

우리나라 항만 방파제 설계조건의 변화과정 분석

Analysis of Change Process in the Design Conditions of Harbor Breakwaters in Korea

홍근* · 강윤구** · 김홍진*** · 윤한삼**** · 류청로*****

Keun Hong*, Yoon-Koo Kang**, Hong-Jin Kim***, Han-Sam Yoon**** and Cheong-Ro Ryu*****

요지 : 본 연구는 우리나라 방파제의 변천 과정에 대한 자료를 조사 · 정리 · 분석하였다. 그 결과를 요약하면 1) 심해설계파 재산정에 따라 설계파고에 상향되었다. 2) 수심(h)에 따른 상대설계파고($H_{1/3}/h$)의 연도별 변화는 1970년 경 0.5에서 최근에는 0.6~0.7까지 증가하였다. 3) 1999년 이전에는 모든 설계에서 설계조위를 삭망평균만조위(H.W.L.)를 적용하였으나, 1999년 이후부터 설계 · 시공일괄입찰에서 입찰자가 설계조위를 재산정하는 것이 가능해져 상향 적용하는 경향이 발생하였다. 4) 1999년 이전까지는 상대마루높이 α 값이 0.6~0.7 정도로 적용되었으나, 1999년도 이후 설계 · 시공된 방파제에서는 0.8~1.26 정도로 상향되었다.

핵심용어 : 항만방파제, 설계파고, 마루높이, 변화과정

Abstract : We studied the change process in the design parameters (conditions) of structural sections of vertical/slope breakwaters in Korea over the long term based on an analytical review of the latest design recommendations. This study found the following. 1) Design wave heights have increased gradually with the increase in the wave height of deep sea waves. 2) The relative design wave height ($H_{1/3}/h$) changed from 0.5 in the 1970s to 0.6~0.7 today. This means that design wave heights are overestimated compared with the water depth. 3) Before 1999, the design water level was based on high water during an average spring tide, but this has been increased since 2000 because of additional consideration of anomalous sea levels. 4) Before 1999, the relative crest heights of the investigated breakwaters was 0.6~0.7, but after 1999 this increased to a mean of 1.0 and maximum of 1.26.

Keywords : harbor breakwater, design wave height, crest height, change process

1. 서 론

최근 해양에서는 지구온난화에 따른 해수면 상승과 태풍 대형화 등으로 인해 설계 외력의 변동성이 커지는 등 항만구조물의 설계 · 유지관리 그리고 장기적인 이용성 확보 등에 있어서 불확정 요소가 점점 커지고 있다.

특히 방파제는 그 어떤 항만구조물 보다 오랜 기간 유지 · 운용되는 구조물로서 장기간의 변동성 속에서도 그 고유기능이 정지되지 않고 유지되어야 한다. 방파제는 항내 정온도 확보 및 시설물 보호를 위해 최외곽에서 파랑을 막는 구조물로서 항만건설시 가장 먼저 시공되며, 그 과정에서 변수도 가장 많은 구조물이다. 아울러 방파제 공사는 비용과 시간이 가장 많이 소요된다(Kang, 2012).

우리나라 방파제의 변천에 관한 자료는 항만구조물의 발전

사 및 최신 개발동향(Kang et al., 2005)과 최근 항만구조물의 발전상의 문제점 고찰(Kang, 2012)에서 정리된 바 있고, 항만시설물의 단면에 대한 자료집으로는 “전국항만구조물도집”(해운항만청, 1992)이 유일한 자료이다. 하지만 방파제 도입 당시부터 최근까지의 단면 구조형식 등에 대한 체계적인 정리는 찾아 볼 수 없는 실정이다. 근대적인 방파제 건설 역사가 80년이 넘는 이 시점에서 방파제 설계 · 건설과 관련된 과거 문헌 등 자료의 체계적인 조사 · 분석이 중요하다고 할 수 있다. 또한 과거 건설된 방파제에 대한 피해나 보강 사례를 통해 현재 어떤 방파제 형식으로 건설되고, 향후 어떤 방향으로 변화가야 하는지에 대해 충분한 검토가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 방파제 도입 당시부터 최근까지의 단면 구조형식 등 방파제 변천 역사에 대한 자료를 수집 · 정리하고, 현재 우리나라 방파제의 형식변화 상에서 나

*(주)삼영기술(Port & Harbor Division, Samyoung Technology Co., Ltd.)

**세광종합기술단(Coastal and Harbor Disaster Prevention Research Institute, Sekwang Engineering Consultants Co., Ltd.)

***부경대학교 수산과학기술센터(Fisheries Science & Technology Center, Pukyong National University)

****부경대학교 생태공학과(Corresponding author: Han-Sam Yoon, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea, Tel: +82-51-629-7375, Fax: +82-51-629-7074, yoonhans@pknu.ac.kr)

*****부경대학교 해양공학과(Department of Ocean Engineering, Pukyong National University)

Table 1. Status of breakwaters in Korea in 2013

Division		Total		Completion (m)			Under construction (m)		
		Port (EA)	Length (m)	Mound	Caisson	Caisson w/ dissipating blocks	Mound	Caisson	Caisson w/ dissipating blocks
Port	Trade	31	62,170(72.5%)	37,204	18,794	1,905	452	3,815	-
	Coast	29	22,151(25.9%)	21,361	-	-	-	790	-
	Other	1	1,376(1.6%)	-	-	-	-	1,076	300
	Sum	61	85,697		79,264			6,433	

타나는 특징을 분석·고찰하고자 하였다. 이를 통해 최근 우리나라 방파제 설계에서 나타나는 문제점과 향후 보다 합리적인 설계방향을 모색하고자 하였다.

2. 자료 조사 및 분석 방법

2.1 국내 방파제 현황

우리나라 방파제는 61개 항만에 총 85,697 m가 축조되었거나 축조 중이다(2013년 기준). 이중 방파제 총연장으로 보면 규모가 큰 무역항이 72.5%를 차지하고 있으며, 특징적인 것은 경사식이나 소파블록 피복식의 비율이 매우 적고 대부분이 혼성식이다(Table 1). Fig. 1에 외곽시설인 주요 방파제의 모식도를 제시하였다.

2.2 자료 수집 및 분석 방법

본 연구에서는 우리나라에서 본격적인 방파제 건설이 시작된 1910년대부터 항만 및 어항 중에서 대표적인 동해안 8개 항, 남해안 4개항, 서해안 3개항의 방파제에 대한 자료를 수집·정리하였다. 과거 방파제 설계·건설에 관한 자료의 발굴·조사는 다음 4가지 방법을 통해서 획득하였다.

① 일제강점기 건설된 방파제는 갯수가 적고 자료 수집이 쉽지 않았으나 국가기록원에 보관된 조선총독부의 각 항만별 설계도서 원도와 군사관련 회계서류로부터 각 항만의 설계 관련 자료를 발굴하였다.

② 방파제 설계인자와 구조형식의 변천에 대한 자료는 1972년부터 건설부, 해운항만청, 해양수산부에서 수집한 각종 설계도서와 자료를 사용하였다.

③ 설계보고서 자료는 해양수산부, 각 지방 해양항만청, 서해어업관리단, 국토교통부 자료실 등에서 설계도서와 기본 및 실시설계 용역보고서, 기초자료조사보고서와 설계·시공일괄 입찰(Turn-key)의 기본설계 또는 실시설계 자료를 확보하였다.

④ 항만건설사, 한국어항사, 각 사업의 공사지, 한국항만협회의 협회지 등에서 정리한 문헌을 통하여 관련 자료를 확보하였다.

본 연구에서는 이상에서 수집된 자료를 바탕으로 국내 항만 방파제의 설계과고, 설계조위, 마루높이, 상치구조물 형상, 단면형식 등 방파제 설계 조건의 변화를 중심으로 분석하였다. 수집된 자료에 대한 보다 자세한 사항에 대해서는 Hong (2015)의 문헌을 참조하기 바란다.

3. 결과 분석 및 고찰

3.1 방파제 설계조건 변화 이력

우리나라 동해·남해·서해의 주요 항만 및 어항의 설계과고 및 상대마루높이를 정리한 결과는 Table 2~Table 4와 같다.

