경사입사파 조건에서 유공구조물의 격벽효과에 대한 실험

이종인* · 김선우** · 김경호***

Lee, Jong-In*, Kim, Sun Ou**, Kim, Kyoung Ho***

Experiments for Side Wall Effects of a Perforated Structure Under Oblique Incident Waves

ABSTRACT

The wave height distributions in front of a vertically perforated wall structures for obliquely incident uni-directional irregular waves are mainly investigated by using 3D hydraulic experiments. The difference and similarity of wave propagation along the plain and perforated wall structures are investigated and particularly the effects of side walls in chamber and relative chamber width are analyzed. This study shows that the wave height distribution patterns for normalized wave heights in front of structure is significantly different between the plain and perforated wall structures, and the side wall in the chamber suppresses the growth of waves.

Key words : Laboratory experiment, Perforated structure, Side wall, Chamber width, Uni-directional irregular wave

초 록

본 연구에서는 불규칙파를 대상으로 한 경사입사파 내습시 유공구조물 전면에서의 파고분포를 파악하기 위해 평면수조를 이용한 수리실험을 수행하였다. 본 연구는 파랑의 전파특성에 있어 무공구조물과 유공구조물의 차이점과 유사점에 대해 검토하였으며, 특히 유공구조물의 유수실 폭과 유수실내 격벽의 효과에 대해 검토하였다. 제체 전면의 상대파고는 유공구조물인 경우와 무공구조물인 경우에 매우 큰 차이가 있음을 보였으며, 유수실내 격벽은 연파의 발달을 억제시키는 것으로 나타났다.

검색어 : 수리실험, 유공구조물, 격벽, 유수실 폭, 일방향 불규칙파

1. 서론

항만구조물(방파제, 접안시설 등)의 건설 수심이 깊고 설계파고가 큰 경우에는 경제성 및 안정성 확보 등의 측면에서 경사식구조물 보다는 직립식구조물로 건설되는 경향이다. 직립식구조물 형식 중 전면에 유공부를 설치한 유공구조물은 경제성 측면에서는 무공구조물에 비해 다소 불리한 측면이 있지만, 효율성 측면에서는 우수하다고 할 수 있다. 따라서 대형 항만구조물인 경우에 외곽시설과 접안시설 등에 유공구조물(유공 1실 또는 유공 2실)의 적용이 증가하고 있다. 유공구조물은 크게 전면벽의 상단부터 하단까지 전체가 유공부로 구성된 전면 유공구조물(fully perforated structure)과 정수면을 기준으로 상·하부 일부구간에만 유공부를 설치하는 부분 유공구조물(partially perforated structure)로 구분할 수 있으며, 실제 설계 및 건설시에는 안정성과 경제성 측면 등에서 유리한 부분 유공구조물이 대부분 적용되고 있다.

* 정회원 · 교신저자 · 전남대학교 공학대학 해양토목공학과 부교수 (Corresponding Author · Chonnam National University · jilee@chonnam.ac.kr)

** 충북대학교 토목공학과 (sunkso@hanmail.net)

*** 정회원 · 충북대학교 토목공학부 교수 (coastal@chungbuk.ac.kr)

Received August 13, 2013/ revised August 25, 2013/ accepted September 1, 2013

스테인리스 재질의 소파시설을 설치하여 조파기 후면에서 발생하는 파랑을 제어하였다. 그리고 수조의 좌우측면은 스테인리스 재질의 소파시설 및 쇄석을 설치하여 양측벽면에 의한 반사파를 제어하였다(Fig. 1 참조).

실험모형은 조파기 전면으로부터 5 m, 조파기 측면으로부터 3 m 떨어진 위치에서부터 설치하였으며, 조파기 전면으로부터 일정구간은 조파기에 의해 발생된 파랑을 유도하고, 조파기 후면으로부터 발생된 반사파가 실험영역내에 영향을 미치지 못하도록 하기 위해 불투수성 유도판을 설치하였다. Fig. 1은 실험영역 및 모형설치 개념도를 나타낸 것으로서 β 는 구조물과 입사파가 이루는 각이며, 계측지점의 원점(x_0 , y_0)은 조파기 전면 5 m, 조파기 측면 3 m에 설정하였다.

