

Note

진동수로 내장 해수교환방파제의 수로길이 변화에 따른 수위공진

이달수^{1*} · 오영민¹ · 전인식² · 김창일²¹한국해양연구원 연안·항만공학연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29²건국대학교 토목공학과
(143-701) 서울특별시 광진구 화양동 1번지

Effects of the Oscillating Water Channel Length on the Water Surface Elevation within Seawater Exchange Breakwater

Dal Soo Lee^{1*}, Young Min Oh¹, In Sik Chun², and Chang Il Kim²¹Coastal and Harbor Engineering Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea²Department of Civil Engineering, Konkuk University
Seoul 143-701, Korea

Abstract : The seawater exchange breakwater equipped with an oscillating water channel and water transmitting pipes has a very spectacular function that seawater supply can be greatly increased due to the upsurge of the water surface inside the channel at resonance condition which can be reached when the incident wave period becomes close to the natural period of the channel. The variations of the water level and period inside the channel are very important factors in enhancing the efficiency of sea water exchange, especially when designing the breakwater cross-section in shallow water zone which requires longer resonance period with the elongated horizontal projection of the channel. In the present study, a hydraulic experiment was performed varying the length of the oscillating channel, and the resonance periods and water surface variations are analyzed in terms of water transmission through the pipes.

Key words : 해수교환방파제(seawater exchange breakwater), 진동 수로(oscillating water channel), 공진 조건(resonance condition), 항내 수질(water quality inside harbor)

1. 서 론

해수교환방파제 설치로 항내의 수질개선 효과를 기대하려면 방파제를 통해 항내로 순유입량이 발생되어야 한다. 순유입량이 발생되기 위해서는 방파제 전면의 최대수위 또는 평균수위가 증대되거나 방파제의 도수로 내에서 항 외측으로 발생하는 흐름을 감소시켜야 한다.

Fig. 1은 진동수로 내장 케이슨식 해수교환방파제에서

진동수로의 형상을 원호형으로 적용한 예로서 원호수로형 방파제(Circular Channel Breakwater: CCB)라 이름지은 해수교환방파제이다(Lee *et al.* 1994).

케이슨의 전면부에 진동수로를 설치하고 후면부에는 이 진동수로와 케이슨의 후면벽 사이에 도수파이프를 설치한 신형 방파제 단면의 한 예이다. 도수파이프의 유입구는 정지수면 부근의 높이에 설치되어 방파제 전면에 파곡이 형성될 때 도수파이프를 통한 역류가 감소되는 특징도 있다. 이 형식에서는 내습파의 주기가 진동수로 내 수위의 공진주기와 유사한 경우 진동수로 내에서 공진이 발생하

*Corresponding author. E-mail : dslee@kordi.re.kr

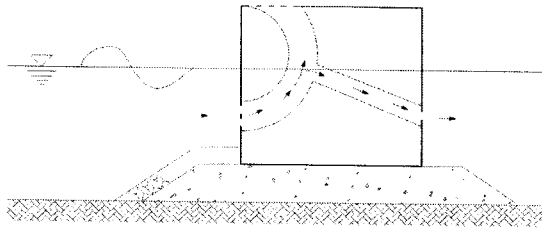


Fig. 1. Schematic layout of the circular channel breakwater.

여 수위의 상승폭이 대폭 확대된다. 진동수로 내에서 수위의 상승폭이 증대됨으로 인해 진동수로 내 평균수면도 정지수면보다 높게 형성된다. 수리모형실험과 원통형 좌표계를 이용한 선형 이론해석에서 공진주기는 1차적으로 정지수면에 있는 진동수로의 길이에 따라 결정됨이 확인되었다(Lee et al. 1994). 이 방파제의 특징은 파고가 낮은 경우에도 해수 유입효율이 높으며 현장에서 발생빈도가 높은 파의 주기에 맞추어 진동수로를 설계하면 총체적인 해수 유입효율을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 반사율은 파의 주기가 진동수로의 공진주기 부근일 때 최저가 된다(Lee et al. 1994; Lee and Lee 2003). 케이슨식 혼성제라는 점과 주기성이 유지된 파에 의해 공진이 잘 발생함을 볼 때 수심이 깊은 입지에서 유리한 구조형식이다.

Fig. 2는 진동수로형 방파제의 또 다른 적용예로서 시공성을 감안해 진동수로의 벽면 형상을 곡선이 아닌 직선들로 구성한 예를 보여준다.

