

실린더 슬릿형 소파블록 방파제의 실효역 적용을 위한 수치실험분석

박상길* · 이종우† · 남기대** · 김필성***

*, **, *** 한국해양대학교 토목환경공학과 대학원, † 한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Analysis of Numerical Experiment for Field Application of Cylindrical Slit Type Block Breakwater

Sang-Gil Park* · Joong-Woo Lee † · Ki-Dae Nam** · Pill-Sung Kim***

*,**,*** Department of Civil and Environmental Engineering

† Division of Civil and Environment Engineering, Korea Maritime University

요 약 : 선행되었던 연구인 실린더 슬릿형 소파블록 방파제에 대하여 실효역에서의 적용성을 평가하기 위하여 수치모델 해석을 통해 항내 정온도를 분석하였다. 남해의 소규모 어항에 대해 파랑작용 평형방정식을 이용하는 SWAN 모델을 구성하고 수리모형실험에서 분석된 실린더 슬릿형 방파제의 반사와 투과계수를 도입하였다. 항내의 정온도의 변화를 불투과성 방파제와 비교하여 다루고 새로운 구조물로 해수교환을 통한 해역수질환경의 개선 가능성을 검토해보았다. 수치실험은 한국해양연구원의 전해역 심해설계과 추정 보고서 II(2005)중의 심해설계과 제원을 사용하였으며, 대상해역의 1970년~2006년(37년간) 관측된 연최대 풍속자료를 이용하여 산정된 50년빈도 설계풍을 모델에 반영하였다. 미조항에서 서방파제에 주로 영향을 미치는 NE, NNE계열의 파랑의 내습에 대한 분석을 수행하였으며, 그 결과 투과성구조물의 특성이 수치모형에서도 잘 재현하고 있음을 파악하였다.

핵심용어 : 실린더 슬릿형 방파제, 정온도, 미조항, 반사, 투과율

Abstract : In order to evaluate applicability of cylindrical slit type block breakwater to the field water, which was designed from the previous physical model study, it is analyzed the calmness of harbor area by the numerical model experiment. For a small fishery port in southern coast of Korea a SWAN model using the wave action balance equation was formulated. The reflection and transmission coefficients induced by the physical model test were introduced to the numerical model. The model response with cylindrical slit type breakwater was compared with the impermeable breakwater case and the possibility of water quality improvement through the water circulation by the new structure was investigated. For numerical simulation, parameters of deepwater design wave from the prediction report II for overall deepwater design wave by KORDI were used and wind parameters from the 50years return period observed for 37years(1970~2006) were adopted in the numerical model. The response of west breakwater in Mijo port applying the NE and NNE waves, which were dominant in this area, was analyzed. It was found that the transmission characteristic of designed cylindrical slit breakwater was well presented in the numerical model.

Key words : Cylindrical Slit type block breakwater, Calmness, Mijo port, Reflection, Transmission coefficient

1. 서 론

최근 가속화되는 지구온난화의 영향으로 인한 해수면의 상승은 다양한 환경문제와 조위 상승을 유발시키며, 파랑의 크기를 증가시킨다. 또한 경제발전의 가속화로 인한 선박의 대형화, 선박수의 증가는 보다 큰 규모의 항만을 필요로 하게 되었다. 이로 인해 항만규모의 확대가 필요 방파제를 신설하거나 기존의 방파제를 연장 및 재배치 시켜 항내수역을 확장하는 사업이 시행되고 있다.

기존 공법으로 건설한 항만 내에는 방파제가 자연흐름을 차단 내지 변류하여 항내 토사퇴적, 생태계파괴, 수질악화, 주변

해빈 변형 등의 부작용이 야기되고 이를 복구하기 위하여 항내 토사준설, 방파제 해수소통공사, 선착장 연장공사, 대체어항 조성에 많은 예산을 허비하고 있다. 또한 항내로 내습되는 파 에너지의 대부분을 반사시킴으로써 방파제 전면 해역의 파고가 증대되어 구조물의 피해가 발생하거나 선박의 안전한 계류에 문제점을 발생시키고 있다.

