과 동해·서해남부 해상에서 열대성의 이동성 저기압인 태풍이 가장 큰 영향을 미치고 있으며, 비태풍에 의한 이상파랑의 발생은 동계에는 만주, 중국대륙에서 발생하여 우리 나라 가까이를 통과하여 동해에서 크게 발달해 동해안에 강한 폭풍을 초래하는 동해선풍이라 불리는 온대성 저기압이 이 저기압 후면에 장출하는 대륙성 고기압과의 복합작용으로 인한 강한 북동풍에 의해 동해상에서 큰 파랑을 일으킨다. 서해상에서는 동해선풍 후면의 대륙성 고기압, 또는 이와 관련이 없는 강한 대륙성 고기압의 장출로 인한 강한 북서풍의 유입으로 동계에 큰 파랑이 일어난다.

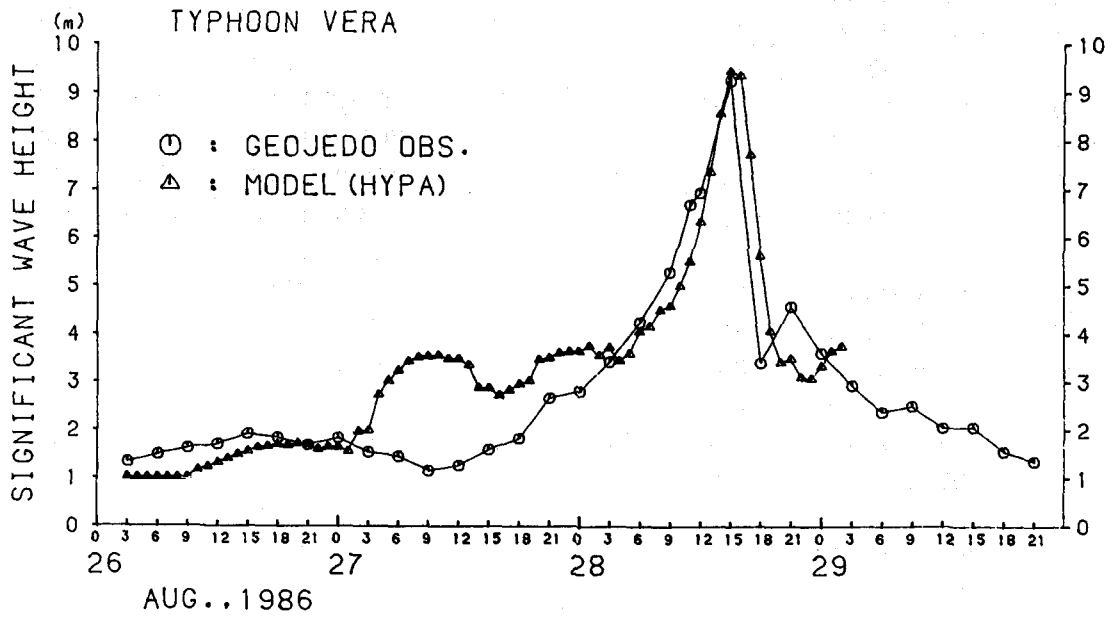
따라서 본 연구에서는 위와 같이 한반도 주변해역에서 이상파랑을 일으키는 해상기상 요인에 따라 기상자료를 바탕으로 하여 각 해역에 대한 파랑을 추산하였다. 이 기상요인은 태풍의 경우 1938년부터 1987년까지 한반도 주변을 통과한 태풍 중 비교적 큰 영향을 미친 72개의 태풍을 추출하였고 〈표4〉, 동해선풍의 경우는 1959년부터 1987년까지 44개를 추출하였으며〈표5〉, 동계 계절풍은 남해서부 및 제주북부해역에서의 적용을 위해 일기도분석(1961－1987)으로부터 구한 바람〈표6〉과 제주측후소의 관측바람(1962~1986), 그리고 동해에 대해서도 울진 측후소의 관측자료 (1972~1986)중 풍속이 큰 순으로 각각 36개, 52개, 30개를 추출하였다.

(3) 해상풍(海上風) 추산

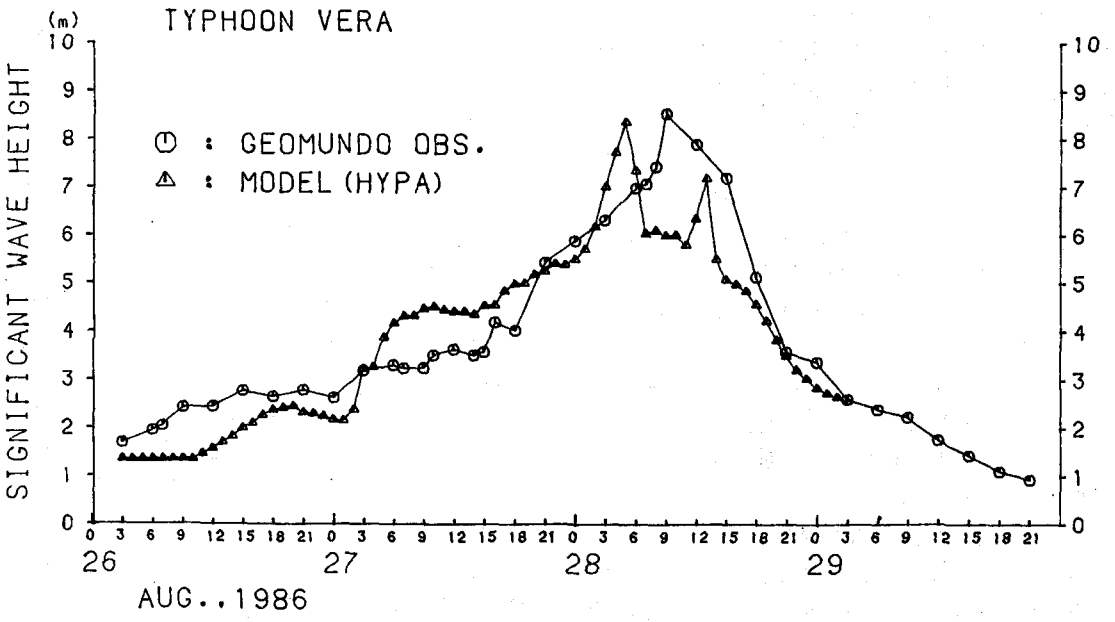
현재까지 원해상의 해상풍 추산을 위해 연구개발된 대표적인 모델은 Cardone(1969)의 Two－layer

model과 1980년초에 유럽의 북해(North Sea)를 대상으로 하여 네덜란드의 왕립기상연구소(KNMI)와 독일의 막스프랑크 기상연구소(MPI)의 공동연구로써 개발된 해상풍 추산모델(Gunther 1981)이 있고 태풍 영향권내에서 기압장을 파리미터화하여 해상풍(Bretschneider, 1984)을 구하는 법이 있다.

