

## 잠재평판에 의한 해수 순환 효과 The Effect of A Submerged Plate Breakwater to Sea Water Exchange

이 정 러\*  
Jung Lyul Lee\*

### 1. 서론

최근 주로 일본 해안공학자인 Hattori와 Matsumoto(1977), Aoyama 등(1988), Yu 등(1990)에 의하여 잠재평판(submerged plate)이 항만의 외곽 구조물로서 파랑 에너지의 저감에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되어 왔다. Hattori와 Matsumoto(1977)에 의하면 장파에 대하여 평판구조물은 방파제로서의 역할을 못하는 것으로 판명되었으며 그리고 Yu 등(1990)의 실험결과에 의하면 평판의 길이가 전수심에 의한 파장과 동일하고 평판위의 수심이 전수심의 0.2인 경우 0.8초의 단파에 대하여 투과율이 30%까지 감소되었다.

평판제가 입사파랑의 전파에 미치는 영향은 다음 3가지로 분류할 수 있다. 첫째, 입사파가 잠재된 평판을 통하여 전파할 때 평판 구조물과 파랑간의 상호작용으로 파랑 에너지의 일부가 반사되는 효과가 발생한다. 둘째, 평판상부의 수심이 얕으므로 인해서 파랑의 비선형성이 우월해지며 따라서 이 평판을 지난 후 비선형파의 분해(decomposition) 현상이 발생된다. 셋째, 평판상부의 수심이 얕으므로 파가 쇄파되면서 투과되는 최대 파고가 평판상부 수심에 의하여 제어된다는 것이다. 이 구조물을 설치할 경우 다음 2가지의 잇점이 기대된다. 첫째, 항내 수질향상을 위한 해수 순환에 유리하며 둘째, 부진동으로 인한 피해를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 실험결과를 통하여 해수순환에 미치는 잠재 평판제의 효과에 대하여 중점적으로 제시한다.

### 2. 수리모형실험

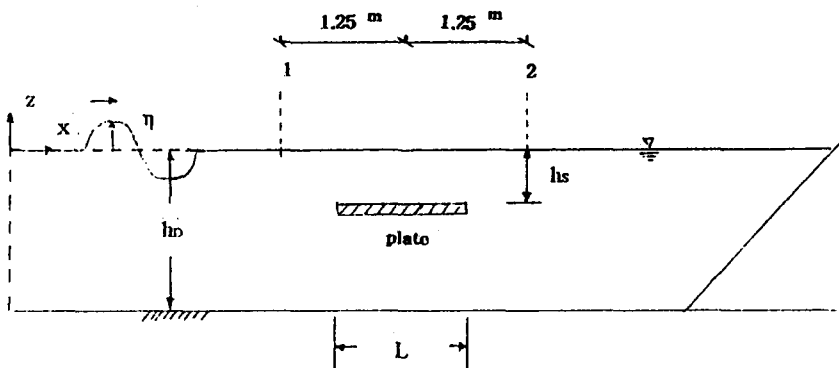


그림 1. 실험장치

\* 성균관대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon Campus, Suwon, Korea)

수조의 길이는 10m이며 폭은 0.4m, 높이는 0.7m이다. 조파기에 의하여 발생된 규칙파는 반대편에 경사를 갖고 위치한 스폰지로 넘어진 평판에 의하여 흡수된다. 파고계로부터 얻어지는 애널로그 신호(analog signal)는 앰프를 통하여 증폭된 후 A/D 변환기에 의하여 디지털 신호(digital signal)로 바뀌어 컴퓨터로 입력된다.

수조의 수심은 25cm, 평판위 수심은 7.5cm로 유지되며 조파기에 의하여 발생하는 파의 주기는 1.02초이다. 평판의 깊이는 1m로 입사파의 파장의 1.34배이다. 해수순환효과를 위한 실험에서 파고는 2.5, 3.0, 4.0 5.0, 5.5cm인 5가지 경우에 대하여 수행되었다.

### 3. 실험결과 분석

#### 3.1 파랑에너지 저감 효과

##### 3.1.1 반사 효과

잠재된 평판의 반사효과는 마치 평판아래를 막은 잠재의 경우와 거의 비슷한 결과를 얻었다. 다음 표는 잠재된 평판(submerged plate breakwater)과 잠재(submerged breakwater), 두 경우에 대한 관측 결과를 보여주고 있다.