이를 항만별로 동일 사업의 방파제 구간에서 복수의 구조형식이 적용된 경우는 대표 구간의 형식을 기준으로 구분하였다. 이러한 경우 전체 대상 건수는 45건으로 이 중에서 절반정도가 1999년 이후 15년 사이에 설계·건설된 것이고, 신규로 축조된 것과 보강된 사업의 비율은 7:3 정도에 해당한다.

특히 보강된 사업 13건 중에서 소파블록을 이용하여 보강하는 경사식과 소파블록피복 케이슨으로의 보강이 11건으로 대부분을 차지하며, 케이슨을 이용한 혼성식으로의 보강은 2건에 불과하였다. 이중 대표적으로 동해안 묵호항의 방파제 단면의 변화과정을 살펴보면 Fig. 2와 같은데, 1929년 사석 방파제 건설과 아울러 케이슨이 도입된 1937년 이후 현재까지 총 3차의 보강공사가 이루어졌음을 알 수 있다.

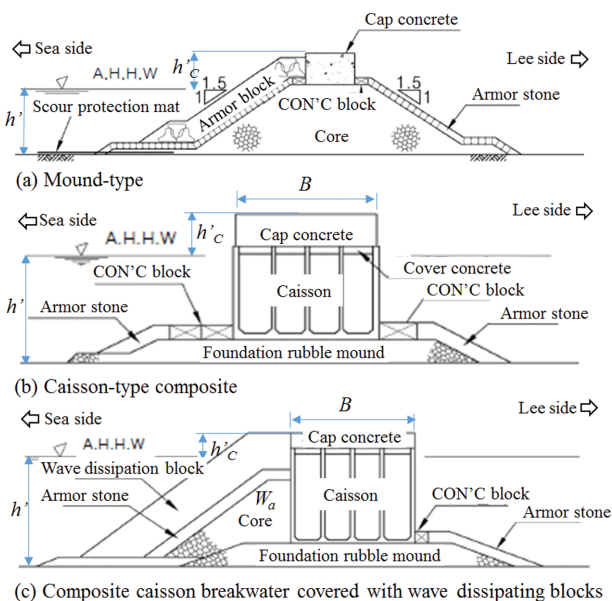


Fig. 1. Types of main breakwater structure (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2014).

Table 2. Comparison of the design parameters and relative crest height at eight major ports on the east coast

			Design conditions							h'_c (m)	α (= $h'_c/H_{1/3}$)	$\nabla Z(b-a)$ (m)
Port and structure		Year	H_o (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	h' (DL., m)	$Z(a)$ (m)	$\Delta Z(b)$ (m)				
Mukho	B.W	1937~1945	-	(4.0)	-	(-)8.0	0.2	0.2	2.7	0.62	0	
	B.W rein. (1)	1957~1960		(4.0)	-	-	-	-	-	-	-	
	B.W rein. (2)	1976~1978	8.4	7.1	-	(-)8.0	0.2	0.5	5.0	0.61	0.3	
	B.W rein. (3)	1983~1986	8.4	7.1	11.1	(-)8.0	0.2	0.5	5.0	0.61	0.3	
Donghae	North B.W	1974~1980	8.4	7.5	14.0	(-)18	0.36	0.36	5.5	0.7	0	
	B.W rein. (1)	1983~1986	8.4	7.5	14.0	(-)12.0	0.36	0.36	5.5	0.68	0	
	B.W rein. (2)	1988~1991	8.4	8.4	13.0	(-)18	0.36	0.36	9.0	1.02	0	
Hosan	South B.W	2013	9.39	7.6	12.14	(-)29.0	0.37	1.00	9.0	1.05	0.63	
Sadong	B.W	2014~	10.81	10.3	13.84	(-)27.0	0.44	1.21	14.0	1.24	0.77	
Pohang new	Inner B.W	1968~1973	5.4	4.0	12.0	(-)9.0	0.2	0.2	0.3	0.70	0	
	Outer B.W	1974~	8.2	5.0	12.0	(-)14.0	0.39	0.39	6.0	1.12	0	
Ulsan	East B.W	1989~1991	9.0	6.7	13.0	(-)21.5	0.55	0.55	6.5	0.89	0	
Yeongil-man	North B.W (1)	1997~2005	7.0	7.4	12.0	(-)20.5	0.25	0.25	7.5	0.98	0	
	North B.W (1) rein.	2006	8.65	9.8	12.5	(-)20.5	0.40	1.05	10.5	0.96	0.65	
	North B.W (2-1)	2010~2012	9.1	8.0	12.9	(-)23.0	0.40	1.05	10.0	1.12	0.65	
	South B.W (1-1)	2011~	8.65	7.0	13.0	(-)23.0	0.4	1.18	9.5	1.19	0.78	
	South B.W (1-2)	2011~	8.65	7.0	12.55	(-)22.0	0.4	1.18	9.0	1.12	0.78	
Ulsan new	B.W (1-1)	1999~2003	7.9	6.02	15.0	20.0	0.56	1.05	7.0	0.99	0.49	
	South B.W (1)	2004~2008	7.9	6.5	11.0	(-)26.0	0.66	1.20	8.0	1.05	0.54	
	South B.W (2)	2004~2009	7.9	6.5	11.0	(-)26.0	0.66	1.20	8.5	1.12	0.54	
	North B.W (1)	2008~2011	10.31	8.7	12.8	(-)20.0	0.66	1.36	9.1	0.89	0.70	
	North B.W (2)	2009~2012	10.44	8.6	12.9	(-)20.0	0.66	1.36	9.5	0.95	0.70	
	North B.W (3)	2011~2014	10.76	8.6	13.3	(-)20.0	0.66	1.36	10.0	1.00	0.70	
	South B.W (2-1)	2014~	12.53	11.1	14.1	(-)27.0	0.66	1.81	13.1	1.02	1.15	

Note: rein. mean reinforcement of damaged breakwater (B.W), H_o Deep sea wave height, $H_{1/3}$ significant wave height, $T_{1/3}$ significant wave period, h' water depth ($=h + \Delta Z$), Z High water ordinary spring tide (HWL), ΔZ Maximum deviation of the water level (DHWL), h'_c crest height ($=\text{crest} - h$).

Table 3. Comparison of the design parameters and relative crest height at four major ports on the south coast