본 연구에서는 한반도 주변해역에서 이상파랑을 일으키는 해상기상 요인에 따라 기상자료를 바탕으로 하여 각 해역에 대한 해상풍을 추산하였다. 기압배치별로 사



(a) 거제도海上



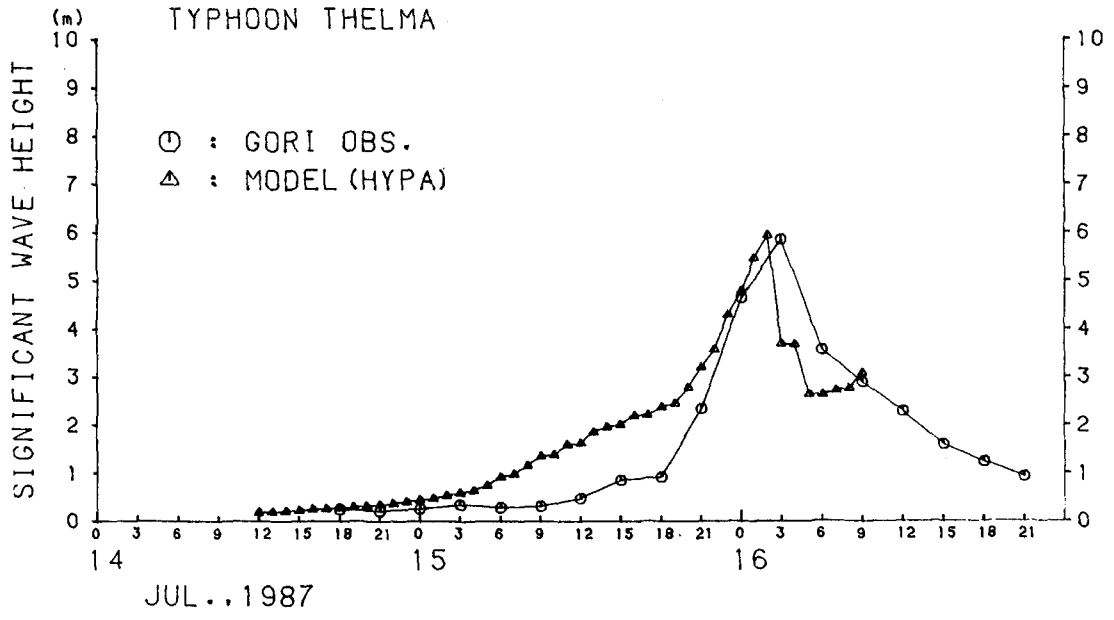
(b) 거문도海上

〔그림 4〕 VERA 통과시의 HYPA모델 계산결과 비교

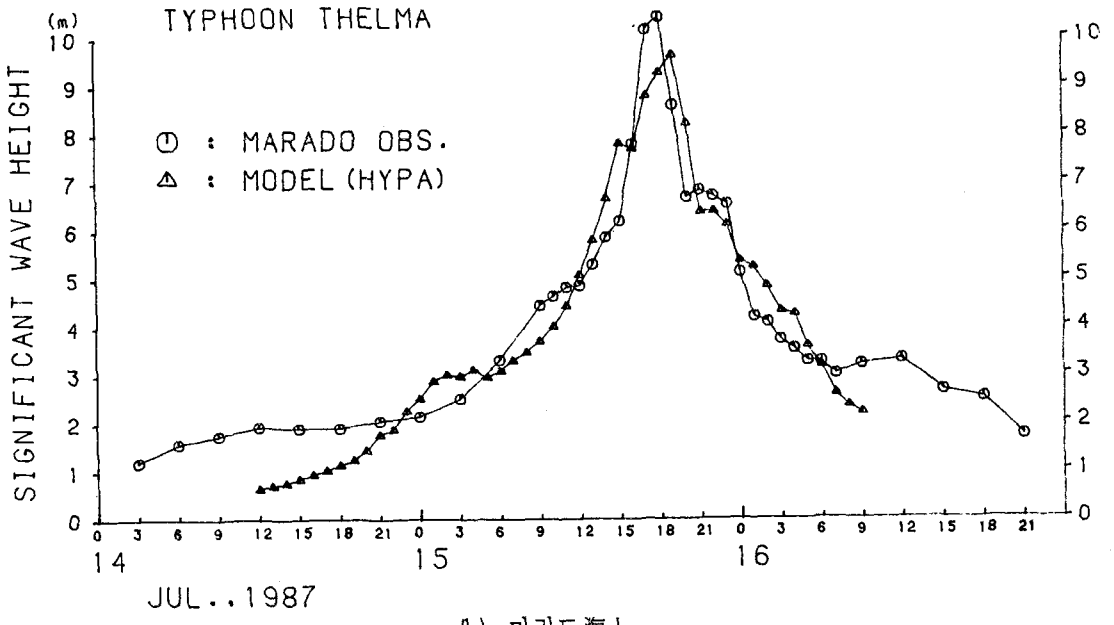
용된 해상풍 추산방법은 다음과 같다.

동계 계절풍시와 같은 정상상태의 기압배치에 의해 발생되는 해상풍의 추산을 위하여 하층대기의 특성을 잘 고려하는 Cardone모델을 사용했다.

