

월파형 파력발전구조물의 월파 특성에 관한 실험적 연구

신승호* · 홍기용**

*,** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양시스템기술연구본부 책임연구원

An Experimental Study of Wave Overtopping Characteristics on the Structure for Wave Overtopping Power Generating System

Seung-Ho Shin* · Key-Yong Hong**

*,** Ocean Engineering Research Dept., Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon 305-343, Korea

요약 : 연안으로 입사해 들어오는 파랑은 월파형 파랑제어구조물에 의해 증폭, 월파되어 구조물 배후의 유수지에 위치 에너지로 저장될 수 있으며, 수두차의 형태로 저장된 위치에너지는 초저낙차 수차 터빈을 통해 전기에너지로 변환될 수 있다. 본 연구는 이와 같은 월파형 파력발전에서 주어진 입사파 조건에 대해 최대 월파 유량을 획득하는 월파형 파랑제어구조물의 최적 형상을 도출하기 위한 실험적 연구이다. 월파형 파랑제어구조물의 형상 도출을 위한 수조 실험은 삼차원 조파 수조에서 이루어졌으며, 평면 파랑 집중 형상을 가진 삼차원 구조물의 형상은 5가지의 종류로 제작되었다. 파랑제어구조물은 신과 홍(2005)에서 제안한 월파형 파랑제어구조물의 이차원 단면 형상을 토대로 수로폭 및 수렴각을 가진 삼차원 형상으로 확장한 것이다. 본 삼차원 월파실험에서는 20개의 입사파 조건과 각각의 파에 대한 0°, 15°, 30°의 상대 입사각을 부여하여 계측된 월파량을 분석하였다.

핵심용어 : 파랑에너지, 파력발전, 월파, 월파형 파랑제어구조물, 삼차원 월파실험

Abstract : Waves progressing into the coastal area can be amplified, swashed and overtopped by a wave overtopping control structure, and it converts the kinetic energy of the waves to the potential energy with a hydraulic head above the mean sea level by conserving the overflow in a reservoir. Then the potential energy in the form of hydraulic head can be converted to electric power utilizing extremely low-head hydraulic turbine. This study aims to find the most optimal shape of wave overtopping structure which maximizes overtopping volume rate of sea water. Laboratory experiments for the performance evaluation of wave overtopping control structures were carried out in three dimensional wave tank, and the three dimensional structure models with planar wave concentration shapes(B/b) were manufactured into five classes, which were optimized by cross sectional parameters of the structure, ie, length of ramp(l), gradient of inclined ramp(cotφ) and freeboard height of the wave overtopping structure(h_e) proposed by Shin and Hong(2005). The wave overtopping discharges were investigated with 20 incident wave conditions and wave directions of 0°, 15°, 30°.

Key words : Wave energy, Wave power generation, Wave overtopping, Wave overtopping control structure Three dimensional wave overtopping experiment.

1. 서 론

파랑의 운동 및 위치 에너지를 물체의 운동에너지로 변환하여 전기를 생산하는 파력발전은 파랑에너지를 활용하여 직접 기계장치를 구동시키는 가동물체형 파력발전 시스템에서 시작되어, 근래에는 파랑에너지를 유체의 운동 및 위치에너지로 1차 변환하고 이를 다시 기계장치의 운동에너지로 2차 변환하는 파력발전 방식에 대한 연구가 중심이 되고 있다(McCormick, 1981; 前田, 1984). 후자의 방식으로는 파랑에너지를 공기의 흐름으로 변환하여 공기의 운동에너지로 터빈을 구동하는 진동수주형 파력발전과 파랑에너지를 해수의 위치에너지로 변환하고 이 때 발생하는 수두차로 터빈을 구동하는 월파형 파력발전이 대표적이다.

월파형 파력발전의 효율을 지배하는 핵심 요소들은 해역의 파랑에너지 분포 특성, 월파형 파랑제어구조물의 형상, 저낙차 수차터빈의 효율 등이 있다. 이중 파랑제어구조물은 주어진 입사파에 대해 에너지 손실을 최소화하면서 파랑의 운동에너지를 위치에너지로 변환할 수 있는 효율적인 파랑에너지 집중 구조를 가져야 하며 이를 위해 모형시험을 통한 형상 설계인자에 대한 분석이 필요하다.

월파형 파랑제어구조물의 성능은 서로 연동되어 있는 연직 방향 및 수평방향 형상인자들에 의해 지배되며, 각 인자들의 효과를 올바르게 고찰하기 위해서는 가능한 한 서로 분리하여 순차적으로 각각의 영향을 파악해야 한다.

신과 홍(2005)은 월파형 파랑제어구조물의 개념적 설계 요소를 도출하고 단면 이차원 수리 모형 실험을 통하여 비천단

* 대표저자 : 신승호(중신회원), shinsh@moeri.re.kr 042)868-7584

** 중신회원, kyhong@moeri.re.kr 042)868-7511

고(h_e/H), 비수로길이(l/L , L 은 입사파의 파장) 및 사면 경사($\cot\phi$)에 대한 무차원 월파량(Q/HL) 변화를 분석하였으며(Fig. 1 참조), 수행된 실험의 결과 분석으로부터 $\cot\phi = 1.5$ 의 수로 사면경사가 월파형 파랑제어구조물에 유용함을 제시하였다.

