

## 친수형 유공케이슨식 방파제의 파압분포

### Pressure Distribution of Water-Front Type Perforated Caisson Breakwaters

이육한<sup>1</sup>, 장원재<sup>2</sup>, 조용식<sup>3</sup>

Uk-Han Lee<sup>1</sup>, Won-Jae Chang<sup>2</sup> and Youg-Sik Cho<sup>3</sup>

#### 1. 서 론

방파제는 구조형식에 따라 경사제, 직립제, 혼성제, 특수방파제 등으로 대별되며 파력의 크기, 지반조건, 수심조건, 공사여건, 경제성 등의 여러 조건을 감안하여 적용되고 있다. 본 연구에서는 상기의 여러 방파제 형식들 중 특수방파제의 한 부류인 유공케이슨 방파제의 파압에 대하여 연구하였다.

유공케이슨식 방파제에 작용하는 파력에 대하여 Takahashi 등(1991)은 "직립소파케이슨의 부재파력 특성과 내파설계법"에서 수리모형을 통하여 각 부재의 파력특성을 분석하였으며, 케이슨 전체의 안정성 및 각 부재 설계에 동시에 사용가능한 새로운 파력산정법을 제안하였다.

이러한 제안식은 현재 우리나라에서도 "항만 및 어항 설계기준"에 반영되어 있어 항만기술자들이 이 기준을 토대로 유공케이슨식 방파제의 안정성 해석을 수행하고 있다.

그러나 Takahashi 등(1991)이 제안한 파력산정법은 상치콘크리트가 방파제 상부를 경사식 구조로 되는 경우는 경사식 부위에 대한 파력은 무시되며, 경우에 따라서는 수리모형실험 대상 단면과는 달리 유수실 폭, 유수실 깊이, 마운드 높이 등이 다소 다른 유공케이슨식 방파제를 설계하는 경우도 똑같은 크기의 파압공식이 이용되는 문제점이 있다.

특히, 상부의 형상이 친수공간 확보를 위한 경사식 단면의 방파제의 경우는 파압 작용시 위상차

에 의해 수평력 뿐만아니라 연직력도 동시에 작용되므로 지지력이 증대되어 단면의 안전율을 낮추어 보다 경제적인 직립유공케이슨식 방파제를 설계할 수도 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 최근 일본 「연안개발기술연구센터(2001)」에서 개발한 수치해석 프로그램인 CADMAS-SURF(Super Roller for Computer Aided Design of Maritime Structure)를 이용하여 유공직립케이슨 방파제에 작용하는 파압을 2차원적 수치형상으로 재현한 후, 기존의 수리모형실험 결과와 비교하여 특수방파제의 경우에 대한 수치해석 기법 및 프로그램의 적용성을 검증하고자 하며, 설계기준에 적용된 신폴력 산정법과 수치모델 사용시의 위상차별 파압을 비교하는데 목적을 두었다.

#### 2. 수치해석 및 결과분석

수치해석은 수치파동수로를 이용하여 수행하였으며, 규칙파가 적용된 Takahashi 등(1991)의 수리실험자료와 비교하였다.

Takahashi 등은 수리실험 결과를 토대로 위상차별 각 부재에 작용하는 파력을 체계적으로 도식화 하였는바, 본 연구에서는 수치파동수로를 이용한 수치해석을 통해 각 부위별 파압을 산출하고 위 수리실험 결과와 비교·검토 하였다.

각 부재별 파압의 특성 파악은 수치해석상의 시간적 제약으로 인해 위상차 3단계를 2단계로 줄여서 분석하였으며, 2단계 위상차시 경사식 상치에

1 (주)건일엔지니어링 항만부 상무

2 한양대학교 토목공학과 석사과정

3 교신저자, 한양대학교 토목공학과 교수 (E-mail: ysc59@hanyang.ac.kr)

작용하는 파압을 추가로 산정하였고, 그 결과를 토대로 친수형 경사식 상치를 가진 유공케이슨식 방파제의 부재별 파압특성 및 상부전사면에 미치는 파압을 산정하여 신평력산정법과 비교하였다.

수치해석 모형은 난류흐름의 운동을 표현하는 Reynolds 방정식을 지배 방정식으로 사용하고 난류운동에너지와 소산율을 나타내는  $k-\epsilon$  모델을 적용하였으며, 자유수면의 변위 추적을 위해 VOF(Volume of fluid) 기법을 적용한 수치모형을 이용하여 친수형 유공방파제의 위상차별 파압특성을 고찰하였다.