3. 실험모형 및 실험조건

본 연구에서 수행한 수리실험은 유공구조물에 파랑이 경사지게 입사할 때 유공구조물의 격벽이 파랑의 증폭저감에 미치는 영향을 검토하는 것이 주된 목적이며, 이를 위해 전면벽(front wall)이 무공인 경우(case PW), 전면벽이 유공인 조건에서 격벽(side wall)이 없는 경우(case PV_NS), 격벽이 무공형태인 경우(case PV_PS), 격벽이 유공형태인 경우(case PV_VS)를 대상으로 하였다(Table 1 참조).

본 실험에서 사용된 직립 유공구조물 모형은 아크릴재질로 제작하였으며, 모형의 폭(W)은 0.6 m, 높이(h_b+h_c)는 0.55 m이고, 길이는 20 m이다. 실험은 일정수심상에서 규칙파 및 일방향 불규칙 파를 대상으로 수행하였으며, 실험에 적용된 수심(h_0)은 0.45 m이다. 실험시 유공구조물 모형은 높이 0.05 m의 사석마운드 위에 설치하였기 때문에 실험수조 바닥으로부터 구조물 상단까지는 0.6 m이며, 정수면으로부터 구조물 상단까지의 여유고(h_c)는 0.15 m이다. 유공부 전체 길이는 0.138 m이고, 정수면으로부터 유공부 상단까지의 길이(S_U)는 0.075 m, 정수면으로부터 유공부 하단까지의 길이(S_L)는 0.063 m이다. 그리고 전면벽으로부터 후면벽(rear

wall)까지의 거리인 유수실 폭(C_W)은 0.125 m와 0.250 m를 적용하였으며, 유공벽의 유공부 제원은 $b_1=0.015$ m, $b_2=0.02$ m, $b_3=0.01$ m 및 $b_4=0.03$ m이고, 유공부 구간만을 대상으로 하였을 때 유공율(porosity)은 약 30.8%이다. 본 연구에서 수행한 대부분의 실험에서는 $C_W=0.125$ m를 적용하였고, $C_W=0.250$ m는 유수실 폭에 따른 효과를 검토하기 위해 제한적인 조건에서만 수행되었다. 그리고 단위함체의 길이(B)는 0.78 m이고 유공벽의 두께(t)는 0.01 m이며, 유수실 내 격벽간의 간격(C_L)은 0.13 m이다. 실험시 파랑에 의해 모형구조물이 움직이지 않도록 내부에 쇄석을 채워 중량을 확보하였으며, 구조물 높이 0.6 m와 수심 0.45 m는 월파가 발생하지 않는 조건이다(Fig. 2 and Table 2 참조).

실험에 적용된 입사파의 주기(T)는 $T=0.9$ sec와 $T=1.6$ sec이고, 파고(H)는 0.03 m와 0.06 m이다. Table 3은 본 실험에 적용된 실험파 제원을 요약한 것으로 T_0 , H_0 및 L_0 는 각각 규칙파 입사조건(case M1 & M2)에 해당하는 주기, 파고 및 파장이며, $(T_s)_0$, $(H_s)_0$ 및 $(L_s)_0$ 는 각각 불규칙파 입사조건(case R1 & R2)의 유의주기,

Fig. 2. Schematic Diagram of Model Structure

Table 1. Types of Model Structure

Case ID (model structure)	Types of front wall	Types of side wall
PW	plain wall	-
PV_NS	perforated wall with vertical-type slit	none
PV_PS	perforated wall with vertical-type slit	plain wall
PV_VS	perforated wall with vertical-type slit	perforated wall with vertical-type slit

Table 2. Dimensions of Model Structure (unit : cm)

W	B	h_b	h_c	S	C_W	C_L	t	Front and side wall with vertical-type slit			
								b_1	b_2	b_3	b_4
60	78	40	15	13.8	12.5 25.0	13	1	1.5	2	1	3

