

제주시 탐동 호안 월파 대응 방안에 관한 모형실험

고혁준^{1,†} · 김정록² · 조일형²

¹제주대학교 풍력특성화협동과정

²제주대학교 해양시스템공학과

A Study on Experiment for Countermeasures to Overtopping at Tapdong Revetment in Jeju

Hyeok-Jun Koh^{1,†}, Jeong-Rok Kim² and Il-Hyoung Cho²

¹Multidisciplinary Graduate School for Wind Energy, Jeju National University

²Department of Ocean System Engineering, Jeju National University

요 약

본 연구에서는 제주시 탐동 호안에서 빈번하게 발생하고 있는 월파 피해의 발생 원인을 파악하고 그에 따른 대응방안을 모색하기 위하여 실시한 수리모형실험을 다루었다. 모형실험에서는 입사파의 주기 변화에 따른 탐동 호안의 반사율을 피복석 설치 유무에 대해 측정하였다. 또한 50년 반복주기 NE 설계파를 기준으로 선정된 파고와 주기 변화에 따른 월파량 및 탐동 호안 구조물 내 파압을 상부구조물의 높이 증가와 곡면 돌출부의 형상을 바꿔가면서 측정하였다. 실험결과로부터 상부구조물의 높이 증가와 곡면 돌출부의 형상 변화가 월파량을 감소 측면에 효과적임을 확인하였다.

Abstract – In this paper, model test on the Tapdong's revetment at Jeju-si has been conducted to figure out the causes of frequent occurrence of wave overtopping and to suggest the action plan. In the model test, the reflection coefficients were measured according to the change of wave periods for with and without armor stones. Also, the wave overtopping rate and the wave pressures inside revetment structure for 4 types of upper block were estimated for various wave heights and wave periods, which are chosen based on the NE design wave with 50 year return period. It is found that the increase of the upper structure's height and the modification of the curved protruding shape are effective in reducing the overtopping rate.

Keywords: Revetment(호안), Model test(모형실험), Reflection Coefficient(반사율), Overtopping(월파), Wave Pressure(파압)

1. 서 론

호안(revetment)은 파랑으로부터 해안선의 후퇴와 상부의 도로, 건물 등을 보호하기 위하여 해안선을 따라 건설되는 구조물이다. 호안은 돌망태, 호안블럭, 옹벽, 석축 등의 형태로 축조되며, 호안의 형태에 따라 직립형, 경사형, 그리고 계단형 등으로 분류된다. 직립형은 다른 형태에 비해 적은 비용으로 건설할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 파랑의 처오름이나 월파에 대한 대응 효과가 적으며 높은 반사파로 인하여 호안 전면에서 심각한 세굴을 발생시킬 수 있어 구조물의 안정성에도 문제가 될 뿐 아니라 해빈 변화에도

나쁜 영향이 초래될 수 있다. 이를 방지하기 위해 구조물 전면에 적당한 크기의 피복석(armour stone)을 설치하는데 이는 파랑에너지를 감쇄시켜 호안을 보호할 뿐만 아니라 사석 공극 사이에 토사를 저장하여 구조물의 이동을 방지하는데 도움을 준다. 한편 경사형과 계단형 호안은 주로 1:3의 경사각으로 건설된다. 이 방식은 연안의 이용성 및 친수환경 조성이 가능하며 전면의 세굴을 감소시키는 데 효과가 있지만 직립형에 비하여 건설비가 비싸다는 단점이 있다.

월파는 수심, 파랑조건 및 호안 형상 등에 따라 그 거동 특성이 결정되고, 생성된 월파는 호안 배후면에 직접적으로 영향을 주기 때문에 파랑조건과 월파, 그리고 호안 배후면의 안정성은 서로 상관관계를 갖는다(Schtrumpf et al.[2002]). Owen[1980], Ahrens and Heimbaugh[1988] 등은 직립형 및 경사형 호안의 월파량에 대

[†]Corresponding author: hjkoh@jejunu.ac.kr

하여 실험에 기초한 경험식을 제시하였다. 류용욱 등[2009]은 수리 모형실험을 통하여 소파블록으로 피복된 케이스 구조물 후면으로 떨어지는 월파의 관입거리와 유속은 입사파의 주기와 파고가 커짐에 따라 증가함을 확인하였고, 유속 및 거리분포에 대한 경험식을 유도하였다. 호안에서의 월파에 대한 실험적 연구는 호안 구조물의 변화에 대해 다양하게 수행되어 왔다. 이달수 등[1996]은 2차원 수리모형실험을 통하여 계단식 유공 호안에서의 월파량이 무공 호안보다 감소함을 확인하였고, 이원 등[2008]은 호안 구조물 전면에서의 1층 피복과 2층 피복, 그리고 T.T.P 피복에 따른 월파특성 수리모형실험을 통하여 T.T.P 피복이 월파 저감 측면에서 사석 피복안에 비해 유리함을 확인하였다.

