

경사입사파에 대한 직립구조물에서의 공간적 월파분포 Distribution of wave overtopping along the vertical wall

김영택¹, 이종인², 조용식³

Young-Taek Kim¹, Jong-In Lee² and Yong-Sik Cho³

1. 서 론

항만구조물 중 방파제와 같은 외곽 구조물은 주설계 파향을 대상으로 평면 배치에 대한 설계를 하게 되며, 외곽 구조물에 의해서 차폐되는 항내측의 안벽과 같은 접안 시설은 항만 운영 및 지형 여건 등 여러 요인을 고려하여 설계 및 건설되어 진다. 이에 따라 항내측의 구조물에 대해서는 외곽구조물과 달리 경사지게 입사파가 내습하는 경우가 발생할 수 있으며, 특히 직립식 구조물이 대부분인 접안 시설의 경우 경사입사파 내습시 연파 등과 같은 입사파와 반사파의 상호작용에 의한 일종의 중복파에 의해 구조물 전면에서 파랑 증폭이 발생할 수 있다. 이에 따라 기존의 직각으로 입사파는 조건에 대한 구조물 설계 이외에 경사입사파에 대비한 설계도 고려되어야 할 것이다. 특히 항만 운영 및 배후지 이용에 직접적인 영향을 줄 수 있는 월파에 대해서는 다양한 조건에 대비한 설계가 필요할 것이다.

기존 월파량 예측을 위한 방법으로는 단순한 형상에 특정 조건에 대해서만 적용이 가능한 이론적인 방법, 구조물의 형상과 각종 변수를 변화시키면서 수행하는 수리실험을 이용한 방법 그리고 최근 수치모델을 이용한 방법을 들 수 있다. 그렇지만 월파에 대한 대부분의 설계기준 및 연구 성과는 직각으로 입사파가 구조물에 내습하는 조건이며, 입사파향의 변화에 대한 월파량의 변화는 대부분 직각입사파에 대한 경사입사파 내습시의 월파량 비로 산정하여 적용하고 있으며(van

der Meer and Janssen, 1995; Franco and Franco, 1999; Andersen and Burcharth, 2009 등), 아직까지는 경사입사파에 대한 공간적인 월파 분포에 대한 연구는 없다(EurOtop, 2007). 특히 경사 입사파가 구조물에 내습시 구조물을 따라서 발생하는 연파로 인하여 파고가 증폭될 수 있으며, 이는 기존 월파량 예측 기법을 이용하여 공간적인 월파량 예측을 할 수가 없다. 즉, 경사 입사파 내습시 구조물을 따라서 발생하는 월파의 공간적 분포의 예측이 필요하다.

본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 경사입사파에 대한 직립구조물에서의 월파에 대한 공간적인 분포를 검토하고자 한다.

2. 수리모형실험

2.1 실험시설 및 실험영역

본 실험은 한국건설기술연구원의 다방향조파 평면수조에서 수행되었으며, 실험에 사용된 조파기는 다방향 불규칙파 조파기로서 규칙파, 일방향 불규칙파 및 다방향 불규칙파의 조파가 가능한 사형(snake-type) 조파기이다. 조파기 각 구동부에 연결된 조파판 한개의 폭은 0.5 m, 높이는 1.1 m로서 총 60개의 구동부로 구성되어 있다. 조파기의 전체 폭은 30 m이며, 전기서보피스톤식이다.

직립구조물을 따른 공간적인 월파특성에 대한 수리실험을 위하여 다방향 조파수조 내에 길이 22m의 직립구조물을 설치하였다. 수리모형실험은 유한한 수조내에서 수행되므로 구조물에 의한 반

1 한국건설기술연구원 하천해양항만연구실, 선임연구원

2 한국건설기술연구원 하천해양항만연구실, 책임연구원

3 한양대학교 건설환경공학과, 교수

사파 및 수조내의 반사가 발생하게 된다. 이에 본 실험에서는 조파기 반대편 및 측면 수조벽에 1:10 및 1:3 경사의 쇄석을 배치하여 반사파를 최소화 하였으며, 조파기 후면은 스테인리스 재질의 소파시설을 설치하여 조파기 후면에서 발생하는 파랑을 제어하였다. 실험모형은 조파기 전면으로부터 6m, 조파기 측면으로부터 5m 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 것이다.