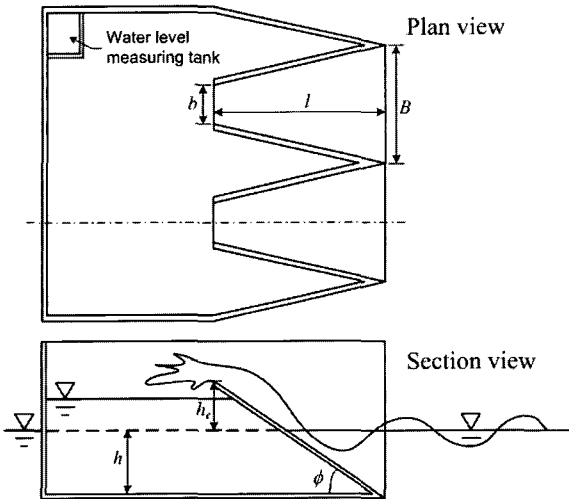


Fig. 1 The plane and section view of the wave overtopping control structure.

본 연구에서는 연직방향 형상인자들 만의 효과를 고려하여 최적 설계된 이차원 월파제어구조물에 대해 수평방향 형상인자들의 영향을 실험적으로 분석함으로써 연직방향뿐만 아니라 수평방향 파랑집중 효과를 포함하는 삼차원 월파제어 구조물의 최적형상을 도출하고자 하였다.

2. 최적 삼차원 형상 도출을 위한 월파 실험

파랑제어구조물의 삼차원 모형시험은 앞서 서술한 신과 홍(2005)의 이차원 단면 모형시험으로부터 도출된 단면 형상을 토대로 삼차원 구조물 형상을 제작하여 수행하였다.

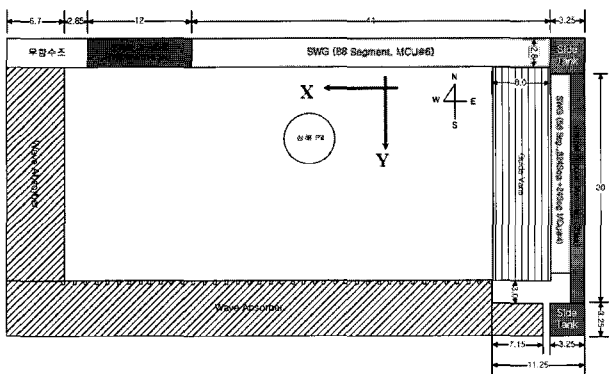


Fig. 2 A ground plan of Ocean engineering basin.

Froude 상사 1/16의 스케일로 검토하여 도출된 단면 이차원 형상의 주요 파라미터는 수로길이(l), 사면경사($\cot\phi$), 천단고

(h_e)이며(Fig. 1), 수심 8m의 설치 해역을 상정할 경우 각각 16.5m, 1/1.5, 3m의 파랑제어구조물 단면을 설계할 수 있다. 본 실험에서는 이 같은 단면 지배 파라미터를 기본적인 단면 형상으로 하여, 수렴제 효과로 인한 파랑 집중도를 파악하기 위해 다섯 종류의 서로 다른 수로폭비(B/b)를 가진 삼차원 파랑제어구조물 형상을 제작(1/15 Froude 상사)하여 월파량을 검토하였다.

2.1 실험설비

파랑제어구조물의 삼차원 형상은 단면 이차원의 단면 형상에 유한 수로폭을 가진 사면에 수렴제가 설치되어 있으며, 이 경우 수렴제의 각도(수로폭비, B/b)가 월파량 변화의 주요 파라미터로 작용하리라 예상된다. 본 실험을 위해서는 삼차원 조파수조가 필요하며 이는 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 해양공학수조를 이용하였다. Fig. 2는 수조시험에 사용한 해양공학수조의 개요를 나타낸다.

해양공학수조는 그림에서 제시한 바와 같이 56m(Length - X direction) × 30m(Breath - Y direction) × 4.5m(Depth)의 시험 영역과 함께 심해 계류 시험 등의 목적을 위한 5m(Diameter) × 12m(Depth)의 심해 pit를 가지고 있다. 6개의 임펠러로 구성된 조류 발생장치, 8개의 팬으로 구성된 바람 발생장치가 있으며, 임의 파향의 규칙 및 불규칙파의 조파가 가능한 L자형 서펜트 조파장치로서 실 해역에 근접한 조건을 재현할 수 있는 설비를 갖추고 있다.

해양공학수조의 가동수심은 0.2m~3.5m로서 천해 및 심해 파 조건에 모두 대응할 수 있도록 설계되어 있으나, 본 실험을 위해서는 수심 8m를 상정하여 수심을 0.53m로 설정(Froude 상사 1/15)하였다.

실험을 위해 파랑제어구조물은 Fig. 2의 x 방향 38m, y 방향 10m의 위치에 두었으며, x 방향 조파면의 반대측 소파기 면에는 도파관을 설치하고 y 방향 조파면으로부터 파를 발생시키는 것으로 하였다(Fig. 3).

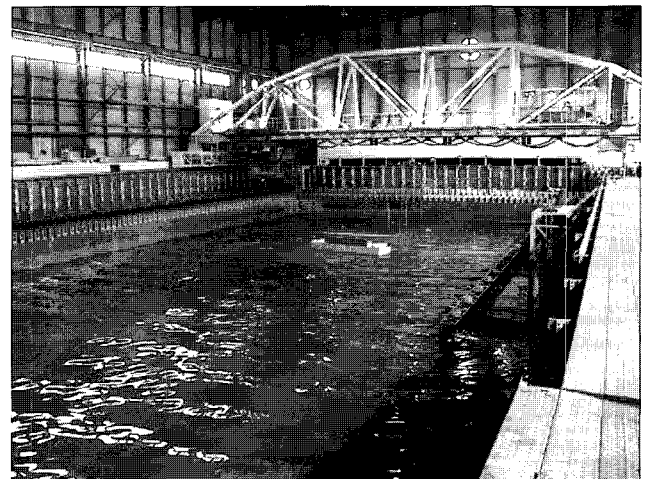


Fig. 3 A photograph of the experiment.