탐동 호안은 탐동 공유수면 5만평을 매립하기 위하여 1970년대 제주도 북쪽 일부 해안선을 따라 건설된 시설물이다. 탐동 호안 건설 후 파도가 호안에 부딪치면서 반사파가 생겨 호안 전면에 높은 파도가 발생하였고 이 파도가 호안을 넘어 매년 많은 피해를 주고 있다. 특히 2002년 태풍 루사가 왔을 때 9억 7천만원, 2007년 태풍 나리 때도 6억 3천만원 등 지속적인 피해를 받고 있어 탐동 매립지 월파 피해에 대한 대응방안이 제주도의 현안으로 떠오르고 있다. 특히 기초사석위에 P.F.Cell 콘크리트 블록을 조립하여 만든 유공 직립 호안으로 이루어진 구간에서의 월파 피해와 구조물 붕괴 위험은 다른 구간(경사형)에 비하여 심각한 수준까지 이르렀다. 또한 유공 구조물 내부로 들어온 파가 유공 구조물을 덮고 있는 상부 콘크리트 구조물에 큰 충격력을 주어 도로 옹벽과 호안 상부구조물에는 균열이 발생하였고 호안 전면에서의 높은 반사파로 세굴현상이 발생하여 탐동 호안 기초부분이 심각하게 훼손된 것으로 확인되었다. 이러한 월파 피해는 최근 기후변화로 인한 해수면 상승과 이상 파랑의 발생 빈도가 높아지는 상황에서 더욱 증가하고 있는 실정이다.

탐동 호안의 월파 피해를 줄이는 대책으로 크게 3가지 방안을 제시할 수 있다. ① 호안 전면에서 T.T.P 또는 피복석을 추가로 설치하여 난류에 의한 파 에너지의 소멸효과를 증가시켜 호안 전면의 파

고를 줄이는 방안 ② 호안 상부구조물의 높이를 현재보다 높이거나 상부구조물의 곡면 돌출부의 형상을 바꿔 월파에 대응하는 방안 ③ 호안 전면으로 진입하는 입사파를 줄이기 위하여 호안 전면으로부터 일정 거리 띄어 방파제를 설치하는 방안 등이 월파 피해를 줄이는데 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 탐동 호안에서 발생하는 월파피해를 줄이는 대응방안중 ① 번째와 ② 번째 방안에 대한 효과를 수리모형실험을 통하여 규명하고자 한다. 수리모형실험은 제주대학교 2차원 조파수조(길이: 20 m, 폭: 0.8 m, 깊이: 1.0 m)에서 실시하였으며, Froude 상사법칙에 따른 1/20 축척모형을 제작하여 피복석 설치 유무에 따른 반사율 측정실험과 상부구조물 형상 변경에 따른 호안에서의 월파량 측정을 위한 실험으로 구분하여 입사파의 파고와 주기를 변화시키면서 실시하였다. 또한 월파시 발생하는 호안 상부구조물에 작용하는 충격력을 구하기 위하여 파압계를 호안내 2지점에 설치하여 파에 의한 압력을 측정하였다.

2. 탐동 호안 모형

탐동 호안은 설치 지점에 따라 3종류의 호안으로 구성되어 있는데 이중에서 월파 피해가 가장 빈번하게 일어나는 지역은 구간 A이다(Fig. 1참조). 이 구간은 Fig. 2와 같이 3단의 P.F.Cell 블록과 함께 상부구조물과 기초판으로 구성되어 있으며 기초판 전면부에 1.0 m³의 피복석이 깔려있다.

본 수리모형실험에 사용된 탐동 호안모형은 Froude 상사법칙에 따라 1/20 축척비로 아크릴을 가지고 제작하였다. 또한 탐동 호안 설치해역의 수심변화의 영향을 고려하기 위하여 호안 설치 지점으로부터 외해 쪽으로 1/40 기울기를 갖는 해저면 경사를 주었다. 수심은 월파의 가능성이 가장 높은 고조위(실물: 4.83 m, 모형: 0.24 m)로 하여 모형실험을 실시하였다. Fig. 3은 수조내부에 탐동 호안모형을 설치한 모습을 보여주고 있다. 상부구조물의 높이 및 곡면 돌출부 형상 변화에 따른 월파량의 변화를 살펴보기 위하여 Fig. 4와



Fig. 1. Top view of Tapdong revetment.

