

# 제주해역 항만시설물의 수리환경적 특성에 관한 연구

정태욱 · 김종인\* · 류청로\*\*

제주지방 해양수산청, \*동아대학교 토목공학과, \*\*부경대학교 해양공학과

## The Hydro-Environmental Characteristics of Port Facilities around the Sea of Cheju Island

TAE-WOOK CHEONG, JONG-IN KIM\* AND CHEONG-RO RYU\*\*

Cheju Regional Maritime Affairs and Fisheries Office, \*Donga University, Busan 604-714, Korea

\*\*Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

**KEY WORDS:** Hydro-environmental characteristics 수리환경특성, Permeable TTP mounded breakwater 투과성 TTP방파제, Hydraulic model experiment 수리모형실험, Disaster characteristics 재해특성, Transmission ratio 투과율

**ABSTRACT:** In order to effectively manage the construction, disaster prevention plan and the harbor tranquility control, meteorological and sea-state characteristics around Cheju Island have been analyzed. Using results and damage examples of the port facilities under severe sea conditions, a reasonable construction control plan considering the regional characteristics of the sea-state and winds was proposed. That is, in northern part of Cheju Island, the construction work is affected mainly by the winter storms, while the typhoon mainly affects the southern part port facilities during summer to Autumn. Considering their typical characteristics, it is strongly suggested that the main construction work should be carried out during April to July in the northern part, and it should be made during October to next July in the southern part of the island. A permeable TTP mounded breakwater was constructed to protect severe waves as a temporal structure under the long-term development plan in Sogipo port. The transmission characteristics of the structure was discussed using the experimental results. The results show that the transmission coefficient  $K_t$  is over 20 % of incident waves, which cause many problems in the cargo handling in relation to harbor tranquility. In conclusion, this kind of permeable structure can be used only as a temporal structure for the disaster prevention under the construction process. It causes many problems in harbor tranquility if it is used as a permanent harbor structures.

### 1. 서 론

제주해역에 위치한 항만은 항만의 위치 및 사용목적에 따라 방파제의 구조 및 형상이 독특한 형태를 하고 있으며, 항만의 건설 및 이용관리상 특성에 큰 차이가 있다. 그러나 이러한 제주해역에 위치한 항만에 대한 축적된 자료가 부족하고, 효율적인 항만 시설물의 배치 및 기후조건에 따른 항만 공사자료가 부족한 실정이므로 신항만 건설시 항내정온도를 고려한 효율적인 건설공정과 재해방지계획을 세우기 위해서는 주변해역의 기상 및 파랑특성을 분석하는 것이 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 기후조건에 의해 작업일수가 제한을 받고 있고, 공사계획과 단계별 공사관리에 어려움이 있는 제주해역 항만의 효율적인 작업공정·재해관리 방안을 제시하고자 한다. 또한, 서귀포항에서는 장기계획하에 고풍랑 에너지를 제어할 수 있고, 외항방파제 건설시 재 사용할 수 있도록 임시구조물로서 TTP를 사용한 투과성 방파제로 건설되

어 있는 서귀포 동방파제를 대상으로 수리모형실험을 실시하여 방파제의 투과특성을 파악하고, 항내정온도에 미치는 영향을 규명함으로써 향후 항만개발·계획시 항만의 가동률을 극대화할 수 있는 최적구조물의 형상에 대해 논의하였다.

### 2. 제주해역 항만의 현황 및 특성

#### 2.1 제주해역의 기후조건 및 특성

제주도는 바람이 많고 흐린 날이 많은 다변성 기후를 보이고 기온의 연교차가 적은 해양성 기후를 나타낸다. 제주도의 중앙에 위치하고 있는 한라산의 영향을 받아 남·북지역에 기후 차가 일어난다. 겨울에는 북서풍이 강하게 불 때가 많으며, 공기가 건조하고 여름에는 남동풍이 있으나 대체로 평온하고 맑은 날씨가 많다. 일반적으로 연중 기상상태가 나쁘고 바람이 없는 날이 아주 드물며, 겨울철에는 북쪽, 여름철에는 남쪽해역의 해상상태가 악화된다. 최근 20년 동안 (1972~1991) 기상상태는 Table 1에 나타낸 바와 같으며, 제주, 서귀포, 성산포의 평균풍속은 각각 4.1 m/sec, 3.2

m/sec, 3.1 m/sec이다. 특히, Table 2는 한국태풍 1980 연보 및 기상연보로부터 정리한 제주해역에 크게 영향을 미쳤던 주요 태풍을 나타낸 것으로 2~3년에 한 번씩은 큰 태풍이 통과하고 있음을 알 수 있다(제주해안항만청, 1994).

**Table 1** Meteorological conditions in Cheju island

Investigate item		Cheju, Hanrim	Sogipo, Hwasun	Songsanpo
Max. Wind Velocity	Vel. (m/s)	24.0	34.8	24.5
	Wind dir.	NW	NNE	ESE
	Date	'87.1.12.	'74.7.6.	'85. 8. 9.
Max. Wind Velocity	Wind Vel(m/s).	41.6	44.0	-
	Wind dir.	SSE	NNE	-
	Date	'86.8.26	'87.8.30	-
Mean wind velocity		4.1	3.2	3.1

**Table 2** Principal typhoons of affecting on Cheju island

No.	Typhoon Name	Date	Minimum Pressure (mb)	Maximum wind vel.(m/s)		Yearly max. wind vel.(m/s)	
				Wind dir.	Wind vel.	Wind dir.	Wind vel.
1	LILLY	1946. 8.20	981.7	NE	31.7	-	-
2	KAREN	1952. 8.17	990.1	S	29.2	-	-
3	EMMA	1956. 9. 9	981.1	N	24.3	N	30.8
4	SARAH	1959. 9.17	965.1	NNE	33.5	NNE	46.9
5	HELEN	1964. 8. 2	971.5	NNE	26.0	NE	43.0
6	BETTY	1966. 8.30	994.5	WSW	25.0	WSW	37.3
7	BILLIE	1970. 8.30	975.5	ENE	26.0	ENE	40.2
8	RITA	1972. 7.26	974.5	ESE	25.5	ESE	39.0
9	ILIES	1973. 8.16	988.7	SE	22.0	ENE	31.0
10	GILDA	1974. 8. 8	980.1	NNE	20.0	NNE	34.0
11	JUDY	1979. 8.26	991.0	SSE	12.0	-	-
12	IRVING	1979. 8.17	983.0	SSE	23.2	-	-
13	AGNES	1981. 9. 1	987.8	ESE	12.0	-	-
14	CECIL	1982. 8.12	1002.4	ESE	14.0	ESE	34.0
15	VERA	1986. 8.28	975.9	SSE	25.0	SSE	40.9
16	DINAH	1987. 9.31	971.2	NNW	16.2	NNE	44.0