본 연구에서는 해수순환에 유리한 실린더 슬릿형 방파제를 실제 개발예정지인 남해 미조 북항에 시공하였을 경우 기존 방파제와 비교하여 항내 정온의 기능을 수행할 수 있는지 SWAN 모델을 통해서 해석하고 실린더 슬릿형 방파제의 적용가능성을 검토하였다.

* 대표저자 : 박상길(정회원), sangila06@hanmail.net 051)410-4981
** Cooperation Author : namkida@lycos.co.kr
*** Cooperation Author : princepill@hanmail.net
† 교신저자 : jwlee@hhu.ac.kr 051)410-4461

2. 수치모델의 이론 및 검증

2.1 수치모델 이론

SWAN(Simulating Wave Nearshore) 모델은 네덜란드 델프트(Delft) 공과대학에서 개발한 파랑수치모델로서 주어진 입사 경계에서의 파 스펙트럼, 바람과 해저면 및 해류 조건으로부터 연안역, 호수 및 하구의 파랑을 계산한다. 이 모델의 기본방정식은 파작용 평형방정식(wave action balance equation)이며, 사용되는 파랑에너지의 원천항(source term)에 따라 제1세대, 제2세대 및 제3세대 모델로 분류된다.

SWAN 모델에서 고려되는 전파과정(propagation processes)은 지리적 공간상의 전파, 수심과 흐름에 의한 굴절 현상(refraction), 수심과 흐름에 의한 천수 현상(shoaling), 방해물에 의한 전달 및 차단·반사(blocking and reflection), 지형과 공간에 대한 회절(diffraction)이다. 또한 모델은 바람에 의한 파랑에너지 생성, 백파에 의한 파랑에너지 소산, 수심 감소에 따른 쇄파에 의한 파랑에너지 소산, 저면 마찰에 의한 파랑에너지 소산, 파랑 상호작용(4파 또는 3파 비선형 상호작용)을 고려한다.

파랑 스펙트럼의 발달은 파작용 평형방정식에 의해 기술된다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

위 식에서 좌변의 1항은 파작용 스펙트럼의 시간 변화량, 2항과 3항은 지리적 공간에서의 파동의 전파, 4항은 수심과 흐름의 변화에 의한 상대주파수의 천이, 그리고 5항은 수심과 흐름에 의한 굴절을 나타낸다. 선형파 이론에 의한 파랑의 전파속도는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} c_x &= \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \\ c_y &= \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y \\ c_\sigma &= \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla d \right] - c_y \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \\ c_\theta &= \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, s 와 m 은 각각 파향선(wave ray)과 파향선에 직각인 좌표를 의미한다.

평형방정식의 우변은 원천항(source and dissipation)을 나타내며, 이는 파랑의 생성, 소산 및 비선형 상호작용에 의한 에너지 전달을 포함한다.

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} \quad (3)$$

여기서, S_{in} 은 바람에 의한 에너지 유입, S_{ds} 는 파랑에너지의 소산, S_{nl} 은 비선형 파랑 상호작용을 나타낸다.

2.2 수치모델 검증

회절도 이론(Goda, 1975)에서 제시한 반무한 방파제와 양의 방파제의 회절도 실험을 하였다. 입사파 조건으로 주기 5sec, 파고 1m를 부여하였다. 여기서 파랑의 주 진행 방향은 방파제에서 수직이고 좌표는 유의파의 파장(L)으로 무차원화 시켰다.

회절계수는 파랑의 차폐역에서의 회절파의 파고와 입사파의 파고의 비로 정의된다.

$$K_d = \frac{H}{H_i} \quad (4)$$

실험결과 방파제 선단부근 회절계수의 차이가 조금 있으나 전반적으로 수치실험이 이론과 비슷하게 나타났다. 따라서 SWAN모델을 이용한 회절 수치실험은 비교적 잘 형성됨을 알 수 있다.