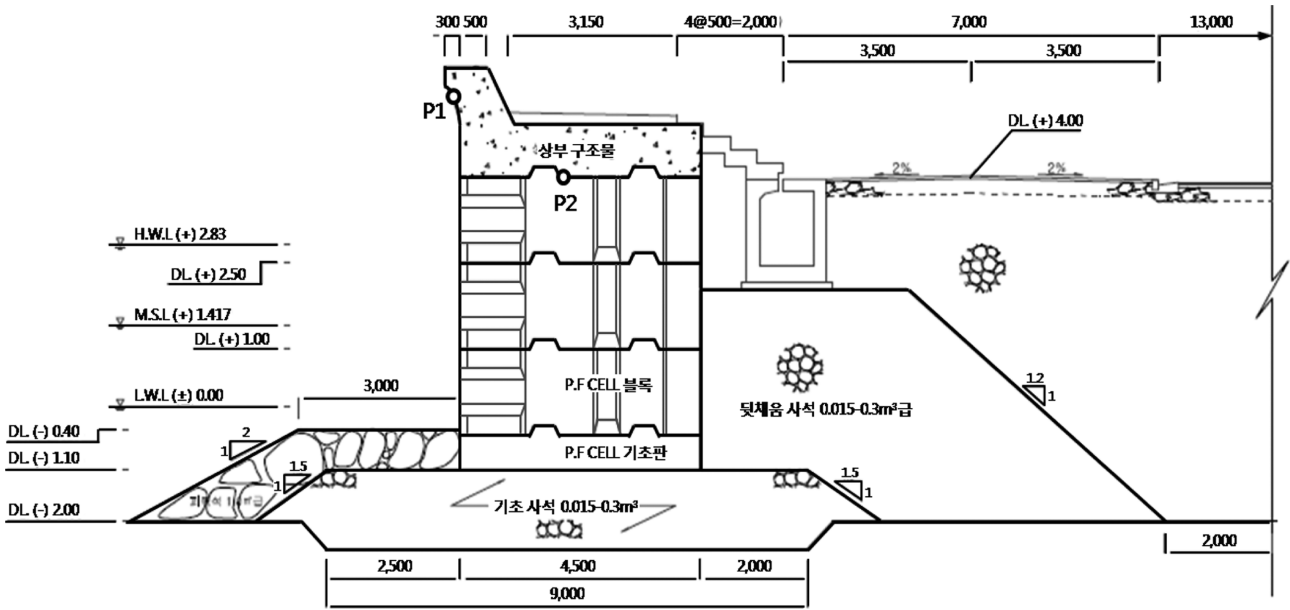


Fig. 2. Sketch of Tapdong revetment (section A).

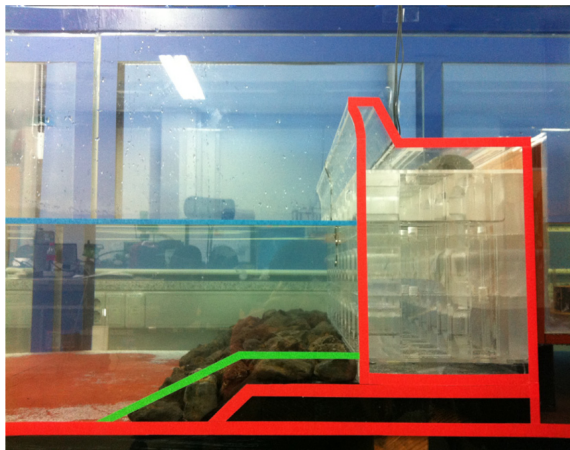


Fig. 3. Photography of Tapdong revetment model after installation.

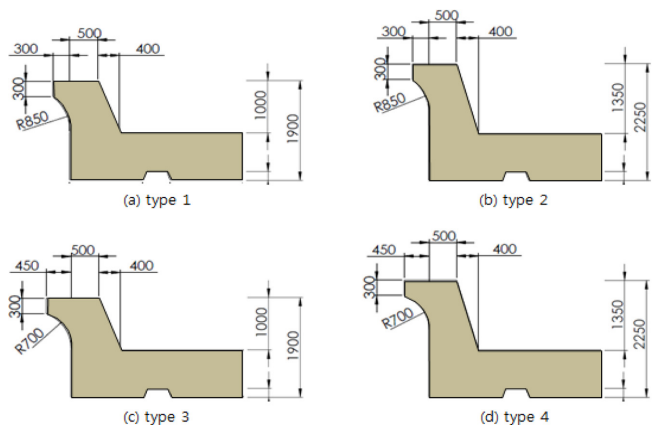


Fig. 4. Drawing of four kinds of upper block used at experiment.

3. 실험조건

3.1 탑동 호안 반사율 실험

구간 A의 탑동 호안 구조물의 반사율 특성 및 피복석 유무가 반사율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 반사율 실험을 실시하였다. 입사파의 제원은 파형경사(H/λ) 0.02에서 0.06까지의 범위내에서

Table 1. Wave conditions for reflection coefficients experiment of Tapdong revetment

| Case | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
|----------------|----------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| Wave height | Target | H_m (cm) | 1.50 | 3.40 | 6.00 | 6.20 | 4.30 | 5.90 |
| | | H_p (m) | 0.30 | 0.68 | 1.20 | 1.24 | 0.86 | 1.18 |
| | Measured (cm) | | 1.23 | 3.29 | 5.98 | 6.18 | 4.70 | 5.67 |
| Wave period | Target (sec) | T_m | 0.40 | 0.60 | 0.80 | 1.00 | 1.20 | 1.50 |
| | | T_p | 1.79 | 2.68 | 3.58 | 4.47 | 5.37 | 6.71 |
| | Measured (sec) | | 0.39 | 0.60 | 0.79 | 1.00 | 1.22 | 1.49 |
| Wave steepness | | | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |

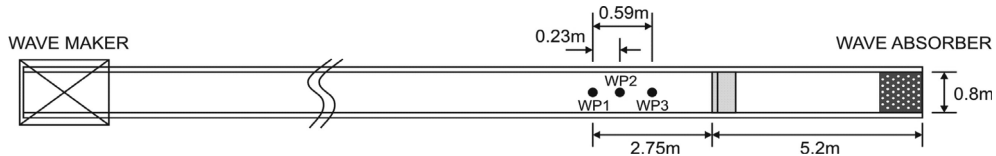


Fig. 5. Position of wave probes to reflection coefficient experiment.