이달수 등(1999)과 이창훈 등(1999) 및 Lee와 Lee(2003)은 진동수로의 형상이 원호형이 아닌 일반적인 경우에 대하여 진동수로 내 수위공진에 관한 선형 이론식을 유도하였으며 이를 이달수 등(1999)의 규칙파와 불규칙파 실험결과와 비교함으로써 실험에서의 공진주기는 선형 이론식으로 예측한 공진주기보다 15~20% 값을 발견하였다. 그리고 진동수로의 중심을 따른 단면적의 변화가 없을 때에 공진주기 T_r 는 다음 식 (1)로 표시됨을 확인하였다.

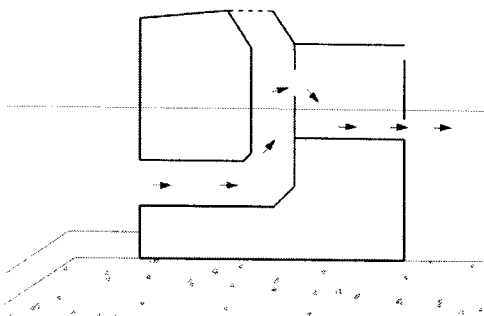


Fig. 2. Schematic layout of oscillating water channel breakwater.

식 (1)에서 l 은 진동수로의 정지수면하 부분의 길이, g 는 중력가속도이다.

$$T_r = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

식 (1)에서 보면 공진주기는 진동수로의 정지수면하 부분의 길이 l 의 평방근에 비례한다. 즉, 공진주기를 증가시키기 위해서는 진동수로의 길이를 대폭 증대시켜야 한다. 현장에서 진동수로의 길이를 증가시키려면 1차적으로 케이슨의 정지수면하 깊이를 증가시키는 방법이 있다. 그러나 수심이 얕은 입지에서는 이 방법을 사용할 수 없다. 따라서, 케이슨의 폭을 증가시킴으로써 진동수로의 정지수면하 길이를 증가시키는 방법이 필요하다.

이전 연구결과들은 진동수로의 길이에 변화를 주지 않은 상태에서 공진현상과 유입특성을 규명하였다. 그러나 설계기술자의 입장에서는 이렇게 케이슨의 폭을 증가시킴으로써 진동수로의 길이를 증가시켜도 공진현상이 왜곡되지 않는가 또는 진동수로의 길이가 증가될 경우 수위 상승폭은 어떻게 변하는가는 매우 중요하며 실험으로 확인이 되어야만 설계에 채택할 수 있을 것이다. 본 실험은 이러한 의문에 답을 주기 위해 수행된 것이다. 공진현상에 중점을 두기 위하여 진동수로 내장 방파제에서 도수파이 뜨는 설치하지 않았다.

2. 실험조건

실험수로의 제원은 길이 53 m, 높이 1.25 m, 폭 1.0 m이며 실험수심은 조파기 위치에서 55 cm, 방파제 위치에서는 41.6 cm이다. 수조의 저면경사는 방파제 전면에서 조파기 방향으로 1/70, 1/10로 하였다.

Fig. 3에서 보여주듯이 수조의 폭을 6:4로 분할하여, 폭 60 cm의 광수로에 모형을 설치하였다. W_1 는 수위계를 나타내는 것으로서 W_1 은 수조의 저면이 평평한 구간에서 파고를 모니터링하기 위하여, $W_2 \sim W_4$ 는 광수로에서 입사파와 반사파를 분리하기 위해서, W_5 는 케이슨 전면에서 수위를 측정함으로써 월파를 검토하기 위하여 그리고 W_6 과 W_7 은 진동수로 내의 수위를 측정하기 위하여 각각 사용하였다.

Fig. 4는 수평부분의 길이가 서로 다른 진동수로 2개를 동시에 내장한 케이슨의 단면을 나타낸다. 진동수로 내의 첨두 수위를 측정하기 위해 진동수로는 케이슨의 마루보다 상방향으로 높게 연장하였다. 진동수로 유입구는 장방형으로 한 변의 크기는 10 cm이다.

진동수로의 정지수면 아래 부분의 길이는 단수로가 30 cm, 장수로가 47 cm이다. 진동수로 내의 이론 공진주기를 식 (1)을 이용해 계산하면 정지수면하 부분의 길이가 30