## 2.2 제주해역의 기후특색

제주도에는 정기적이고 집단적으로 행하여지는 곳이 있는데 신과세제, 영등굿, 마불림제, 백중제, 시민국대제 등이 그것이다. 여기서 제주도 해상의 기후와 관련이 큰 것은 영등굿으로 영등신 즉, 바람신에 대한 예례로서 행하여져 내려오고 있다. 이 영등신은 음력 2월 초하루에 들어와 2월 15일에 나가는 내왕신으로 멀리 강남 천자국으로부터 북서계절풍을 몰고 오는 신으로서 영등신이 내왕하는 이 시기에는 해상상태는 매우 악화된다. 그리고 이런 영등신은 제주도 해산물 생산에 아주 많은 영향을 미치는 것으로 제주 사람들은 믿고 있다(제주도지, 1993). 이 영등신은 파랑을 발생시킴으로

써 해양의 에너지가 충만한 상태를 만들어 해양의 자정능력을 향상시키는 역할을 하는 반면, 이 바람은 해양의 기상조건을 악화시켜 해상공사기간에 큰 영향을 주는 바람이기도 하다. 이 바람의 주 풍향은 북서풍으로 제주해역 중 북쪽에 위치한 제주항에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다. Table 3~Table 4는 제주항과 서귀포항에서의 30년 간의 풍속과 폭풍일수를 나타낸 것으로 동계에 제주에서의 풍속과 폭풍일수는 서귀포에 비해 매우 높다는 것을 알 수 있다(제주해양수산청, 1975~1999; 제주도지, 1993).

**Table 3** Mean wind velocity (0.1 m/s) at Cheju and Sogipo (1961~1990)

Location	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cheju	56	52	44	40	33	33	34	34	35	39	45	51
Sogipo	35	35	36	36	31	29	29	34	36	36	34	33

**Table 4** The day (0.1 day) of a windstorm at Cheju and Sogipo (1961~1990)

Location	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cheju	41	20	19	20	8	5	7	11	5	8	20	26
Sogipo	6	5	6	9	4	2	4	11	6	4	2	2

**Table 5** The design wave conditions at each ports in Cheju island

	Estimated('76) wave			Estimated('88) wave			Break-waters main dir.
	Dir.	Period (sec)	Ht. (m)	Dir.	Period (sec)	Ht. (m)	
Cheju	NW	12.0	6.0	NW	10.0	5.4	NW
				NNW	11.0	7.0	NE
	NE	9.0	4.5	SE	11.0	7.7	
				SSW	10.0	6.7	
Sogi-po	S	12.0	8.0	S	15.0	10.9	NW
	SW	12.0	8.0	SSE	14.0	10.8	NE
	ENE	8.0	4.5	S	15.0	11.0	ENE
	NNW	8.0	4.0	SSW	13.0	9.7	NNW
Song-sanpo				N	9.0	4.6	
	NW	12.0	6.0	SSW	10.0	6.7	NW
				NNW	11.0	7.0	NNW
				S	13.0	9.1	
Hanrim				NNW	12.0	7.4	
				NNW	12.0	7.4	

**2.3 제주해역의 파랑특성**

제주도 북부해역에 위치하고 있는 항만은 동계에는 북서계절풍에 의해 발생하는 파랑의 영향을 주로 받으나, 하계에는 제주도의 차폐효과에 의하여 제주도 남부해역에 위치한 항만에 비하여 태풍에 의해 발생하는 파랑의 영향을 적게 받는다. 한편 제주도 동부해역에서는 동계의 북서계절풍에 의한 파랑의 영향은 섬에 의해 차폐되므로 적으며, 하계에는 태풍에 의해서 태풍통과 전후에 걸쳐 상당히 오랫동안 그 영향을 받는다. 제주도 북쪽해안은 태풍통과 후에 발생한 풍향이 NE ~ N인 바람이 불 때에 발생하는 파랑의 영향을 받으며, 남쪽해안은 태풍통과 전에 발생한 파랑의 영향을 주로 받는다. Table 5는 현재 사용되고 있는 제주해역의 각 항별 심해파 설계제원을 나타낸 것으로 제주북부해역에 위치한 항들의 설계파고는 제주남부해역에 위치한 항의 설계파고보다 2 m ~ 4 m 더 낮은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다(제주해안항만청, 1994).

**2.4 제주해역 항만의 방파제의 구조 및 배치특성**

제주해역의 기상 및 파랑특성은 제주도의 남부해역 및 북부해역 사이에는 큰 차이를 나타내므로 본 논문에서는 제주해역에서 가장 파랑의 영향을 많이 받고 있으며, 제주도의 남부 및 북부해역의 특성을 대표할 수 있는 제주항과 서귀포항을 중심으로 방파제의 구조 및 배치특성을 중심으로 비교·검토하고자 한다(해운항만청, 1994).

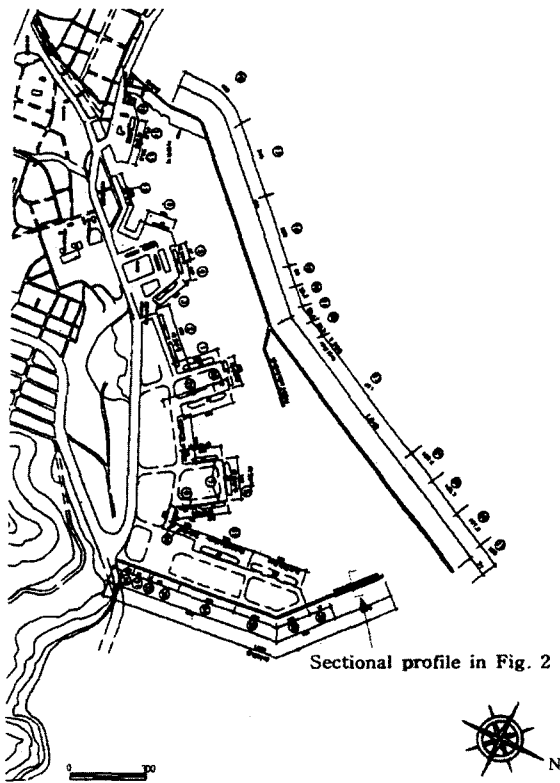


Fig. 1 The plane arrangement figure of Cheju port

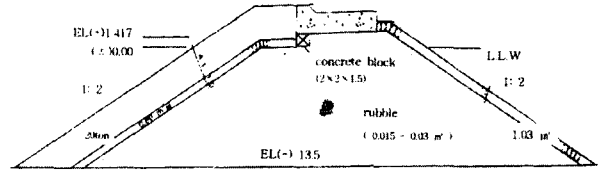


Fig. 2 Typical structure of breakwater in Cheju port

제주항 방파제(Fig. 1)의 주 방향은 선박의 출입 및 계절성 기후에 따른 파랑특성을 고려하여 북서방향으로부터의 파랑에 대응하도록 배치되어 있으며, 방파제의 구조(Fig. 2)는 TTP 혼성제로 되어 있다. 특히, 서방파제 내측을 통해 입사한 파랑 즉, NE계열의 파랑이 부분반사를 일으키므로 부두 전면 및 선회장내의 정온도를 유지하기 위하여 서방파제 내측에 소파시설(TTP 2층 난적)이 설치되어 있음을 알 수 있다. 반면, 서귀포항은 조도의 지형특성을 이용하여 개발되어 왔기 때문에 외곽시설이 빈약한 정이므로 외항개발계획이 추진되고 있다. 서귀포항 방파제는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 3부분으로 구성되어 있으며, 방파제의 구조는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 TTP를 사용한 혼성제와 TTP 만을 사용하여 축조된 동방파제가 있다.