Table 3. Wave and Test Conditions in Experiment

case ID(wave)	wave period, T_o & $(T_s)_o$ (sec)	wave height, H_o & $(H_s)_o$ (m)	wave length, L_o & $(L_s)_o$ (m)	incident angle, $\beta(^{\circ})$	water depth, h_o (m)
M1, R1	0.9	0.03	1.238	10, 30	0.45
M2, R2	1.6	0.06	2.963		

유의파고 및 유의주기에 해당하는 파장이다. $h_o=0.45$ m 조건에서 선형분산관계식으로부터 계산된 파장(L)은 $T=0.9$ sec인 경우에 $L=1.238$ m, $T=1.6$ sec인 경우에 $L=2.963$ m이다. 본 실험에 사용된 모형길이 20 m는 $T=0.9$ sec에 대해서는 16.1 L , $T=1.6$ sec에 대해서는 6.7 L 에 해당된다. 실험에 적용된 입사파 조건은 실험 시 쇄파가 발생하지 않는 조건이며, 구조물과 입사파가 이루는 각(β)은 10°와 30°이다. 그리고 불규칙파는 Bretschneider-Mitsuyasu 주파수 스펙트럼을 이용하였다. 수리실험에 사용된 조파기가 사형조파기 이므로 경사입사파를 재현할 수 있으나, 입사각이 커질 경우에는 회절파로 인해 실험결과의 정확도가 저하될 수 있어 본 실험에서 입사파는 조파선에 직각방향의 일방향으로 조파하고 유공구조물 모형의 설치각도를 변경시켜 입사각(β)을 조절하였다. 실험시 입사파는 Fig. 1의 $x_o=y_o=0$ m인 위치에서, 그리고 구조물이 설치되지 않은 조건에서 진행과 개념으로 설정하였다.

직립구조물과 경사입사파에 의해 발생하는 파랑증폭 현상은 구조물을 따른 방향(x 방향)과 구조물 직각방향(y 방향)으로 계측을 하였으며, 구조물을 따른 파고는 제체전면에서 0.05 m 떨어진 위치에서 계측하였다. 파고계가 구조물에 인접할 경우에 구조물 전면벽과 파고계 사이의 간섭으로 인해 수면이 순간적으로 상승할 수 있으며, 이는 실험측오차를 수반할 수 있기 때문에 구조물 전면으로부터 일정 간격 이격하여 파고계를 배치하였다. $T=0.9$ sec인 경우, 구조물 전면을 따른 파고는 $x=0\sim 6.4$ m 구간은 $\Delta x=0.2$ m 간격, $x=6.4\sim 18.8$ m 구간은 $\Delta x=0.4$ m 간격으로 계측하였으며, $T=1.6$ sec인 경우에는 $x=0\sim 18.8$ m 구간을 $\Delta x=0.4$ m 간격으로 계측하였다. 그리고 구조물 직각방향으로의 파고 계측은 $T=0.9$ sec인 경우에 $x/L=6$ 과 15인 지점, $T=1.6$ sec인 경우에 $x/L=2$ 와 6인 지점에서 수행하였다. 구조물 직각방향으로는 $y=0.2\sim 6.4$ m까지 $\Delta y=0.2$ m 간격으로 파고를 계측하였다. 실험시 조파시간은 300 sec로서 $T=0.9$ sec인 경우에 약 333파, $T=1.6$ sec인 경우에 약 188파에 해당되며, 계측파고는 후반부 205 sec($T=0.9$ sec의 경우에 약 228파, $T=1.6$ sec인 경우에 약 128파) 동안 계측된 자료를 영점상향교차법(zero-up-crossing method)으로 분석하였다.

4. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 직립 유공구조물에 파랑이 경사지게 입사하는 경우에 유공구조물의 격벽이 파랑의 증폭 또는 저감에 미치는

영향을 분석하기 위해 수리실험을 수행하였으며, 입사파의 입사각, 파고 및 주기, 유수실내 격벽의 유무와 격벽의 형식, 유수실 폭의 변화 등에 따른 구조물 전면 및 구조물 직각방향으로의 파고를 계측하여 비교 분석하였다. 유공구조물을 대상으로 계측된 자료는 무공구조물의 실험결과와 비교하였으며, 본 연구에서 제시하는 대부분의 결과는 불규칙파를 적용한 것이다.

Fig. 3은 입사파가 R1($C_w^*=0.101$)인 조건에서 $\beta=10^\circ$ 와 30° 에 대해 구조물 전면을 따른 상대파고(H^*)를 무공구조물인 경우, 전면 벽이 유공벽인 조건에서 격벽(side wall)이 없는 경우와 격벽이 존재하는 경우에 대한 결과를 비교 도시한 것이다. 여기서 C_w^* 는 상대 유수실 폭으로서 불규칙파인 경우 $C_w^*=C_w/(L_s)_o$ (규칙파인 경우, $C_w^*=C_w/L_o$)이고, $H^*=H_s/(H_s)_o$ (규칙파인 경우, $H^*=H/H_o$)이다. $\beta=10^\circ$ 인 조건에서 격벽이 없는 경우는 구조물 시점을 제외하고는 무공구조물과 거의 유사한 상대파고를 보이며, 격벽이 없고 $\beta=30^\circ$ 인 조건의 경우에는 어느 정도의 파고 저감효과는 있으나, 격벽이 존재하는 경우에 비해서는 상당히 큰 상대파고가 계측되었다. 각각의 실험안별 차이점을 분석하기 위해 계측된 상대파고를 실험구간 전체를 대상으로 산술평균해 보면, $\beta=10^\circ$ 인 조건에서 PW 실험안의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.63$ 이고 PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.30$ 이다. Fig. 3에서 $x^*>3$ 인 구간에서는 PW와 PV_NS의 상대파고의 차이는 크지 않지만, 전체 구간을 대상으로 한 경우에 차이가 비교적 크게 나타나는 것은 유공구조물 시점부에서 상대파고가 상대적으로 작기 때문이다. PV_PS와 PV_VS의 경우, $(H^*)_{ave}$ 는 각각 0.43과 0.38로서 큰 차이를 보이지 않았다. $\beta=30^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.96$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.52$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 0.79$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 0.78$ 로 분석되었으며, $\beta=10^\circ$ 인 조건과 유사한 경향을 보인다. Fig. 4는 입사파가 R2($C_w^*=0.042$)인 조건의 결과를 도시한 것으로서 R1의 경우와 마찬가지로 격벽이 없는 유공구조물 전면의 상대파고는 무공구조물의 경우에 비해 약간 작게 나타났지만 그 차이는 크지 않았다. $\beta=10^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.47$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.28$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 0.98$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 0.98$ 로 분석되었으며, $\beta=30^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 2.02$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.88$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.50$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.51$ 이다. 전체적으로 R1 실험파의 경우보다 평균 상대파고가 크게 나타났으며, 이는 입사파의 주기가 상대적으로 길기 때문에 C_w^* 가 감소하여 소파효

Fig. 3. Relative wave Heights Along a Wall (x-dir.) by Side Wall Types (Test Case : R1, $C_w^*=0.101$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 4. Relative wave Heights Along a Wall (x-dir.) by Side Wall Types (Test Case : R2, $C_w^*=0.042$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

과가 떨어지기 때문이다. R1의 결과인 Fig. 3에서 격벽이 존재하는 경우는 유공구조물 전면의 상대파고가 전체적으로 1 이하로 계속되었으으며, 이는 유공구조물의 파랑증폭 억제효과가 우수함을 의미한다 할 수 있다. R2는 R1에 비해 입사파의 주기가 길어짐으로 인해, 즉 상대 유수실 폭이 감소함에 따라 격벽이 존재하는 유공구조물의 경우에도 실험조건 내에서 구조물 전면의 상대파고는 1 이상으로 나타났으며, 상대 유수실 폭이 감소함에 따라 무공구조물 전면의 상대파고와의 차이는 R1에 비해 감소하였다. 전체적으로 입사각이 증가할수록, 상대 유수실 폭이 작을수록 상대파고는 크게 나타났다. 그리고 R1과 R2 조건 모두 유공구조물의 격벽이 존재하는 경우에 격벽이 유공형태인 경우(PV_VS)가 무공형태인 경우(PV_PS)에 비해 전체적으로 약간 작은 상대파고를 보였으나 그 차이는 크지 않았다. Fig. 3 and Fig. 4에서 상대거리(x^*)는 $x^*=x/(L_0)$ (규칙파인 경우, $x^*=x/L_0$)이다.