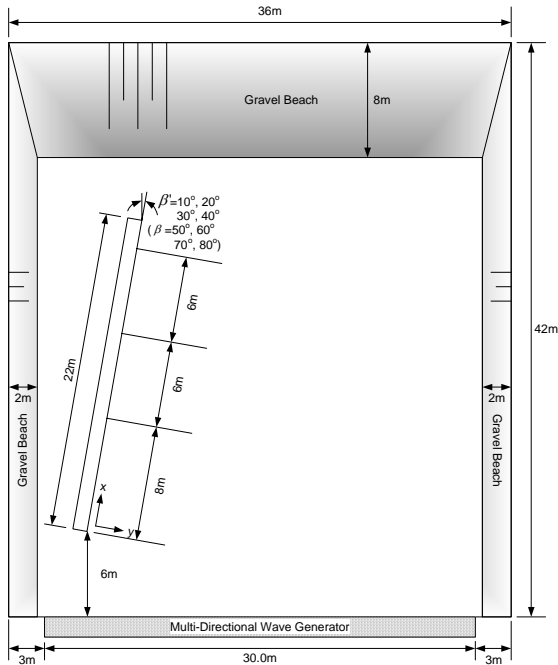


Fig. 1. Schematic sketch for model setup and Wave basin and model setup

2.2 실험조건 및 실험방법

평면 수리모형실험에 적용된 단면은 직립식 단면으로서 단면형상은 Fig. 2와 같다. 실험에 적용된 수심(h_s)은 0.5m이며, 정수면으로부터 구조물의 마루높이, 즉 여유고를 다양하게 변화 시키며 실험을 실시하였다. 실험에 적용된 여유고는 $R_c=5\text{cm}$, 1.5cm, 10cm, 12.5cm, 15cm, 20cm 및 25cm이다. 경사입사파에 대한 율파의 공간적인 분포를 검토하기 위하여 0.4m 간격으로 율파구분벽을 설치하였다. 율파 실험계측 구간의 연장은

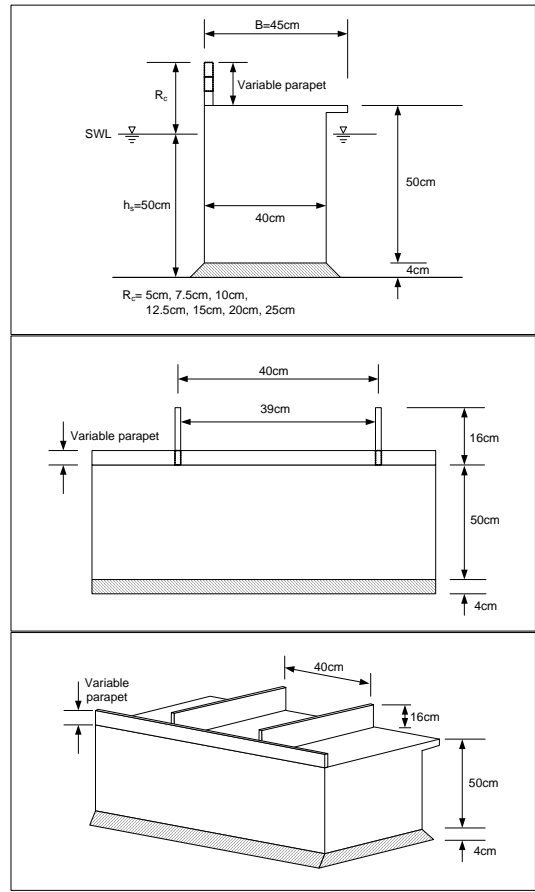


Fig. 2. Model for wave overtopping for obliquely incident wave

20m이다. 본 실험에 적용한 입사각도(β)는 $\beta=50^\circ$, 60° , 70° 및 80° 이다. $\beta=0^\circ$ 는 구조물에 직각으로 입사하는 조건이다. 본 실험에 적용한 실험과 조건은 Table 1과 같다. Table 1에서 표 안의 값은 상대여유고(R_c/H)이다. 실험과는 불규칙파와 규칙파 조건을 적용하였다.