구조물 \ 반사율	최대파고(cm)	최소파고(cm)	반사율(%)
평판재	2.8	2.0	17
	3.3	2.5	14
	4.0	2.7	19
	5.0	3.5	18
잠재	2.2	1.5	19
	2.6	1.7	21
	3.1	2.0	22
	4.0	2.7	19
	4.9	3.0	24

##### 3.1.2 파의 분해 효과

파의 분해효과는 주기적이지만 비선형적인 수위변동을 갖는 입사경계가 선형중력파 시스템에 유입되면서 일어나는 현상이다. 비선형적인 수위는 운동방정식의 비선형항으로 파랑 에너지가 파장이 다른 선형적인 파들로 이전된 상태로 간주될 수 있으며 비선형항의 기능이 다시 약화되면 이전된 에너지가 복원되지 않고 마치 주기가 반으로 감소된 것과 같은 파의 분해현상을 낳는다.

##### 3.1.3 쇄파 효과

파의 에너지가 수면운동에 의하여 전달되는 수면중력파(surface gravity wave)는 수심이 적어지게 되면 천수 및 비선형 효과에 의하여 파고가 커지게 되며 따라서 파가 쇄파되는 현상이 발생한다. 이렇게 일단 쇄파된 파는 Horikawa와 Kuo(1966)의 실험에 의하면 일정한 수심이 연속될 때 안정파고를 갖게되는 데 그 값은 수심의 40%에 이른다. 본 실험에 의하면 7.5cm의 평판상부 수심에서 파고가 3cm이상일 때 즉, 수심의 40%이상일 때 쇄파를 일으키는 것으로 관측되어 경사면에서 쇄파하는 경우와 비교하면 2배 큰 수심에서 파가 쇄파되기 시작한다. 따라서 평판의 길이가 입사파의 파장보다 크다면, 입사파고에 관계없이 평판위 수심에 의하여 쇄파후 항내로 투과되는 파고의 크기를 제어할 수 있다. 이에 대한 좀더 세밀한 실험이 수행 중에 있다.

### 3.2 해수순환 효과

평판아래를 통하여 파의 진행방향과 역행하는 흐름이 목격되었다. 그 흐름의 크기는 파가 평판위에서 쇄파되기 시작하면서 눈에 띄게 커지기 시작하여 마치 쇄파대에서 해저면 근처에서의 역류(undertow)와 유사한 현상을 일으킨다. 입자추적을 통하여 평판아래에서의 흐름의 크기를 관측한 결과는 다음과 같으며 평균 유속으로 환산하여 도시하면 그림 4와 같다.

입사파고 측정횟수		5.5 cm		5.0 cm		4.0 cm		3.0 cm	2.5 cm
1	11	13.81	16.03	22.57	19.04	54.23	49.70	66.48	342.87 (5'42.87)
2	12	15.05	14.99	19.14	16.57	36.34	46.17	65.67	
3	13	11.15	22.94	29.73	17.14	42.74	50.14	78.64	
4	14	13.71	24.90	19.10	29.82	35.04	73.84	67.83	
5	15	19.61	13.14	18.78	22.42	45.96	44.87	82.00	
6	16	13.42	13.34	16.04		51.75	57.75	79.22	
7	17	10.66	16.96	19.45		50.04	48.58		
8	18	13.82	15.31	20.87		45.07	36.71		
9	19	15.40	18.01	14.43		39.45	60.11		
10	20	14.84	15.04	21.53		30.49	48.84		
평균		15.61		20.44		47.39		73.31	342.87
유속 (cm/sec)		6.41		4.89		2.11		1.36	0.29

(단위 : sec)

오일러식 질량 이송에 대한 선형파 이론에 따르면 수심적분된 질량이송(mass transport)량은 파랑에너지를 파속으로 나눈 값과 같다. Phillips(1969)에 의하면 이러한 질량이송은 파곡과 파봉사이에서 일어나는 흐름으로 간주되므로 평판제상면에서 이 질량이송의 대부분이 이루어진다고 볼 수 있다. 따라서 바닥으로부터 17.5cm의 높이에 위치한 평판제 아래에서 질량보존법칙에 따라 동일한 질량이송이 파의 진행방향과 반대방향으로 이루어진다고 가정할 수 있으므로 파랑운동에 의한 단위 폭당 평균유속은 다음과 같다.