Table 2. Wave conditions for overtopping experiment of Tapdong revetment

| Case | | O1 | O2 | O3 | O4 | O5 | O6 | O7 | |
|-------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Wave height | Target (m) | H_m | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.10 | 0.12 |
| | | H_p | 2.00 | 2.40 | 2.80 | 3.20 | 3.60 | 2.00 | 2.40 |
| | Measured (m) | | 0.097 | 0.100 | 0.128 | 0.149 | 0.176 | 0.093 | 0.116 |
| Wave period | Target (sec) | T_m | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 2.00 | 2.00 |
| | | T_p | 8.05 | 8.05 | 8.05 | 8.05 | 8.05 | 8.95 | 8.95 |
| | Measured (sec) | | 1.792 | 1.792 | 1.792 | 1.825 | 1.808 | 1.988 | 1.988 |
| Case | | O8 | O9 | O10 | O11 | O12 | O13 | O14 | |
| Wave height | Target (m) | H_m | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 |
| | | H_p | 2.80 | 3.20 | 3.60 | 2.00 | 2.40 | 2.80 | 3.20 |
| | Measured (m) | | 0.140 | 0.167 | 0.182 | 0.102 | 0.125 | 0.156 | 0.174 |
| Wave period | Target (sec) | T_m | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 |
| | | T_p | 8.95 | 8.95 | 8.95 | 9.84 | 9.84 | 9.84 | 9.84 |
| | Measured (sec) | | 1.988 | 2.012 | 2.000 | 2.225 | 2.225 | 2.225 | 2.225 |

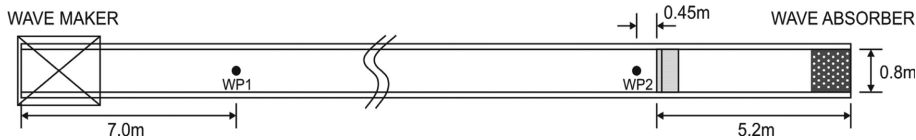


Fig. 6. Position of wave probes to wave overtopping experiment.

규칙파에 대한 주기와 파고를 선정하였다(Table 1 참조). 여기서 밀첨자 m 은 모형을, 밀첨자 p 는 실물을 나타낸다.

탐동 호안모형은 조파기로부터 15 m 지점에 설치하였고, 탐동 호안 전면 2.75 m 떨어진 지점에 첫번째 파고계를 설치하였으며 이로부터 0.23 m와 0.59 m 떨어진 지점에 두 번째와 세 번째 파고계를 설치하였다(Fig. 5 참조). 본 실험에서는 40 Hz의 표본 추출비율을 갖는 용량식 파고계를 사용하였다. 가정된 파형과 3개의 파고계로부터 측정된 파형의 오차 제곱의 합이 최소가 되도록 미지수를 구하는 최소자승법(Least Squares Method)을 사용하여 입사파와 반사파를 분리하여 반사율을 구하였다.

3.2 탐동 호안 월파량 실험

입사파의 파고와 주기 변화에 따른 탐동 호안에서의 월파량을 측정하기 위해 Table 2에 수록된 규칙파 파랑조건하에서 수리모형실험을 실시하였다. Table 2에 수록된 파랑조건(파고, 주기)은 탐동 주변해역에서 발생 빈도가 높은 NE 파향에 대한 50년의 반복주기를 갖는 심해 설계파(파고: 9.06 m, 주기: 13.01 sec)를 기준으로 마련되었다. 즉, 심해 설계파를 SWAN 수치모형에 의해 경계값으로 주고 천해 설계파를 구하였다. 이로부터 탐동 호안 전면에서의 최대 파고(3.6 m)를 추정하였다. 이를 근거로 입사파의 파고는 2.0 m부터 최대

파고 3.6 m까지 5개를 잡았고, 주기는 8.05 sec부터 조파수조에서 재현할 수 있는 최대주기인 9.84 sec 까지 3개를 선정하였다.