Fig. 5 and Fig. 6은 입사파가 R1($C_w^*=0.101$)인 조건에서

Fig. 5. Relative wave Heights Normal to a Wall (y-dir.) by Side Wall Types at $x^*=6$ (Test Case : R1, $C_w^*=0.101$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 6. Relative wave Heights Normal to a Wall (y-dir.) by Side Wall Types at $x^*=15$ (Test Case : R1, $C_w^*=0.101$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

각각 $x^*=6$ 과 15인 위치에서 구조물 직각방향으로의 상대파고를 입사각별로 비교 도시한 것이다. $x^*=6$ 위치에서의 결과를 살펴보면 무공구조물과 격벽이 없는 유공구조물의 상대파고가 유사하게 나타남을 볼 수 있으며, 이는 Fig. 3 and Fig. 4에 도시된 결과와 동일한 경향이다. $x^*=15$ 위치에서 $\beta=10^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.11$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.06$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.06$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.06$ 으로 분석되었으며, $\beta=30^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.38$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.31$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.03$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.02$ 이다. 격벽이 존재하는 유공구조물의 경우에는 구조물 전면에서 상대적으로 낮은 파고가 분포함을 알 수 있으며, 입사각이 증가함에 따라 구조물 전면의 상대파고는 증대되었다. 계속위치($x^*=6$ 과 $x^*=15$)에 따른 상대파고의 차이는 크지 않았으나 $x^*=15$ 위치에서의 상대파고가 약간 크게 계속되었다. 그리고 $\beta=10^\circ$ 조건에서는 구조물로부터 3파장 정도 이격($y^* \approx 3$)되면

구조물의 형식에 따른 차이는 거의 나타나지 않았으나, 입사각이 큰 $\beta=30^\circ$ 조건에서는 전반적으로 유공구조물인 경우가 무공구조물에 비해 상대파고가 낮게 나타났다. Figs. 7 and 8은 입사파가 $R2(C_w^*=0.042)$ 인 조건에서 각각 $x^*=2$ 와 6인 위치에서 구조물 직각방향으로의 상대파고를 입사각별로 비교 도시한 것으로서 전반적인 경향은 R1 조건과 유사하다. $x^*=6$ 위치에서 $\beta=10^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.17$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.15$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.01$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 0.97$ 로 분석되었으며, $\beta=30^\circ$ 인 조건에서는 PW의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.39$, PV_NS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.30$, PV_PS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.09$, PV_VS의 경우 $(H^*)_{ave} \approx 1.07$ 이다. 상대 유수실 폭이 감소함에 따라 유공구조물에 의한 소파효과가 R1에 비해 다소 감소함을 알 수 있다. 그러나 격벽이 존재하는 경우에 구조물 전면에서의 상대파고는 1.5 이하로 나타났다. 무공구조물과 격벽이 없는 유공구조물에 비해 격벽이 있는 유공구조물인 경우에 구조물 전면에서의 상대파고가 낮게 나타남을 알 수 있으며, 이는 구조물의 안정성

또는 항만의 고유기능 확보측면에서 유리하다 할 수 있다. 즉, 유공구조물이 방파제에 적용될 경우에는 구조물 전면에서의 상대파고가 낮음으로서 구조물 선단부의 안정성 확보 등에 유리하며, 접안시설에 적용될 경우에는 선박의 동요를 저감시킬 수 있어 항만운영관점에서 유리하다 할 수 있다.