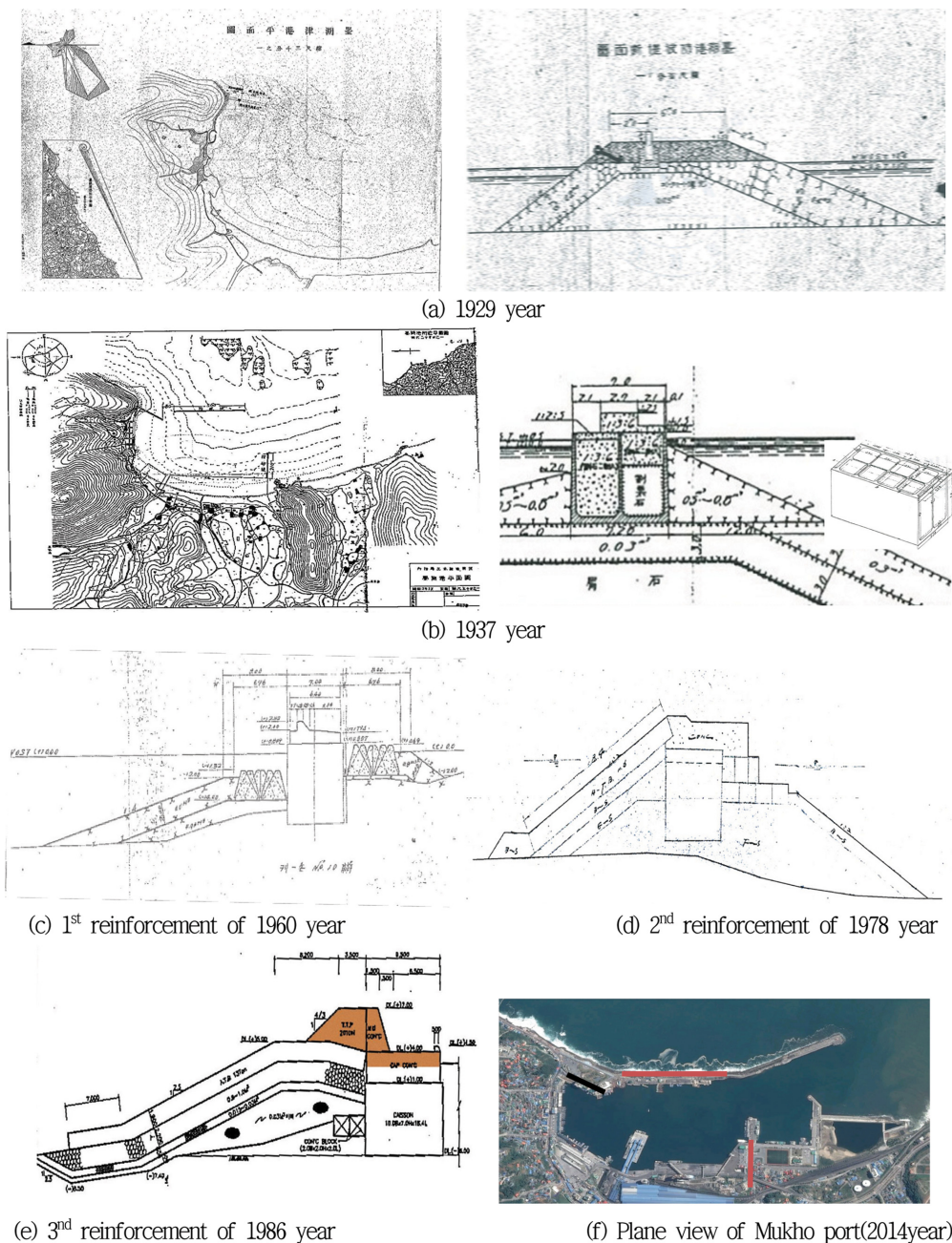
			Design conditions						h'_c (m)	α ($= h'_c/H_{1/3}$)	$\nabla Z(b-a)$ (m)
Port and structure		Year	H_o (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	h' (DL., m)	$Z(a)$ (m)	$\Delta Z(b)$ (m)			
Busan	North B.W	1919~1940	-	(2.4)	-	(-)10.0	(1.36)	(1.36)	2.9	(0.65)	0
	Gamcheon East B.W	1979~1985	8.47	5.8	12.0	(-)16.0	1.22	1.22	5.0	0.65	0
	Gamcheon West B.W	1985~1991	10.0	5.8	12.0	(-)17.0	1.22	1.22	6.0	0.82	0
	Jodo B.W	1986~1989	10.0	6.7	15.0	(-)23.0	1.50	1.50	6.0	0.67	0
	Orykdo B.W	1987~1991	10.0	7.4	15.0	(-)22.0	1.5	1.50	6.0	0.61	0
	Orykdo B.W rein. (1)	2001~2004	10.0	7.4	15.0	(-)22.0	1.5	1.5	10.5	1.20	0
	Gamcheon South B.W	2011~2013	13.66	12.1	16.44	(-)19.0	1.44	2.11	11.2	0.75	0.67
	Gamcheon East B.W. rein.	2011~2013	13.66	10.3	16.44	(-)16.0	1.44	2.11	9.5	0.72	0.67
	Gamcheon West B.W. rein.	2011~2013	13.66	11.1	16.44	(-)17.0	1.44	2.11	10.0	0.71	0.67
	Jodo B.W rein.	2014~	13.66	10.8	16.43	(-)22.5	1.44	2.33	9.0	0.60	0.89
Orykdo B.W rein. (2)	2014~	13.66	11.2	16.43	(-)22.0	1.44	2.54	10.5	0.70	1.10	
Jeju	West B.W	2001~2008	7.0	7.3	11.0	(-)22.3	2.93	3.83	10.8	0.95	0.9
Seogwi-po	B.W	1993~2001	10.0	9.3	-	(-)14.0	3.16	3.16	8.5	0.57	0
	B.W rein. (1)	2002~2007	10.9	9.3	-	(-)14.0	3.16	3.16	15.0	1.27	0
	B.W rein. (2)	2013~	10.8	11.0	14.9	(-)14.0	3.16	4.30	17.0	1.15	1.14
Gang-jeong	South B.W	2008~	12.26	11.5	15.2	(-)22.7	3.16	4.04	18.0	1.21	0.88

1999년의 경우 공사 계약제도의 변경에 의한 설계 · 시공 일괄입찰의 도입 시점으로 우리나라에서의 기존 방파제의 설

계 특징이 유럽 · 일본의 변화 동향과 상당히 다른 방향의 변화가 보인다(Hong, 2015).

Table 4. Comparison of the design parameters and relative crest height of three major ports on the west coast

Port and structure			Design conditions						h'_c (m)	α ($= h'_c/H_{1/3}$)	$\nabla Z(b-a)$ (m)
			H_o (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	h' (DL., m)	$Z(a)$ (m)	$\Delta Z(b)$ (m)			
Gageodo	B.W	1979	7.1	4.7	12.0	(-)22.0	3.22	3.22	6.5	0.7	0
	B.W	1984	7.2	7.0	12.0	(-)22.0	3.22	3.22	8.4	0.74	0
	B.W	1986	9.0	8.3	13.0	(-)22.0	3.64	3.64	10.0	0.76	0
	B.W rein.	2001	8.9	8.3	13.0	(-)25.0	3.75	3.75	10.0	0.75	0
	B.W rein.	2012	11.1	12.5	14.0	(-)32.0	2.82	3.50	13.5	0.8	0.68
Hongdo	B.W (1)	1998	7.6	6.5	-	(-)18.0	3.32	3.32	8.0	0.72	0
	B.W rein.	2012~	10.1	8.2	-	(-)18.0	3.36	4.28	11.5	0.88	0.92
	B.W (2) rein.	2013~	11.85	9.6	13.85	(-)15.3	3.46	5.11	14.7	1.00	1.65
Saeman-geum	B.W (1-1)	2012~	6.48	3.9	12.61	(-)19.5	7.41	8.56	13.5	1.26	1.15
	B.W (1-2)	2012~	6.48	4.9	11.77	(-)15.5	7.41	8.46	12.5	0.82	1.05

**Fig. 2.** Change in the cross-section of the breakwaters at the port of Mukho.

먼저 1999년 이전의 경우 우리나라 방파제 도입기인 일제 강점기에 건설된 방파제 자료 7건과 공사 관계철 등을 통해 살펴보면 방파제 건설 초기에는 방파제의 가장 기본 형식인 사석을 이용한 경사식(예, 목호항 방파제)과 블록을 이용한 혼성식(예, 부산항 북항 방파제)이 축조되었다. 또한 방파제의 기술발전 과정 중의 하나인 시공 장비·공법의 발전 속에서 다음과 같이 소파블록과 케이슨의 규모의 증가를 확인 할 수 있다. 1963년에 목호항 방파제에서 소파블록 A.T.B(11.6 ton 급)이 최초로 적용되었다. 이때 이용한 장비는 일반적으로 1970년도까지는 20 ton급이 한계였으나, 그 후 대형 해상장비가 도입되면서 소파블록의 적용 중량도 증가하여 2001년에 가거도항에서 CUBE 108 ton급이 적용되었고, 그 이후 서귀포항과 부산항 조도·오륙도 방파제 등에서 100 ton급의 소파블록 적용이 일반화되었다.

다음으로 1999년 이후의 경우에는 방파제 단면의 구조형식의 변화(슬릿케이슨식의 형식 다양화), 설계파고 및 설계조위의 상향 적용, 마루높이의 상향 적용, 상치콘크리트의 형상 변화 등으로 인해 기존 방파제의 설계 특징이 달라짐을 살펴

볼 수 있다.