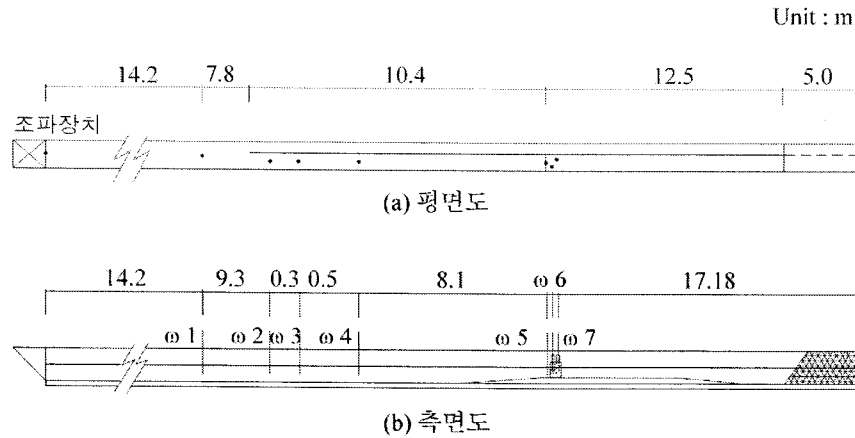


Fig. 3. Experimental facilities.

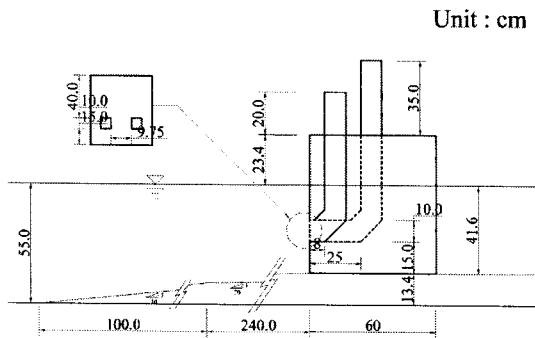


Fig. 4. Cross-section of oscillating water channels.

cm인 단수로에서는 1.1초, 47 cm인 장수로에서는 1.38초이다.

실험파는 규칙파로서 방파제 전면 수심이 55 cm이며 저면이 평탄한 구간(W1)에서 파고를 5 cm, 7 cm, 10 cm, 13 cm인 4가지로 변화시켰으며 주기는 0.8초, 0.9초, 0.95초, 1.00초, 1.05초, 1.10초, 1.15초, 1.20초, 1.25초, 1.30초, 1.35초, 1.40초, 1.45초, 1.50초, 1.55초, 1.60초, 1.70초, 1.80초, 2.0초인 19가지로 변화시켰다. 여기서, 파고 10 cm인 경우에는 주기 0.8초, 파고 13 cm인 경우에는 주기 0.8초 및 0.9초인 파를 제외하여 총 73개의 파를 이용하였다.

수위 계측자료는 조파관으로부터 반사된 파가 모형에 도달하기 전까지의 자료만을 분석하였다.

3. 결과분석

Fig. 5에는 진동수로 내에서 계측한 침두수위의 변화를 나타냈다. 여기서, 연속측은 진동수로 내의 수위상승 침두값 $\bar{\eta}_c$ 를 환산심해파고 H_0 로 나누어 무차원하였으며 수평축은 파의 주기 T 를 해당 진동수로의 공진주기 T_r 로 나

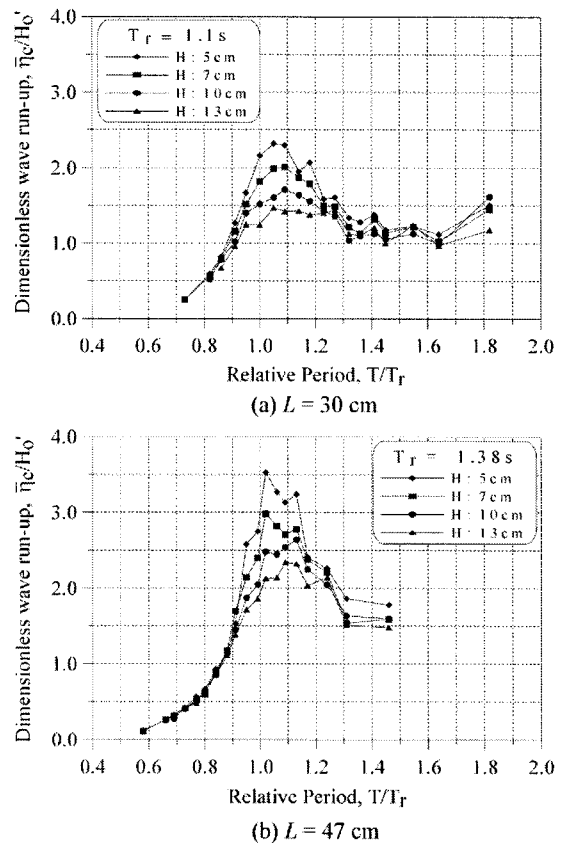


Fig. 5. Variation of peak run-up with respect to periods.

누어 무차원화하였다. $\bar{\eta}_c$ 는 연속된 침두값 3개의 평균치이다. Fig. 5 안에 표시된 파고 H 는 W1으로 계측한 대표 입사파고를 나타낸다.