$$u = \frac{1}{(d-d_s)} \frac{E}{\rho C} = 0.065H_i^2 (cm/sec)$$

여기서  $H_i$ 는 입사파고이며 C는 평판위에서의 파속, E는 파랑 에너지로 천수 및 반사효과를 고려한 투과된 파의 평판위에서의 값으로 선형파 이론에 근거하여 계산되었다. 이 결과가 그림 4에서 실선으로 제시되었는데 파가 쇄파되기 전의 관측치와는 유사한 결과를 보이지만 파가 쇄파되기 시작하는 파고 3cm이상에서부터는 상당한 차이를 보이기 시작하여 파고의 자승에 비례한다기 보다는 3승에 비례하는 결과를 주고 있다. 만족할 만한 비례상수는 0.0385로 그 결과도 그림 3에서 점선으로 주어졌다.

이와 같이 잠재된 평판 방파제는 해수의 순환을 촉진시키므로 항내 오염된 해수를 외해와 교환시키는 구조물로서 항내 해수의 수질을 향상시키는 데 상당히 기여할 것이며 동시에 항내 유속의 감소로 인한 매물문제를 해결하는 구조물로서의 역할도 기대할 수 있다.

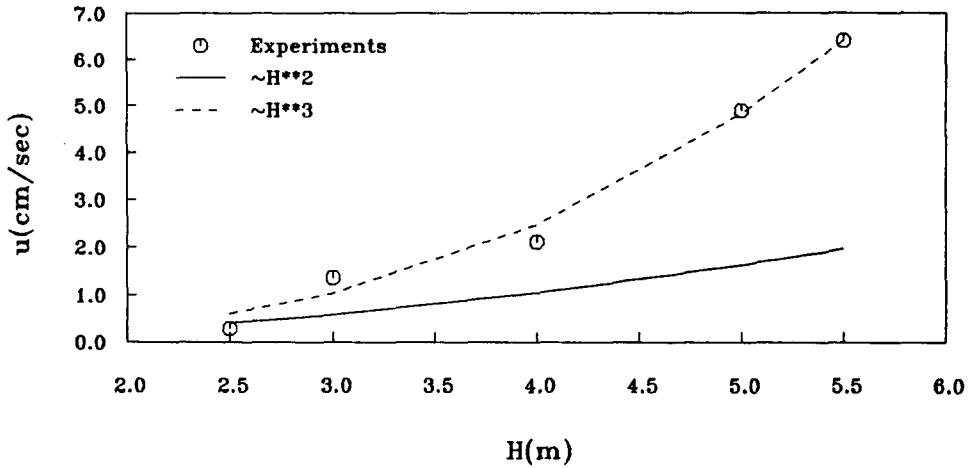


그림 3. 파고에 따른 평판아래 흐름의 변화

#### 4. 결론

평판위로 진행하는 파는 파의 진행방향으로 흐름을 발생시켜 평판아래에서 파의 진행방향과 반대방향의 흐름을 일으킨다. 그 흐름의 크기는 파가 쇄파되면서 눈에 띄게 증가하기 시작하여 파가 쇄파되지 않는 경우 파고의 자승에 비례하는 것과는 달리 파고의 3승에 비례하는 것으로 관측되었다. 따라서 잠재된 평판 방파제는 항내 오염된 해수를 외해와 순환시켜 항내 해수의 수질을 향상시키는 데 상당히 기여할 것이며 동시에 항내 매물문제를 해결하는 구조물로서의 역할도 기대할 수 있다.

#### 참고문헌

- Aoyama, T., Isobe, M., Izumiya, T., and Watanabe, A., 1988. Study on wave control in offshore region using a submerged plate, 35th Japanese Conf. on Coastal Eng., pp.507-511. (in Japanese)
- Hattori, M and Matsumoto, H., 1977. Hydraulic performances of a submerged horizontal plate breakwater, 24th Japanese Conf. on Coastal Eng., pp.266-270 (in Japanese)
- Horikawa, K and Kuo, C.T., 1966. A study on wave transformation inside surf zone, Proc. 10th ICCE, ASCE, pp.217-233.
- Phillips, O.M., 1969. The dynamics of the upper ocean, Cambridge University Press.
- Yu, X., Isobe, M., and Watanabe, A. 1990. Numerical simulation of nonlinear wave transformation over a submerged plate, Proc. 22th ICCE, ASCE, pp.136-149.