

TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 1:1.5 조건

이종인* · 배일로**

Lee, Jong-In*, Bae, Il-Ro**

Empirical Formula for Wave Runup of Rubble-Mound Structure Covered by Tetrapods: 1:1.5 Slope Condition

ABSTRACT

The runup height is an important design parameter to determine the crest elevation of coastal structures and seawalls. In this study, two dimensional wave runup tests for rubble-mound structure covered by tetrapods were conducted. Incident waves at the toe include nonbreaking, breaking and broken random wave conditions. An empirical formula to predict runup elevation of rubble-mound structure with 1:1.5 front slope was proposed on the basis of physical model test results using a surf similarity parameter. The test results from this study were compared with those from van der Meer and Stam(1992).

Key words : Wave runup, Rubble-mound structure, Crest height, Surf similarity parameter, Random wave

초록

파랑의 처오름높이는 항만 및 호안구조물의 마루높이 산정에 있어 주요한 설계요소이다. 본 연구에서는 TTP로 피복된 경사식구조물을 대상으로 2차원 수리실험을 수행하였으며, 실험에 적용된 실험과는 불규칙파로서 구조물 toe 위치에서 비쇄파, 쇄파 및 쇄파된 파의 조건을 포함한다. 본 실험결과를 이용하여 사면경사 1:1.5인 경사식구조물의 처오름높이를 산정할 수 있는 경험식을 쇄파 유사성 매개변수를 이용하여 제안하였다. 그리고 본 실험결과는 기존 연구결과인 van der Meer and Stam(1992)의 결과와 비교하였다.

검색어 : 처오름높이, 경사식구조물, 마루높이, 쇄파 유사성 매개변수, 불규칙파

1. 서론

항만 및 해안구조물은 크게 직립식구조물과 경사식구조물로 구분할 수 있고, 직립식구조물과는 달리 경사식구조물의 경우에는 내습파가 사면을 타고 올라가기 때문에 높은 처오름을 유발하게 되며, 파랑의 처오름높이는 항만 및 해안구조물 설계시 마루높이 설정에 이용되고 있다. 월파를 허용하지 않거나 극소량만 허용할 경우에는 처오름높이로부터 마루높이를 산정하는 것이 일반적이며, 월파를 허용하는 구조물의 경우에는 처오름높이와 허용월파량으로부터 마루높이를 설정하고 있다. 따라서 경사식구조물의 처오름높이 산정식은 항만 및 해안구조물 설계시 필요한 주요 설계인자라 할 수 있다.

국내에서 항만 및 해안구조물을 설계할 때에는 항만 및 어항설계기준-해설(MOF, 2014)을 참조하고 있다. 기존 항만 및 어항설계기준(MOF, 2005)에는 Shore Protection Manual(1984)에 수록된 파랑의 처오름높이 산정도표를 인용하여 수록되어 있었으나, 도표의 축이 로그축이기 때문에 활용이 어려운 실정이었다. 이에 개정된 항만 및 어항설계기준-해설(MOF, 2014)에서는 도표를 삭제하고,

* 정회원 · 전남대학교 공학대학 해양토목공학과 교수 (Chonnam National University · jilee@chonnam.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 전남대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정 (Corresponding Author · Chonnam National University · bbg32@nate.com)

Received May 6, 2015/ revised May 15, 2015/ accepted May 19, 2015

최근의 연구동향을 반영하여 처오름높이 산정식이 수록되었다. 그러나 항만 및 어항설계기준-해설(MOF, 2014)에는 완만한 경사의 불투과성 사면(Mase, 1989)과 피복적으로 피복된 사면(van der Meer and Stam, 1992)에 대한 처오름높이 산정식만 수록되어 있고, 국내에서 일반적으로 적용되는 TTP로 피복된 경사식구조물에 대한 처오름높이 산정식은 부재한 실정이다.