특히 동계의 시베리아 고기압이 강하게 내습할 때 그 크기는 매우 커서 해상풍 추산해역 전반에 거의 비슷한 바람이 정상적으로 분다. 이러한 경우에는 연안측후소 관측자료로부터 육상풍을 Hsu (1984), Schwab(1978, 1984)의 공식에 의거하여 해상풍으로 변환할



(a) 고리海上



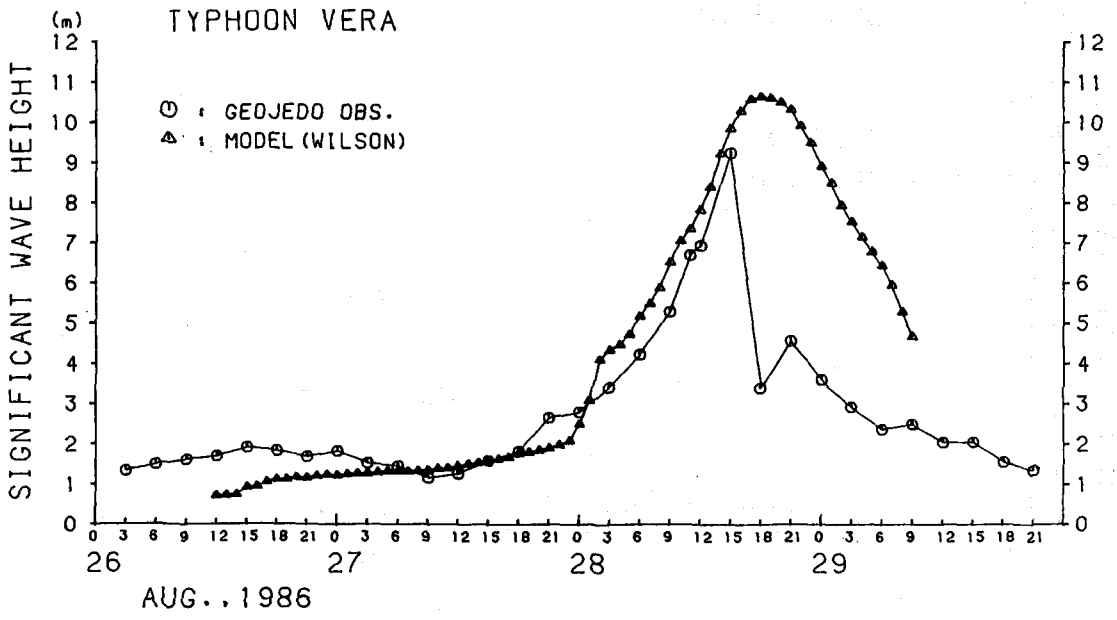
(b) 마라도海上

〔그림 5〕 THELMA 통과시의 HYPA모델 계산결과 비교

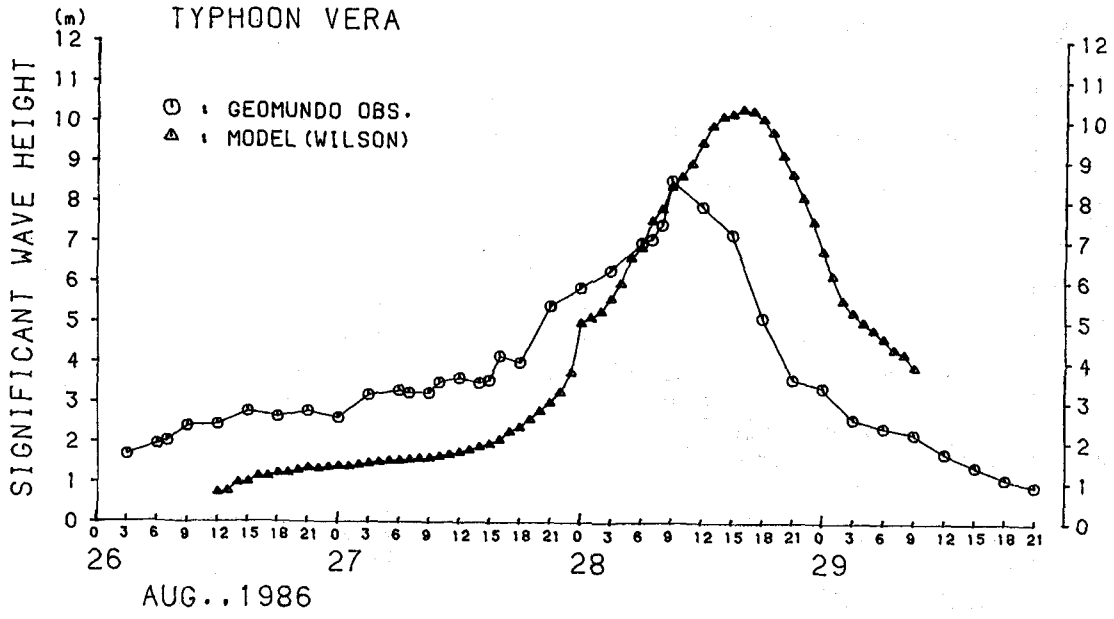
수 있다 (강시환등, 1986). 이 경우 약 25년간 축적된 중앙기상대의 연안측후소 관측자료에서 쉽게 해상풍을 추산할 수 있다.

그러나, 관측자료의 신뢰도에 따라 오차의 크기가 좌우되며, 특히 지형적인 영향을 크게 받는 동해안의 경우에는 상기 방법에 의한 해상풍 추산이 어렵다.

비정상상태의 경우 동해선풍과 같은 온대성 저기압, 빠른 고기압, 변질된 태풍 등 비교적 빨리 움직이는 기압배치에 의해 발생되는 해상풍의 추산에 대해서는 이러한 비정상 상태에 적응 할 수 있는

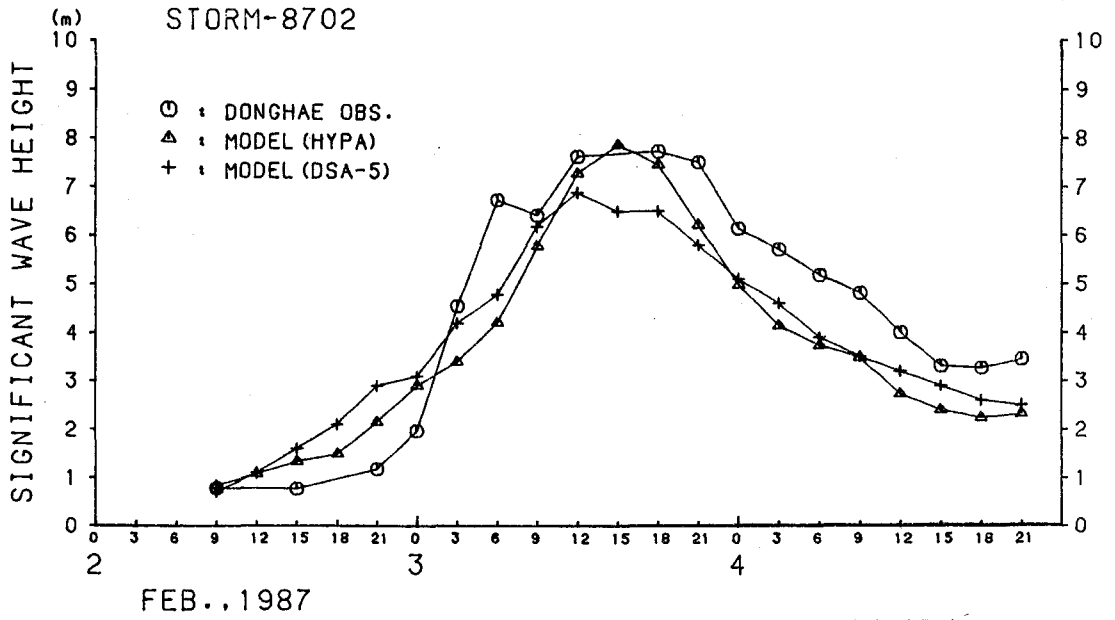


(a) 거제도海上



(b) 거문도海上

〔그림 6〕 VERA 통과시의 Wilson모델 계산결과 비교



〔그림 7〕 동해선풍시의 동해항 관측값과 DSA-5, HPYA 모델 계산결과의 상호비교

MAC7 해상풍 모델을 사용하여 해상풍을 추산하였다.