Table 1. Wave condition

R_c (cm)	Relative Freeboard ($R(=R_c/H)$)		
	$H_{1/3}/H_{mean}$ = 5.0cm	$H_{1/3}/H_{mean}$ = 7.5cm	$H_{1/3}/H_{mean}$ = 10.0cm
5.0	1.00	0.67	0.50
7.5	1.50	1.00	0.75
10.0	-	1.33	1.00
12.5	-	1.67	1.25
15.0	-	-	1.50

T=1.2sec, 1.5sec and 1.5sec
 $\beta=50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$

월파량 계측은 각각의 실험과에 대하여 1,000과를 연속적으로 계측하기 위하여 터빈타입 유량계 및 수중펌프를 이용하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 모형설치 및 실험장면이다.



Fig. 3. Photo for model setup



Fig. 4. Photo for experiments

3. 실험결과

3.1 실험결과 분석

Table 1의 실험과를 대상으로 연속적으로 1,000과에 대한 월파량을 계측하여 평균월파 개념으로 실험결과를 분석하였다. 실험결과의 분석은 Owen(1980)이 제시한 식(1)과 같은 형태로 분석하였으며, EurOtop(2007)에서 제시한 경사입사파에 대한 월파량 산정식(식 2)을 이용하여 비교분석하였다.

$$Q = ae^{-(bR)} \quad (1)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{1/3}^3}} = 0.04 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{1/3}} \frac{1}{\gamma_\beta}\right) \quad (2)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0062\beta \quad \text{for } 0^\circ < \beta < 45^\circ$$

$$\gamma_\beta = 0.72 \quad \text{for } \beta \geq 45^\circ$$

식 (1)에서 Q 는 무차원 월파량으로서 식(2)의 좌변에 해당하며, 변수 a 와 b 는 Q 와 R 를 지수함수를 이용하여 추세를 산정할 경우 계산된 변수로서 a 는 zero-freeboard 조건에서의 무차원 월파량이며, b 는 각계수(angular coefficient)이다. 식(2)에서 q 는 단위폭당단위시간당 월파량($m^3/\text{sec}/m$)이며, γ_β 는 입사각에 따른 감쇄계수이다. 본 실험에서 적용한 실험과 조건은 비충격파(non-impulsive wave) 조건이다.

3.2 실험결과

Table 1에 제시된 실험조건 중 본 논문에서는 $\beta=60^\circ$ 조건에 대한 실험결과를 제시하고자 한다. EurOtop(2007)에서 제시된 월파량 산정식과 비교하기 위하여 zero-freeboard에서의 월파량에 해당하는 변수 a 의 값을 0.04로 가정하였다. 그리고 실험결과 분석시 본 실험에서 설정된 각각의 주기별 및 전체 주기조건에 대하여 분석을 실시하였다.

Fig. 5는 $\beta=60^\circ$ 조건에서 Table 1에 제시된 실험과 조건 중 $T=1.5\text{sec}$ 를 대상으로 모형상 20m 구간(폭0.4m×50개 지점)에서 계측된 월파량 전체에 대한 월파량을 분석하여 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 EurOtop(2007)에 비하여 월파량 추세식은 작게 산정되는 구간이 있음을 알 수 있으나, 경사 입사파에 대한 월파의 공간적 분포가 다양하게 발생함에 따라 동일 여유고 조건에서 무차원 월파량의 편차가 크게 발생함을 알 수 있다.