입사파를 측정하기 위하여 조파기로부터 7.0 m 떨어진 지점에 파고계(WP1)를 1개 설치하였고, 해저 경사면을 지난 후 호안 전면에서의 파를 측정하기 위하여 호안 전면으로부터 0.45 m 떨어진 지점에 파고계(WP2)를 1개 더 설치하였다(Fig. 6 참조). 탐동 호안 구조물에 작용하는 파압을 측정하기 위하여 40 Hz의 표본 추출비율을 갖는 디스크형 파압계를 상부구조물 곡면 돌출부(P1)에 1개, 상부구조물 하단 중심부(P2)에 1개 총 2개를 설치하였다(Fig. 2 참조). 탐동 호안모형 상부구조물내에 월파된 물을 측정하기 위한 사각형 물받이 상자를 설치하였고, 조파기로부터의 재반사에 대한 영향을 제거하기 위해 제한된 측정시간 동안 월파량을 측정 후, 월파량을 측정시간으로 나누어 단위시간당 월파량을 계측하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 탐동 호안 반사율 실험

Fig. 7은 모형실험결과로부터 얻은 탐동 호안에서의 반사율을 보여주고 있다. 수평축은 입사파의 주기이며, 수직축은 반사파고를 입사파고로 나눈 반사율이다. 여기서 역삼각형 기호는 호안 전면에

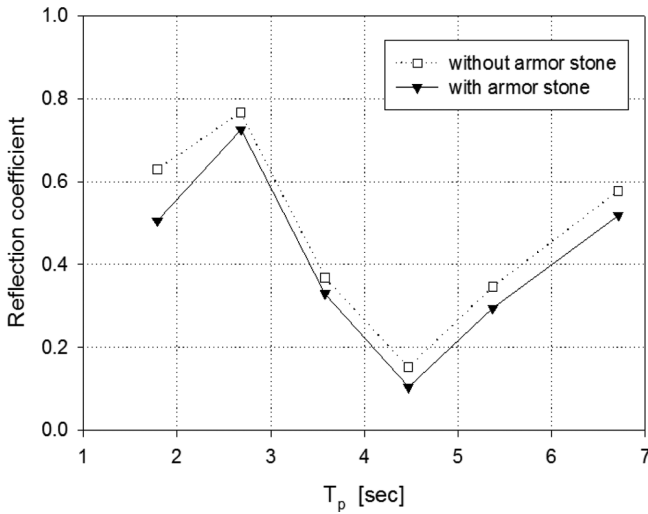


Fig. 7. Comparison of reflection coefficients between with armour stone and without armour stone.

피복석을 배치하였을 때의 결과이며, 사각형 기호는 피복석이 없을 때의 결과이다.

시설된 탑동 호안은 주기가 짧은 영역에서 큰 반사율을 나타내는 특성을 보이다가 주기가 증가함에 따라 줄어들어 $T_p=4.5$ sec일 때 가장 낮은 반사율을 나타내며, 그 이후 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 주기에 관계없이 피복석을 설치한 경우 외류 발생에 의한 에너지 소멸효과로 반사율이 더 낮게 나타남을 볼 수 있다. 즉, 피복석을 호안 전면에 배치하였을 때 난류발생에 의한 에너지 저감효과로 반사파가 줄어들어 월파의 피해를 감소시킬 수 있다. 따라서 호안 전면에 T.T.P 또는 피복석을 추가로 설치하는 방안도 탑동 월파 피해를 줄이는데 고려할 수 있는 대안중에 하나임을 모형실험을 통하여 밝혔다.

4.2 탑동 호안 월파량 실험

Fig. 8은 현재 시설된 탑동 호안모형(type1)에 대하여 파고와 주기 변화에 따른 곡면 돌출부(P1)와 상부구조물 하단부(P2)에서의

파압을 실험값으로 환산하여 나타낸 그래프이다. 곡면 돌출부와 상부구조물 하단부 모두 파고가 커질수록 파압이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한 주기 변화에 대하여 살펴보면 곡면 돌출부(P1)에서 측정된 파압은 $T_p=8.05$ sec와 $T_p=8.95$ sec에서 큰 차이가 없다가 $T_p=9.84$ sec에서 갑자기 커지는 특성을 보인 반면, 상부구조물 하단부(P2)에서 측정된 파압은 $H_p=3.2$ m을 제외한 나머지 파고에 대하여 주기가 길어질수록 파압이 증가하는 경향을 보여주고 있다.

Fig. 9는 곡면 돌출부(P1: 검은색 채움)에서 측정된 파압과 상부구조물 하단부(P2: 흰색 채움)에서 측정된 파압의 실험값을 보여주고 있다. 여기서 동그라미 기호는 현재 시설된 상부구조물 모델(type1)을 나타내며, 역삼각형은 상부구조물의 높이를 증가한 경우(type2), 사각형은 곡면 돌출부 형상을 바꾼 경우(type3), 다이아몬드는 type2와 type3를 결합한 경우(type4)이다. 주기가 8.05sec, 8.95sec인 경우 type1보다 상부구조물의 형상을 바꾼 type 2,3,4에서 파압이 모두 감소하였음을 알 수 있다. 그러나 이러한 경향은 주기가 가장 긴 $T_p=9.84$ sec에서는 항상 성립하지 않는다. 파고가 2.0 m, 2.4 m, 2.8 m에 대한 파압은 주기와 상관없이 상부구조물 하단부(P2)에서의 파압이 곡면 돌출부에서의 파압(P1)보다 크게 작용하였다. 그러나 O14 case($H_p=3.2$ m, $T_p=9.84$ sec)인 경우, 반대로 곡면 돌출부의 파압이 더 크게 나타났다. 이는 주기가 길어지고 파고가 높아짐에 따라 파 처오름 현상이 크게 발생하여 상부구조물 끝단에 위치한 돌출부에 강한 파압이 작용했기 때문이다.