태풍시의 해상풍 추산방법은 잘 발달된 태풍의 경우 Hydromet 태풍모델 (Bretschneider, 1984)에 의해 기압장을 구하는 방법을 사용하였고, 태풍이 고위도로 진입하여 그 특성이 많이 변질된 경우에는 태풍 모델이 잘 적용되지 않으므로, 이 경우에는 해면기압장을 일기도에서 디짓화하여 비정상 상태의 해상풍 모델 즉, MAC7모델을 사용하였다.

(4) 파랑추산

태풍과 비태풍시의 경우를 구분하여 각해역에 적합한 파랑추산 방법을 선별하여 장기간(30~50년)의 기상자료를 바탕으로 계산된 해상풍을 사용하여 심해파랑을 추산하였다.

1) 태풍 통과시

태풍의 경우는 지역적으로 바람의 변화가 크고, 특히 한반도 부근을 통과할 시에는 이동속도도 빨라 시간에 따른 해상의 풍역변화가 매우 심하다. 1938년부터 1987년까지 한반도 주변을 통과한 태풍 중 비교적 큰 영향을 미친 72개의 태풍을 추출하여 Wilson모델로 유의파를 추산하고, HYPA 모델로써는 심해설계파의 결정에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 판단되는 12개의 태풍에 대해 유의파를 추산하였다 (표 4)

2) 비태풍의 경우

한반도 주변해상에서 태풍요인을 제외한 경우에 이상파랑을 야기시키는 기상조건은 동계에 빈발하는 동해선풍과 강한 계절풍으로 대표할 수 있다.

서해상에서는 동계의 계절풍을 야기시키는 대륙성 고기압의 규모가 서해보다 크기 때문에 SMB 모델로 유의파를 추산하였다.

동해상의 경우에는 동해의 규모가 대륙성 고기압보다 크거나 거의 비슷하기 때문에 동해 전 해역에서의 일정한 풍역을 기대할 수 없으며, 동해선풍과 같이 돌발적으로 발달하는 경우에 있어서는 유의파법의 SMB모델이 Wilson모델의 적용으로 만족할 만한 파랑추산 결과를 얻기 어렵다.

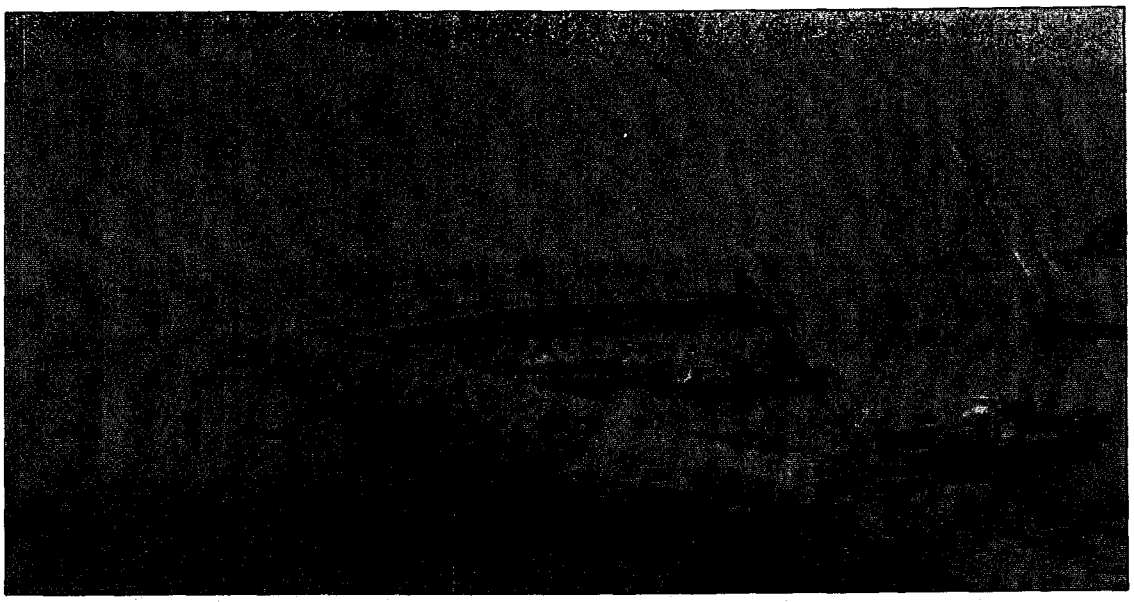
따라서 동해선풍의 경우에는 1959년부터 1987년까지 44개의 강조기간을 선별하여 해상풍 추산 모델에 의해서 일기도의 기압장, 수온분포장으로부터 각 모델 계산 격자점〈그림2〉에서 계산되는 해상풍을 파랑모델의 입력자료로 사용하여 파랑스펙트럼법의 DSA-5 모델과 HYPA모델을 적용하여 동해선풍시에 대하여 심해파랑을 추산하였다.〈표5〉

파랑추산 모델의 신뢰도 검토결과(수산청, 1988)는 다음과 같다. 태풍통과시의 파랑추산 결과에 의하면 태풍 VERA(8613)의 〈그림4〉와 태풍 THELMA(8705)의 〈그림5〉에서 보는 바와 같이 HYPA모델의 결과는 태풍 VERA(8613)의 〈그림6〉에서 보는 바와 같이 대체로 관측치보다 높았으며, 시간별 파고의 변화 경향은 관측치와 유

