

수중방파제와 다공성 소파장치가 구조물에 미치는 영향

Influence of a Structure by the Submerged Breakwater and the Porous Wave Absorber

박진호* · 정태화** · 조용식***

Park, Jin Ho · Jung, Tae Hwa · Cho, Yong-Sik

Abstract

There are many studies about submerged structures or porous wave absorbers to decrease damage of coast and structures. Submerged structures and porous wave absorber are decreasing energy of incoming wave by reflecting or dissipation with changing depth or with porous rubble mound. This study addresses the reflection and transmission of long wave from a trapezoidal breakwater and a vertical porous wave absorber at the same time. A systematic shape transfer is derived to determine wave reflection and transmission. And periodic solutions are matched at the slope and the front face of the absorber by assuming continuity of pressure and mass. The transmission coefficient is determined as a function of parameters describing the incoming waves, transmitting waves through the trapezoidal breakwater and the absorber characteristics.

key words : trapezoidal breakwater, porous wave absorber

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 그 지리적 특성 때문에 연안 지역에 많은 인구밀집 지역 및 국가 기간 시설물들이 위치하고 있다. 최근 지구 온난화로 인한 해수면의 상승은 이러한 연안 지역을 위협하고 있으며 따라서 이에 대한 적절한 대책이 필요하다. 대표적인 방법으로 수중 구조물을 설치하여 입사파의 에너지를 줄이는 방법이 있다. 이에 대한 해석적인 연구로 Chang과 Liou(2007)는 사다리꼴형 수중방파제의 대하여 전면과 후면의 경사에 변화를 주면서 장주기파의 입사파와 투과파의 상관관계를 조사하였다. 그러나 그들의 논문에서 잠체에 의한 입사파 및 투과파의 변화가 연안 구조물에 미치는 영향은 언급하지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 소파 블록으로 보호를 받고 있는 연직 구조물 전면에 사다리꼴 형태의 잠체가 있는 경우에 잠체에 의한 파의 투과 및 반사가 연직 구조물의 처오름 높이에 끼치는 영향을 살펴보았다.

2. 지배방정식

본 연구에서 고려하는 영역은 Fig. 1과 같이 일정 수심 영역과 일정한 기울기를 가지는 영역으로 구성되어 있으며 일정 수심 영역은 다시 에너지 소산이 없는 지역(Sec. 1, 3, 5)과 에너지가 소산되는 다공성 지역(Sec. 6) 으로 구분된다. 각각의 지배 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = A_i e^{ik_i x} + B_i e^{-ik_i x} \quad (\text{Sec. 1, 3, 5}) \quad (1)$$

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : lions@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 박사 후 과정

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

$$\eta = a_1 e^{-i\kappa x} + a_2 e^{i\kappa x} \quad (\text{Sec. 6}) \quad (2)$$

여기서, η 는 자유 수면 변위, $k = \sigma / \sqrt{gh}$ 는 파수, A_i, a_i 는 각 지점에서의 입사파의 파고, B_i, a_2 는 반사파 파고를 의미하며. $\kappa = \sigma \sqrt{1 - if} / \sqrt{gh}$ 는 에너지 소산이 고려된 파수값을 의미한다(Madsen, 1983). 일정 경사를 가진 영역에서의 해는 다음과 같이 표현이 가능하다. (Dean, 1964)

$$\eta = C_i J_0(2\sqrt{nX_i}) + D_i Y_0(2\sqrt{nX_i}) \quad (\text{Sec. 2, 4}) \quad (3)$$

여기서, C_i 및 D_i 는 미지 상수값을 의미하며 J_0 는 제 1종 0차 Bessel 함수 그리고 Y_0 는 제 2종 0차 Bessel 함수를 의미한다. 식 (3)의 n, X_i 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$n = \frac{\sigma^2}{g \tan^2 \beta} \quad (4)$$

$$X_i = h = h_1 - x \tan \beta \quad (5)$$

$$\tan \beta = \frac{b}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

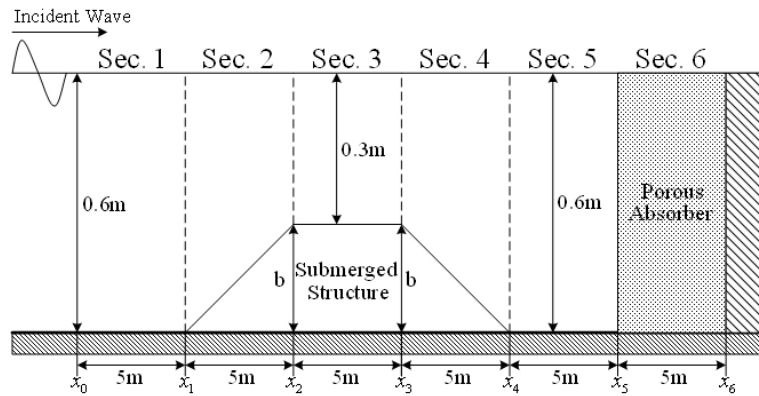


Fig. 1. 수처모의 지형

식 (1) ~ (3)의 미지수를 구하기 위하여 각 지점별로 다음의 경계식을 사용하였다.