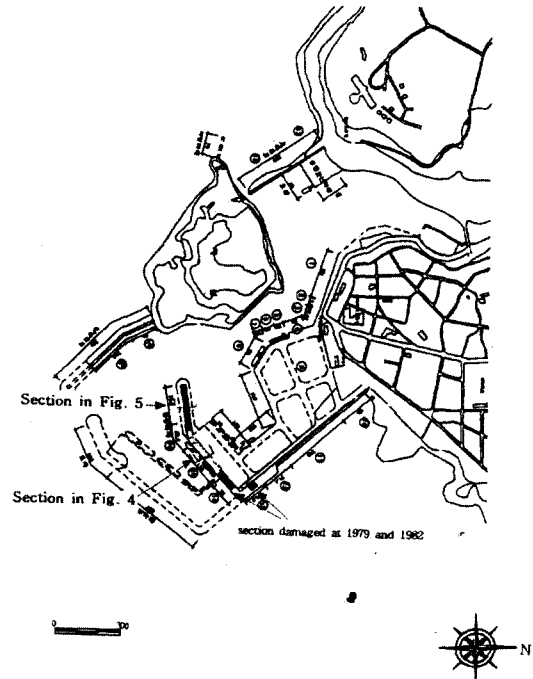


Fig. 3 The plane arrangement figure of Sogipo port

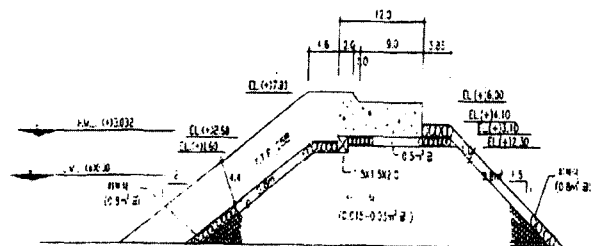


Fig. 4 Typical structure of breakwater in Sogipo port

현재 서귀포 항 외곽방파제는 서방파제가 남서방향으로 250 m, 남방파제는 조도 남동방향으로 360 m 설치되어 있다. 그리고 동방파제는 주 파향을 전면으로부터 반도륙 설치되어 있어 큰 피해가 발생하고 있으며, 동방파제와 나란히 외해쪽에 330 m 정도로 방파제가 건설중이나 1999년 현재 미완성 상태이다. 특히, 본 논문에서 대상으로 하는 부분은 Fig. 5와 같이 동방파제인 TTP 방파제의 파괴특성과 파랑과의 상호관계를 규명하고자 한다.

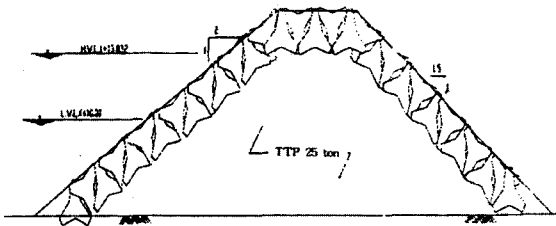


Fig. 5 Structure of east breakwater in Sogipo port

### 2.5 제주해역 항만시설의 재해 및 작업공정

#### 2.5.1 제주해역 항만의 작업가능일수

제주지방의 해상 작업가능일수는 기상장애요소에 의한 작업불가능일수와 해상(파랑)장애요소에 의한 작업불가능일수 및 공휴일(법정공휴일+일요일)수를 작업일수에서 감하여 산정하여야 하나 이들 각각의 장애요소는 타 요소와 중복되어 발생할 수 있는 확률이 높으므로 제주 및 서귀포 지역의 작업가능일수는 토목학회지 171호에 기 발표된 "건설기계화 시공과 설계상의 제 문제점"에 관한 논문을 참고하여 기상 장애 일수를 산정하였다. 파랑에 의한 장애일수는 파랑발생 일수(심해파  $H_{1/3} = 3$  m 이상)를 폭풍(10.0 m/s 이상)일수와 비교한 결과 [Beaufort 풍력상수 6은 10.8~13.8 m/s 로서, 이 때 발생하는 파랑의 파고는 3~4 m입] 파랑에 의한 장애일수가 폭풍에 이미 더해진 것으로 나타나는 바 이를 제거하였다. 공휴일에 의한 장애요소가 기상장애요소와 중복되어 발생하는 확률은 전년(365일)에 대한 기상장애 발생일수의 비로서 산정하였으며, 그 결과 제주항 및 서귀포항의 육상작업 가능일수는 각각 237.36 일, 258.60 일, 해상작업 가능일수는 각각 259.2 일, 271.68 일로 나타났다.

Fig. 6~Fig. 8은 1990년~1992년 3년 간의 제주항과 서귀포항에서의 해상작업일수를 연도 및 월별로 나타낸 것으로, 제주항의 해상작업일수는 매년 6, 7, 8월에 대체적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다(제주해양수산청, 1990~1993). 이는 여름철에 불어오는 남서풍이 한라산에 의해 차단됨으로써 나타나는 계절적인 영향 및 지형적인 영향이라 볼 수 있다.

그러나, 서귀포항의 해상작업일수는 제주항과는 달리 동계에 시작하여 6월 이전에 대부분의 작업이 진행되고 있는 특징을 나타내고 있는데, 이는 제주해역에서는 작업공정 중 내습하는 태풍에 의한 피해를 막기 위하여 태풍이 내습하기

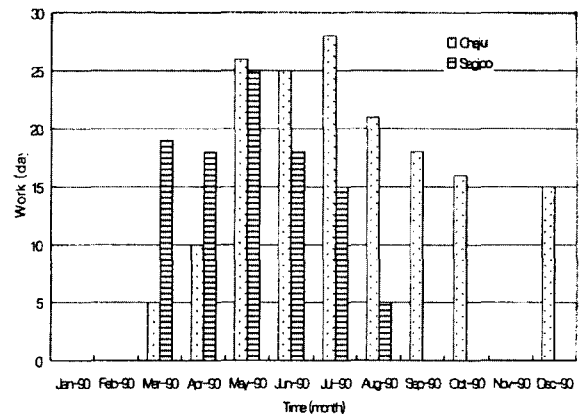


Fig. 6 Workable days at Cheju and Sogipo port (1990)

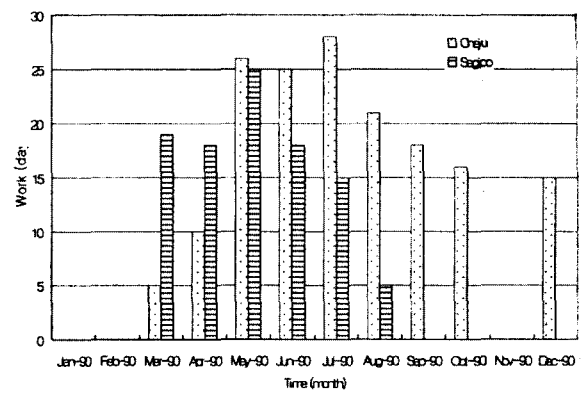


Fig. 7 Workable days at Cheju and Sogipo port (1991)