Figs. 9 and 10은 각각 R1과 R2의 입사파 조건에서 구조물 전면에서 계측된 불규칙파의 스펙트럼을 입사각별로 비교 도시한 것이다. Fig. 9는 R1 입사파 조건에서 $x^*=6.46$ 위치에서의 실험안별로 계측된 스펙트럼을 비교 도시한 것이다. Fig. 9(a)는 $\beta=10^\circ$ 인 경우로서 무공구조물과 격벽이 없는 유공구조물 실험안은 입사파 스펙트럼에 비해 크게 나타나지만 격벽이 있는 유공구조물인 경우는 입사파 스펙트럼보다 매우 작음을 알 수 있으며, 이는 상대파고가 낮게 계측된 것과 일치하는 것이다. $\beta=30^\circ$ 인 경우인 경우도 $\beta=10^\circ$ 와 유사한 경향을 보이나, 격벽이 있는 유공구조물 전면의 스펙트럼이 $\beta=10^\circ$ 인 조건에 비해서는 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 입사각이 증가함으로 인해 유공구조물에 의한 반사파가 증대되었

Fig. 7. Relative wave Heights Normal to a Wall (y-dir.) by Side Wall Types at $x^*=2$ (Test Case : R2, $C_w^*=0.042$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 8. Relative wave Heights Normal to a Wall (y-dir.) by Side Wall Types at $x^*=6$ (Test Case : R2, $C_w^*=0.042$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 9. Measured Frequency Spectra by Side Wall Types at $x^*=6.46$ (Test Case : R1, $C_w^*=0.101$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 10. Measured Frequency Spectra by Side Wall Types at $x^*=5.40$ (Test Case : R2, $C_w^*=0.042$). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

기 때문이다. Fig. 10은 R2 입사파 조건의 스펙트럼 분석결과로서 구조형상에 따른 차이점을 명확하게 보여준다. 즉, 유공구조물인 경우에도 유수실 내 격벽의 존재 유무에 따라 파랑중폭의 저감효과가 매우 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 격벽이 존재하는 유공구조물의 경우에도 격벽이 유공형상인 경우가 무공형상인 경우에 비해 파랑 스펙트럼의 크기가 약간 작음을 알 수 있다.

Figs. 11 and 12는 격벽이 없는 유공구조물을 대상으로 규칙파 (M1 & M2)와 불규칙파(R1 & R2)를 적용하고, 파랑특성 및 상대 유수실 폭의 차이에 따른 상대파고의 변화를 비교 도시한 것이다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 파랑특성(규칙파, 불규칙파)에 따른 차이는 거의 나타나지 않는다. 그러나 Figs. 11 and 12는 구조물을 따른 방향의 상대파고로서 기존 연구에 의하면 구조물 직각방향으로의 차이는 분명히 존재한다. 그리고 상대유수실 폭의 차이에 따른 소파효과의 차이도 확인할 수 있다. 불규칙파를 적용한 기존 연구에 의하면 파랑이 구조물에 직각으로 입사할 경우에

Fig. 11. Relative wave Heights Along a Wall (x-dir.) by Chamber Width (Test Case : M1 & R1, PV_NS). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

Fig. 12. Relative wave Heights Along a Wall (x-dir.) by Chamber Width (Test Case : M2 & R2, PV_NS). (a) $\beta=10^\circ$, (b) $\beta=30^\circ$

$C_w^* \approx 0.15$ 범위에서 최소 반사율이 나타나는 것으로 제시되어 있다. Fig. 11에서는 $C_w^*=0.101$ 보다는 $C_w^*=0.202$ 가 더 낮은 상대파고를 보이며, Fig. 12에서는 $C_w^*=0.042$ 보다는 $C_w^*=0.084$ 가 보다 나은 소파효과를 보인다.