$$\eta_i = \eta_{i+1} \quad \text{at } x_i \quad (i=1 \sim 6) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \eta_i}{\partial x} = \frac{\partial \eta_{i+1}}{\partial x} \quad \text{at } x_i \quad (i=1 \sim 5) \quad (8)$$

$$\frac{\partial \eta_i}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x_6 \quad (9)$$

여기서, 식 (7), (8) 및 (9)는 각각 자유 수면에서의 압력 연속, 유속 연속 및 연직벽에서의 완전 반사를 의미한다.

3. 수처모의

Fig. 1과 같이 지형을 설정한 후에 주기별로 수중방파제에 의한 투과율과 소파장치 전·후에서 처오름 높이를 계산하여 그 영향력을 알아보았다. 입사파에 대한 유의주기를 8 초부터 0.5 초 간격으로

10.5 초까지 변화시키면서 다양한 기울기를 가지는 수중방파제에 대하여 각각의 값들을 비교하였다. 기울기 값은 수중구조물로부터 수면까지의 거리를 고정시킨 후 $x_1 \sim x_2$ 와 $x_3 \sim x_4$ 의 거리를 변화하거나 $x_1 \sim x_2$ 와 $x_3 \sim x_4$ 의 거리를 고정시킨 후 수중구조물로부터 수면까지의 거리에 변화를 주어 0.02부터 0.08까지 고려하였다. 다공성 영역에서의 마찰계수는 임의적으로 2로 고정하면서 수중구조물을 통과한 투과파에 의한 영향력을 소파장치 전·후면에서의 자유수면 높이를 비교하여 그 결과를 분석하였다.

4. 결 과

유의주기가 증가할수록 각 기울기에서 나타나는 투과율 및 처오름의 높이는 Fig. 2와 같다. 기울기는 $x_1 \sim x_2$ 와 $x_3 \sim x_4$ 의 거리를 고정시킨 후 수중구조물로부터 수면까지의 거리에 변화를 주어 결정하였다. Fig. 2-(a)에서 알 수 있듯이 유의주기가 증가할수록 투과율은 기울기가 0.02와 0.04에서 증가와 감소를 반복하고, 0.06에서는 점차 감소하다 증가를 0.08에서는 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 수중구조물을 통과한 투과파의 소파장치 전·후면에서 처오름 높이를 비교해보면 그림 2-(b)와 그림 2-(c)와 같이 나타났다. 전체적으로 소파장치 전면에서보다 후면에서 처오름의 높이가 현저하게 감소하였음을 알 수 있다. 소파장치 전면에서는 기울기 0.04를 통과한 투과파의 처오름이 주기가 증가함에 따라 감소폭이 점차 작아짐을 알 수 있으나 그 외의 기울기에서는 증가와 감소가 나타났다. 후면에서는 전체적으로 소파 상승 후 감소하는 경향이 나타났다.