Mase(1989)는 사면경사 1:5~1:30의 조건에 대한 처오름높이 산정식을 수리실험을 통해 제시하였으며, van der Meer and Stam(1992) 또한 수리실험을 통해 피복적이 피복된 사면에 대한 처오름높이 산정식을 제시하였다. van der Meer and Stam(1992)는 다양한 사면경사를 대상으로 실험이 수행되었으며, 피복석 하부의 중간피복층이 불투과성인 경우(사면경사 1:2~1:6)와, 투과성인 경우(1:1.5~1:3)를 대상으로 하였다. 그러나 van der Meer and Stam(1992)의 실험은 대부분 일정수심상에서 수행됨으로 인해 내습파의 쇄파현상을 적절히 고려하지 못하는 단점이 있다. Coastal Engineering Manual(2005)에서도 van der Meer and Stam(1992)에 의한 산정식은 입사파가 Reyleigh분포를 따르는 비교적 깊은 수심조건에 타당한 처오름높이 산정식이라고 기술되어 있다. 일반적인 방파제 및 호안구조물 등은 대부분 쇄파역에 건설됨으로 인해 입사파의 쇄파가 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 쇄파의 영향이 고려된 산정식이 요구된다 할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 일반적으로 적용하고 있는 TTP가 피복된 경사식구조물을 대상으로 처오름높이 산정을 위한 2차원 수리실험을 수행하였다. 수리실험은 사면경사 1:1.5인 TTP 피복 경사식구조물을 대상으로 하였으며, 불규칙파를 입사파로 적용하고 구조물 설치 수심, 입사파고 및 입사주기 등을 변화시키며 다양한 조건의

수리실험을 수행한 후, 처오름높이 산정식을 제안하였다. 그리고 본 연구로부터 산정된 결과는 적용 피복제는 다르지만 van der Meer and Stam(1992)의 결과와 비교하였다.

2. 실험시설

본 연구의 실험에 사용된 단면수로의 제원은 폭 2m, 깊이 3m, 길이 100m이고, 사용된 조파기는 전기서보 피스톤식 조파기이며, 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다(Fig. 1 참조). 조파관의 폭은 1.99m, 높이는 3m이며, 최대수심 2m, 최대파고 1m, 재현주기 0.5~10sec의 성능을 가지고 있다. 또한 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 각각의 성분파에 대해 임의의 스펙트럼 값을 입력하여 조파할 수 있다. 본 연구에서 사용된 분석장비는 컴퓨터, 증폭기 및 A/D converter 등으로 구성되며, 실험과 제원에 따른 조파신호를 생성하고, 생성된 신호를 조파기로 송신하는 기능을 가지고 있으며, 파고계로부터 독취된 자료를 스펙트럼 및 파고 등으로 분석하는 장치이다. 수리실험은 유한한 수로내에서 수행되기 때문에 구조물에 의한 반사파가 조파관에서 재반사되는 현상이 발생된다. 이러한 재반사파를 적절히 제어하지 못하면 실험결과에 신뢰도가 저하되므로 본 실험에서는 흡수제어를 통해 재반사파를 억제시키고, 일정 지점에서 파랑의 증폭을 상시 계측하여 분석에 활용하였다.

실험과 설정시 입반사 분리기법을 적용하여 설정하였으며, 사용된 파고계는 용량식 파고계로서 길이는 2m이고, 측정범위는 0~±1m이며, 독취율은 50Hz이다. 또한 경사식구조물 사면에서의 처오름높이 계측을 위해 측정범위가 3m이고, 독취율이 50Hz인 처오름높이 계측기(runup gauge)인 용량식 파고계를 별도로 제작하여 활용하였다.