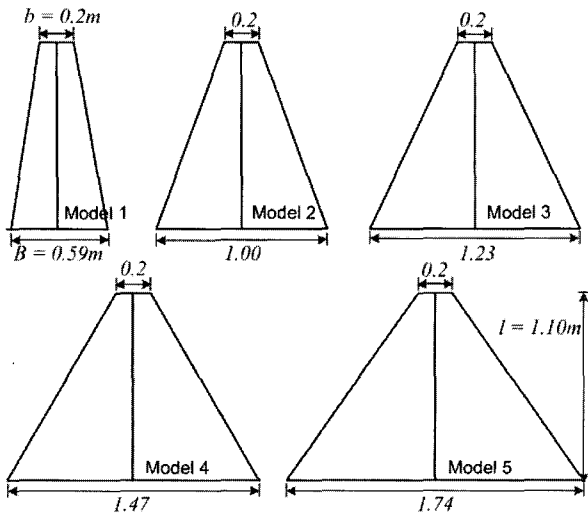


Fig. 4 The dimensions of the ramp in the wave overtopping control structure.

Table 1 Experimental conditions of shape parameters of the three dimensional wave overtopping structures.

| 형상(상사율 1/15) | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 구조물 높이, m | 0.73 | 0.73 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| 수심(h), m | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| 천단고(h_e), m | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 수로길이(l), m | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| 수로폭(b), m | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 수로폭비(B/b) | 2.94 | 5.00 | 6.13 | 7.35 | 8.70 |
| 수렴각(θ), ° | 10.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 | 35.0 |
| 수로폭(B), m | 0.59 | 1.00 | 1.23 | 1.47 | 1.74 |

Table 2 Incident wave conditions for three dimensional wave overtopping experiments.

| 파고(H), m | 주기(T), s | 파장(L), m | h/L | 파속, m/s | H/L , % |
|--------------|--------------|--------------|-------|---------|-----------|
| 0.067 | 1.16 | 2.04 | 0.26 | 1.75 | 3.3% |
| 0.067 | 1.42 | 2.78 | 0.19 | 1.96 | 2.4% |
| 0.067 | 1.55 | 3.12 | 0.17 | 2.01 | 2.1% |
| 0.067 | 1.81 | 3.75 | 0.14 | 2.07 | 1.8% |
| 0.067 | 2.07 | 4.37 | 0.12 | 2.11 | 1.5% |
| 0.100 | 1.16 | 2.04 | 0.26 | 1.75 | 4.9% |
| 0.100 | 1.42 | 2.78 | 0.19 | 1.96 | 3.6% |
| 0.100 | 1.55 | 3.12 | 0.17 | 2.01 | 3.2% |
| 0.100 | 1.81 | 3.75 | 0.14 | 2.07 | 2.7% |
| 0.100 | 2.07 | 4.37 | 0.12 | 2.11 | 2.3% |
| 0.133 | 1.16 | 2.04 | 0.26 | 1.75 | 6.5% |
| 0.133 | 1.42 | 2.78 | 0.19 | 1.96 | 4.8% |
| 0.133 | 1.55 | 3.12 | 0.17 | 2.01 | 4.3% |
| 0.133 | 1.81 | 3.75 | 0.14 | 2.07 | 3.6% |
| 0.133 | 2.07 | 4.37 | 0.12 | 2.11 | 3.1% |
| 0.167 | 1.16 | 2.04 | 0.26 | 1.75 | 8.2% |
| 0.167 | 1.42 | 2.78 | 0.19 | 1.96 | 6.0% |
| 0.167 | 1.55 | 3.12 | 0.17 | 2.01 | 5.4% |
| 0.167 | 1.81 | 3.75 | 0.14 | 2.07 | 4.4% |
| 0.167 | 2.07 | 4.37 | 0.12 | 2.11 | 3.8% |

2.2 파라메터구조물의 삼차원 형상조건

Fig. 1에 제시된 월파형 파라메터구조물은 5mm의 강판으로 제작하였으며, 단면 이차원 형상실험(신과 홍, 2004)을 토대로 사면경사($\cot\theta$)는 1.5로 고정하고 천단고(h_e), 수로길이(l)은 각각 0.2m, 1.1m로 하였다.

한편, 수렴제의 파라미터인 수로폭은 입사하는 파랑이 파라메터구조물로 진입하는 입구의 폭(B)과 사면을 타고 올라가 저수되는 출구의 폭(b)으로 나눌 수 있으며, 이들의 상대적비는 수렴제의 각도에 해당한다. 본 실험에서는 Fig. 4에 제시한 바와 같이 출구의 폭(b)을 0.2m로 고정하고, 입사파랑 진입 입구의 폭(B)을 조정하여 5개의 모형을 제작하였다. Table 1에는 1/15의 Froude 상사율을 적용한 삼차원 파라메터구조물의 형상 조건을 따로 정리하였다.

2.3 입사파 조건과 계측

Fig. 2의 y방향 조파면으로부터 발생시킨 입사파는 Table 2에 나타난 바와 같이 파고 0.067m, 0.1m, 0.133m, 0.167m의 4가지로 선정하였으며, 각각은 주기 1.16s, 1.42s, 1.55s, 1.81s, 2.07s의 5가지의 조합인 총 20개의 규칙파 입사 조건으로 조파되었다.

실 해석은 다방향의 불규칙파가 형성되므로 파라메터구조물에 대해 항상 직각인 입사파만 존재하는 것은 아니며, 더구나 특정 각도가 존재하는 수렴제의 설치는 동일 파라메터 조건이라 하더라도 변동하는 입사파의 파향에 따라 월파랑 자체에 변화가 야기되리라 예상된다. 이를 조사하기 위해서는 구조물에 입사되는 파의 방향을 달리 설정하여 검토할 필요가 있으며, 본 실험에서는 입사파의 파향 변화 대신 구조물을 회전시켜 배치함(0°, 15°, 30°)으로써 파향 변화에 대한 월파랑 변화를 계측하기로 하였다.