파압측정을 위한 파압계 설치위치 또한 수리실험에서 측정한 위치와 동일한 위치로 하였으며, 설계를 위한 조건에서 파압이 크게 작용되는 압파시만을 대상으로 하여 검토하였다.

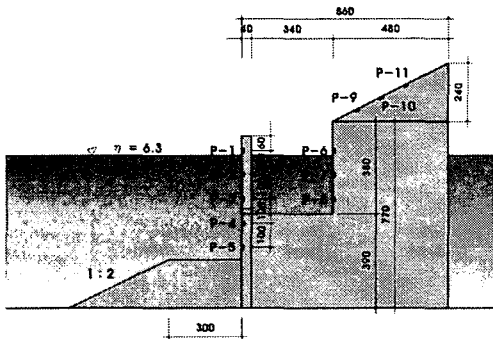


Fig. 2.1 실험단면 및 파압측정 위치

### 가. 계산조건

수치해석에 이용한 파는 모두 규칙파로서 수심 63cm, 주기 2.0sec를 기준으로 파고를 10, 20, 30cm로 변화시켜가며, 총 3개 조건에 대한 수치해석을 시행하였으며, 친수사면의 파압특성 파악을 위해 같은 조건에서 파고 40cm에 대해서도 추가로 수치해석을 시행하였다.

Table 2.1 실험조건

수심h(cm)	주기T(sec)	파고 H(cm)	비고
63	2.0	10, 20, 30, 40	

<Fig. 2.2>는 본 연구에서 수치해석에 사용된 수치파동수조이며, 격자 구성은 파고와 주기 및 실험단면을 고려하여  $\Delta x$ 는 가변격자로 구조물이 없는 구간은  $\Delta x = 0.1\text{cm}$ , 구조물 구간은  $\Delta x = 0.01\text{cm}$ 로 구성하였으며,  $\Delta z$ 는 0.01cm의 등간격으로 구성하였다. 또한, 계산시간은 4개 파 정도를 검토해 보기 위하여 20sec 동안  $\Delta t = 0.01\text{sec}$ 로 수행하였다.

### 나. 수치해석 결과 분석

수치파동수조를 이용하여 계산된 파압의 분포특성 파악을 위하여 케이슨 각 부재(슬릿부, 전면블투파벽, 유수실 후벽)에 작용하는 파력으로 구분하여 정리하였다.

본 연구에서는 계산상의 편의를 위해 하상판에 대한 파압은 계산하지 않았다.

<Fig. 2.3>은 실험단면에 작용하는 파랑에 대한 수치해석 결과로서 3개의 위상차로 구분하여 표현한 것이다. 수리실험 및 신평력산정법에서는 3번째 위상차는 정의되지 않았으나 본 연구에서는 경사면 파압의 측정을 위해 추가로 정의하였다.

수치파동수조를 이용한 수치해석 결과 Takahashi 등의 실험결과에 비하여 각 부재별 파의 도달 시간에 따른 평균이동의 경향이 나타났다.

이는 실험수조의 연장 차이에 따른 것으로 판단되며, 압파시 파압의 최대 및 최소치는 비슷하게 나타나고 있다. 또한, 파압측정 위치(수심)에 따른 파압의 변동폭은 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 파고가 커 질수록 변동폭이 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다.

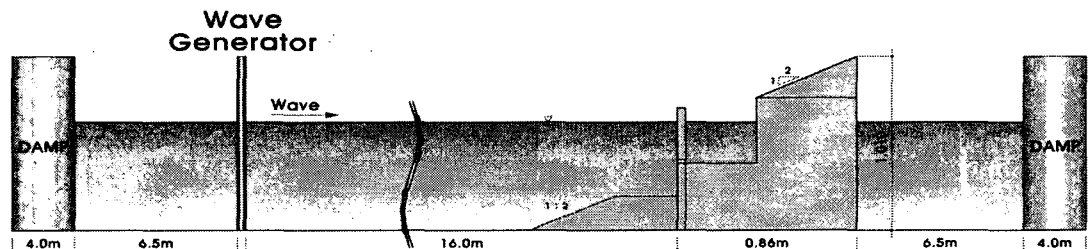


Fig. 2.2 수치파동수조

< 슬릿부 및 전면불투과벽 >



< 유수실 후벽 >



< 유수실 후벽 및 상부 사면 >



Fig. 2.3 위상차별 파랑의 적용

3. 결과 검증

수치파동수로에 의한 유공케이슨 방파제의 파력 산정결과의 적용성 검증을 위하여 수리모형실험 (Takahashi, 1991) 결과와 비교·검토하였다. 검증 조건은 수치해석에서 시행한 실험조건과 동일한 조건에 대하여 각 부재별로 수행하였다.