〈표 7〉 해역별 설정 심해도

격자점	적 용 항	파 향	파고 주기	재현기간(년) 10	20	30	50	70	100	설정요인
2011	대진, 아야진, 대포	SE	Hs(m)	5.2	5.8	6.1	6.5	6.7	7.0	태 풍
	거진, 속초		Ts(s)	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	11.0	
		NE	Hs(m)	6.1	6.8	7.1	7.6	7.9	8.2	동해선풍
			Ts (s)	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	
2012	대진, 아야진, 대포,	SSE	Hs(m)	5.8	6.5	6.9	7.4	7.7	8.0	태 풍
	남애, 사천진, 거진,		Ts (s)	9.0	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	
	속초, 주문진	NE	Hs(m)	6.4	7.1	7.5	8.0	8.4	8.7	동해선풍
			Ts (s)	11.0	11.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
2013	아야진, 대포, 남애,	SSE	Hs(m)	5.6	6.3	6.7	7.2	7.5	7.8	태 풍
	사천진, 금진, 덕산,		Ts (s)	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	
	장호, 주문진	NE	Hs(m)	6.4	7.1	7.5	8.1	8.4	8.7	동해선풍
			Ts(s)	11.0	11.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
2014	금진, 덕산, 장호,	SSE	Hs(m)	5.7	6.4	6.7	7.2	7.5	7.8	태 풍
	묵호, 북평, 삼척,		Ts (s)	9.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0	
	임원	NE	Hs(m)	6.3	7.1	7.6	8.2	8.6	9.0	동해선풍
			Ts (s)	10.0	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	
2214	현포, 저동, 도동	SSW	Hs(m)	5.7	6.6	7.1	7.7	8.1	8.5	태 풍
			Ts(s)	9.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
		S	Hs(m)	5.7	6.6	7.1	7.6	8.0	8.4	태 풍
			Ts(s)	9.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
		NNE	Hs(m)	7.0	7.7	8.1	8.6	8.9	9.2	동해선풍
			Ts(s)	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
2015	사동, 죽변, 후포	SSE	Hs(m)	5.7	6.4	6.7	7.2	7.5	7.8	태 풍
			Ts (s)	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	
		NE	Hs(m)	5.9	6.7	7.2	7.7	8.1	8.5	동해선풍
			Ts (s)	10.0	11.0	11.0	12.0	13.0	13.0	
2016	사동, 대진, 축산,	SSE	Hs(m)	5.5	6.2	6.6	7.0	7.3	7.6	태 풍
	구계, 대보, 죽변		Ts (s)	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	
	후포, 강구, 월포	NNE	Hs(m)	5.7	6.4	6.8	7.3	7.6	7.9	동해선풍
			Ts (s)	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	
2017	구계, 대보, 양포,	S	Hs(m)	7.0	7.9	8.4	9.0	9.4	9.8	태 풍
	읍천, 정자, 방어진,		Ts(s)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
	강구, 월포, 포항,	NNE	Hs(m)	5.4	6.1	6.6	7.1	7.4	7.8	동해선풍
	구룡포, 감포, 울산		Ts(s)	9.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
2018	양포, 읍천, 정자	SSW	Hs(m)	7.4	8.4	9.1	9.8	10.3	10.8	태 풍
	방어진, 대변,		Ts(s)	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
	구룡포, 감포,	S	Hs(m)	4.6	5.2	5.6	5.9	6.2	6.4	태 풍
	울산		Ts(s)	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	
		NNE	Hs(m)	5.1	5.8	6.3	6.8	7.2	7.6	동해선풍
			Ts(s)	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0	

격자점	적 용 항	파 향	파고 주기	재현기간(년) 10	20	30	50	70	100	설정요인
1919	대변, 다대포, 외포	SSW	Hs(m)	7.7	8.8	9.4	10.2	10.7	11.2	태 풍
	능포, 지세포, 부산		Ts(s)	11.0	12.0	13.0	14.0	14.0	15.0	
	진해, 마산, 옥포	SSE	Hs(m)	3.9	4.5	4.8	5.2	5.4	5.7	태 풍
	장승포, 충무, 고현		Ts(s)	7.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	
	구조라									
1819	다대포, 외포, 능	S	Hs(m)	8.0	9.0	9.5	10.1	10.5	10.9	태 풍
	포, 지세포,		Ts(s)	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	
		SSW	Hs(m)	7.0	8.0	8.6	9.3	9.8	10.2	태 풍
			Ts(s)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	
1719	욕지, 능양, 맥전	S	Hs(m)	7.9	8.7	9.1	9.6	9.9	10.2	태 풍
	포, 물건, 미조,		Ts(s)	12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
	삼천포	SSE	Hs(m)	7.0	7.8	8.2	8.7	9.0	9.3	태 풍
			Ts(s)	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	
1619	안도, 돌산, 국동,	SSE	Hs(m)	8.2	8.9	9.3	9.8	10.1	10.4	태 풍
	광양, 여수, 나로		Ts(s)	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
	도	S	Hs(m)	7.5	8.2	8.7	9.2	9.5	9.8	태 풍
			Ts(s)	11.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
1519	녹동, 마량, 소안,	SSE	Hs(m)	8.1	8.8	9.2	9.7	10.0	10.3	태 풍
	청산도, 나로도,		Ts(s)	12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
	거문도, 완도	S	Hs(m)	7.4	8.1	8.5	8.9	9.2	9.5	태 풍
			Ts(s)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
1419	어란진, 소안,	SE	Hs(m)	6.8	7.5	7.9	8.3	8.6	8.9	태 풍
	청산도, 완도		Ts(s)	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	
		NW	Hs(m)	4.7	5.1	5.4	5.7	5.8	6.0	동계계절풍
			Ts(s)	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	11.0	
1319	서거차, 서망,	SSW	Hs(m)	5.3	5.8	6.0	6.3	6.5	6.7	태 풍
	목포		Ts(s)	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
		NW	Hs(m)	5.6	6.1	6.3	6.7	6.9	7.1	동계계절풍
			Ts(s)	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	
1219	소흑산도,	SSE	Hs(m)	7.4	8.1	8.5	8.9	9.2	9.4	태 풍
	대흑산도		Ts(s)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
		NNW	Hs(m)	6.0	6.5	6.8	7.2	7.4	7.6	동계계절풍
			Ts(s)	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
1320	추자, 신양, 애월,	SSW	Hs(m)	5.4	6.0	6.3	6.7	6.9	7.2	태 풍
	도두, 소안, 청산		Ts(s)	9.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	
	도, 서거차, 서망,	NNW	Hs(m)	5.8	6.3	6.6	7.0	7.2	7.4	동계계절풍
	제주, 한림		Ts(s)	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	
1420	추자, 신양, 애월	SE	Hs(m)	6.1	6.8	7.2	7.7	8.0	8.3	태 풍
	도두, 소안, 청산		Ts(s)	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
	도, 마량, 녹동,	NW	Hs(m)	4.5	4.9	5.2	5.4	5.6	5.8	
	제주		Ts(s)	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	동계계절풍