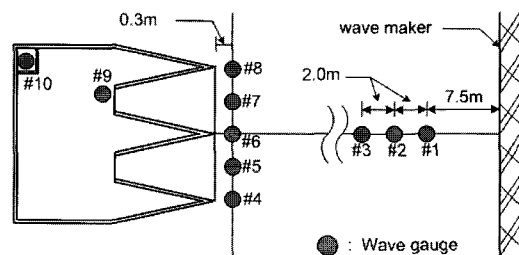


Fig. 5 The arrangement of the wave gauges.

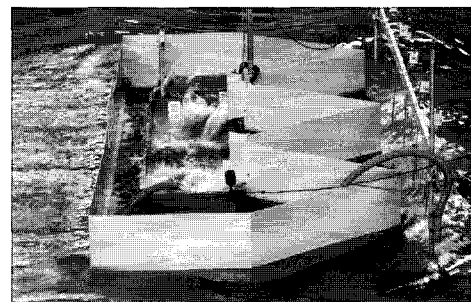


Fig. 6 A photograph of the wave overtopping control structure and overtopping.

한편, 입사파에 대한 월파량의 계측은 용량식 파고계를 사용하였으며, 파고계의 배치도는 Fig. 5에 나타내었다. 그럼에서 알 수 있는 바와 같이 조파면에서 7.5m의 거리부터 연이어 설치한 #1, #2 및 #3 파고계는 입사파의 특성을 조사하기 위한 것이며, 파고계 #4~#8은 파랑제어구조물 전면의 파를 계측하기 위한 것이다. 월파량의 계측은 파고계 #9 및 #10으로 계측하였으며, 이중 #9는 파 치오름(run up) 양의 계측을 시도한 것이다.

파랑제어구조물의 사면을 타고 월파된 수위는 유수 용기에 저수된다. 이 경우 유수지에 저수된 수위는 연이어 월류되는 수위에 의해 끊임없이 진동하여 불필요한 단주기의 수위변동을 야기하게 되므로 파고계를 이용한 저수 수위 계측을 어렵게 한다. 이 같은 유수지 내의 출렁거림을 억제하여 평활화된 연속적 수위 변화량을 얻기 위해 하부로부터 유량이 유입되도록 구획을 나눈 계측용기 내에 #10 파고계를 설치하여 연속적인 수위 계측이 되도록 조치하였다.

2.4 계측결과의 취득

파랑제어구조물의 월파 특성에 대한 3차원 수조실험은 구조물 모형(5개), 입사파 조건(20개 조건×3개의 파향)의 조합으로 총 300 case에 대해 수행하였다. Fig. 6은 실험 시 월파하는 양상과 구조물 형상을 예를 나타낸 것이다.

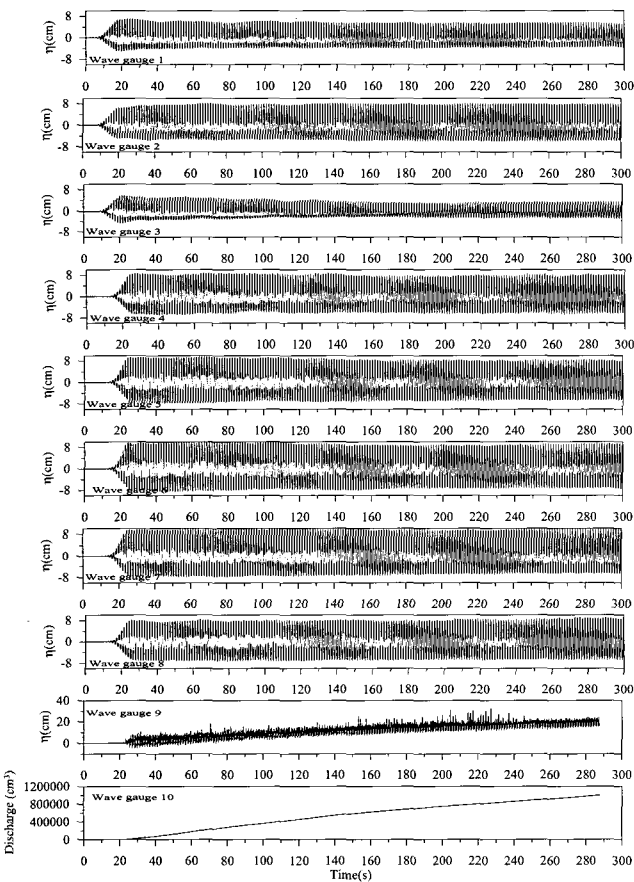


Fig. 7 Experimental results of Model 1(B/b = 2.94) in the regular wave condition (H = 0.1m, T = 1.42s).

각각의 실험에서 파의 시계열 자료 및 월파량의 시계열 자료는 20Hz로 조파 개시와 동시에 계측을 시작하여 10분(600초) 동안 기록하도록 하였다. Fig. 7는 Fig. 5에 제시한 각 파고계에서 취득된 시계열 계측값의 일 예를 나타낸 것으로서 수로폭비(B/b)가 2.94인 Model 1에 대하여 파고 0.1m, 주기 1.42s인 규칙파 입사 조건의 경우이다.