가. 슬릿부에 작용하는 파력

수조규모(연장)의 차이에 따른 파의 도달시간 차이로 인하여 시간적 차이는 있으나, Takahashi 등의 수리실험 결과와 파력의 변동폭은 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

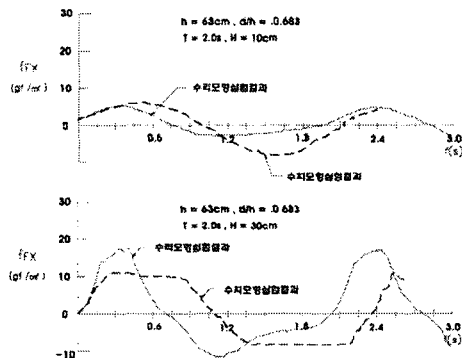


Fig. 2.4 슬릿부의 파력 시간변화

나. 전면불투과벽에 작용하는 파력

전면불투과벽에 작용하는 파력의 경우도 슬릿부와 마찬가지로 Takahashi 등의 수리실험 결과와 비하여 파력의 변동폭은 다소 작게 나타나고 있으나, 경향은 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

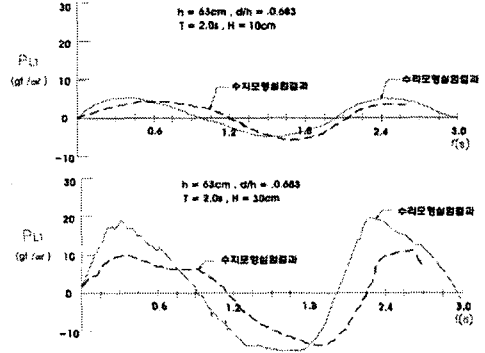


Fig. 2.5 전면불투과벽의 파력 시간변화

다. 유수실 후벽에 작용하는 파력

유수실 후벽에 작용하는 파력의 경우도 시간적 차이 및 파력의 변동폭은 다소 크게 나타났으나, Takahashi 등의 수리실험 결과와 그 경향은 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

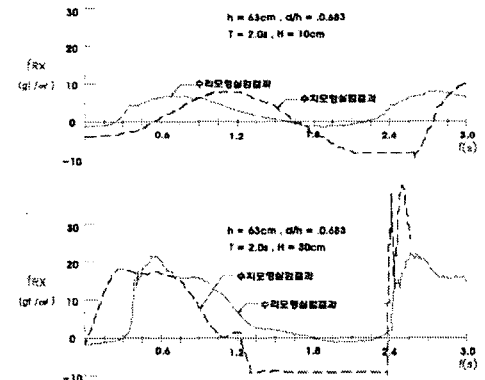


Fig. 2.6 유수실후벽의 파력 시간변화

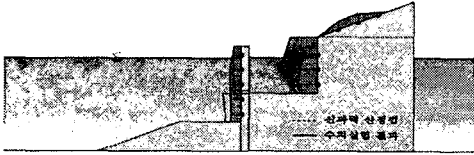
4. 친수형 상치사면에서의 파압분포 특성

수치실험의 파압시계열 자료의 검토결과 부재별 파력 산정지점 및 파압계측 지점의 차이에 의한 peak치의 위치 차이는 다소 있으나, 그 경향은 비슷하게 나타났다(<Fig. 2.7>). 또한, 압파시 IIb의 경우는 수치실험 결과값이 신평력산정법 보다 더 크게 나타났으며, 이는 슬릿부 및 전면불투과벽에 작용하는 파압에 비하여 유수실 후벽에 미치는 파압이 더 크게 작용함을 의미한다.

이러한 결과는 신평력 산정법과 수치실험의 결과가 동일한 경향을 보여주고 있다. 따라서 직립 소파케이슨의 안정성 검토시는 전면부(슬릿부, 전면불투과벽)의 위상이 최대가 될 때 보다 후면부(유수실 후벽)에서의 위상이 최대가 되는 파압에 대한 검토가 더욱 중요한 문제임을 알 수 있었다.