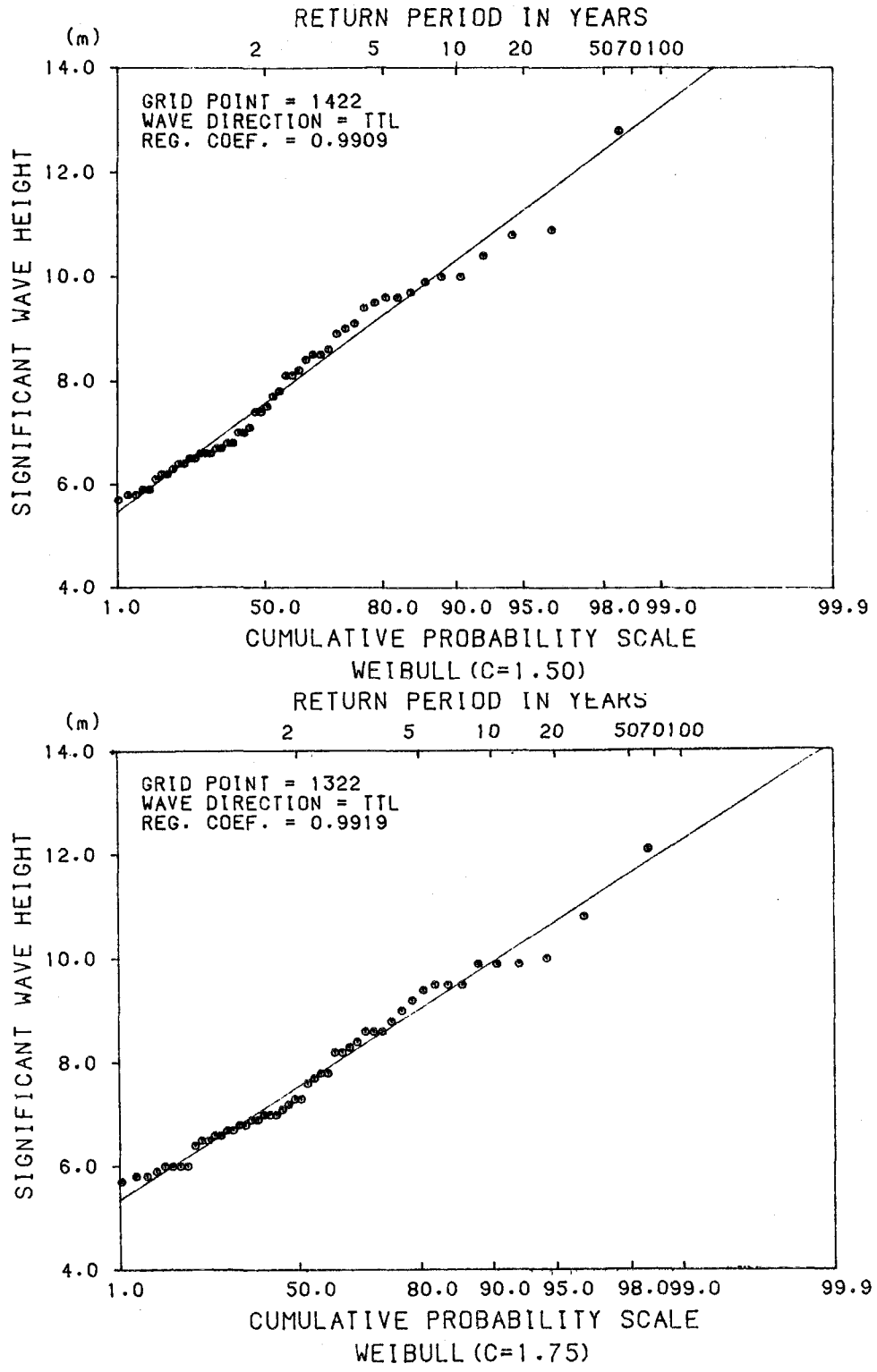


격자점	적 용 항	파 향	파고 주기	재 현 기 간(년) 10	20	30	50	70	100	설정요인
1521	성산포	S	Hs(m)	9.2	10.0	10.5	11.0	11.3	11.7	태 풍
			Ts(s)	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	
		SSW	Hs(m)	7.7	8.6	9.1	9.7	10.0	10.4	태 풍
			Ts(s)	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
1422	모슬포, 위미, 서귀포	S	Hs(m)	9.0	9.9	10.3	10.9	11.2	11.6	태 풍
			Ts(s)	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	
		SSE	Hs(m)	8.4	9.2	9.6	10.1	10.5	10.8	동해선풍
			Ts(s)	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	14.0	
1322	모슬포, 위미, 서귀포	S	Hs(m)	9.2	9.9	10.3	10.8	11.4	11.4	태 풍
			Ts(s)	13.0	14.0	14.0	14.0	15.0	15.0	
		SSE	Hs(m)	8.9	9.8	10.2	10.8	11.1	11.5	동해선풍
			Ts(s)	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	
1221	화순	S	Hs(m)	7.8	8.4	6.7	9.1	9.3	9.6	태 풍
			Ts(s)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
		NNW	Hs(m)	6.2	6.8	7.1	7.4	7.7	7.9	동계계절풍
			Ts(s)	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	