그림에서 입사파의 변동 양상은 상단에 위치한 파고계 1~3에 제시하였으며, 제어구조물의 전면 30cm 위치에 설치한 5개의 수면변동은 각각 파고계 4~8에 나타내었다. 한편, 구조물의 천단을 넘는 수위의 높이(run up 량) 계측을 시도하기 위해 설치하였던 파고계 9의 값은 그림에서 나타난 바와 같이 수많은 peak 값으로 이루어져 있다. 용량식 파고계는 수위에 닿은 부위의 값이 산출되는 것이 아니라 수위로 인해 생기는 계측선의 저항 변화가 증폭기에 의해 수위 값으로 산출되며, 계측선 한쪽 단은 반드시 수중에 두어야 하므로 끝단이 수중에 위치하는 상황에서 간헐적으로 상부에 접촉되는 독립된 수위가 저항 값의 불연속을 만들게 된다. 또한 월파제 수로의 출구 측을 월파하는 수위는 출구 전체에 균등한 높이로 월류하는 것이 아니라 극단적인 비균일 형태로 나타나기도 하여 이 값으로부터 run up 량을 정확히 추정하기는 어려운 점이 많았다.

한편 파고계 #10으로부터 계측된 저수용기 내의 수위변화를 나타내는 Fig. 7의 최하단에는 저수용기의 단면적을 산출하여 변화된 높이로부터 누적 저수용량으로 환산한 값을 제시하였으며, 이 값을 토대로 단위 시간당 월파 유량을 산정하였다.

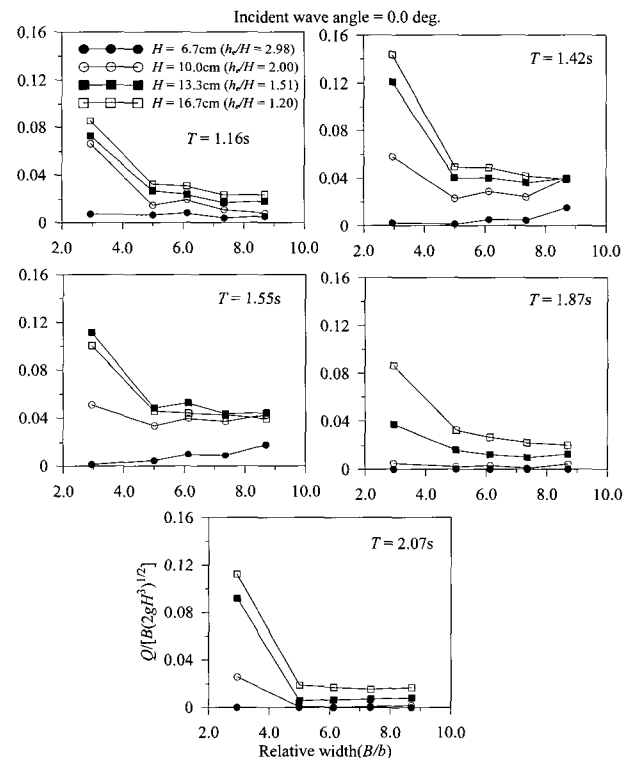


Fig. 8 Effect of relative width of the ramp(incident wave angle = 0.0 deg.).

3. 수렴폭의 효과와 월파량 특성

삼차원 월파 구조물에 대한 월파실험에서 얻어진 시계열 계측치로부터 각 조건에 대한 단위 시간당 월파 유량을 산정하였다. Fig. 7에서 입사파의 조건을 나타낸 상부 wave gauge 1~3을 관찰해 보면 조파 개시 후 파는 20초 정도부터 정상상태의 조건이 됨을 알 수 있다. 그러나 제한된 영역에서의 장시간 조파는 수조 내의 장주기 변동을 일으켜 당초 겨냥하였던 입사파 조건을 지속적으로 유지하기 어렵게 한다. 그림의 상단에서 세 번째에 위치한 wave gauge 3의 값에서 그 전형적인 모습을 볼 수 있는데, 100초 이후에서 약간의 파고 감소를 동반한 1분여의 장주기 변동이 나타난다. 따라서 단위 시간당 월파 유량을 산정하기 위해서는 파가 정상 상태 조건이 유지되는 20초 이후에서 100초 이내의 값이 토대로 산정함이 타당하다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 단위 시간당 월파 유량($Q[m^3/s]$)은 조파 개시 후 50초~100초를 기준으로 하여 산정하였으나, 조파 조건에 따라 장주기 변동이 보다 이른 시간에 나타난 몇몇의 경우는 그보다 짧은 시간 동안의 변동 기록으로부터 산정한 경우도 있다.

수로측의 유출구 폭(b)이 동일하고 유입구 폭(B)을 달리한 본 실험에서 동일 조건에서의 월파량 비교를 위해 무차원 월파량($Q/(B[2gH^3]^{1/2})$, g 는 중력가속도)를 산정하여 무차원 수로폭(B/b)과 비교한다.

Fig. 8~Fig. 10은 0도, 15도, 30도의 입사파에 대해 수로폭비(B/b)를 2.940(수렴각 10도, Model 1), 5.00(수렴각 20도, Model 2), 6.129(수렴각 25도, Model 3), 7.351(수렴각 30도, Model 4) 그리고 8.702(수렴각 35도, Model 5)로 서로 다른 수로폭비를 설정한 경우, 각 주기에 따른 파고 변화가 무차원 월파량에 미치는 영향을 나타내고 있다.