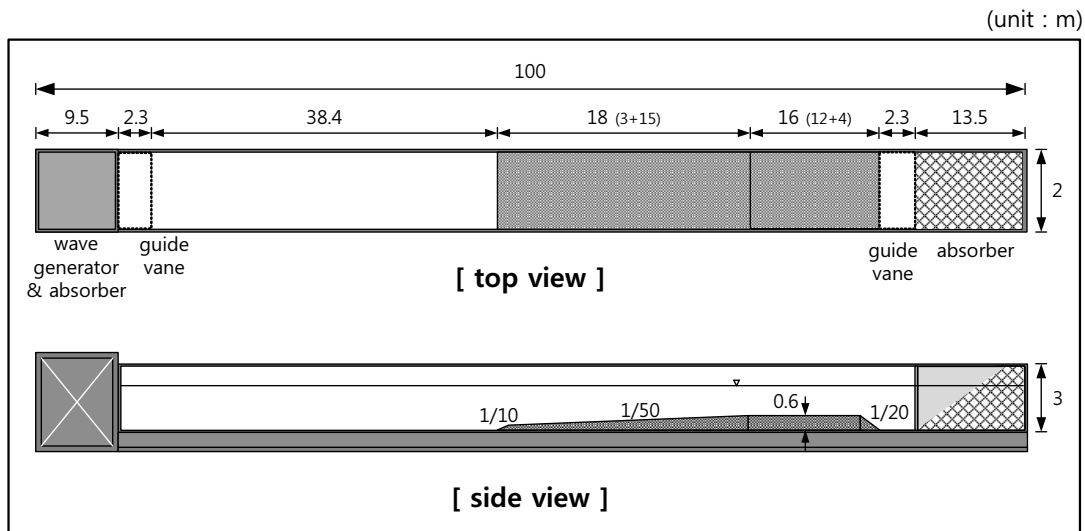


Fig. 1. Experimental Facilities

3. 실험조건 및 계측방법

Fig. 2는 본 연구에서 적용한 경사식구조물 모형의 개념도이다. 모형의 높이는 월파가 발생하지 않도록 충분히 높게 설치하였으며, 체체사석위에 1개 층의 tripod를 설치하고, 그 상부에 공칭길이 (nominal length, $D_n = V^{1/3}$) $D_n \approx 9.28\text{cm}$ 인 TTP를 정적으로 2층 피복하였으며, 피복층의 피복두께(A_T)는 $A_T \approx 19.2\text{cm}$ 이다. 그리고 경사식구조물의 사면경사($\cot\beta$)는 $\cot\beta=1.5$ 이고, 제체가 설치되는 구간 전면에는 1/50의 경사면이 설치되어 있다. 구조물 설치수심(d_t)으로 $d_t=40\text{cm}$, 55cm , 70cm , 85cm 를 본 실험에 적용하였고, 경사면은 실험수로 바닥으로부터 60cm 높이까지 설치되기 때문에 경사면이 시작되기 전의 수심(d_o), 즉 조파기 전면수심은 $d_o=d_t+60\text{cm}$ 이다. Fig. 2에서 $H_{1/3}$ 와 $T_{1/3}$ 는 각각 유의파고와 유의주기를 의미하며, 첨자 t 와 o 는 각각 구조물 설치수심(d_t)과 경사면이 시작되기 전 위치에서의 수심(d_o)을 의미한다.

실험파는 목표 유의주기($T_{s,o}$) $T_{s,o}=1.5\sim 3.6\text{sec}$ 범위에서 $\Delta T_{s,o}=0.3\text{sec}$ 간격, 목표 유의파고($H_{s,o}$) $H_{s,o}=12\sim 36\text{cm}$ 범위에서 $\Delta H_{s,o}=4\text{cm}$ 간격의 목표 파랑을 대상으로 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 적용한 불규칙파 조건으로 설정하였다. 실험파는 경사면이 시작되기 전의 위치인 d_o 위치에서 진행과 관점으로 설정하였으며, d_o 위치에서는 쇄파가 발생하지 않는 조건의 파랑을 대상으로 하였다. 다시 말해 d_o 위치에서는 각 실험파의 목표 유의주기별로 쇄파가 발생되지 않는 목표 유의파고까지 실험파를 설정함에 따라 목표 유의주기별로 설정된 최대 유의파고는 차이가 있으며, $T_{s,o}=1.5\text{sec}$ 보다는 $T_{s,o}=3.6\text{sec}$ 인 경우에 보다 큰 유의파고까지 실험파를 설정할 수 있었다. d_o 위치에서는 쇄파가 발생되지 않는 조건의 파랑만을 대상으로 실험파로 설정하였지만, 구조물 설치위치까지는 1/50의 경사면이 설치되어 있어 수심감소 등으로 인해 구조물 위치에서는 쇄파가 발생되도록 하였다. 따라서 구조물 설치수심(d_t), toe부에서는 비쇄파(non-breaking wave), 쇄파(breaking

wave) 및 쇄파된 파(broken wave) 조건이 모두 포함된다. 수리실험에서 불규칙파를 재현할 때 목표 파랑제원과 동일하게 설정하기는 어렵다. 따라서 실험과 설정시 목표 파랑제원에 근접하도록 실험파를 설정한 후, 결과분석시에는 목표 파랑조건이 아닌 실험에서 산정된 파랑제원을 적용하였으며, 실험과 설정위치인 d_o 수심에서 뿐만 아니라 구조물 설치위치인 d_t 수심에서도 입반사 분리기법을 적용하여 파랑제원을 산정한 후, 천수 및 쇄파 등으로 인한 변화를 분석하였다. 실험모형을 설치하여 처오름높이 실험을 수행할 경우에 구조물 위치에서의 파고를 계측할 수 없지만, 본 연구에서는 쇄파 유사성 매개변수 계산시 구조물 위치에서의 유의파고를 사용하게 된다. 따라서 본 연구에서는 실험시 d_o 수심에서 입사파랑을 분석한 후, 실험과 설정시 설정한 d_o 수심과 d_t 수심에서의 파랑제원에 대한 관계식을 이용하여 구조물 위치에서의 파고를 추산하였다. 본 실험에서는 전술한 4가지 수심조건과 실험과 조건을 조합한 전체 163개 조건의 실험파를 대상으로 처오름높이 산정실험을 수행하였다.