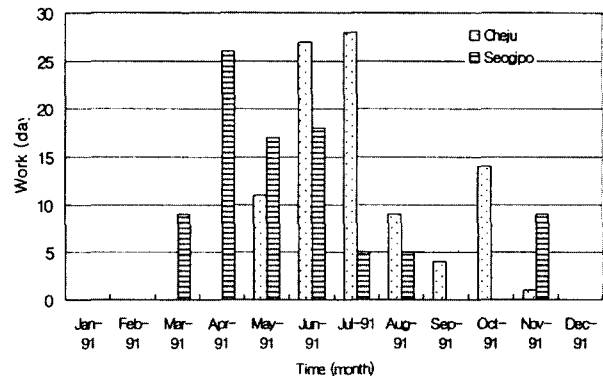


Fig. 8 Workable days at Cheju and Sogipo port (1992)

전에 거의 모든 작업을 완료하고 있기 때문이다. 따라서 제주지역의 작업은 여름과 겨울에 서귀포항과 제주항의 작업 가능일수 사이에는 큰 차이를 나타내고 있으므로 연중 작업 가능기간이 서로 다른 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

#### 2.5.2 제주도 항만공사의 작업공정 비교

제주지방 해양수산청 작업일보에서 제주항 방파제 및 서귀포 남방파제 공사시 1990년~1991년 간의 각 공정을 Fig. 9~Fig. 10에 나타내었다. 작업공정도 또한 작업가능일수와 마찬가지로 제주도 남부 및 북부의 작업일수와 공사기간의 특성을 뚜렷이 구별할 수 있다. 즉, 해상에서 작업을 수행해야

하는 수중작업의 경우에 있어서는 서귀포항의 경우에는 매년 6, 7월 이전에 거의 모든 작업공정이 완료됨을 알 수 있는데, 이는 여름철에 내습하는 태풍에 의한 과량으로부터 부실한 기초 마운드부분의 유실을 막기 위한 것이다. 그러나, 제주항은 그와 반대로 6, 7, 8월중에 집중적으로 작업이 이루어졌음을 알 수 있는데 이는 동계계절풍 및 기후 특색인 영등신의 영향인 것으로 사료된다.

Work class	Month											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Land dropping of the inner fulfill riprap (0.015-0.03m <sup>3</sup> )												
Sea dropping of the inner fulfill riprap (0.015-0.03m <sup>3</sup> )												
Land dropping of the filtering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the inner fulfill riprap (0.05-0.08 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the covering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
TTP production (64 ton)												
Tripod production (27 ton)												
TTP foundation (64 ton)												
Tripod foundation (27 ton)												

Fig. 9 The monthly progress of breakwater construction at Sogipo port (1990)

Work class	Month											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Land dropping of the inner fulfill riprap (0.015-0.03m <sup>3</sup> )												
Sea dropping of the inner fulfill riprap (0.015-0.03m <sup>3</sup> )												
Land dropping of the filtering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
Sea dropping of the filtering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the inner fulfill riprap (0.05-0.08 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the inner fulfill riprap (0.05-0.08 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the filtering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the filtering rock (0.8 m <sup>3</sup> )												
Uniform placing of the filtering rock (1.0 m <sup>3</sup> )												
TTP production												
TTP foundation on the land												
TTP foundation on the sea												
Black production												
Black foundation												
Crown structures concrete												

Fig. 10 The monthly progress of breakwater construction at Cheju port (1990)

그러므로 항만공사시 해양기상 및 파랑의 영향을 크게 받고 있는 경우에는 이러한 계절적인 요인 및 항의 위치에 의한 공사공정기간 및 일수산정에 신중을 기하여야 한다.

Fig. 11 및 Fig. 12는 각각 1990년 및 1991년 중의 TTP 거치작업 공정을 나타낸 것으로 서귀포항에서는 대체로 TTP 거치작업은 7월중에 완료되고 있으나, 제주항에서는 지형특성상 태풍으로부터 차폐되므로 8월~12월중에도 작업이 계속되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13 및 Fig. 14에 나타난 바와 같이 속채움 사석 수중투하의 항에 따른 특성을 살펴보면, 속채움 사석 수중투하는 서귀포항에서는 3월, 4월, 5월에, 제주항에서는 6월~7월에 집중되고 있음을 알 수 있다.

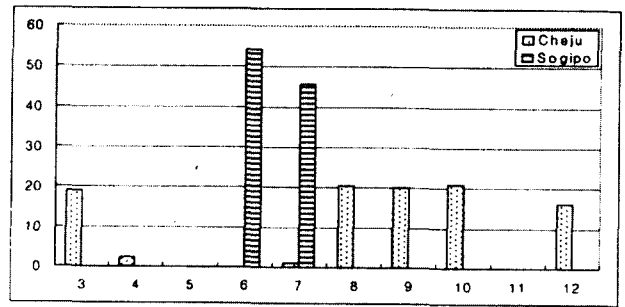


Fig. 11 The foundation of the TTP at Cheju and Sogipo port (1990)

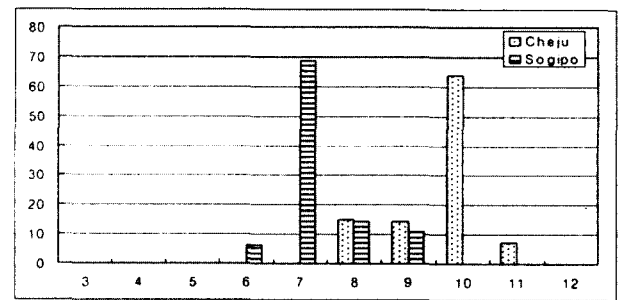


Fig. 12 The foundation of TTP at Cheju and Sogipo port (1991)

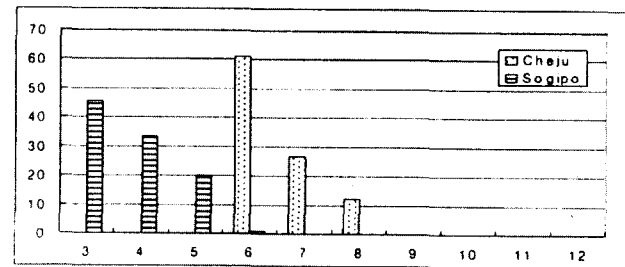


Fig. 13 Sea dropping of the inner fulfill riprap at Cheju and Sogipo port (0.015-0.03 m<sup>3</sup>, 1990)

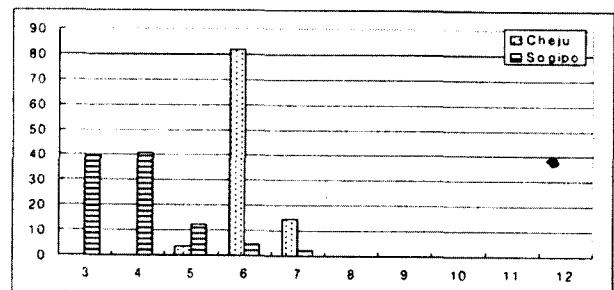


Fig. 14 Sea dropping of the inner fulfill riprap at Cheju and Sogipo port (0.015 - 0.03 m<sup>3</sup>, 1991)

2.5.3 제주해역항만의 피해현황

제주도 북쪽에 위치한 제주항 및 성산포항의 경우에는 Fig. 15와 같은 태풍내습을 대비한 방파제단면을 형성한 상태에서는 피해가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 Fig. 15와 같은 방파제 단면이 태풍내습시 피해를 최소화 할 수 있는 최소안정단면이라 할 수 있다.