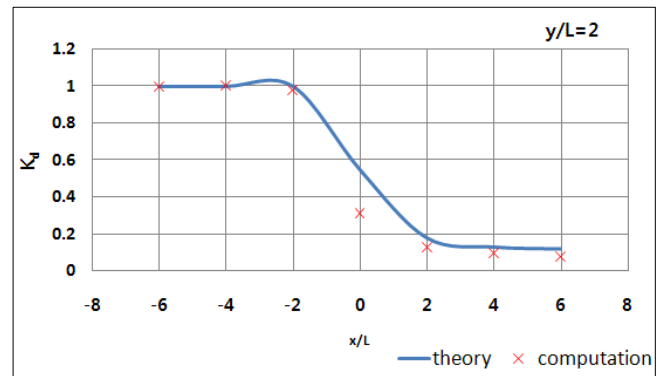


Fig. 1 Computational domain for semi-infinite breakwater

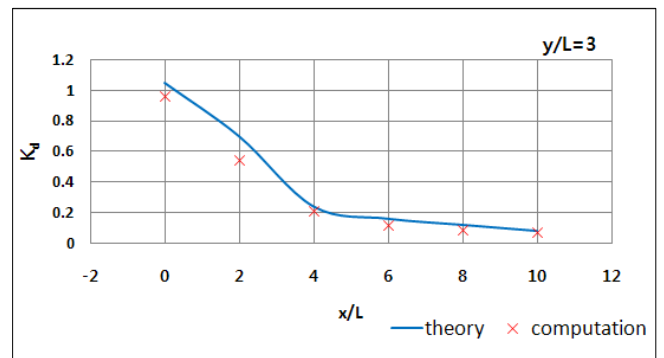


Fig. 2 Computational domain of a breakwater gap with B/L=5.0

실린더 슬릿형 방파제의 특징은 투과성이다. 따라서 수치모델이 투과성 방파제의 효과를 잘 재현하는가를 확인하였다. Fig. 3은 구조물의 반사율(0.65), 투과율(0.18)을 고려하였을 때 구조물 후면의 파고이다. 입사파 조건으로 파고2.5m, 주기5sec를 부여하였다. 실험결과 방파제 후면의 파고는 0.45m의 값이 주로 나타났다. 입사파고에 대해 방파제 후면의 파고비로 정리하면 약 0.18을 나타내어서 SWAN 모델을 통해서도 투과성방파제의 효과를 잘 재현함을 알 수 있다.

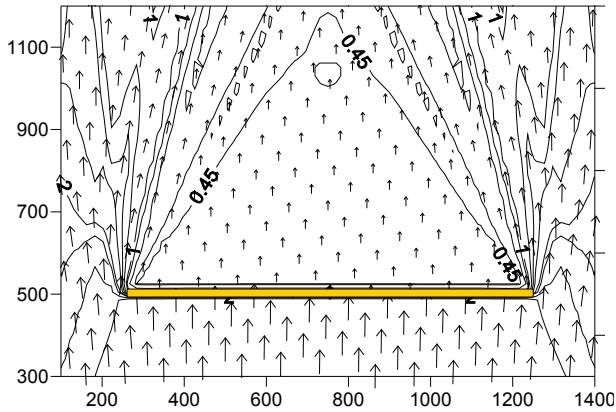


Fig. 3 Numerical experiments for permeable breakwaters

3. 실린더 슬릿형 방파제

기존 방파제는 외해로부터 내습하는 파랑의 침입을 막아 항내 정온도 확보에는 유리하지만, 흐름을 함께 차단함으로 인해 수질의 악화를 야기하게 된다. 최근 개발되고 있는 실린더 슬릿형 방파제 (김 등, 2009; Lee et al., 2009)는 기존 방파제의 기능을 유지하면서 동시에 해수의 순환을 고려할 수 있는 친환경적인 방파제이다. 또한 시공의 간소화로 공기단축, 공사비 절감 등의 장점이 있다.

실린더 슬릿형 블록을 Fig. 4과 같은 모습으로 배치하여 방파제를 설계한다.