우선 파랑제어구조물에 수직으로 파가 입사하는 경우인 Fig. 8을 살펴보면, 모든 주기에 걸쳐 입사하는 파의 파고가 커질수록 단위 시간당 월파 유량은 증가함을 알 수 있으며, 입사파고 6.7cm인 경우는 월파 유량이 극히 미미함을 알 수 있다. 이는 비천단고(h_e/H)가 2.98에 해당하며, 단면 이차원 실험 결과(신과 홍, 2005)에서는 비천단고 4.16 이상에서 유의한 월파량을 얻을 수 없다고 한 경우에 비해 다소 미치지 못하는 결과를 나타내고 있다. 단면 이차원 실험의 경우는 좁은 수로에서 직각 입사에 대해 전면의 중복파 형성이 두드러짐으로 인해 동일한 파 조건일지라도 중복파 형성에 기인한 월파유량이 많았기 때문이며 본 삼차원 월파 실험에서는 썩기 모양의 구조물 끝단에서의 발생하는 산란파 형태의 반사파 발생으로 인한 파의 평면 분산효과에 의해 구조물 전면에서의 중복파가 미약하게 형성되는 것에 그 원인이 있다고 사료된다.

주기의 관점에서 보면 대체로 비수로길이가(L/L) 0.4에 해당하는 $T=1.42s$ 의 경우가 동일 파고에서 높은 월파량을 기록하고 있으며, 이보다 짧은 주기의 파에서는 월파량이 작게 나타나고, 이보다 주기가 긴 경우는 길어질수록 즉 비수로길이가 작아질수록 월파량은 다소 작아지는 결과를 보인다(Fig. 8).

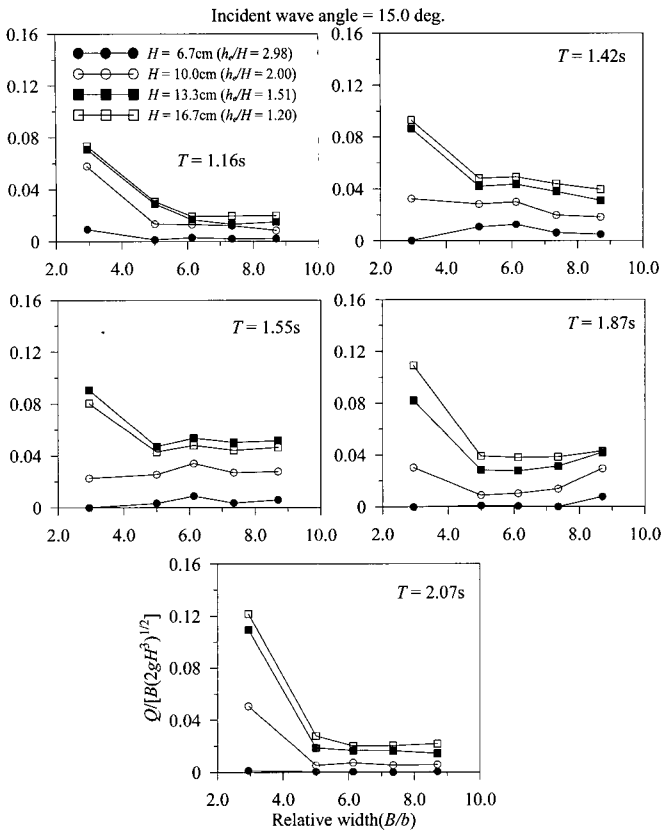


Fig. 9 Effect of relative width of the ramp(incident wave angle = 15.0 deg.).

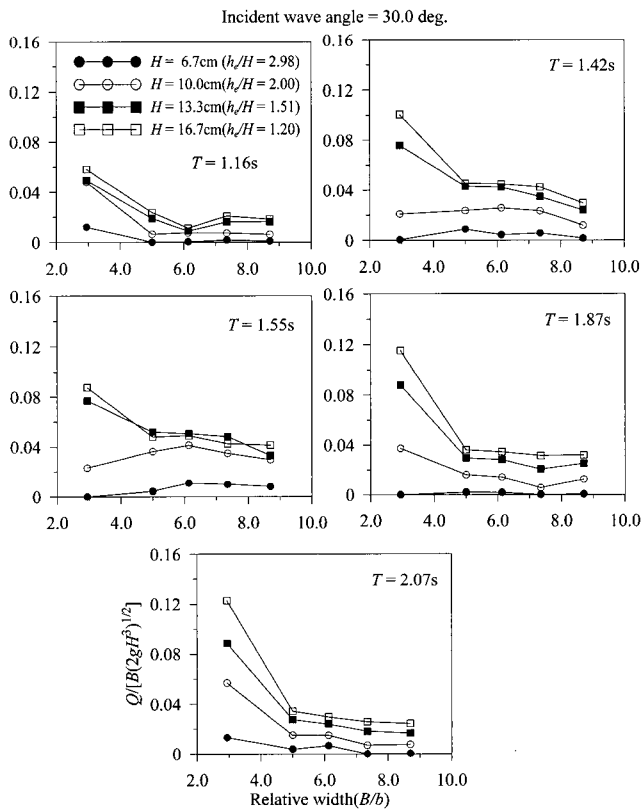


Fig. 10 Effect of relative width of the ramp(incident wave angle = 30.0 deg.).

단면 2차원 율파싨험에서의 결과에서도 유사한 경향을 보여 비수로길이 0.4~0.5부근이 대체로 높은 율파량을 기록하였다.

한편, 3차원 형상 모형의 비교 대상인 수로폭비(B/b)의 경우는 가장 수렴각이 작은 2.94에서 가장 높은 율파량이 나타나는 경우가 대부분이다. 이러한 경향은 모든 주기 및 파향에서 나타나며 수로폭비의 증가에 따라 감소되는 경향으로 나타난다. 단, 입사파의 주기가 1.55s인 경우는 $H=16.7\text{cm}$ 보다 $H=13.3\text{cm}$ 일 때 미미하지만 오히려 율파량이 증가되거나 거의 같은 정도로 나타내는데(Fig. 8~Fig. 10), 이는 수렴체의 벽면에서의 반사로 인한 수로 사면에서 파 집중 양상이 입사파의 파장에 따라 달라질 수 있음을 의미한다.