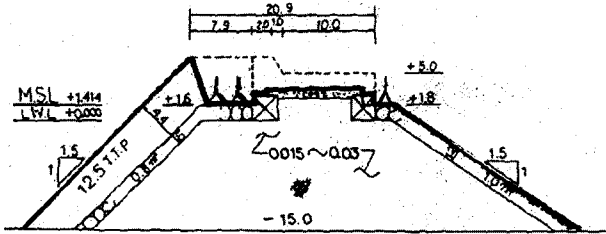


Fig. 15 The minimum stable cross-section against typhoon

주경로인 제주도 남부해역에서 피해가 큰 것으로 나타나고 있다. 이것은 제주해역의 지형특성과 기후특성간에는 밀접한 연관성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 특히, 화순항이나 서귀포항에서는 연속적인 피해가 발생하고 있는데, 이는 방파제 축조시 기초 마운드부가 완전히 완성되지 않은 상태에서 고 파랑이 내습하여 발생한 피해가 대부분이었다. 따라서, 서귀포항의 항만공사 시에 발생하는 태풍에 의한 피해를 방지하기 위해서는 태풍이 내습하는 7월 이전에 안정한 방파제의 최소단면을 완성해야 한다는 것을 알 수 있다.

2.5.4 서귀포항의 가동률 특성

제주해역 항만의 작업가능일수는 제주의 기상조건에 영향을 크게 받고 있으며, 제주해역 항만 가동률 또한 이런 기후특성과 밀접한 연관성을 가지고 있을 것으로 판단되므로 이를 규명하기 위하여 1998년 1년 간의 제주지방 해양수산청의 서귀포 출장소의 자료를 기초로 항만가동율을 1일 16시간을 기준으로 산정하여 서귀포항의 월별 가동율을 나타낸 것이 Fig. 17이다.

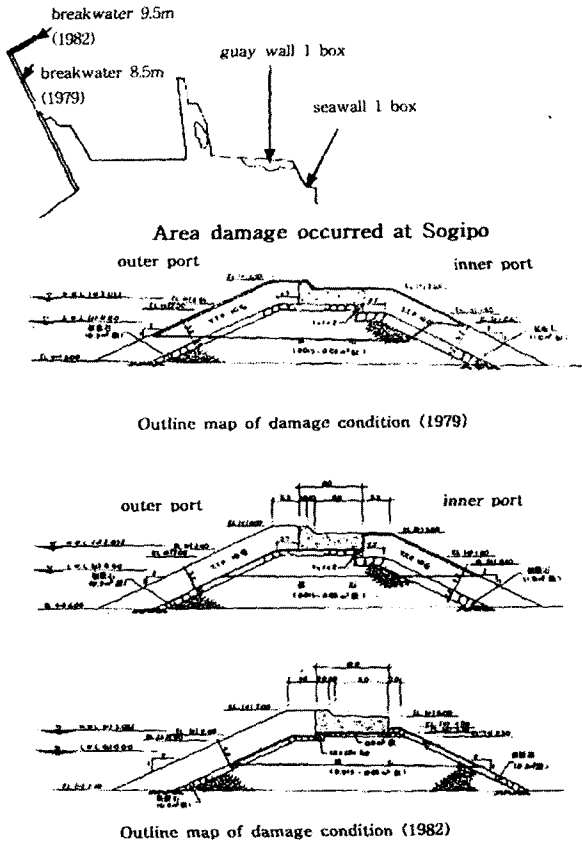


Fig. 16 The damaged cross-section by typhoons at Sogipo, 1979 and 1982

그리고 Fig. 16은 제주해역의 항만 피해현황을 파악하기 위하여 제주지방 해양수산청 재해대장(1975~1999)에서 비교적 큰 피해가 발생한 단면을 나타낸 것으로 항만구조물의 피해는 대부분 태풍에 의하여 발생하고 있으며, 주로 태풍의

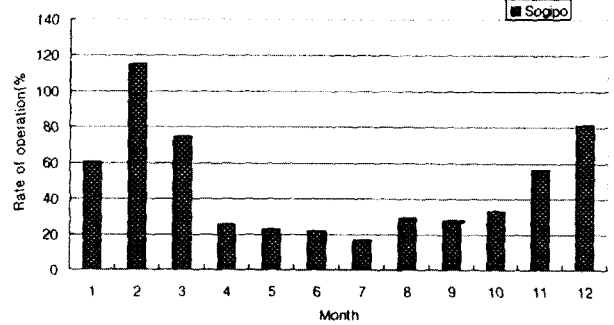


Fig. 17 Monthly variation of rate of operation at Sogipo port (1998)



Fig. 18 Water welling phenomenon caused by transmitted wave passing through TTP breakwater

서귀포항의 가동율은 12월~3월까지가 가동율이 높게 나타나고 있는데, 이 시기는 제주도의 특산물인 감귤의 출하시기에 해당하며, 서귀포항은 동계에는 북서계절풍에 의한 영향을 거의 받지 않기 때문이다. 그러나 하계에 서귀포항의

월별 가동율은 태풍이 내습하는 하계에 매우 낮게 나타나고 있는데, 이는 화물의 종류 및 출하시기와도 무관하지는 않지만, 기상학적인 요인과 밀접한 연관성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 18은 평상시 서귀포항 내를 사진 촬영하여 나타낸 것으로서 평상시에도 항만작업장에서는 파랑에 의한 양압력에 의하여 물기둥이 치솟는 현상을 볼 수 있는데, 이로 인하여 하역작업에 큰 지장을 주고 있다.

### 2.6 요약

제주도에 위치하고 있는 항만 및 작업일수에 미치는 파랑은 항만의 위치 및 계절에 따른 풍계특성에 의하여 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 따라서, 제주해역 항만공사시의 작업공정은 제주도 북부에 위치한 곳에서(제주 및 성산포) 시공하는 방파제공사(제주해양수산청, 1990~1993)는 북서계절풍이 약해지는 4월부터 공사를 개시하여 7월 중순까지 태풍이 내습해도 피해를 최소화 할 수 있는 Fig. 15와 같은 단면을 완성해야 하며, 잔여공정은 태풍이 내습하지 않는(보통 추석이후)기간부터 북서계절풍이 불기 전인 10월까지 공사를 완료하여야 한다. 반면, 제주도 남부에 위치한 서귀포항(제주해양수산청, 1990~1993)에서는, 북서계절풍이 한라산에 의하여 차단되므로 북서계절풍 발생시기인 10월부터 공사를 조기에 발주하여 익년 7월 중순까지 모든 공정을 완료하여야만 태풍피해를 방지할 수 있다.