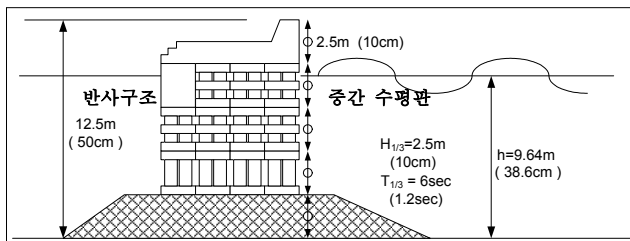


Fig. 4 Cylindrical slit type block breakwater

4. 수치모형실험

4.1 수치실험 방법 및 조건

미조 북항 실시설계 계획서에 서방파제로 설계되어있는 직립식방파제를 대신하여 최근 개발하고 있는 실린더 슬릿형 방파제를 서방파제에 배치되었을 때 기존 방파제와 비교하여 항내 정온유지에 대한 수치실험을 하였다.

서방파제에 주된 영향과인 NNE, NE방향의 50년 빈도파를 산정하기 위하여 1970년부터 2006년까지(37년간) 관측된 연 최대풍속자료를 바탕으로 대표적 극치확률모형인 Gumbel 확률모형(Type-1), Weibull 확률모형 등을 이용한 극치해석으로부터 풍속을 추정하였으며, 이중 상관계수(Correlation Coefficient) 및 표준오차(Standard Deviation)에 근거한 가장 적합한 확률모형의 추정치를 선정하였다. (마산지방해양수산청, 2007)

Table 1 Characteristics of Wind

Direction	Wind Speed (m/s)	Probability model	Return Period
NNE	27.2	Gumbel	50 year
NE	26.8	Gumbel	50 year

심해파조건은 한국해양연구원의 전해역 심해설계과 추정 보고서 II(2005)중의 심해설계과 제원을 채택하였으며, 이는 다음 표와 같다.

Table 2 Deep-sea wave condition for design wave

Direction	Height(m)	Period(sec)	Return Period
NNE	0.86	3.62	50 year
NE	0.96	3.81	50 year

선정된 풍속과 심해 설계파를 광역에서의 수치실험에 적용하고 대상항 인근의 상세역으로 Nesting하여 수치실험을 진행하였다.

광역 파랑변형모형의 영역은 14km×14km로 설정하였으며, 이의 계산격자망은 100m로 하였다.

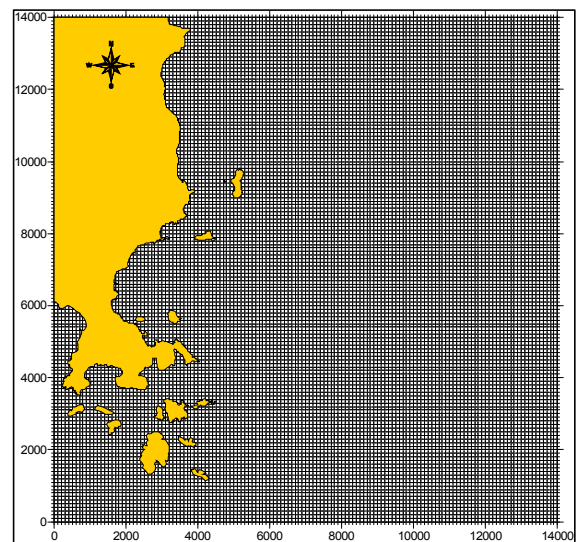


Fig. 5 Grid of wide area

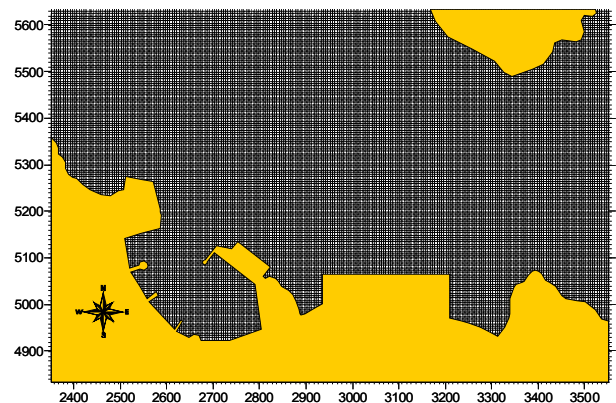


Fig. 6 Grid of narrow area

대상지 인근역을 대상으로 하는 상세역 파랑변형모형의 영역은 1.2km×0.8km로 설정하였으며, 이의 계산격자망은 5m로 하였다.