처오름높이 계측기를 TTP가 피복된 사면으로부터 약 0.5cm 이격하여 3대를 설치하였다. 즉, 실험수로의 폭이 2m이기 때문에 수로중앙부에 1대, 수로중앙부에서 좌우로 50cm 이격된 위치에 각각 1대씩을 설치하였다. 계측기가 사면으로부터 약 0.5cm 이격되어 설치됨에 따라 실험에서 계측된 처오름높이는 약간 작게 계측될 수 있다. 이격공간으로 인해 계측이 되지 않은 부분은 처오름 파랑의 선단부이기 때문에 전체적인 결과에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

계측기는 파랑에 의해 흔들림이 발생되지 않도록 고정하였으며, 또한 내습파에 의한 피복된 TTP의 거동으로 사면경사의 변화가 발생되지 않는지 실험시 상시 관찰하였다. 각각의 목표 유의주기별로 1,100파의 시간동안 실험파를 조파하여 계측을 수행한 후, 전반부 100파의 계측자료를 제외한 나머지 자료를 이용하여 처오름높이(R_u)를 분석하였다. 따라서 목표 유의주기가 $T_{s,o}=1.5\text{sec}$ 인 경우

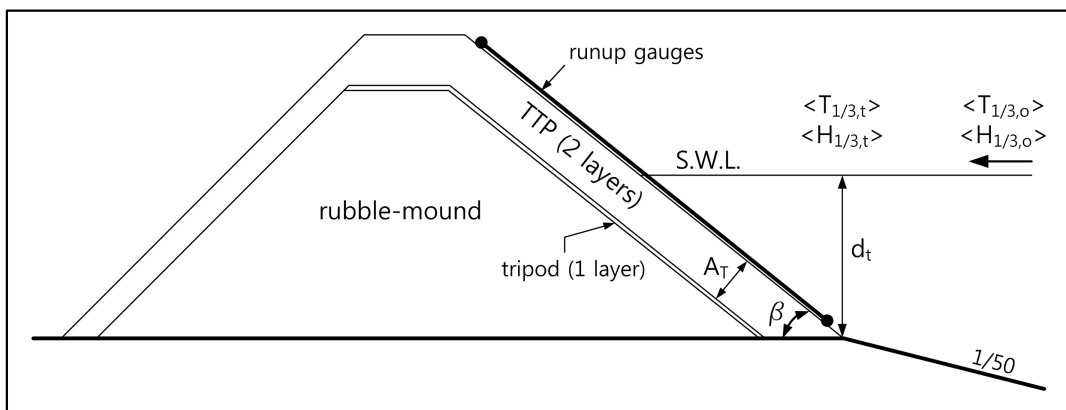


Fig. 2. Schematic Sketch of Model Structure

에는 실험시간으로 1,650sec, $T_{s,0}=3.6\text{sec}$ 인 경우에는 실험시간으로 3,960sec 동안 계측을 수행하였다. 그리고 피복된 TTP의 거치에 따라 처오름높이의 차이가 발생할 수 있기 때문에 결과분석시에는 3대의 계측기에서 분석된 처오름높이를 산술평균하였다. 실험시 분석된 자료에 의하면, 3대 계측기의 상대오차는 3% 이내로 나타나 계측기 설치위치에 따른 차이는 크지 않았다.

본 연구에서는 계측된 자료로부터 최대 처오름높이($R_{u,max}$)에서 평균 처오름높이($R_{u,mean}$)까지를 분석하였으며, $R_{u,max}$, $R_{u,1\%}$, $R_{u,2\%}$, $R_{u,1/20}$, $R_{u,1/10}$, $R_{u,1/3}$, $R_{u,mean}$ 을 산정할 수 있는 처오름높이 산정식을 제시하였다. 여기서, $R_{u,1/10}$ 은 상위 10%에 해당하는 처오름높이를 평균한 처오름높이를 의미한다.

4. 실험결과 및 분석

본 연구는 사면경사 1:1.5인 TTP 피복 경사식구조물을 대상으로 처오름높이 산정실험을 수행하였으며, 동일 피복재료 피복된 조건의 기존 연구결과가 없기 때문에 주 피복층은 피복적으로 2층 피복되고, 주 피복층 하부 제체사석의 투수계수(P)가 P=0.1(주 피복층 하부의 제체가 불투과성에 가까운 경우) 조건과 P=0.5(주 피복층 하부의 제체가 사석으로 설치된 경우) 조건인 van der Meer and Stam(1992)의 처오름높이 산정식 결과와 본 연구의 결과를 비교하였다. 제체사석의 투수계수 P=0.1과 P=0.5인 van der Meer and Stam(1992)의 결과와 본 연구결과를 비교한 것은 본 연구에서 사용된 중간피복층이 사석이 아닌 tripod를 적용함으로써 인해 동일한 조건이 없기 때문이다.