## 3. 공정관리용 투과성 방파제의 수리 특성

### 3.1 실험조건 및 방법

서귀포항에서는 전술한 바와 같이 1979년 및 1982년 방파제공사 중에 폭풍이 내습하여 피해가 발생함에 따라 태풍내습시에도 피해가 없고, 장기 계획상 외항개발시 재 사용할 수 있는 구조물로서 TTP를 이용한 임시 방파제가 축조되었다. 그럼에도 불구하고 Fig. 18처럼 파의 양압력에 의해 투과성 구조로 된 물량장에서 물기둥이 치솟아 화물의 하역작업이 불가능한 경우가 발생하므로, 본 연구에서는 TTP만으로 방파제가 설치되어 있는 서귀포 동 방파제를 대상으로 하여 TTP 방파제의 쇄파특성과 쇄파효율을 규명하기 위해 수리모형실험을 실시하였다.

그리고 제주 북쪽 해역의 제주항 및 성산포항 방파제 축조공사시 태풍이 내습하기 전까지 시공하여 태풍의 피해를 줄이고 있는 단면에 대해서 안정성실험을 수행하여 현재 사용하고 있는 단면의 효율성을 규명하고자 한다.

먼저 수리모형 실험에 앞서 상사칙은 Froude 상사칙을 적용하였으며, 차원 해석하여 다음과 같은 영향인자로서 안정성과 투과성을 표현할 수 있다.

$$f_1 = (H, L_0, T, \theta, \mu, \rho_0, g, \alpha, l, e, d, x) \quad (1)$$

여기서,  $H$ : 파고,  $L_0$ : 파장,  $T$ : 주기,  $\alpha$ : 입사파의 파향,  $\mu$ : 점성계수,  $\rho_0$ : 유체의 밀도,  $g$ : 중력가속도,  $\theta$ : 사면경

사,  $l$ : 사석의 대표직경,  $e$ : 공극율,  $d$ : 구조물 전면에서의 수심,  $x$ : 구조물전면으로부터 방파제 후방으로의 길이를 나타낸다.

식 (1)에서  $H, T, \rho_0$  를 반복변수로 하여 버킹검  $\pi$ 정리에 의해 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$f_2 \left( \frac{H}{L_0}, \frac{\nu T}{H^2}, \frac{gT^2}{H}, \frac{l}{H}, \frac{d}{H}, \frac{x}{TVgH}, e, \theta, \alpha \right) = 0 \quad (2)$$

이와 같이 유도된 식 (2)으로부터 투과성방파제의 안정성(柳, 1984; Van der Meer, 1987; Van Danme *et al.*, 1992)에 관한 기본 수리량에 대해 상사할 수 있으므로 원형과 모형간의 상사(Hughes, S., 1993)는 다음과 같다.

$$\left( \frac{H}{L_0} \right)_m = \left( \frac{H}{L_0} \right)_p \quad (3)$$

$$\left( \nu T / H^2 \right)_m = \left( \nu T / H^2 \right)_p \quad (4)$$

$$\left( gT^2 / H \right)_m = \left( gT^2 / H \right)_p \quad (5)$$

$$\left( l / H \right)_m = \left( l / H \right)_p \quad (6)$$

$$\left( d / H \right)_m = \left( d / H \right)_p \quad (7)$$

$$\left( x / TVgH \right)_m = \left( x / TVgH \right)_p \quad (8)$$

$$\left( e \right)_m = \left( e \right)_p \quad (9)$$

$$\left( \theta \right)_m = \left( \theta \right)_p \quad (10)$$

$$\left( \alpha \right)_m = \left( \alpha \right)_p \quad (11)$$

여기서, 식 (4)는 Reynolds number이고, 식 (5)는 Froude number 이다. 이 두 가지를 동시에 만족하는 모형의 축척은 불가능하므로 가장 큰 영향을 미치는 것만을 생각해야 한다. 따라서 일반적으로 파랑에서는 점성의 영향을 무시할 수 있으므로 Reynolds number 는 고려하지 않는다. 그리고 파의 입사각  $\alpha$ 는 구조물에 수직으로 입사하는 것으로 가정하면 무시할 수 있으므로(Bruun, P., 1985). 최종적으로 안정성 ( $N_s$ ) 및 투과계수 ( $K_T$ )에 미치는 영향인자는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_s = f_3 \left( \frac{H}{L_0}, \xi, \frac{gT^2}{H}, \frac{l}{H}, \frac{d}{H}, \frac{v_{\max}}{\sqrt{gH}}, e, \theta \right) \quad (12)$$

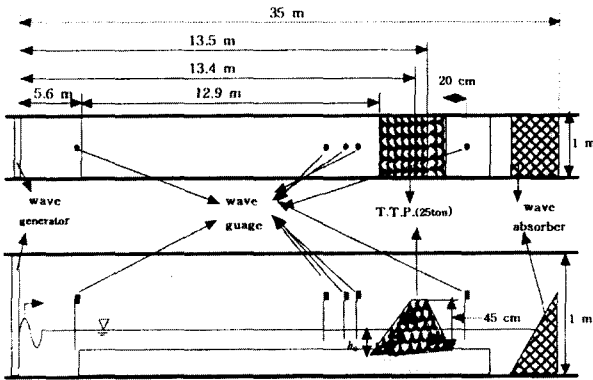
$$K_T = f_4 \left( \frac{H}{L_0}, \xi, \frac{gT^2}{H}, \frac{l}{H}, \frac{d}{H}, \frac{v_{\max}}{\sqrt{gH}}, e, \theta \right) \quad (13)$$

여기서,  $\xi$ : 쇄파지수,  $v_{\max}$ : 수립자의 최대속도를 나타낸다.

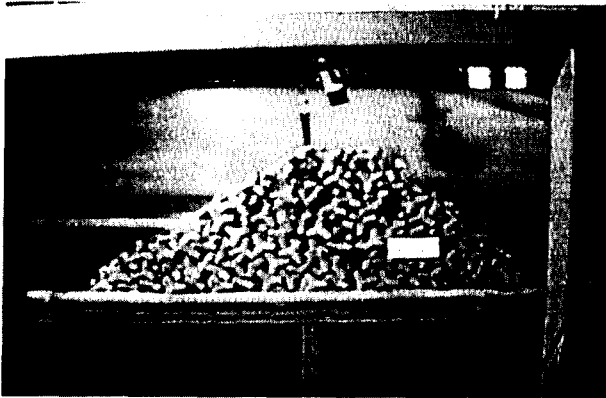
수리모형실험은 길이 35 m, 폭 1 m, 높이 1 m인 2차원 조파수조에서 실시하였다. 자연해빈의 경사는 1 : 40 로 하였으며, 서귀포항 동방파제에서 사용한 것과 같이 TTP만으로 제작하였다. 수리모형의 단면 및 조파장치는 Fig. 19 및 Fig. 20과 같으며, 서귀포항 투과성 TTP 방파제에 대한 수리모형 실험 조건은 Table 6에 나타낸 바와 같다.