미조북향 서방파제가 설치될 위치에 심해설계파와 동시에 설계풍을 입력하여 서방파제에 미치는 입사파를 산정하였다. 이에 따른 실린더 슬릿형 방파제의 반사율과 투과율을 수치실험 결과(김 등, 2009)에 따라 Table 3과 같이 결정하였다.

Table 3 Reflection rates & transmission rates of cylindrical slit type block breakwater

	입사파고	입사주기	실험파고	실험주기	반사율	투과율
NE	1.3~1.4m	3.7~3.8s	1.5m	4s	0.65	0.18
NNE	1.4m	3.7~3.8s	1.5m	4s		

4.2 수치실험 결과

NE방향과 NNE방향의 심해설계파랑에 대해서, 서방파제를 경사제방파제와 실린더 슬릿형 방파제를 놓았을 경우에 대한 항내 정온도를 비교 및 분석하였다.

Table 4 Case of model in numerical experiments

실험번호	방파제 형식	파향	방파제 방향
Case 1	직립식(소파블럭) 방파제	NE	ENE
Case 2	직립식(소파블럭) 방파제	NNE	ENE
Case 3	직립식(소파블럭) 방파제	NE	E
Case 4	직립식(소파블럭) 방파제	NNE	E
Case 5	실린더 슬릿형 방파제	NE	ENE
Case 6	실린더 슬릿형 방파제	NNE	ENE
Case 7	실린더 슬릿형 방파제	NE	E
Case 8	실린더 슬릿형 방파제	NNE	E

총 8개 Case(Table 4)를 수치모의 하였으며, 파향 및 파고에 대한 주요 결과는 Fig. 7~Fig. 10에 나타내었다. 미조북향의 서방파제의 기본방향은 ENE 방향으로 되어있으나 Fig. 7에서와 같이 NNE와 NE방향의 파를 일부 통과시켜 항내에 그대로 진입하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8, Fig. 10과 같이 방파제 방향을 기존 계획인 ENE 방향에서 E 방향으로 변경한 경우 항내에서 정온도의 변화를 분석하고자 하였다.