앞에서 살펴본 4종류(type 1,2,3,4)의 상부구조물에 대하여 파고와 주기 변화에 따른 단위 폭당 단위 시간당 월파량을 실험값으로 환산하여 Fig. 10에 그렸다. 상부구조물의 형상에 관계없이 주기가 길어질수록 파고가 커질수록 월파량이 대체로 증가하였다. 특히 O14 case($T_p=9.84$ sec, $H_p=3.2$ m)에서 월파량이 급격히 증가함을 보였다. 상부구조물의 높이 증가(type2)와 곡면 돌출부의 형상 변화(type3)는 월파량을 줄이는데 큰 기여를 하는 것으로 보인다. type2와 type3의 월파량을 비교하였을 때 상부구조물의 높이 증가(type2)가 돌출부의 형상 변화(type3)보다 월파량을 줄이는데 더욱

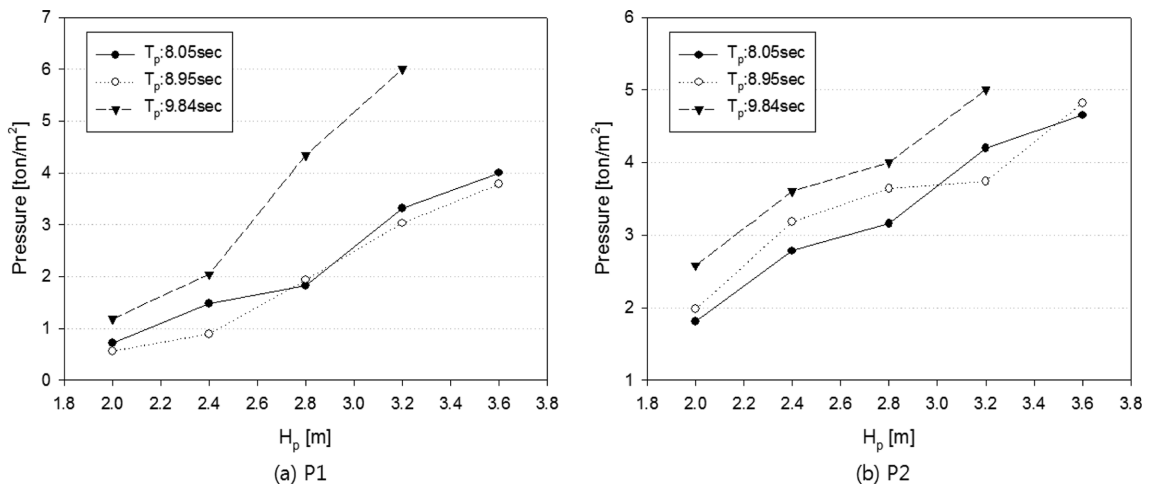


Fig. 8. Wave pressure acting on the P1 and P2 of the original upper concrete block.