15° 및 30° 의 입사파향에 대한 결과인 Fig. 9 및 Fig. 10의 비교로 본 파고 변화에 따른 율파량 변화는 직각 입사의 변화와 거의 동일한 경향을 보이며, 주기의 변화와 입사 파향에 따른 율파량은 수렴체 각도와 복잡하게 얽혀 있어 일의적인 해석이 용이하지 않지만, 수렴체의 각이 작은 편이 대체로 높은 율파 유량을 나타내는 결과가 많아 구조물에 수직하는 입사파의 경우인 Fig. 8과 유사한 경향이라 말할 수 있다.

한편, 입사파고가 6.7cm인 경우는 유의한 율파량을 나타나지 못하고 있으며, 주기 1.42s에 해당하는 입사파 주기에서 파향 변화에 따라 미약하나마 율파량의 호전을 보이는 결과도 나타났지만, 전반적으로 낮은 빈도의 율파로 인해 파력발전에 이용될 가능성은 미미하다.

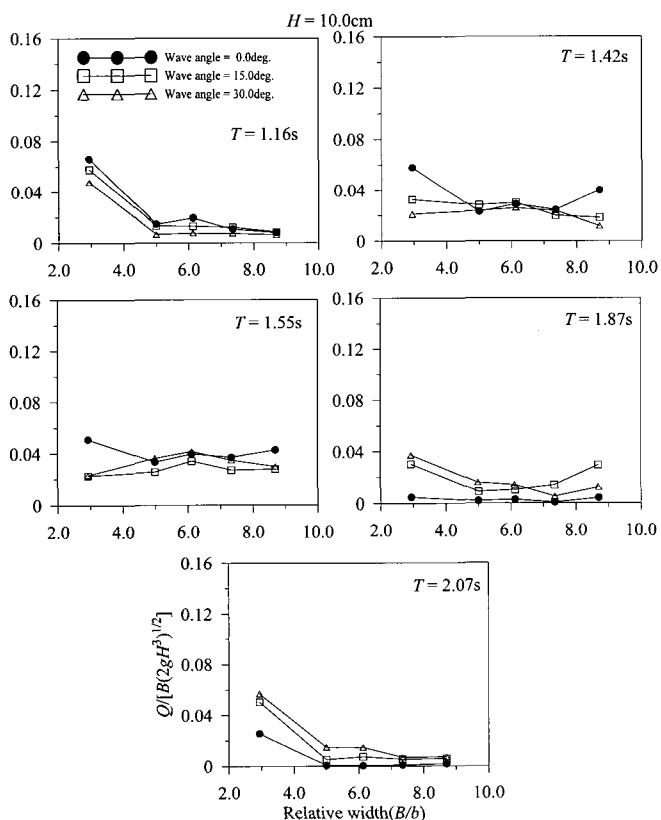


Fig. 11 Effect of incident wave angle and relative width of the ramp ($H=10.0\text{cm}$).

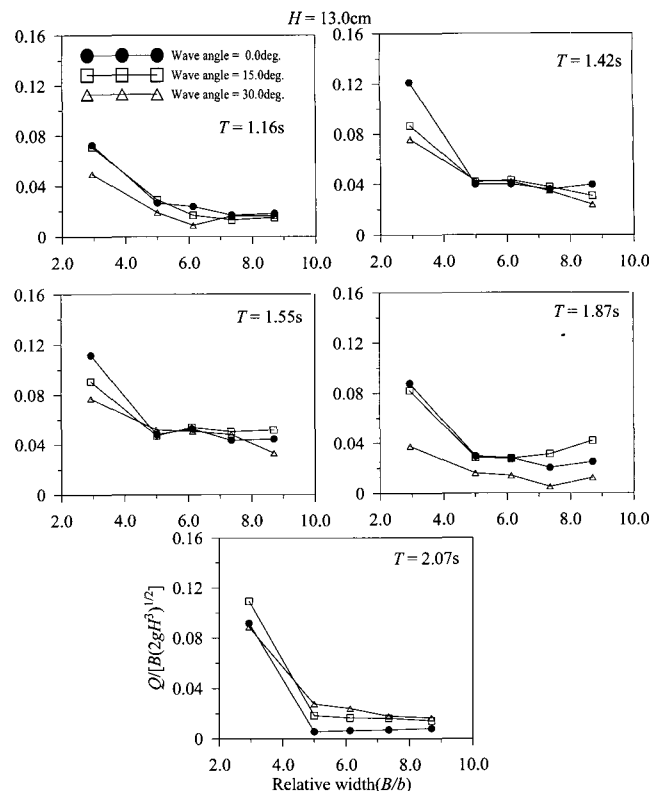


Fig. 12 Effect of incident wave angle and relative width of the ramp ($H=13.0\text{cm}$).

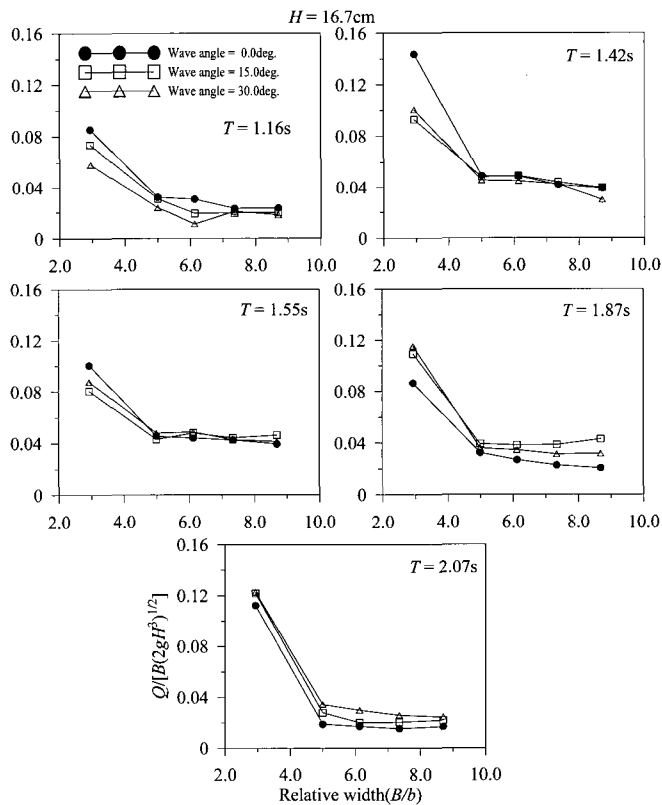


Fig. 13 Effect of incident wave angle and relative width of the ramp ($H=16.7\text{cm}$).