**Table 6** Hydraulic model experimental conditions

Terms	Prototype	Scale models 1/80	Materials/ conditions
$W_t$	25 ton	47.4 g	Tetrapod
Breakwatersl ope( $\theta$ )	Sea side(1:2)	1:2	
$h_0$	Composite 10.0 m	Composite 13.0 cm	Bottom slope(1:40)
$h_c$	10.0 m Non-over -topping	13.0 cm Non-over -topping	
T(s)	12.0	0.7 ~ 1.34	Breaker wave
H(cm)	800	2 ~ 10	Breaker wave



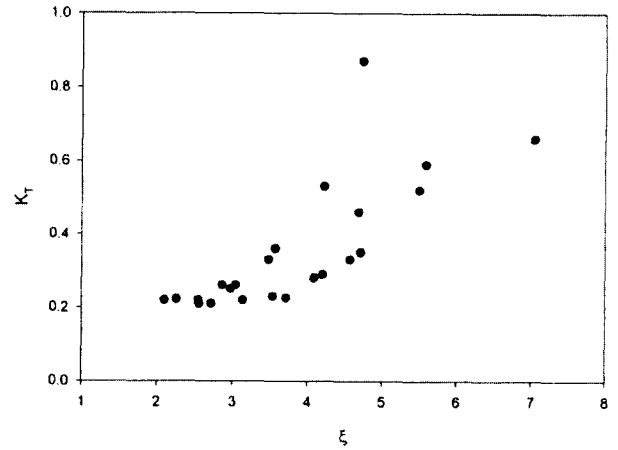
**Fig. 19** Experimental set-up



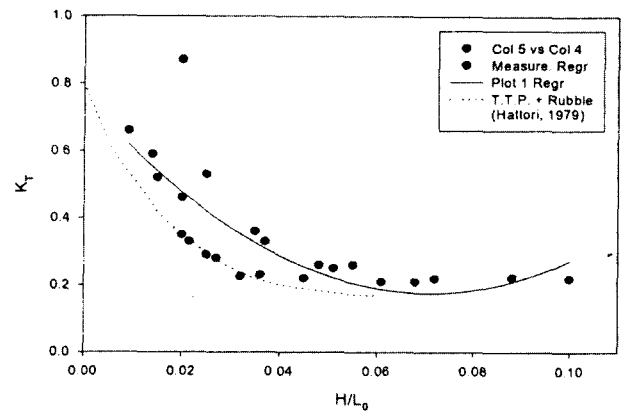
**Fig. 20** The experimental cross-section of Sogipo breakwater

수리모형실험은 규칙파를 대상으로 하였으며, 구조물 전면에서의 수심은 15 cm 로서 일정하고, 구조물의 경사는 1:2, 1:1.5 인 경우에 대하여 실시하였다. 그리고 방파제를 통과하는 투과파를 측정하기 위해 파고계를 방파제 후면에서 20 cm 떨어진 곳에 설치하였으며, 입사파와 반사파를 분리하기

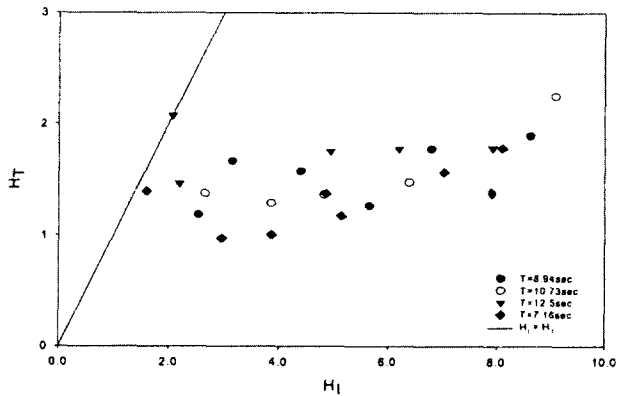
위해서 방파제 전면에 3개의 파고계를 각각 30 cm, 50 cm 간격으로 설치하여 측정하였다. 그 결과를 이용하여 각 변수에 대한 투과계수, 산정투과파고 및 투과파의 초과확률과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 21~Fig. 24이다.



**Fig. 21** Transmission coefficient( $K_T$ ) versus  $\xi$



**Fig. 22** Wave steepness( $H/L_0$ ) versus transmission coeff. ( $K_T$ )



**Fig. 23** Incident wave height ( $H_I$ ) versus transmission wave height ( $H_T$ )



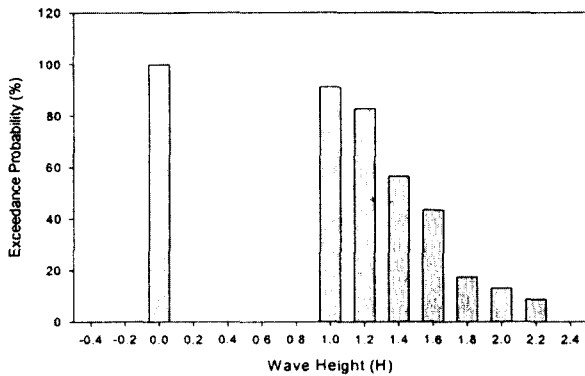


Fig. 24 Exceedance probability (%) versus wave height (H)

### 3.2 수리모형실험결과와 해석

#### 3.2.1 파랑조건에 따른 투과특성

서귀포항의 TTP 방파제의 수리실험결과를 식 (14)로 부터  $\xi$ (surf similarity parameter)와 투과계수(Panagiotis *et al.*, 1987)의 관계로 나타내면 Fig. 21와 같다.

$$\xi = \tan \theta / \sqrt{H/L_0} \quad (14)$$

여기서,  $\xi$  : 쇄파지수 (surf similarity parameter)

$\theta$  : 사면경사 (slope of structure)

$H$  : 입사파고 (incidence wave height)

$L_0$  : 파장 (wave length)

Fig. 21에서 알 수 있는 바와 같이 투과계수( $K_T$ )는  $\xi$ 에 비례하여 증가하나,  $2 < \xi < 3$ 에서는 거의 일정함을 볼 수 있는데 이는 이 영역에서는 plunging 형 쇄파가 발생하므로 쇄파에 의해 에너지가 소산되었기 때문으로 사료된다. 그러나 투과계수( $K_T$ )는 0.2 이상이 되므로 방파제 배후면에 미치는 전달파는 상당히 클 것으로 사료된다.