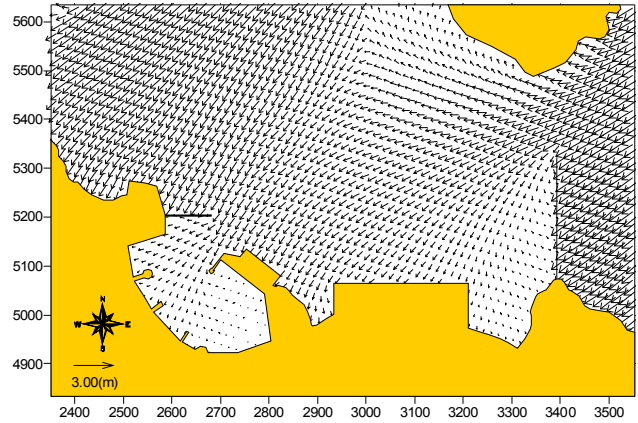


Fig. 8 Wave vector of case 3

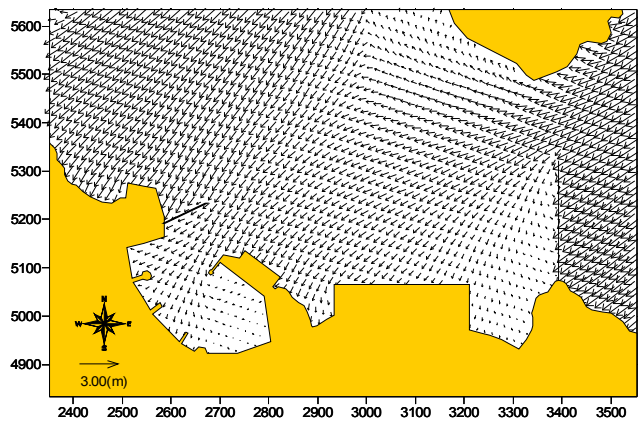


Fig. 9 Wave vector of case 5

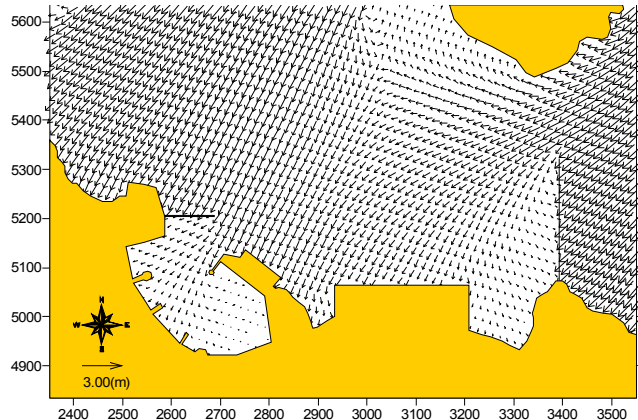


Fig. 10 Wave vector of case 7

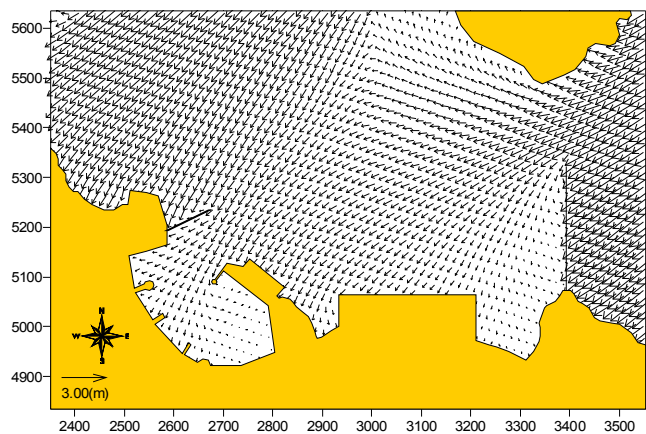


Fig. 7 Wave vector of case 1

Fig. 11은 실험결과를 비교하기 위해 선택한 지점을 나타낸다. 실험안별 방파제의 전후와 항내의 총 8개 지점에 대한 파고를 분석하여 Fig. 12와 Fig. 13에 정리하였다. 수역시설 사용이 가능한 최대파고에서 수역시설수심 3m 이상일 경우 항내 묘박 및 정박가능 최대 파고 0.7m를 기준으로 하였다.(해양수산부, 2005)

실험 결과 실린더 슬릿형 방파제가 기존 직립식 방파제 보다 는 다소 높은 파고를 보이고 있지만, 방파제 위치를 ENE방향

에서 E방향으로 배치하면 전체적인 항내 정온도가 높아지고, 5~8 지점 모두 파고가 0.7m 이하로 나타남에 따라 소규모 어항에 보조방파제로 사용이 가능하다고 사료된다.

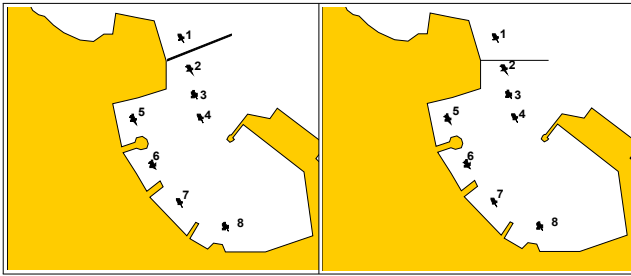


Fig. 11 Point area for comparison

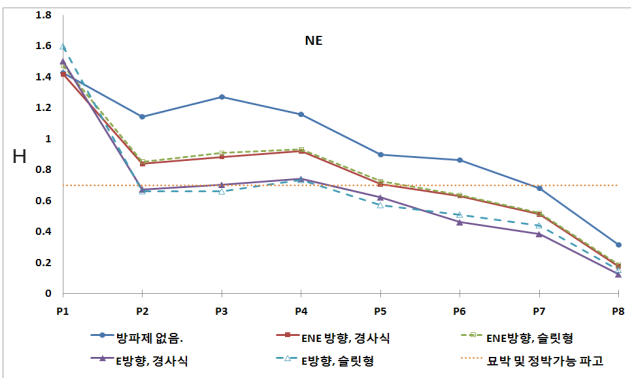


Fig. 12 Wave height of port(NE)