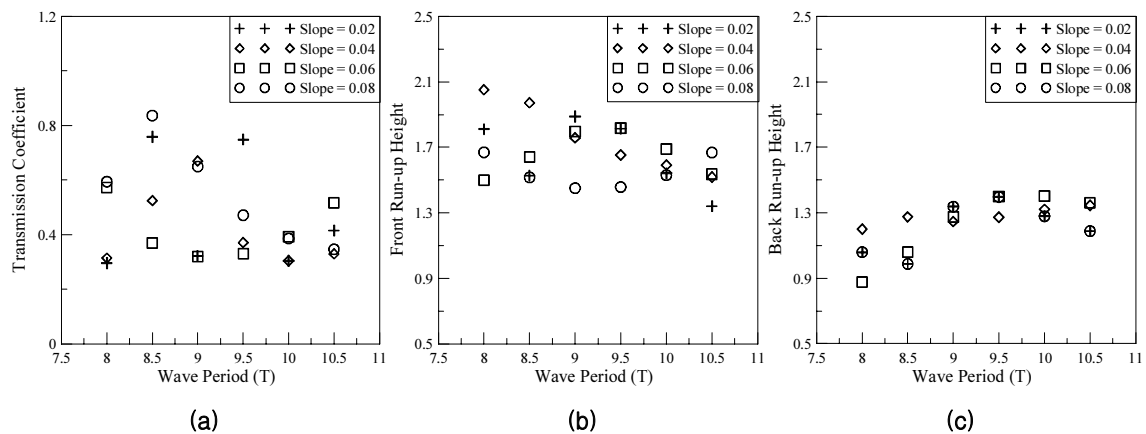


Fig. 2. 폭 고정 시 유의주기에 따른 투과율 및 소파장치 전·후면에서의 처오름 높이

다음으로, 수중구조물로부터 수면까지의 거리를 고정시킨 후 $x_1 \sim x_2$ 와 $x_3 \sim x_4$ 의 거리를 변화하여 기울기에 따른 유의주기별 투과율 및 처오름을 비교하여 Fig. 3과 같이 나타내었다. Fig. 3-(a)에서 모든 기울기에서 투과율이 증가와 감소를 나타내었다. 가장 작은 기울기인 0.02에서 주기별 차이가 가장 심하게 났으며 0.04에서 증가하다가 감소하였고, 반대로 0.06에서는 감소하다 증가하였다. 기울기 0.08에서 투과율은 주기가 점차 증가하는 성향을 띄었다. Fig. 3-(b)와 (c)를 살펴보면, 전체적으로 통과 전·후의 파고 높이가 크게 줄었음이 나타났다. 모든 주기에서 기울기가 증가함에 따라 증가와 감소를 나타냈으며, 경향은 비슷하게 나타났다. 유의주기가 증가함에 따라 소파장치 전면에서는 처오름 높이는 점차 감소함을 나타냈으나, 소파장치 후면에서는 점차 증가하는 결과를 보였다.

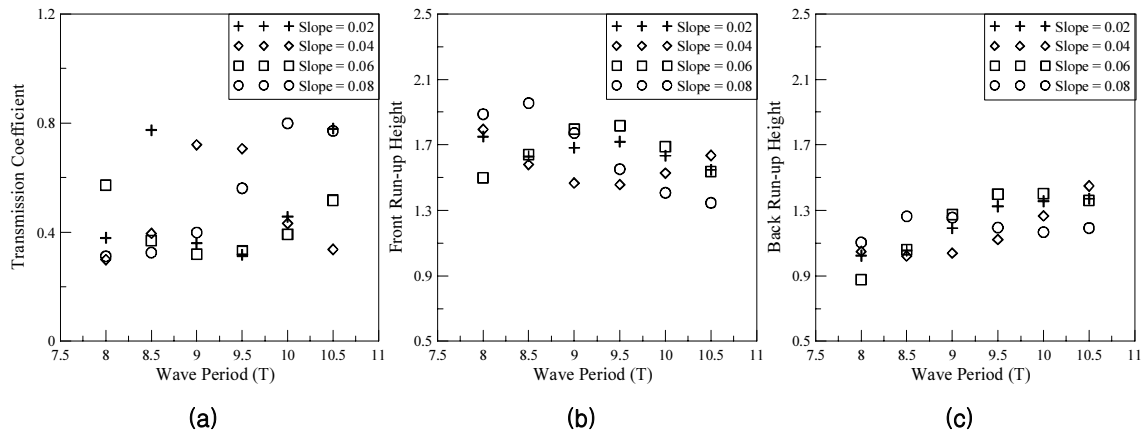


Fig. 3. 수면까지 높이 고정 시 유의주기에 따른 투과율 및 소파장치 전·후면에서의 처오름 높이

5. 결론

입사파의 유의주기 또는 수중구조물의 기울기에 변화를 주면서 투과율과 처오름 높이를 비교해 보았다. 투과율의 경우, 일부 영역에서는 꾸준히 증가하거나 감소하는 결과가 나왔으며 나머지 구간에서는 증가와 감소가 반복적으로 나타났다. 수중구조물 상단면에서 수면까지의 높이를 고정하고 하단면의 폭에 변화를 주어 기울기를 결정했을 경우 각 기울기별 투과율의 값은 하단폭을 고정하면서 상단면에서 자유 수면까지의 수심값에 변화를 주면서 기울기를 변화시킨 경우와 큰 차이를 나타냈다. 전체적으로 유의주기가 커질수록 수면까지의 높이를 고정한 경우가 투과율이 더 크게 나왔으며, 기울기 0.06을 제외하고 나머지 기울기에서는 그 경향성마저 다르게 나타났다. 처오름 높이는 소파장치를 통과하면서 줄어드는 현상이 뚜렷이 나타났다. 상단면에서의 수심을 고정한 후 수중구조물 하단면의 폭을 증가하여 기울기를 계산하였을 때 기울기 0.02와 0.06에서는 수면의 높이를 변화하였을 때와 비슷한 경향을 보였으나 그 외의 기울기에서는 다르게 나타났다. 또한, 소파장치 후면에서의 처오름 높이는 비슷한 경향을 나타내고 있으나, 수중구조물의 하단면의 폭을 증가시켜 기울기의 변화를 준 경우가 조금 더 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청, 서울특별시 및 (주)대영엔지니어링의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Dean, R.G., (1964). Long wave modification by linear transitions, Rev. Mat. Hisp.-Am, Vol. 1, No. 90, pp. 1-29.
2. Madsen, P.A., (1983). Wave reflection from a vertical permeable wave absorber, Coastal Eng., 7, pp. 381-396.
3. Hsien-Kuo Chang and Jin-Cheng Liou, (2007), Long wave reflection from submerged trapezoidal breakwaters, Ocean Eng., 34, pp. 185-191