현재의 실험 결과로부터는 무리하게 수렴제의 각을 두어 파를 집중시키기 보다는 오히려 작은 수로폭비(작은 수렴각도)를 설정하는 것이 여러 입사각을 가진 실제 해역에서의 적용성 뿐만 아니라 구조물 자체의 제작 용이성이라는 측면에서 보다 유리하게 작용할 것이라 사료된다.

동일 파고에 대해 주기 변화 및 입사 파향 변화에 따른 월파량 변화 중에서 유의한 월파량을 나타내고 있는 $H=10.0\text{cm}$ 이상에 대한 비교는 Fig. 11~Fig. 13에 제시하였다.

유의한 월파가 일어나는 $H=10.0\text{cm}$ 이상인 Fig. 11~Fig. 13의 결과에서 주기에 따른 월파량 변화는 여전히 1.42s에서 각 파랑에 걸쳐 고르게 유의 월파량을 얻는 경향이 보인다. 그러나 수로폭비에 대한 월파량 변화 결과는 앞서 서술한 바와 같이 수렴제의 각도와 입사파의 파장 및 파향 등과 복잡하게 연관되어 있어 일의적 해석은 어렵지만 실 해역의 적용성 관점에서는 여전히 수렴제의 수렴각이 작은 편이 유리하다고 본다. 실제 설치를 계획할 경우 현지의 파랑 조건을 면밀히 분석하여 최적의 형상 파라미터의 조합이 이루어져야 할 부분이다.

4. 결 론

월파형 파랑제어구조물의 삼차원 형상에 대한 수조모형시험은 이차원 단면 모형시험으로부터 도출된 단면 형상을 토대로 삼차원 구조물 형상을 제작하여 수행되었다.

삼차원 파랑제어구조물은 단면 이차원 형상의 주요 파라미터인 수로길이(L), 사면경사($\cot\phi$), 천단고(h_e)에 대해 수심 8m의 설치 해역을 상정한 각각 16.5m, 1/1.5, 3m의 파랑제어구조물의 단면을 토대로, 수렴제 효과로 인한 파랑 집중도를 파악하기 위한 다섯 종류의 삼차원 구조물을 1/15의 Froude 상사로 제작하여 월파량을 검토하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

파고 변화에 따른 월파량의 비교를 통해 모든 주기에 걸쳐 입사하는 파의 파고가 커질수록 단위 시간당 월파 유량은 증가함을 알 수 있었으며, 비천단고(h_e/H) 2.98에 해당하는 입사파고 6.7cm인 경우는 월파 유량이 극히 미미함을 알 수 있다. 이는 단면 2차원 실험 결과에서 제시된 유의 월파량 기준인 비천단고 4.16 이상이라는 경우에 비해 낮은 결과를 보이고 있는데, 구조물 끝단에서의 발생하는 산란파 형태의 반사파 발생으로 인한 전면의 중복파 형성 강도가 미약함에 기인한 것으로 사료된다.

주기의 관점에서는 비수로길이(L/L) 0.4에 해당하는 $T=1.42\text{s}$ 의 경우가 같은 파고에서 높은 월파량을 기록하고 있어 단면 이차원 월파실험에서의 결과와 유사한 경향을 얻었다.

삼차원 형상 모형의 주 비교 대상인 수로폭비의 경우는 사면을 타고 오르는 입사파가 수렴제의 벽면에서의 반사로 인해 사면에서 집중되는 양상이 달라지고 있어, 파의 입사각과 파장 수로의 수렴제 각도 등이 복잡하게 상호 연관되어 있음을 유추할 수 있었다. 현재의 실험 결과로부터는 무리하게 수렴제의 각을 두어 파를 집중시키기 보다는 오히려 작은 수로폭비(작은 수렴각도)를 설정하는 것이 여러 입사각을 가진 실제 해역에서의 적용성 뿐만 아니라 구조물 자체의 제작 용이성이라는 측면에서 보다 유리하게 작용할 것이라 사료되었다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 “파력에너지 실용화 기술개발”과 공공기술연구회의 지원으로 한국해양연구원에서 수행하는 기본연구사업의 일부로서 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 신승호, 홍기용 (2005), “파랑 에너지 변환을 위한 월파제어구조물의 월파량 산정 실험”, 한국해양공학회지 19-6, pp. 8-15.
- [2] McCormick, M. C. (1981), “Ocean Wave Energy Conversion”, Wiley-Interscience Publication.
- [3] 前田久明 (1984), “波浪エネルギー利用技術”, 第1回波浪エネルギー利用シンポジウム論文集, 海洋科學技術センター, pp. 49-61.
- [4] 川村正司, 小松英則, 山本 敦, 中野 普, 三井 宏 (1989), “V字狀集波堤と潛堤による越波量の増大”, 日本土木學會海洋工學論文集 36, pp. 623-627.

원고접수일 : 2006년 8월 31일

원고채택일 : 2006년 11월 14일