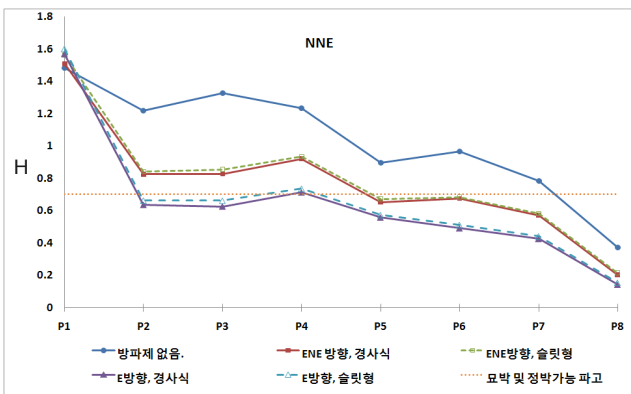


Fig. 13 Wave height of port(NNE)

서방파제의 평면배치를 변경한 경우에 기존계획보다 항내가 정온함을 알 수 있었고 기존 직립식방파제와 실린더 슬릿형 방파제를 비교한 결과 항내 파고의 차이가 크게 나지 않았으나 상대적으로 실린더 슬릿형 방파제는 해수교환을 허용하는 점에서 유리한 것을 알 수 있다.

5. 결론

현재 남해 미조 북항에 서방파제로 계획되어있는 직립식 방파제를 실린더 슬릿형 방파제와 동일한 조건에 수치실험 한 결

과 실린더 슬릿형 방파제를 고려하였을 경우 항내 파고가 항내 정온 조건인 0.7m를 대체로 넘지 않는 것으로 해석된다. 따라서 실린더 슬릿형 방파제가 투과성구조물의 특성을 살리면서 방파제의 기능도 유지할 수 있다는 것을 판단할 수 있다.

NNE, NE파에 대한 항내유입의 효율적인 차단을 위해서 서방파제의 평면배치를 ENE방향에서 E방향으로 변경하여 실험한 결과 항내파고가 현저히 줄어들었으므로 방파제 평면배치에 대한 검토도 고려하여야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 기상청(1970~2006), 기상연보.
- [2] 김필성, 김기담, 남기대, 김석문, 이중우 (2009), “실린더형 슬릿방파제의 개발을 위한 수리모형실험”, 한국해양대학교 산업기술연구소연구논문집 제26집, pp.133-140.
- [3] 김한나, 서경덕(2009), “부분 반사 반무한 방파제 또는 방파제 개구부에 사각으로 입사하는 파의 산란”, 한국해양학회 공학회논문집 21권 4호, pp. 334~344.
- [4] 마산지방해양수산청(2007), 미조북항 실시설계 용역보고서.
- [5] 신민철(2005), “천해역에서 SWAN 모형의 적용성 검토”, 공학석사 학위 논문.
- [6] 한국해양연구원(2005), 전해역 심해설계과 추정 보고서 II.
- [7] 해양수산부(2005), 항만 및 어항설계기준.
- [8] Lee, J.W., Park, S.G., Kim, S.M., and Kang, S.J. (2009), Design and Construction of the Cylindrical Slit Type Shore Structures, Asia Navigation Conference 2009, Shizuoka, Japan, Japan Institute Navigation, pp.292-298.
- [9] Yoshimi Goda (1996) 港灣構造物의 耐波設計.

원고접수일 : 2009년 12월 8일
 심사완료일 : 2009년 12월 31일
 원고채택일 : 2009년 12월 31일