3.2 설계파고

Fig. 3~Fig. 6은 각 항만별 방파제에 대한 연도별 설계파고의 변화를 조사·정리한 것이다. 예로 들어 가거도항 방파제는 1979년 $H_{1/3} = 4.7$ m에서 2012년 $H_{1/3} = 12.5$ m로 증가한 것으로 나타났다. 항만구조물의 설계·시공일괄입찰에서 입찰자가 설계파를 재산정하여 조정할 수 있어서 1999년 이후 설계에서는 발주자가 제시한 설계파고와 동일하거나 상향된 것이 특징이라 할 수 있다.

결과적으로 설계파고의 평균증가는 23년 동안 73% 증가했고, 최대 2.6배인 약 7.8 m의 차이를 보이고 있다. 이와 같이 설계파고는 최근에 계속하여 상향 적용되고 있는 것으로 나타났다. 연도별 설계파고의 변화 정도를 살펴보면 설계파고는 부산항으로부터 남해안을 중심으로 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다(Fig. 6).

최근 방파제 설계시 심해설계파고는 한국해양연구원(2005)의 자료를 기준으로 하며 이를 이용하여 천해역의 설계파고

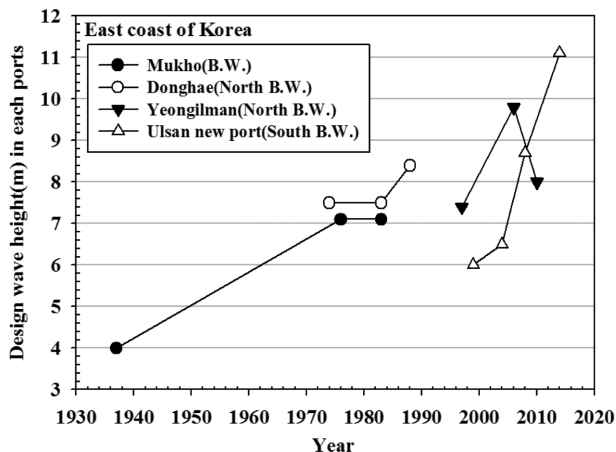


Fig. 3. Change in the design wave height of the breakwaters at each port on the east coast.

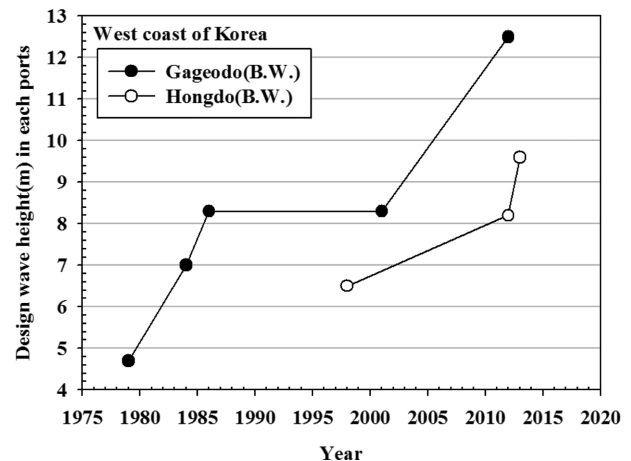


Fig. 5. Change in the design wave height of the breakwaters at each port on the west coast.

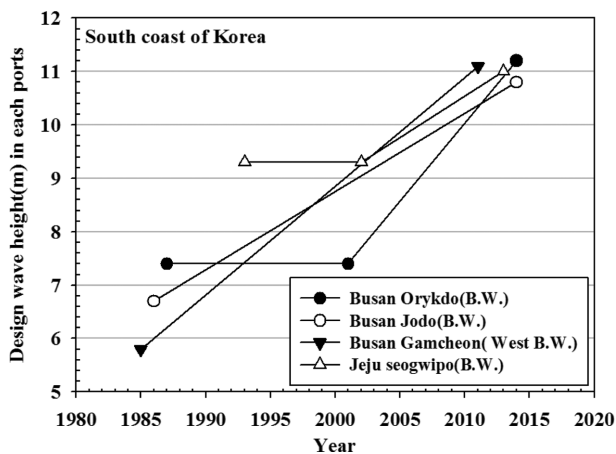


Fig. 4. Change in the design wave height of the breakwaters at each port on the south coast.

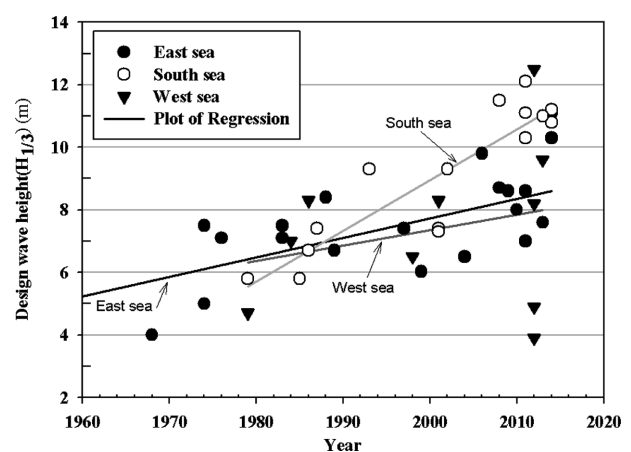


Fig. 6. Change in the design wave height of the breakwaters at each port in Korea.

를 산정하여 설계에 적용하고 있다. 현재까지 정부 차원에서 발표한 가장 최근 심해설계파 자료로서 모든 항만 구조물의 심해설계파를 산출하는 기본 자료라 할 수 있으나, 2003년 태풍(매미)의 이상 파랑을 제외하고 2002년도까지의 자료를 기준으로 산정된 결과이다(Hong, 2015).

하지만 최근 방파제 설계에 적용되는 각 항만의 심해설계파고의 적용사례를 살펴보면 2002년 심해설계파 이후의 파랑내습 자료를 추가 삽입하여 심해설계파를 재추산함으로써 설계파가 상향되는 경향이 있고, 이로 인해 방파제의 마루높이가 크게는 약 25% 정도 높게 설계되는 결과를 가져오고 있다. 이러한 설계파고와 마루높이 상향적용 현상은 대안/터키 설계뿐만 아니라 정부에서 시행하고 있는 설계용역에서도 재연되고 있다. 즉, 2005년도에 한국해양연구원이 발표한 심해설계파 자료는(당초 해양수산부가 목적으로 하였던 심해설계파) 기준으로서 그 기능을 일부 상실한 것으로 판단된다(Hong, 2015).

Fig. 7은 각 해역별로 설계파에 대한 파형경사($H_{1/3}/L_0$)의 연도별 변화를 나타낸 것이다. 파형경사는 1970년대까지는 0.02~0.025 정도로 변화가 없었으나 그 이후부터 증가하기 시

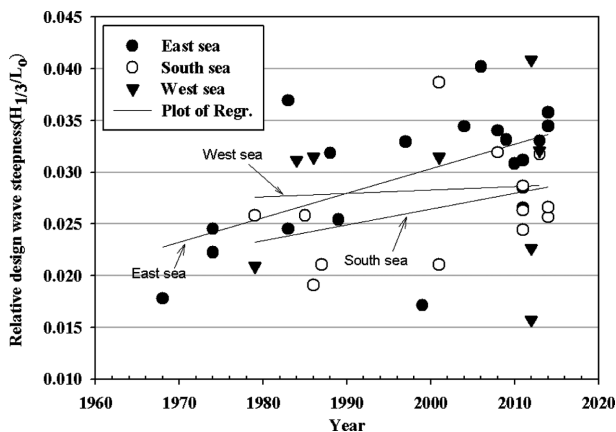


Fig. 7. Change in the relative wave steepness ($H_{1/3}/L_0$) used to design the breakwaters at major ports in Korea.

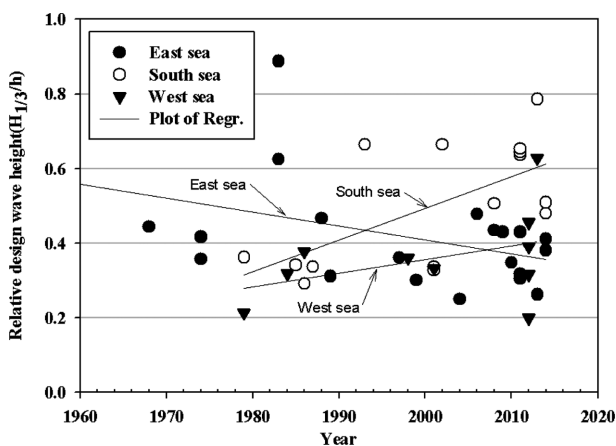


Fig. 8. Change in the relative design wave height ($H_{1/3}/h$) of the breakwaters at major ports in Korea.