5. 결론

직립 무공구조물과 경사입사파의 상호작용에 대해서는 다수의 연구자들에 의해 수치해석 및 수리실험을 통해 다양한 검토가 수행되었으나, 직립 유공구조물인 경우는 상대적으로 미흡한 실정이며, 유공구조물에 대한 기존 연구는 구조물에 직각으로 입사하는 조건인 2차원 실험으로 유공구조물의 소파특성을 검토한 연구가 대부분이었다. 최근 유공구조물과 경사입사파와의 상호관계해석에 대한 연구가 수치해석을 이용하여 일부 수행되고 있으나 미흡한 실정이며, 또한 수리실험자료와의 비교를 통한 검토는 실험자료의

부족 등으로 인해 거의 수행되고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 직립 유공구조물을 대상으로 경사입사파 내습시 구조물 전면의 파고를 수리실험을 통해 계측하고, 전면벽이 유공벽인 조건에서 유수살내 격벽의 유무와 격벽의 형상에 따른 조건과 전면벽이 무공벽인 조건을 비교하였다. 본 실험결과를 수치모형을 이용한 해석의 검증자료로 활용될 수 있기를 기대하며, 본 연구로부터 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 방파제 및 안벽 등과 같은 항만구조물 설계시 유공형 구조물을 적용하는 주된 이유 중의 하나는 유공부와 유수살에서의 에너지 소파효과를 이용하여 반사파를 저감시키기 위함이며, 직각 입사뿐만 아니라 경사입사파 조건에서도 유공형 구조물에 의한 소파효과를 확인할 수 있었다. 또한 입사각이 작을수록 소파효과는 큰 것으로 검토되었다
- (2) 경사입사파 내습시, 무공구조물과는 달리 격벽이 있는 유공구조물의 경우에는 제체 전면에서 낮은 상대파고가 분포함을 알 수 있었으며, 본 연구에서 수행한 실험과 조건내에서 상대 유수살 폭 $C_w^*=0.101$ 인 경우는 $H^*\leq 1$, $C_w^*=0.042$ 인 경우는 $H^*\leq 1.5$ 범위로 제체 전면의 파고가 분포하였다. 구조물 전면에서 파고가 낮게 분포한다는 것은 구조물 저면부의 안정성 확보 및 항만 고유기능 확보 측면에서 유리하다 할 수 있다.
- (3) 유공구조물인 경우에 유수살내 격벽의 존재가 파랑발달을 억제하는데 매우 중요함을 보였으며, 유수살내 격벽은 무공형 또는 다열 slit 형태의 유공형을 적용하는 것이 소파효과 증대에 유리함을 확인하였다. 즉, 본 실험으로부터 도출된 결과에 의하면 격벽이 유공형이지만 다열 slit 형태가 아닌 비교적 큰 하나의

사각형 형태로 설계하는 것은 다열 slit 형태에 비해 경사입사파의 파랑증폭을 억제하는데 미흡할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국해양과학기술진흥원의 연구비 지원(과제번호: 20110131)을 받아 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Fugazza, M. and Natale, L. (1992). "Hydraulic design of perforated breakwaters." *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 118, No. 1, pp. 1-14.
- Jarlan, G. E. (1961). "A perforated vertical wall breakwater." *Dock and Harbour Authority XII*, Vol. 486, pp. 394-398.
- Lee, J. I. and Kim, Y. T. (2012). "Experiments of wave heights in front of a perforated wall under obliquely incident waves: Monochromatic Wave Conditions." *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 5B, pp. 301-312 (in Korean).
- Li, Y. C., Dong, G., Liu, H. and Sun, D. (2003). "The reflection of oblique incident waves by breakwaters with double-layered perforated wall." *Coastal Engineering*, Vol. 50, pp. 47-60.
- Liu, H. J., Liu, Y. and Li, Y. C. (2009). "The theoretical study on diagonal wave interaction with perforated-wall breakwater with rock fill." *Acta Oceanologica Sinica*, Vol. 28, No. 6, pp. 103-110.
- Liu, Y., Li, Y. C. and Teng, B. (2007). "The reflection of oblique waves by an infinite number of partially perforated caissons." *Ocean Engineering*, Vol. 34, pp. 1965-1976.