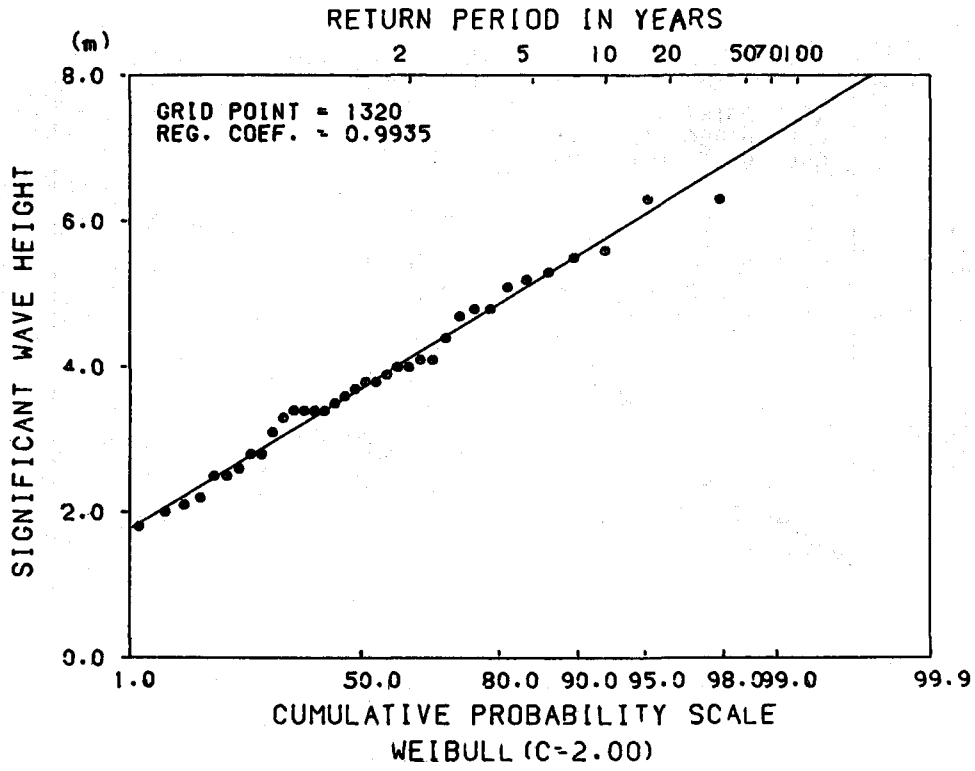
사하게 나타났다.

그러나, Wilson모델의 계산 값은 경우에 따라 태풍 통과후에도 계속 증가할 수도 있기 때문에 계산결과에 대한 신중한 검토를 요한다. Wilson모델의 주 에너지 방향은 HYPA모델의 결과와 잘 일치됨을 보였다.

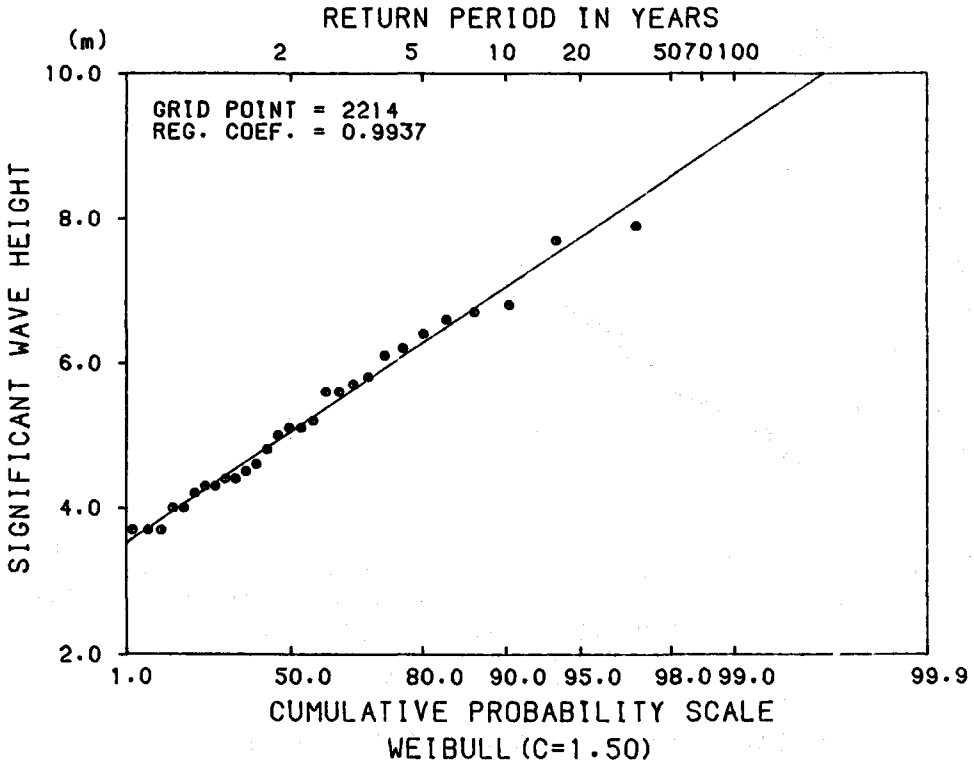
동해선풍, 동계의 태풍의 경우에서도 〈그림7〉에서 보는 바와 같이 HYPA모델이 관측치와 가장 근접한 결과를 보였다. DSA-5모델은 비록 관측값보다 낮게 나타났으나 동해상의 풍역분포 변화에 따른 파랑분포 변화를 충분히 나타낼 수 있었다. 한편, 서해의 동계 계절풍의 경우에는 연안측후소 바람을 해상풍으로 변환하여 서해의 수심이 고려된 SMB 잔해파 모델로서도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