작하여 최근에는 0.03~0.35로 약 50%까지 증가되는 현상을 보이고 있다. 이는 설계파가 주기에 비하여 파고가 높게 적용되고 있음을 보여주는 것이다.

Fig. 8은 각 해역별로 수심에 따른 상대설계파고($H_{1/3}/h$)의 연도별 변화를 분석한 결과이다. 전반적으로 상대설계파고는 0.2~0.7의 범위에 분포하고 있으며 해역별로 차이를 보이고 있으나, 서해안과 남해안은 다소 증가하는 경향을, 동해안은 연도별로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 방파제의 설치 수심의 증가에 비하여 동해안은 설계파고가 낮게, 다른 두 해역은 상대적으로 높게 적용되는 경우가 많음을 보여주고 있다.

3.3 설계조위

항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2017)에 의하면 항만 시설의 구조 설정 및 안전 검토에 사용되는 조위는 천문조와 폭풍해일, 지진해일 등에 의한 이상조위의 실측값 또는 추산치에 기초하여 정하는 것으로 구조물이 가장 위험하게 되는 조위로 정하는 것을 원칙으로 하고 있다. 폭풍해일 대책에 대한 설계조위는 첫째, 기왕고극조위 또는 설계자의 판단에 의하여 약간의 여유를 더한 조위, 둘째, 기왕 이상조위의 발생 확률곡선을 산정하고 외삽법으로 구한 어떤 재현년도(예: 50년 등)의 조위, 셋째, 해일 수치모형실험 등에 의해 해일고를 추산하는 경우는 약최고고조위에 해일고를 더한 조위, 넷째, 이상고조위의 발생확률과 각 조위에 대한 배후지의 피해액 및 해일 대책시설의 건설비를 감안하여 결정하도록 되어 있다.

그렇지만 방파제의 경우는 외곽시설로서 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2017)에 따르면 '이상고조의 영향을 고려할 필요가 없는 항만에서는 삭망평균 만·간조면을, 이상고조의 영향을 고려할 필요가 있는 항만에서는 삭망평균 만·간조면에 이상고조 등 조위편차를 가감한 기준면'으로 명기하고 있으며 일반적인 항만구조물에 비해 간단히 산정가능하다.

Table 2~Table 4의 주요 항만 및 어항 방파제에 적용된 설계조위는 삭망평균만조위(H.W.L.)와 설계조위(D.H.W.L.)로 구

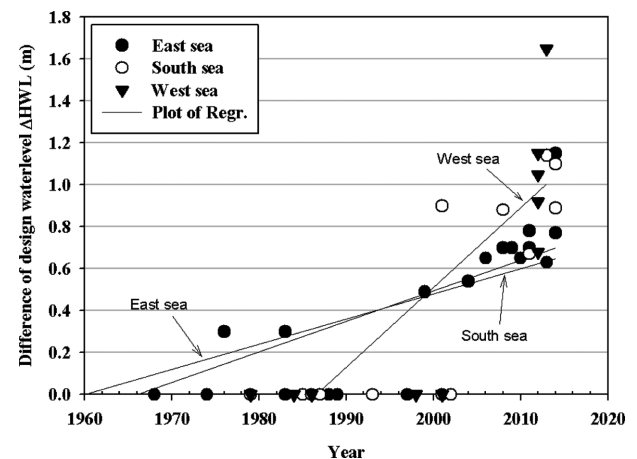


Fig. 9. Change in the difference in the design water level of the breakwaters at major ports in Korea.

분 후 조위의 차(ΔH_{WL})를 산정하여 Fig. 9와 같이 나타내었다. 그 결과 1999년 이전의 경우에는 대부분의 설계에서 삭망평균만조위를 적용하였으나, 1999년 이후에는 삭망평균만조위보다 큰 조위를 적용하고 있는 것을 알 수 있다. 각 항별 연도에 따른 조위의 차(ΔH_{WL})는 28개 사업에서 평균 0.79 m 상향 적용되었으며, 최대 1.65 m 상향 적용된 것으로 조사되었다.

3.4 마루높이

방파제 단면형식을 결정함에 있어서 마루높이(h'_c)를 우선 선정한다. 이 경우 심해설계파를 이용하여 추산된 설계파고를 반영하며, 방파제 단면의 마루높이는 상대마루높이($h'_c/H_{1/3}$)로 환산된다. 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2017)에 의하면 마루높이는 설계조위에 안정성 검토를 위한 설계 유의파고($H_{1/3}$)의 0.6배 이상의 적절한 높이로 하는 것이 표준이다. 이 경우 적절한 높이란 항내 수역의 정온도, 항만시설의 보전 등을 감안하여 결정한다.

Table 2~Table 4의 주요 항만 및 어항 방파제에 적용된 상대마루높이의 변화 경향을 Fig. 10에 나타내었다. 그 결과 방파제의 상대마루높이는 1999년 이전까지는 0.6~0.7을 유지하였다. 다만 방파제가 보강인 경우이거나 내항 측 계류시설의 안정성 확보를 위해 월파방지 대책으로 마루높이를 높게 한 경우는 상대마루높이가 다소 높게 나타났다. 해역별로는 대부분의 사업이 동해안에서 많이 시행되었으며, 해역별로 상대마루높이는 지속적으로 증가하고 있는 것으로 판단된다.

그러나 1999년 이후부터 신항만의 대수심 방파제에 대해 입찰방법이 대안입찰이나 설계시공일괄입찰이 시행되면서 방

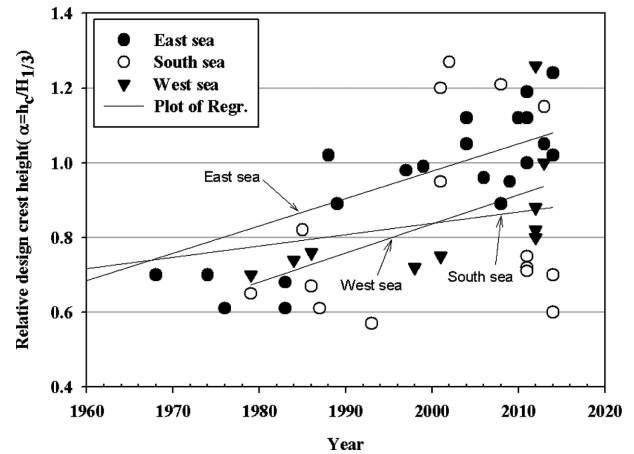


Fig. 10. Change in the $h'_c/H_{1/3}$ of the breakwaters at major ports in Korea.

파제의 상대마루높이가 높게 나타나 평균 1.0 이상, 최대 1.26 까지 상향되었음을 알 수 있다. 즉, 상대마루높이의 주요 증가 요인으로는 대안턴키시행(설계파, 조위 상향)과 더불어 방파제 고유의 기능에서 방파제 내측에 접안시설 설치, 친수시설로의 이용 등의 부가적인 기능을 부여하는 기능복합화로 구분할 수 있다.

3.5 상치구조물

1950년 이전의 소규모 항만과 어항의 경우 사석식 방파제에서 상부시설은 사석과 사석사이에 콘크리트로 채우는 충전 콘크리트로 시공한 자료로 조사되었다. 1960년도 이후의 사석식 방파제에도 상치콘크리트가 시공되었다.