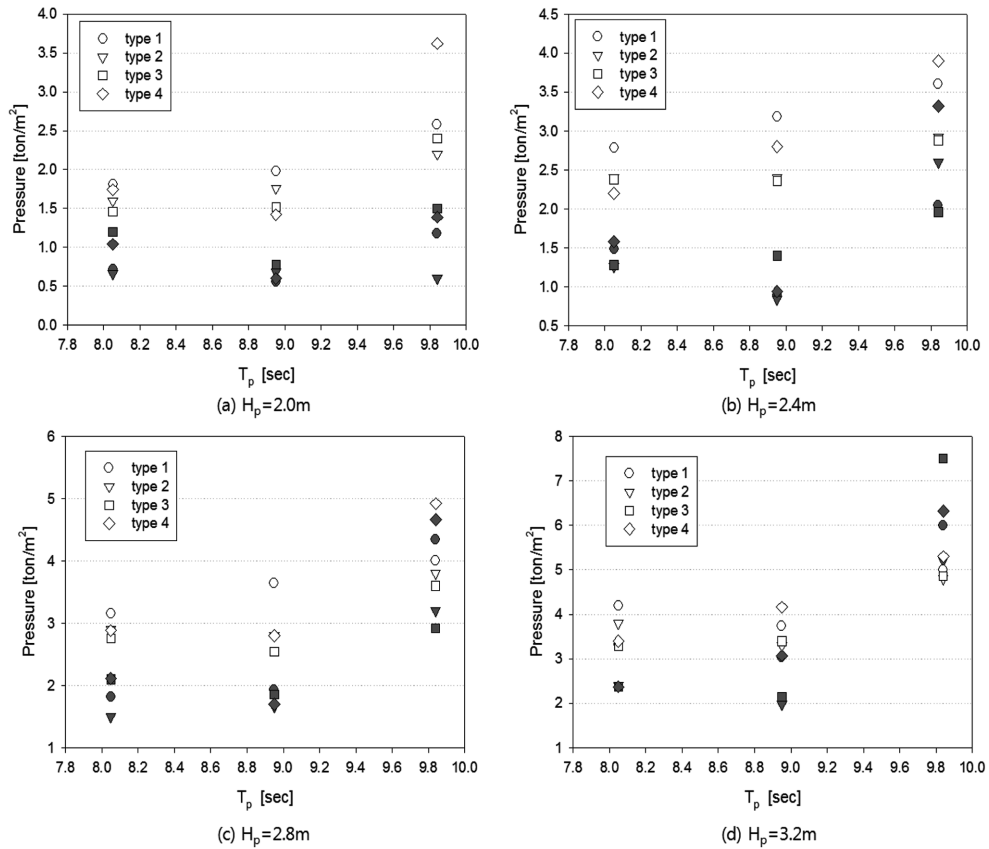


Fig. 9. Comparison of the wave pressure acting on the curved prosurface and bottom of the upper block.

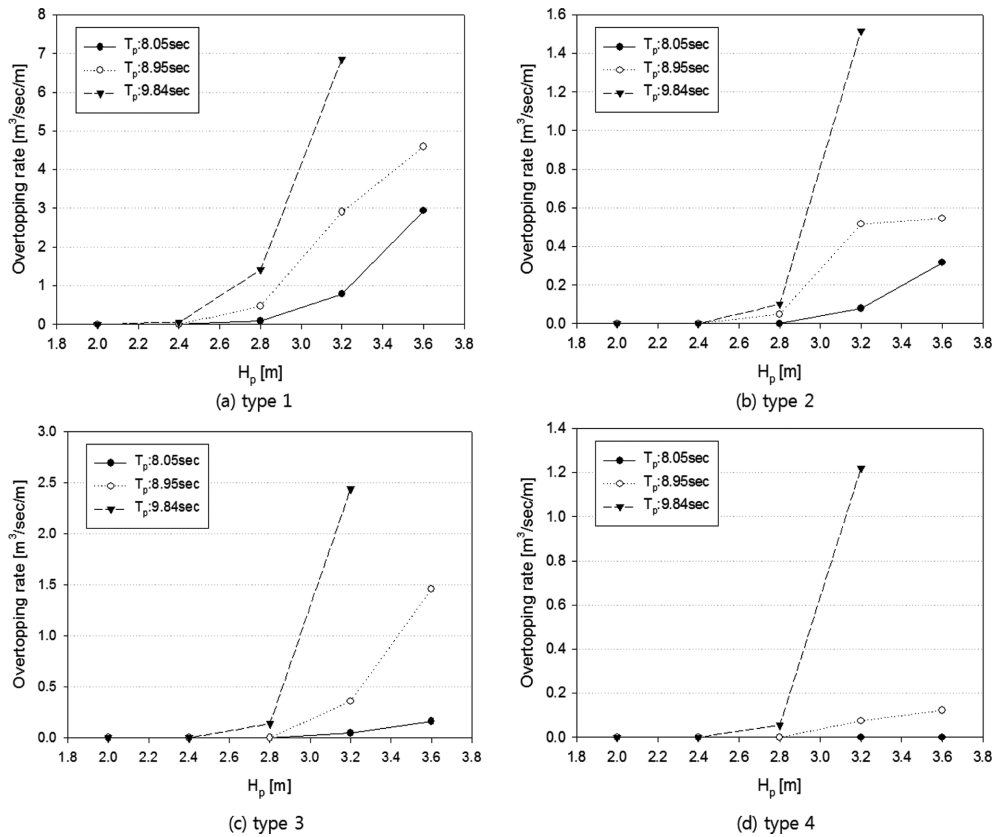


Fig. 10. Relation between wave height and wave overtopping rate.

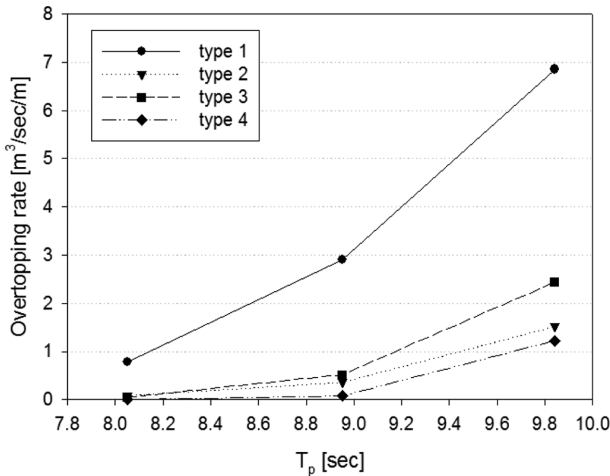


Fig. 11. Comparison of the wave overtopping rate on the 4 types of the upper block for wave height $H_p=3.2$ m.

효과적임을 알 수 있다. type2와 type3를 모두 수용한 type4인 경우, O14 case($T_p=9.84$ sec, $H_p=3.2$ m)를 제외한 모든 경우에서 항만 및 어항 설계기준(해양수산부[2005])에서 제시한 호안 피해한계 월파량(0.2 m³/sec/m)을 만족하는 수준까지 감소됨을 확인하였다. 따라서 상부구조물의 형상변화가 월파 피해 방지를 위한 좋은 방안을 모형실험을 통하여 확인하였다.