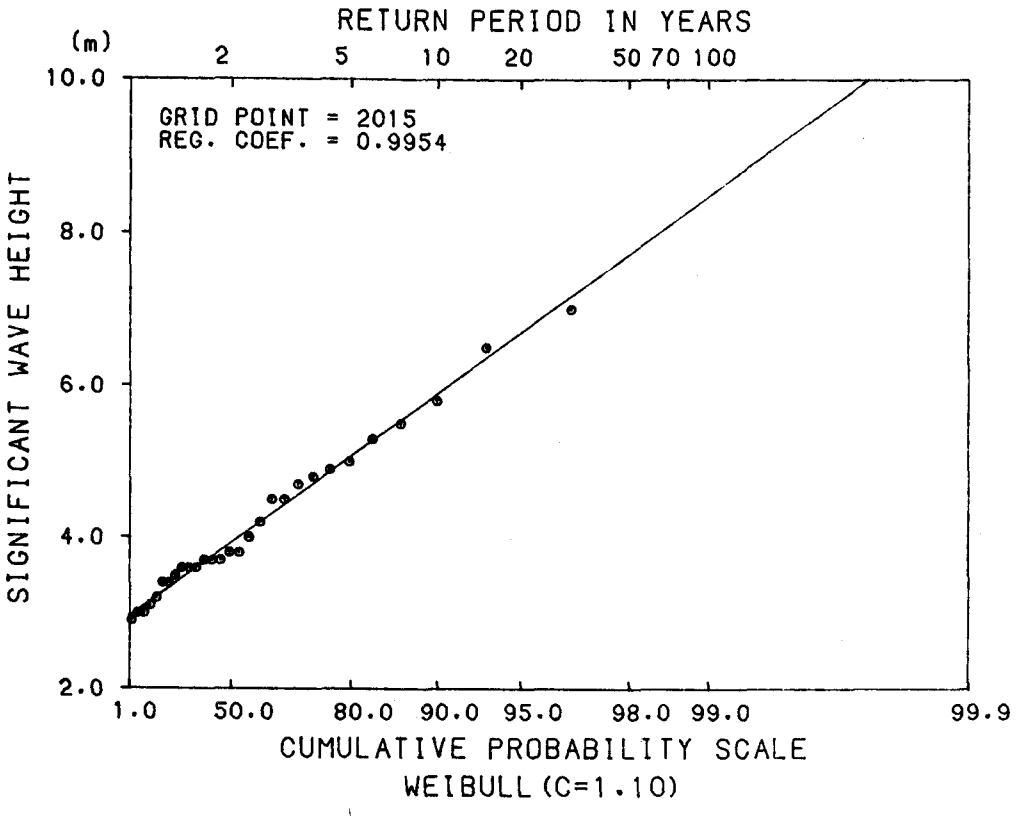


〔그림 8〕 태풍시 Wilson 모델결과의 극치확률통계 분석도 (제주도 남부 해역)



〔그림 9〕 동계계절풍시 SMB 모델결과의 극치확률통계 분포도 (제주도 북해 해역)





〔그림 10〕 동해선풍시 DSA-5 모델 결과의 극치확률통계 분포도 (울릉도, 동해항)

(5)극치확률(極値確率)통계분석

〈그림2〉의 동해와 남해안을 따라서 설정된 각 지점에서 기상요인별로 산출된 장기간에 걸친 방대한 파랑추산 자료는 극치확률분포를 구하기 위하여 Petruaskas-Aagaad(1971)의 방법에 의해서 통계분석 되었으며(수산청,1988), 그중에서 몇가지의 결과를 보면 다음과 같다.

〈그림8〉은 태풍으로 인하여 제주도 남부해역에 내습했던 파랑을 Wilson모델로써 계산하여 그 값을 통계분석한 결과이다. 여기서 재현기간별 유의파고의 확률분포를 알 수 있다. 〈그림9〉는 동계 계절풍에 의해 제주도 북부해역에서 발생되었던 파랑을 SMB모델로써 계산한 값으로 재현기간별 유의파고의 확률분포를 구한 것이며, 〈그림10〉은 동해선풍에 의해 울릉도 (CP2214)와 동해항(CP 2015) 근해에 내습했던 파랑에 대한 DSA-5모델의 추산값을 통계 분석한 것이다.

파랑모델의 추산결과에 대한 신뢰도 검토에서 HYPA모델이 태풍의 경우 뿐만아니라 동해선풍에 대해서도 가장 좋은 결과를 나타내었다.

그러나, HYPA모델의 파랑추산은 동해와 남해의 해역별 심해설계파 설정에 있어 가장 큰 영향을 미친 주요 기상요인으로 판단되는 태풍 12개와 동해선풍 8개의 경우로 제한되었기 때문에 그 값은 극치통계분석하지 않았다.

해역별 심해설계파 설정

한반도 주변해상에서 최근 30~50년의 장기간에 걸쳐 발생되었던 악기상자료를 바탕으로 기상요인에 따라 발생되었던 큰 파랑의 추산값과 일본기상청의 최근 5년간의 파랑자료, 그리고 제한된 연안 파랑관측 자료를 통계분석하여 종합 검토한 결과 〈표7〉에서와 같이 해역별로 심해설계파를 설정하였다.

태풍에 의한 50년 재현기간의 심해설계파는 동해에서 약 7.0m, 남해에서 약 10.0m, 제주도 남부해역에서 약 11.0m로 나타났다.

동해선풍에 의한 50년 재현기간의 심해설계파는 울릉도 근해에서 8.6m, 동해안과 남해동부해역에서 8.2~6.8m의 해역별 변화를 보였다. 서해의 동계계절풍에 의한 50년 재현기간의 심해설계파는 남해서부 및 제주도 북부해역에서 5.5~7.5m의 해역별 변화를 보였다.

끝으로 본 연구사업의 수행을 위해 큰 도움을 주신 수산청 여러분께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 많은 자료를 제공해 주신 해운항만청, 중앙기상대, 일본기상청 여러분께도 감사를 드립니다. 또한 본 연구는 해양연구소의 환경공학실에서 수행되었으며, 연구원의 노고에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

강시환 등, 1984, 한국근해역에서의 파랑 모델 연구. 해양연구소 BSPE-00050-81-7. 218pp

강시환 등, 1985. 해난, 재해 예보시스템연구(Ⅰ), 해양연구소 BSPE-00056-87-1. 317pp.

강시환 등, 1986. 해난, 재해 예보시스템연구(Ⅱ), 해양연구소 BSPG-00033-121-1, 284pp.

강시환 등, 1987. 해난, 재해 예보시스템연구(Ⅲ), 해양연구소 BSPG-00047-164-1. 337pp,

건설부, 1975, 한국연안의 설계파 결정을 위한 컴퓨터 프로그램 개발연구 보고서. 214pp.

수산청, 1988, 해역별 (동해, 남해)심해파 추정 보고서, 281p.

Borgman, L. E. 1963, Risk Criteria, Journal of the Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers, 89, 1-35.

Bretschneider, C. L. and J. M. Lo, 1984, A Rankin vortex number as a guide to the selection of a model hurricane. proc. 19th Coastal Engineer. Conf., 147-161.

Cardone, V. J. 1969, Specification of the wind distribution in the marine boundary layer for wave forecasting, New York Univ. school of Eng. and Science, Report GSL-TR 69-1.

Earle, M. D. and J. M. Bishop. 1985, A Practical Guide to Ocean Wave Measurement and Analysis, Endeco, Inc, Marion, MA U. S. A. ppp. 77.

Gunther, H., W. Rosenthal, and M. Dunkel. 1981, The response of surface gravity waves to changing wind direction. J. Phys. Oceano., 11 : 718-728.

Hsu, S. A. 1984, Improved fromulas for estimating offshore winds. Proc, 19th coastal Eng. conf., 220-2229.

Petrauskas, C, and D. M. Aagaad. 1971. Extrapolation of historical storm data for estimating design wave heights, J. SOC. Petro. Eng. Vol. 11.

Schwab, D. J. 1978. Simulation and forecasting of Lake Erie storm surges. Mon. Wea. Rev., 106 : 1476-1478

Schwab, D. J. and J. A. Morton, 1984, Estimation of overlake wind speed from overland wind speed. J. Great Lakes Res., 10(1) : 68-72.

漁港開發 促進으로 豊饒한 漁村建設