Table 5. Dimensions and types of structures (cap concrete, parapet, caisson, and mound) used in breakwaters at major ports

Year	Port and structure	Length (m)	Type	B (m)	Parapet		Cap concrete type	Caisson			Mound		Remark
					B' (m)	h (m)		Plane shape	Slit	Cap	Type	W_a (m ³)	
1919	Busan S. B.W	711	Block	7.0	7.0	-	Ver.	-	-	-	Rubble	0.5	-
1935	Busan N. B.W	481	Block	7.0	7.0	-	Ver.	-	-	-	Rubble	0.5	-
1937	Mukho B.W	893	Caisson	7.0	0.8	0.7	Ver.	Straight	None	-	Rubble	0.5	-
1968	Pohang new N. B.W	1,922	Caisson	10.0	10.0	-	Ver.	Straight (323t,726t)	None	-	Rubble	0.5	Bid
1974	Pohang new Outer N. B.W(I)	1,020	Caisson	14.0	14.0	-	Ver.	Straight (1,500t)	None	-	Rubble	0.5	Bid
1976	Pohang new Outer N. B.W(II)	830	Caisson	14.0	1.0	3.5	Nose	-	-	-	Rubble	0.5	-
1974	Donghae N. B.W	1,480	Caisson	20.0	20.0	-	Ver.	Straight (2,076t)	None	-	TTP	5	Bid
1979	Gamcheon E. B.W	500	Caisson	17.0	17.0	-	Ver.	Straight (2,600t)	None	-	TTP	3.2	Bid
1985	Gamcheon W. B.W	650	Caisson	22.0	22.0	-	Ver.	Straight (3,100t)	None	-	TTP		Bid
1986	Jodo B.W	700	Caisson	20.0	2.0	0.8	Ver.	Straight (2,880t)	None	-	TTP	4	Bid

Table 5. Continued

Year	Port and structure	Length (m)	Type	B (m)	Parapet		Cap concrete type	Caisson			Mound		Remark
					B' (m)	h (m)		Plane shape	Slit	Cap	Type	W_a (m ³)	
1987	Orykdo B.W	1,004	Caisson	20.0	2.0	0.8	Ver.	Straight (3,050t)	None	-	TTP	4	Bid
1989	Ulsan E. B.W	650	Caisson	19.0	4.0	4.0	Slope	Straight (3,077t)	None	-	TTP	5	Bid
1997	Yeongilman N. B.W (1)	3,100	Caisson	19.0	19.0	-	Ver.	Straight (1,727t)	None	-	TTP	5	Bid
2001	Jeju W. B.W (1)	505	TTP Caisson	16.5	0.5	4.8	Nose	Straight (4,000t)	Ver. Slit A	Close	TTP	32	Proposal
2001	Jeju W. B.W (2)	920	Caisson	23.5	0.5	5.3	Nose	Straight (4,000t)	Curve Ver. Slit	Close	Block		Proposal
2004	Ulsan new S. B.W (1)	1,000	TTP Caisson	17.0	0.5	3.0	Slope	Curve (4,900t)	Ver. Slit A	Close	Sealock	80	Proposal
2004	Ulsan new S. B.W (2)	1,100	Caisson	15.7	1.0	3.5	Slope	Straight (5,244t)	Ver. Slit A,B	Open	Block	15	T/K
2009	Gangjeong W. B.W	300	Dimple Caisson	25.0	0.5	9.5	Dome	Hexahedron (11,000t)	Ver. Slit A	Close	Dimple	80	T/K
2009	Gangjeong S. B.W	1,196	Caisson	32.0	0.5	13.0	Slope Nose	Projection (15,000t)	Ver. Slit A,B	Open	Block	30	T/K
2008	Ulsan new N. B.W (1)	550	Caisson	21.5	0.5	3.6	Nose	Straight (10,713t)	Hor. Slit A,B	Open	Block	15	Proposal
2009	Ulsan new N. B.W (2)	650	Caisson	21.8	0.5	5.0	Nose	Honeycomb (10,380t) Cylindrical (4,320t)	Hor. Slit A,B Hor. Slit	Open	Block	15	T/K
2010	Yeongilman N. B.W (2-1)	1,025	Caisson	18.0	1.0	5.0	Nose	Oval uneven (11,200t)	Hor. Slit A,B	Open	Block	15	Proposal
2011	Gamcheon S. B.W	350	Caisson	21.1	3.5	5.7	Slope	Straight (8,300t $\frac{1}{11}$)	Hor. Slit A,B	Open	Block	30	T/K
2011	Yeongilman S. B.W (1-1)	800	Caisson	12.2	1.5	1.2	Nose	Oval uneven (7,500t)	Hor. Slit A,B	Open	Block	20	T/K
2011	Yeongilman S. B.W (1-2)	500	Caisson	15.5	0.5	4.0	Nose	Oval uneven (8,000t)	Ver. Slit A,B	Open	Block	30	T/K
2011	Saemangeum B.W (1-1)	231	Caisson	11.6	0.5	3.0	Slope Nose	Oval uneven (4,629t)	Ver. Slit A,B	Open	TTP	16	T/K
2011	Saemangeum B.W (1-2)	434	Caisson	10.0	1.0	3.0	Slope Nose	Oval uneven (5,100t)	Ver. Slit A,B	Open	TTP	20	T/K
2011	Ulsan new S. B.W (3)	1,000	Caisson	16.3	1.0	7.0	Slope Nose	Oval uneven (10,623t)	Hor. Slit A,B	Open	Block	13	T/K
2012	Hosan S. B.W	1,800	Caisson	18.2	0.5	2.8	Nose	Semicircle (9,141t)	Hor. Slit Ver. Slit	Open	Block	20	T/K
2013	Gageodo B.W	375	Caisson Reclamation	11.8	2.0	1.5	Ver.	Straight (9,492t)	Ver. Slit	Open	Cube	108	Bid
2013	Hongdo B.W	150	Caisson	24.4	1.0	8.0	Nose	Oval uneven (9,360t)	Ver. Slit A,B	Open	Block	12	T/K
2014	Ulsan new S. B.W (2-1)	900	Caisson	22.8	1.0	9.1	Slope Nose	Oval uneven (11,300t)	Hor. Slit A,B	Open	Block	20	T/K
2014	Sadong B.W	640	Caisson	25.9	1.0	6.0	Slope Nose	Streamline (14,000t)	Ver. Slit A,B	Open	Block	30	T/K

※ A and B mean inside and outside of breakwater, respectively. B Width of composite breakwater, B' Width of parapet, h height of parapet, Ver. and Hor. mean vertical and horizontal type, respectively. T/K turnkey project.

사석경사식의 경우 가거도항 방파제에서처럼 방파제 선단부의 상치콘크리트 하부에 Cell Block을 거치하고 철근으로 상치 콘크리트와 하부 블록을 일체화하였다. 그 결과 2011년 태풍 무이파와 2012년 태풍 볼라벤 내습시 선단부에서 피복 블록의 피해가 컸으나 Cell Block으로 구성된 두부 상치 콘크리트와 등대에는 피해가 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

케이슨 혼성식 방파제의 경우 1999년도 이전까지는 대부분 상치 콘크리트를 직립으로 정하고 상부를 수평으로 시공하여 왔다. 즉, 방파제 마루높이가 상치콘크리트의 높이인 것이다. 그러나 1999년 이후부터는 상치 콘크리트의 형상을 소파형 패러핏(parapet), 소파형 다단계 패러핏, 친수 계단식 등 다양한 형상이 등장하게 되었다. 또한 상부를 월파발생이 용이한 계단형이나 사면형으로 설계함으로써 마루높이를 높게 적용하는 사례가 발생한 것으로 조사되었다.

케이슨식 방파제의 상치부 패러핏 상단이 높아지면 설계파고에 의한 파압이 상대적으로 크게 작용하게 되어 월파량은 다소 감소시킬 수 있을 것이나, 단면의 안전성 측면이나 경제성 측면에서는 비경제적일 수 있다. 방파제 단면형식에서 마루높이가 결정되면 마루폭에 대한 개념은 단면안정성과 경제성에 미치는 영향이 지배적이다. 그러나 마루높이를 먼저 결정하고 나서 월파 저감을 위해 돌출식 패러핏 등을 설치하기 때문에 해당 패러핏의 수명이 방파제의 내구연한으로 결정되게 되는 불합리한 결과도 초래할 수 있다.