Fig. 22는 파형경사( $H/L_0$ )와 투과계수( $K_T$ )의 관계를 나타낸 것으로, 점선이 Hattori(1979)의 사석방파제 실험 결과를 나타낸 것이고 점으로 표시한 것이 본 수리실험의 결과이다. 파형경사( $H/L_0$ )가 0.05이하에서는 투과계수( $K_T$ )는 감소하나 0.05 이상에서는 일정하게 나타났다. 여기서, TTP 방파제의 투과계수( $K_T$ )는 일반 사석방파제의 투과계수와 유사한 값을 나타내나 절대치는 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

또한, Fig. 23은 서귀포항에서의 입사파고에 대한 투과파고를 산정하여 나타낸 것으로, 모든 입사파에 대해 항내의 투과파고는 1 m 이상이라는 것을 알 수 있다.

#### 3.2.2 투과파의 초과확률

일반적으로 항내의 정온을 유지하기 위해서는 항내파가 1 m 이하가 되어야 하므로(Goda, 1985), 실험결과에서 TTP 방파제를 투과한 파랑을 각 계급별 파고에 대하여 초과되는 확률을 Fig. 24와 같이 나타내었다. 여기서, 1 m 이상 되는 파가 약 97 % 임으로, 현재 TTP 방파제는 항내의 정온효과

는 떨어진다는 것을 알 수 있다. 그러므로 Fig. 17에서 나타난 바와 같이 평상시에도 TTP 방파제만으로는 정온한 수역을 유지하기 어렵다는 것을 알 수 있으며, 하역작업 및 항만의 가동율에도 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 기상조건에 의해 작업일수가 제한을 받고, 공사계획과 단계별 공사관리에 어려움이 있는 제주해역 항만의 효율적인 작업공정·재해관리 방안을 제시하였다. 또한, 1979년 및 1982년 방파제 축조공사시 연속적인 파괴가 발생한 서귀포항에는 태풍에 의한 피해를 최소화할 수 있고, 장기개발계획과의 연계를 고려한 임시 투과성 방파제에 의한 장기 공정관리의 효율성에 대해 검토하였다.

외항방파제 건설시 재사용할 수 있는 TTP를 이용하여 투과성 방파제가 건설되어 있는 서귀포 동방파제의 TTP 방파제를 대상으로 방파제의 투과성특성에 따른 투과율을 산정하여 항내정온도에 미치는 영향을 규명함으로써 향후 항만개발 계획 시 항만의 가동율을 극대화할 수 있는 최적구조물의 형상에 대해 논의함으로써 개발 단계별 공정관리를 효율적으로 연계시킬 수 있는 기초자료를 마련하였다.

제주도에 위치하고 있는 항만 및 작업일수에 미치는 파랑은 항만의 위치 및 계절에 따른 풍계특성에 의하여 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

따라서 제주해역 항만공사시 태풍에 의한 피해를 방지하기 위하여 작업공정은 제주도 북쪽해역에서 시공중인 방파제 공사(제주항 및 성산포항)는 북서계절풍이 약해지는 4월부터 공사를 개시하여 7월 중순까지 태풍이 내습해도 피해를 최소화할 수 있는 단면을 완성해야 하며, 잔여 공정은 태풍이 내습하지 않는 기간(보통 추석이후)부터 북서계절풍이 불기 전인 10월까지 공사를 완료하는 것이 효율적이라 할 수 있다.

서귀포항에 있어서는 북서계절풍은 제주도 한라산에 의하여 차단되므로 북서계절풍 발생시기인 10월부터 공사를 조기에 발주하여 익년 7월 중순까지 모든 공정을 완료해야만 한다.

서귀포항의 TTP 방파제의 수리모형실험결과,  $2 < \xi < 3$  구간에서는 투과계수( $K_T$ )가 일정하다가  $3 < \xi$  인 구간에서는  $\xi$ 가 증가함에 따라 투과계수( $K_T$ )도 증가하는 경향을 나타내었다.  $2 < \xi < 3$  구간에서는 plunging 쇄파형태를 가지는 파랑조건이므로 쇄파에 의한 영향인 것으로 사료된다. 그러나 모든 실험파랑조건에서 투과계수( $K_T$ )가 0.2 이상이 되어, 방파제 배후면에서의 전달파가 상당히 클 것으로 예상되므로, 장기개발계획과 관련한 임시 파랑제어 구조물로서 투과성방파제를 건설하는 경우에는 항만가동율과 관련된 특성을 충분히 검토할 필요가 있음을 알 수 있었다.

따라서, 수리모형 실험결과로부터 서귀포항의 TTP 방파제만으로는 항내정온도를 유지하기 어려우므로, 장래의 항만개발시 영구적인 항만의 방파제로는 부적합하며, 서귀포항의

가동울 증대를 위해서는 외항방파제의 건설계획 및 공정관리와 체계적으로 연계시켜야 할 것이다.

또한, 제주항 및 성산포항 방파제 건설시에 태풍내습에 대비한 기존의 최소 단면계획으로도 충분한 방재효과를 기대할 수 있으나, 고파랑 내습시에는 상치콘크리트 전방에 위치한 TTP가 파괴될 가능성이 있으므로 파괴를 방지할 수 있는 구조 및 단면관리에 대한, 보다 체계적인 연구·검토가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 제주해양수산청(1975-1999): 항만공사 재해대장.  
 제주해양수산청(1990-1993): 제주항 감독일지.  
 제주해양수산청(1990-1993): 서귀포항 감독일지.  
 제주도지(1993): 민속·언어전승·문화재 第 8編, pp 30~239.  
 제주해안항만청(1994): 제주지방 해운항만청사, pp 19~39.  
 Bruun, P.(1985): Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Problems, Vol. 1.  
 Goda, Y.(1985): Random Seas and Design of Maritime Structures, University Tokyo Press, pp 165~187.  
 Hattori, S. (1975): Coastal development and wave control, Lecture Series on Hydraulic Engineering, 75-B2, Hydraulics Committee, Japan Soc. Civil Engrs., pp. B2-1~B2-24(in Japanese)  
 Hughes, S.(1993): Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, World Scientific. U.S.A., pp 169~236.  
 Panagiotis Scarlatos and Vijay Singh(1987): Long-wave transmission through porous breakwaters, Coastal Eng, 11, pp 141~157.  
 Van Damme, De Rouck and Vermeir D.(1992): Rubble Mound Breakwater Stability Results of In-Situ Measurements, ASCE, pp 1666~1678.  
 Van der Meer(1987): Stability of Breakwater Armour Layers - Design Formulae, Coastal Eng, 11, pp 219~239.  
 海運港灣廳(1994): 濟州地域 港灣 廣域開發 計劃報告書 第2卷, pp 15~36.  
 海運港灣廳(1994): 濟州地域 港灣 廣域開發 計劃報告書 第3卷, pp 50~70.  
 海運港灣廳(1994): 濟州地域 港灣 廣域開發 計劃 報告書 第8卷, pp 24~34.  
 柳青魯(1984): 捨石防波堤の水利學的最適設計に關する基礎的研究, 大阪大學博士論文, pp 6~26.  
 運輸省港灣技術研究所(1973): 波浪に關する水利模型實驗, pp 63~101.

2000년 4월 12일 원고 접수

2000년 6월 29일 수정본 채택