월파량과 입사파 주기사이의 관계를 좀 더 명확히 파악하기 위하여 월파량이 가장 많은 파고 $H_p=3.2$ m에 대하여 월파량과 주기와 의 그래프를 Fig. 11에 나타내었다. 앞선 그림에서 언급하였듯이 주기가 증가할수록 월파량이 증가하는 것을 확연히 볼 수 있으며, 주기변화에 따른 월파량 증가폭이 type1에서 가장 크게 나타났으며 type3, type2, type4 순으로 월파량의 증가폭이 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 주기변화에 대한 월파량 증가폭이 적은 순으로 월파량도 작게 나타났다.

이상의 실험으로부터 현재 시설된 탑동호안은 월파가 크게 발생할 수밖에 없는 구조적인 특징을 지니고 있으며, 이를 보완하기 위해서는 상부구조물의 형상을 수정하여 기존의 P.F.Cell 블록 위에 탑재하는 방안이 가장 바람직하다. 4종류의 상부구조물 형상을 비교한 결과, 기본형 모델 > 곡면 돌출부 형상변화 > 상부구조물 높이 증가 > 전체 확장 순으로 월파량이 줄어들었다. 월파량의 변화는 파고와 주기에 따라 달라지지만 O14 case만을 살펴보면 곡면 돌출부 형상을 변화시켰을 때 현재 시설된 모델에서 발생하는 월파량의 36%만이 발생하였으며, 상부구조물 높이 증가와 전체 확장 모델의 경우는 각각 22%, 18% 월파량이 발생하였다.

4. 결 론

본 연구는 제주시 탑동 호안의 월파 피해 대응방안을 모색하는 목적으로 수행되었으며, 특히 월파 피해가 빈번히 발생하는 구간 A에 시설된 호안에 대하여 피복석 설치 유무에 따른 반사율 실험을 실시하였고, 호안 상부구조물의 형상과 입사파의 조건(파고, 주

기)을 변화시키면서 월파량을 측정하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 탑동 호안 반사율 측정실험을 통하여 주기 변화에 따른 탑동 호안의 반사율을 특성을 파악하였다. 또한 측정된 주기 범위내에서 피복석을 배치한 경우 난류발생에 의한 에너지소멸 효과로 반사율이 감소하였다. 이 실험을 통하여 피복석 또는 TTP의 추가적인 배치는 월파를 줄이는데 어느 정도 기여할 것으로 예상할 수 있다.

(2) 곡면 돌출부(P1)와 상부구조물 하단부(P2)에서 측정된 파압은 파고가 커질수록 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한 주기가 8.05 sec, 8.95 sec인 경우, 현재 시설된 모형인 type1보다 상부구조물의 형상을 바꾼 type 2,3,4에서의 파압이 감소하였다.

(3) 상부구조물의 형상에 관계없이 월파량은 파고가 커지고 주기가 길어질수록 증가하는 특성을 보였다. 4종류의 상부구조물 형상에 대한 월파량을 비교한 결과, 기본형 모델 > 곡면 돌출부 형상변화 > 상부구조물 높이 증가 > 전체 확장의 순으로 월파량이 줄어들어 상부 구조물의 형상 변화가 월파량 저감에 효과적임을 실험을 통하여 확인하였다.

후 기

이 논문은 2011년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해수면 상승에 따른 방재시스템 구축을 위한 모형시험기법 개발).

참고문헌

- [1] 류용욱, 이종인, 김영택, 2009, “소파블록피복 케이스 방파제에서 월파의 거동분석: 규칙파 조건”, 한국해양해양공학회지, Vol.21, No.1, 54-62.
- [2] 이달수, 오영민, 이양희, 1996, “신형 유공블록을 이용한 계단식 호안의 월파특성 수리실험”, 한국해양해양공학회지, Vol.8, No.4, 269-273.
- [3] 이 원, 박진호, 조용식, 2008, “사석 경사제 및 소파블록 경사제 호안의 월파특성”, 한국방재학회 발표논문집, 443-445.
- [4] 해양수산부, 2005, “항만 및 어항 설계기준-제2편 설계조건”, 해양수산부, 96-102.
- [5] Ahrens, J.P. and Heimbaugh, M.S., 1988, “Seawall overtopping model”, Proc. 21st Int. Coastal. Eng. Conf., ASCE, 795-806.
- [6] Owen, M.W., 1980, “Design of seawalls allowing for wave overtopping”, Rep. EX924, Hydraulics Research Wallingford, Wallingford, U.K.
- [7] Schuttrumpf, H., Mooller, J., and Oumeraci, H., 2002, “Overtopping flow parameters on the inner slope of seadikes”, Proc. 28th Coastal Eng. Conf., ASCE, 2116-2127.

2011년 9월 27일 원고접수

2011년 11월 8일(1차), 2012년 5월 8일(2차) 심사수정일자

2012년 5월 12일 게재확정일자