Fig. 5를 살펴보면 다음 사실들을 발견할 수 있다. ① 수위 상승의 침두값은 진동수로의 길이에 관계없이 각 이론

공진주기보다 약 10% 긴 범위 이내에서 계측되어 진동수로의 수평부분의 길이를 증가시킴으로써 공진주기를 증가시키는 방법은 설계에서 사용 가능한 방법임을 확인할 수 있다. ② 무차원 수위상승고의 값들이 파의 주기가 매우 짧은 경우를 제외하고는 항상 1.0보다 크다. 이는 진동수로 내에서의 수위의 상승은 상승고가 작은 경우에도 직립벽에서의 처올림보다 작지 않음을 의미한다.

Fig. 6에는 Fig. 5에서 무차원 수위 상승고의 파고별 최대값들의 변화를 나타낸 것이다. 수평축은 장방향인 진동수로 유입구의 한 변의 크기 D 를 환산삼해파고 H'_0 로 나누어 무차원화 한 것이다.

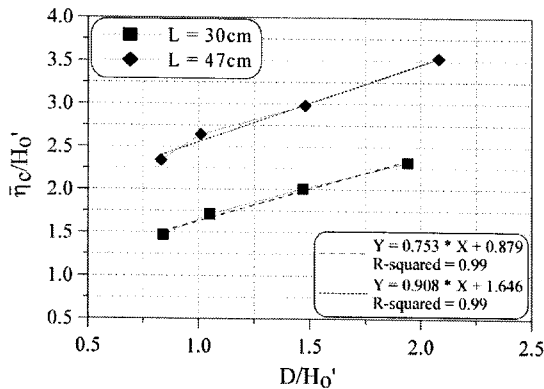


Fig. 6. Variation of the largest peak run-up with respect to relative inlet size of oscillating water channel.

Fig. 6으로부터 다음 사실을 발견할 수 있다.

1. 진동수로 내의 무차원 수위 상승고는 진동수로의 길이가 길어지면 따라서 커진다.
2. 무차원 수위 상승고는 파고가 감소하면 증가한다. 이로부터 진동수로 내장 해수교환방파제는 현장에서 발생빈도는 높으나 파고가 작은 평상파에서 해수의 유입효율을 증대시키고자 할 때 유리한 형식임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 길이가 다른 진동수로가 설치된 방파제를 대상으로 규칙파를 이용한 수리모형실험을 수행하였다. 이로부터 다음과 같이 현장의 해수교환방파제를 설계할 때에 해수의 유입량을 증대시키기 위하여 반드시 고려

하여야 할 중요한 사실들을 발견하였다.

1. 수위 상승의 첨두값은 진동수로의 길이에 관계없이 각 이론 공진주기보다 약 10% 큰 범위 이내에서 계측되어 진동수로의 수평부분의 길이를 증가시킴으로써 공진주기를 증가시키는 방법은 설계에서 사용 가능한 방법임을 확인하였다.
2. 진동수로 내에서 무차원 수위상승고의 값들은 파의 주기가 매우 짧은 경우를 제외하고는 항상 1.0보다 크다. 이는 진동수로 내에서의 수위의 상승은 상승고가 작은 경우에도 직립벽에서의 처올림보다 작지 않음을 의미한다.
3. 진동수로 내의 무차원 수위상승고는 진동수로의 길이가 증가하면 따라서 증가한다.
4. 진동수로 내의 무차원 수위상승고는 파고가 감소하면 증가한다. 이로부터 진동수로 내장 해수교환방파제는 현장에서 발생빈도는 높으나 파고가 작은 평상파에서 해수의 유입효율을 증대시키고자 할 때 유리한 형식임을 알 수 있다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 연구과제 “해수교환 방파제의 실용화 연구(III)” 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 이달수 등. 1999. 해수교환 방파제의 실용화 연구(I), 해양수산부(연구기관: 한국해양연구원).
- 이창훈, 이달수, 오영민. 1999. 해수교환방파제의 L자형 수로에서의 수위의 공진 : 1. 이론 및 규칙파 실험. *대한토목학회 논문집*, 19, II-5, 645-651.
- Lee, C. and D.S. Lee. 2003. Water surface resonance in the L-shaped channel of seawater exchange breakwater. *Ocean Engineering*. (in press)
- Lee, D.S., W.S. Park, and N. Kobayashi. 1994. Circular channel breakwater to reduce wave overtopping and allow water exchange. p. 1373-1387. In: *Proc. 24th Int. Conf. Coastal Eng.*, Kobe.

Received Jul. 15, 2003

Accepted Nov. 26, 2003