Fig. 6은 모든 입사파 조건에 대하여 주기별로 월파량 산정식(식 2와 동일)과 감쇄계수를 나타낸 것이다. Fig. 5와 마찬가지로 동일 여유고 내에서 무차원 월파량의 차이가 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7은 Table 1의 실험과 조건에 대한 월파의 공간적인 분포를 나타낸 것으로 그래프의 x 축은 파장이며, y 축은 식(2)에서 입사각에 대한 감쇄계수 γ_β 를 계산하여 도시한 것으로써 일파장내 γ_β 의 산술평균값이다. 입사파 주기에 따라 일부 차이는 있으나 파랑이 구조물을 따라서 진행함에 따라 월파 감쇄계수(γ_β)는 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있다. EurOtop(2007)의 경우 입사각에 대한 감쇄계수는 공간적인 분포의 분석이 없이 단지 입사각에 따른 저감계수만 제시하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 전체 실험조건 가운데 1개 각도에 대한 결과를 분석하여 제시하였다. 경사입사파 내습시 구조물을 따라서 발생하는 파랑(연파)으로 인하여 동일 여유고내에서 월파량 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 이는 공간적으로도 월파량의 차이가 많이 발생하는 것을 의미한다. 향후 추가 실험을 통하여 월파의 공간적인 분포를 분석 및 제시하고자 한다.

참고문헌

- Anderson T.L. and Burcharth H.F. (2009). Three-dimensional investigation of wave overtopping on rubble mound structures, Coastal Engineering, 56, 180-189.
- EurtOtop. (2007). EurOtop-Wave overtopping of sea defences and related structures : Assessment Manual.
- Franco, C, and Franco, L. (1999). Overtopping Formula for Caisson Breakwaters with Nonbreaking 3D waves. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 125, No. 2, 98-108.
- van der Meer and Janssen J.P.F.M. (1994). Wave run-up and overtopping at dikes. Wave forces on inclined and vertical wall structures, ASCE.

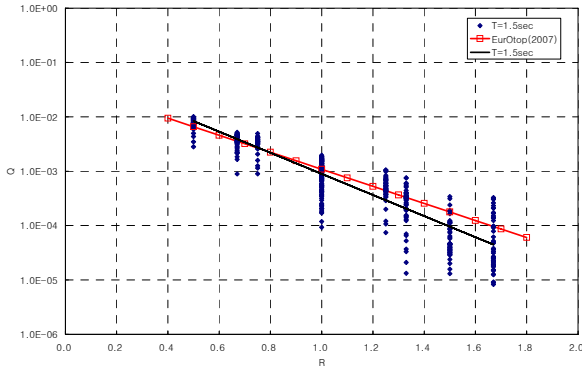


Fig. 5. Q-R relation for $\gamma_{\beta} = 60^{\circ}$ and $T = 1.5\text{sec}$

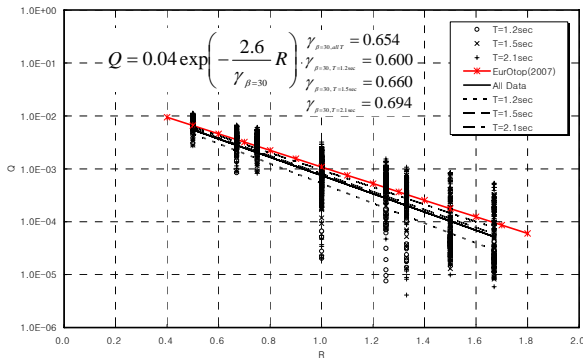


Fig. 6. Q-R relation for $\gamma_{\beta} = 60^{\circ}$

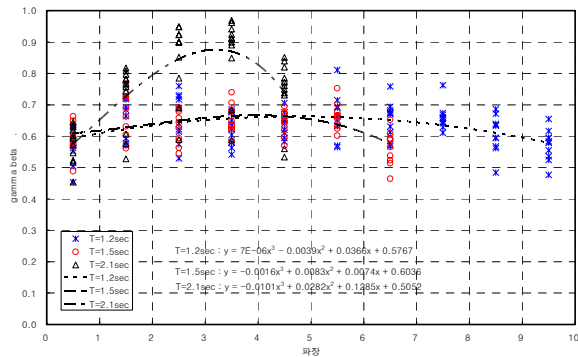


Fig. 7. Wave length and γ_{β} for $\beta = 60^{\circ}$