Table 5는 최근 대수심·고파랑 해역에 설계·시공된 상치부의 형상을 조사·분석한 결과이며 연도별 변화는 Fig. 11

에 제시된 바와 같다. 여기서 B 와 B' 는 각각 혼성식 방파제의 단면 폭과 패러핏 상부의 폭을 나타내며, h 는 패러핏의 높이를 나타낸다. 방파제의 상치부에 패러핏 설치의 방파제 건설 초기부터 있었으나, 최근 들어 패러핏 상단의 폭 B' 에서 알 수 있듯이 0.5~1.0 m 정도로 협소해지는 것으로 나타났다. 이와 같이 패러핏 상부의 폭이 좁아지는 원인 중 하나는 친수시설의 설치라고 할 수 있다.

3.6 방파제 단면형식

항만의 규모가 커지면서 블록이나 케이슨을 이용하는 형식으로 바뀌었으며, 이에 대한 변화 경향을 Table 5에 정리하였다.

1999년 이전에는 블록을 이용하거나 케이슨을 이용하는 경우에도 모두 평면적으로 보았을 때 사각형(표에서 Straight type)의 무궁 케이슨이었다. 우리나라 방파제 단면의 구조형식에서 혼성식이 도입된 것은 1919년~1927년에 축조된 부산항 북항 남방파제가 최초로서 콘크리트 블록식이며, 케이슨이 국내에 처음 도입된 것은 1937년부터 1945년까지 축조된 묵호항 방파제이며, 케이슨 혼성식을 최초로 적용한 것은 1968년 포항신항 내항방파제이다. 또한 케이슨식 방파제에서 소파블록을 최초로 피복하는 것은 1957년~1960년 묵호항 방파제 케이슨 외측에 삼각뿔형 콘크리트 블록을 적용한 것이다.

1999년 이후에는 일부 소파블록으로 피복하는 경우를 제외하면, 거의 대부분 이전과 다른 이형으로 중방향 곡면형, 반원형, 중방향 돌출형, 벌집형, 이중원통형, 타원형, 요철형, 복합요철형, 유선형 등 매우 다양한 형상이 적용되었다. 2001년 착공한 제주외항 서방파제의 일부구간에 소파블록피복 케이슨식이 적용된 이후, 2004년도에 착공한 울산신항 남방파제 1공구의 경우는 케이슨의 내측을 평면적으로 볼 때 반원형의 중방향 Slit 형상을, 2004년도에 착공한 울산신항 남방파제 2공구의 경우는 중방향 Slit을 두고 유수실 상부를 개방함으로써 소파케이슨의 기능을, 2009년도에 착공한 울산신항 북방파제 2공구는 외측과 내측에 횡방향의 Slit을 설치하는 등 2010년 이후 시행된 각종 대형 항만의 대수심 방파제에서도 단면형식이 케이슨식 혼성제로 일률적으로 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

이는 Rhee(2013)가 최근 5년간 국내에서 건설된 항만구조물 중 외곽시설을 중심으로 설계사례를 조사한 결과와 유사하다. 즉, 외곽시설은 직립식케이슨 혼성제를 이용한 단면이 주를 이루며 대부분의 제체 설치수심이 DL(-) 20 m 이상의 대수심으로서 경사제를 적용한 제체 구성 시 지반처리 폭의 증가 및 제체사면 구성을 위한 속채움 사석 수급의 어려움 등으로 직립제에 비하여 경제적으로 유리하지 않은 것으로 판단되었기 때문으로 사료된다. 또한 항만구조물의 설계외력 조건을 제시하고 있는 심해설계와 제원이 상향되면서 제체 사면의 피복제 규모의 대형화와 이에 대한 안정성 확보에 문제가 발생할 수 있어 직립제의 설계가 주를 이룬 것으로 주장

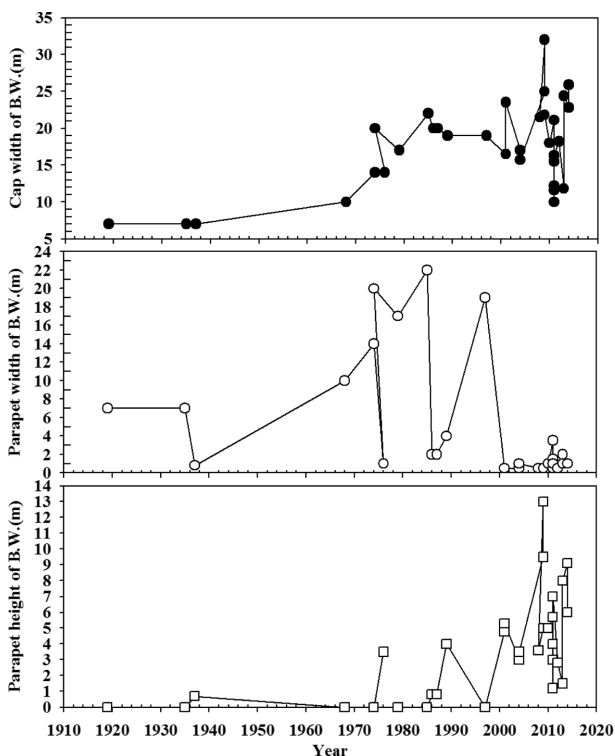


Fig. 11. Change in the parapet design conditions of composite breakwaters at major ports in Korea.

Table 6. Change in the cross-section types of caisson breakwaters at major ports and the causes of reinforcement

Port	Length (m)	Development		Reinforcement		Cause of reinforcement
		Year	Type	Year	Type	
Mukho B.W	788	1937~1945	Caisson	1976~1986	ATB, T.T.P	Increasing of deep sea water wave height by climate change
Donghae B.W	1,480	1974~1980	Caisson	1988~1999	T.T.P	
Yeongilman B.W	3,100	1997~2005	Caisson	-	T.T.P	
Gamcheon East B.W	500	1979~1985	Caisson	2011~2013	Caisson	
Gamcheon West B.W	650	1985~1990	Caisson	2011~2013	Caisson	
Jodo B.W	700	1986~1989	Caisson	-	Sealock	
Orykdo B.W	1,004	1987~1991	Caisson	-	Sealock	
Gageodo. B.W	375 125	1979~2008	Rubble	2013~	Caisson Sealock	
Seogwipo. B.W	452	2001~2007	Rubble	2013~	DOROS	

한 바 있다.

3.7 방파제 단면 보강

방파제 건설 도중 혹은 건설 이후에 그 단면을 보강하는 경우가 있다. 그 이유는 첫째, 당초 설계한 단면의 기능이 부족하여 보강한 경우(목호항, 동해항, 감천항, 포항영일만항 등), 둘째, 태풍 등으로 피해가 발생하여 복구·보강한 경우(가거도항, 서귀포항 등), 셋째, 건설 중·후 당초보다 기능이 추가되어 보강한 경우(서귀포항 외항방파제)로 구분할 수 있으며 Table 6과 같이 정리할 수 있다.

먼저 당초 설계한 단면의 기능이 부족하여 보강한 경우에는 설계 당시 산정한 설계파고가 과소산정된 경우로서 설계파고의 상향에 맞게 단면의 구조형식을 결정하게 된다. 기존 방파제의 마루높이가 낮거나 제체의 안전성 미확보 등으로 기존 방파제 단면을 보강하는 경우 대부분 기존 케이슨 외측에 소파블록을 피복하는 단면으로 보강하는 것으로 조사되었다. 이용되는 소파블록은 트라이바(Tribar), 테트라포드(Tetrapod), 시락(Sealock) 등이 있으며, 이중 테트라포드가 가장 많이 적용되고 있다. 결과적으로 방파제 단면 형식이 케이슨 혼성식으로 축조 되어도 보강이 필요한 경우에는 외측을 소파블록으로 보강하는 소파블록피복 케이슨식으로 변경되는 것으로 나타났다.

또한 태풍 등으로 피해가 발생하여 복구·보강한 경우에는 대부분 중·소형의 경사제에서 발생하였으며 대형 방파제에서 대규모로 피해가 발생한 사례는 가거도항 방파제(2012년 태풍 무이파 내습 피해)와 서귀포항 외항방파제(2012년 태풍 볼라벤 내습 피해)가 있다.