친수 사면의 파압분포 산정결과에서는 40cm의 파고에 의한 파압계산 결과가 20, 30cm에서의 파압계산 결과보다 더 작아지게 되는 것으로 검토되었다. 이러한 결과는 파랑이 수로상으로 전파되어 오면서 수심파고비 등의 문제로 진입 파랑이 쇄파되어 파력이 약하게 나타나는 것으로 보여지며, 쇄파가 되지 않는 조건에 대한 실험에서는 결과가 달라질 수도 있을 것으로 판단된다.

< 압파시 II b( $T=2.0\text{sec}$ ,  $H_d=30\text{cm}$ ) >



< 압파시 II b( $T=2.0\text{sec}$ ,  $H_d=40\text{cm}$ ) >

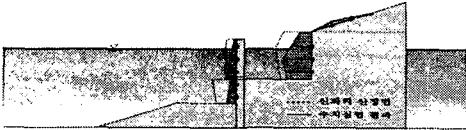


Fig. 2.7 신파력 산정법과 수치실험의 설계파력 분포 비교 - 유수실 후벽 및 상부 사면

## 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 최근의 방파제 설계시 많이 적용되고 있는 유공 직립 케이슨 방파제에 대한 각 부재에 작용하는 위상차별 파압에 대해 기존의 수리실험 결과에서 접근된 신파력 산정법을 수치해석 기법을 통해 그 적용성을 검증하였고, 경사형 상치를 가진 친수성 유공 방파제의 전사면 파압을 산정하였으며 그 연구결과는 다음과 같다.

- 수치파동수로를 이용한 수치해석 결과 유공케이슨식 방파제의 부재별 작용 파압은 Takahashi 등의 수리실험결과와 대체적으로 비슷한 결과를 보여주는 것으로 평가되었다.

- Takahashi 등이 제안한 신파력 산정법과의 비교에서도 부재별 파력 산정지점 및 파압 계측지점의 차이에 의한 Peak치의 위치 차이는 다소 있으나 그 경향은 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있었으며 슬릿부 및 전면블투과벽에 비하여 유수실 후벽에 미치는 파압이 더 크게 산정 되는 것을 알 수 있었다.

- 또한, 경사식 상치 사면을 가진 직립유공케이슨의 경우 파고의 크기가 크다고 해서 사면에서의 파압이 크게 나타나지 않는다는 것을 알 수 있었

으나, 이는 쇄파의 영향으로 예측되므로 쇄파가 되지 않는 조건에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용한 프로그램의 특성상 규칙파를 이용하여 수치해석을 시행하였으므로, 보다 정밀한 유공 케이슨식 방파제의 각 부재에 미치는 파압의 검증 및 파력 계산법 제시를 위해서는 불규칙파를 이용한 해석이 추가 검토 되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학연 공동기술개발 컨소시엄 과제로부터 재정적 지원을 받았습니다.

## 참고문헌

- Jarlan, G. E., A perforated vertical wall breakwater, 1961, The Dock and Harbor Authority, Vol. 41. No. 488 pp. 349~398.
- Lin, P. and Liu, P.L.-F., (1998). "A numerical study of breaking waves in the surf zone". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 359, pp. 239~264.
- Shigeo Takahashi, Ken-ichirou Shimosako, Hitoshi Sasaki (1991). "Experimental Study on Wave Forces Acting on Perforated Wall Caisson Breakwaters". Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol. 30, No. 4.
- Yoshimi Goda, (2000). "Random Seas and Design of Maritime Structures(2nd Edition)". World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- 運輸省港灣局監修 (1989). 港灣の施設の技術上の基準・同解説(上), pp. 130~132
- 성상봉, 전인식, 이달수 (2003). "경사식 방파제의 전사면 파압에 대한 고찰 : I. 수치파동수조의 적용". 대한토목학회논문집, 23(6-B) pp. 575~579.
- 수치파동수로연구회 (2003). 수치파동수로(CADMAS-SURF)의 연구 및 개발
- 전인식, 박우선, 이달수 (1993). "유공 방파제의 파압 분포특성과 안정도". 한국해안·해양공학회지, 제5권 제2호, pp. 66~75.
- 전찬후, 조용식, 이종인 (2003). "사다리꼴 형상 투과성 수중방파제에 의한 정현파의 Bragg 반사". 한국수자원학회 논문집, 제36권 제5호, pp. 741~741.
- 해양수산부 (2000). 항만 및 여항 설계