마지막으로 방파제 건설 중·후 당초보다 기능이 추가되어 보강한 경우는 항만의 효율성 및 복합기능 증대를 목적으로 방파제 내측에 접안시설을 설치함으로써 월파방지를 위한 보완대책이 수립되는 경우이다.

서귀포항 외항방파제는 당초에 월파를 허용하는 단면으로

시설되었으나 계획 변경으로 월파를 허용하지 않는 단면으로 마루높이를 상향 조정함으로써 복합기능형 단면으로 변동된 상태가 되었다고 볼 수 있다. 이는 방파제가 고유한 방파제 기능 이외에 안벽의 호안 기능을 포함한 복합기능형 단면으로 변경됨에 따른 결과라고 볼 수 있을 것이다.

4. 결론 및 향후 과제

4.1 결론

본 연구에서는 우리나라 방파제 도입 당시부터 최근까지의 단면 구조형식 등에 대해 방파제 변천 역사에 대한 자료 수집·정리를 수행하고, 현재 우리나라 방파제 형식변화상에서 나타나는 특징을 분석·고찰하고자 하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 우리나라에 설계·시공일괄입찰이 도입 시기인 1999년을 기준으로 방파제의 설계 특징이 달라짐을 알 수 있고 국내 주요 항만 방파제의 절반정도가 1999년 이후 15년 사이에 설계·건설된 것이며, 신규로 축조된 것과 보강된 사업의 비율은 7:3 정도에 해당하였다.

(2) 1999년 이전 방파제 건설 초기에는 방파제의 가장 기본 형식인 사석을 이용한 경사식과 블록을 이용한 혼성식 주를 이루며, 시공 장비·공법의 발전과 아울러 소파블록의 적용중량이 증가하였다.

(3) 1999년 이후의 경우에는 방파제 단면의 구조형식의 변화(슬릿케이슨식의 형식 다양화), 설계파고 및 설계조위의 상향 적용, 마루높이의 상향 적용, 상치콘크리트의 형상 변화 등으로 인해 기존 방파제의 설계 특징이 달라짐을 살펴볼 수 있다.

(4) 설계파고의 평균증가는 23년 동안 73% 증가했고, 최대 2.6배의 차이가 나며, 최고 7.8 m의 차이를 보이고 있다. 이와 같이 설계파고는 최근에 계속하여 상향 적용되고 있는 것으로 나타났다.

(5) 설계조위는 1999년 이전에 삭망평균만조위를 적용하였

으나, 1999년 이후에는 삭망평균만조위보다 큰 조위를 적용하고 있는 것을 알 수 있다. 각 항별 연도에 따른 조위의 차는 28개 사업에서 평균 0.79 m 상향 적용되었으며, 최대 1.65 m 상향 적용된 것으로 조사되었다.

(6) 방파제의 상대마루높이는 1999년 이전까지는 0.6~0.7을 유지하였으나 1999년 이후부터 평균 1.0 이상, 최대 1.26까지 상향되었음을 알 수 있다.

(7) 방파제의 상치부에 패러핏 설치는 방파제 건설 초기부터 있었으나, 최근으로 오면서 패러핏의 상단의 폭에서 알 수 있듯이 0.5~1.0 m 정도로 협소해지는 것으로 나타났고 친수 시설 설치 등이 원인으로 추정된다.

(8) 방파제 단면 형식이 케이스 혼성식으로 축조되어도 보강이 필요한 경우에는 외측을 소파블록으로 보강하는 소파블록피복 케이스 식으로 변경되는 것으로 나타났다.

이상과 같이 본 연구의 결과는 향후 우리나라 방파제의 합리적인 설계를 위한 기초자료로 활용에 기여할 것으로 판단된다.

4.2 제언

본 연구에서는 우리나라 방파제 단면 형식 변천과 그 특징에 대해 고찰하고, 향후 장기적인 관점에서 필요한 합리적인 설계 및 관리 방안에 대해 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 설계조건(파고, 조위)의 상향 적용은 공사비에 지대한 영향을 미치는 등 과급효과가 크기 때문에 ㉠ 심해설계과는 정부 차원에서 일정기간(예, 5년)을 정하여 재추산하여 발표하도록 제도화 하고, ㉡ 정부에서 발표한 심해설계과는 정부에서 시행하는 사업뿐만 아니라 대안입찰이나 일괄입찰 사업의 경우에도 적용할 필요가 있다. 또한 설계조위 산정 및 관리 방안으로는 ㉢ 남해, 동해와 같이 해역에 따라서 실제로 태풍·폭풍 내습시 해일이 대조기 만조와 조우하여 오는 경우도 종종 있으므로 이에 대한 조사분석 결과에 근거하여 조우확률이 낮은 경우에 기존 산정방식을 적용하는 것이 타당하다 사료된다.

둘째, 방파제에 적용되는 다양한 형상의 슬릿케이스의 경우 평면적으로 요철형 케이스는 지양하자는 것이다. 이는 일반적인 형상인 사각형상의 케이스에 비해 비경제적이며, 고파랑 해역에서 슬릿부재의 케이스는 충격적인 파랑작용 등으로 부재의 내구성에서 아직 충분한 검토가 이루어지지 않았기 때문이다.

셋째, 방파제 설계시 상대마루높이 상향 적용의 요인은 월파 저감을 통한 항내정온도 개선을 위함이라 할 수 있다. 따라서 방파제 배후에 넓은 수역이 있고 대형선박이 접안하는 경우라면 기본적으로 상대마루높이 $\alpha=0.6$ 을 적용하며, 방파제 배후에 수역이 좁고 소형선박이 접안하는 경우라면 월파에 의한 전달파의 영향을 고려하여 산정할 필요가 있다.

넷째, 기능 복합화로 인한 상치 형상 변화의 경우에는 방파제 선단부분 내측에 접안시설을 설치하는 계획 수립과 고

파랑 해역에서 방파제를 개방하여 친수시설로의 이용계획 수립은 지양하자는 것이다. 부득이 친수이용이 필요한 경우라면 개방과 이용에 대한 운영계획을 먼저 수립하고, 그에 맞는 설계조건을 부여한 마루높이 등을 산정할 필요가 있다.

4.3 향후 과제

이상과 같이 본 연구의 자료와 성과는 기존 통계자료를 통한 분석 자료이므로 향후 관련 연구자의 추가 세부 연구 등을 통하여 보다 더 구체적으로 검토되어야 할 필요성이 있다. 여기서 추가 세부 연구로는 항만 및 해안공학적 관점에서 방파제 구조형식의 적용에 따른 해역별 파랑특성 조건별 설계 적용 상황에 대한 분석, 설계상의 변화과정과 이에 대한 해양물리 영향의 요인 분석, 우리나라 연안의 지반조건과 외곽 시설의 구조형식 선정의 연관성, 구조물별로 방파제의 마운드 변화에 따른 충격쇄파압 발생 여부 및 파괴모드 등이 제시될 수 있을 것이다.

References

- Hong, K. (2015). A Study on the New Design Processes based on the Analysis of Conventional Korea Breakwaters, Ph.D thesis, Pukyong National University (in Korean).
- Kang, Y.K. and An, S.M. (2005). Development of Port Structure and Latest Development Trend, Dredging Reclamation Technical Committee Conference, Korean Geotechnical Society, 31-36 (in Korean).
- Kang, Y.K. (2012). Recent Problems on the Design of Port Structure(1) -Recently, the design wave height of the breakwater design tends to increase-. Korea Ports & Harbours Association, Harbour, Autumn, 54-64 (in Korean).
- Korea Maritime and Port Administration (1992). The floor plan book of Korean harbor structure (1st trade port) (in Korean).
- Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI) (2005). The report of estimation for deep-sea design wave in Korean coastal seas II (in Korean).
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2005). Design criteria for harbors and fishery ports (in Korean).
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2017). Design criteria for harbors and fishery ports (in Korean).
- Rhee, D.S. (2013). Development of Damage Reduction and Design Technology for Coastal Structure: Breakwaters, Korea Institute of Construction Technology, Internal Research Project (KICT 2013-065), 17-22 (in Korean).

Received 20 April, 2018

1st Revised 21 May, 2018

2nd Revised 12 June, 2018

Accepted 19 June, 2018