본 연구와의 비교를 위한 P=0.1인 van der Meer and Stam (1992)의 처오름높이 산정식은 Eq. (1)과 같으며, P=0.5인 산정식은 Eq. (2)와 같다.

$$\begin{aligned} R_{u,i\%}/H_s &= A\xi_{om} & \text{for } \xi_{om} \leq 1.5 \\ R_{u,i\%}/H_s &= B\xi_{om}^C & \text{for } \xi_{om} \geq 1.5 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &= A\xi_{om} & \text{for } 1.0 < \xi_{om} \leq 1.5 \\ R_{u,i\%}/H_s &= B\xi_{om}^C & \text{for } 1.5 < \xi_{om} \leq (D/B)^{1/C} \\ &= D & \text{for } (D/B)^{1/C} \leq \xi_{om} < 7.5 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $R_{u,i\%}$ 는 i%를 초과하는 처오름높이의 평균값이며, H_s 는 구조물 설치수심, 즉 toe부에서의 유의파고이다. 그리고 ξ_{om} 은 쇄파 유사성 매개변수(surf-similarity parameter)로서 Eq. (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \xi_{om} &= \tan\beta / \sqrt{s_{om}} \\ s_{om} &= H_s/L_{om} \end{aligned} \quad (3)$$

Eq. (3)에서 $\tan\beta$ 는 경사식구조물의 사면경사, s_{om} 은 파형경사로서 L_{om} 은 평균주기에 해당하는 심해파장이다. s_{om} 은 구조물 설치위치에서의 유의파고와 심해파장의 비로 정의되기 때문에 가상적인 파형경사라 할 수 있다. 그리고 Eqs. (1) and (2)에서 계수 A, B, C, D는 Table 1과 같다.

본 연구에서는 Fig. 2에 도시된 경사식구조물을 대상으로 처오름높이 산정실험을 수행하였다. 주피복블록으로는 TTP를 사용하였으며, 중간피복층으로는 tripod를 적용하였다. 피복된 tripod는 입체공극율이 약 40%이고, 평면투과율이 약 23%인 거치를 적용하였다. van der Meer and Stam(1992)은 쇄파 유사성 매개변수를 입사파의 평균주기를 이용하여 산정한 반면, 본 연구에서는 입사파의 유의주기를 이용하여 산정식을 제시하였다. 이는 국내 항만 및 해안구조물 설계시 파랑조건으로 유의주기를 활용하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서 사용한 쇄파 유사성 매개변수 ξ_{os} 는 Eq. (3)에서 s_{om} 을 s_{os} 로 대체하면 되며, s_{os} 계산시 유의주기에 해당하는 심해파장(L_{os})을 대입하면 된다.

Fig. 3은 본 실험결과와 van der Meer and Stam(1992)의 상대 처오름높이($R_{u,i}/H_s$) 결과를 비교 도시한 것이다. Fig. 3에 도시된 실험자료는 본 연구에서 수행한 실험결과 전체로서 비쇄파, 쇄파 및 쇄파된 파랑의 조건이 모두 포함된 것이며, 상대 처오름높이는 폭 넓게 분포함을, 즉 분산이 크음을 알 수 있다. van der Meer and Stam(1992)의 실험에서도 어느 정도의 실험자료 분산은 있지만, 본 연구결과보다는 분산이 적다. 이는 본 연구는 다양한 쇄파조건이 포함된 결과인 반면에 van der Meer and Stam(1992)의 결과는 대부분 일정수심상에서 수행된 비쇄파조건의 결과이기 때문으로 판단된다. 따라서 van der Meer and Stam(1992)와 같이 처오름높이 산정식을 하나의 식으로 제시하는 것은 불합리 할 것으로 판단된다. Fig. 3에서 van der Meer and Stam(1992)의

Table 1. Coefficients for Runup Levels to be Used in Eqs.(1) and (2)

Runup level	A	B	C	D
$R_{u,max}$	1.12	1.34	0.55	2.58
$R_{u,1\%}$	1.01	1.24	0.48	2.15
$R_{u,2\%}$	0.96	1.17	0.46	1.97
$R_{u,1/20}$	0.86	1.05	0.44	1.68
$R_{u,1/10}$	0.77	0.94	0.42	1.45
$R_{u,1/3}$	0.72	0.88	0.41	1.35
$R_{u,mean}$	0.47	0.60	0.34	0.82

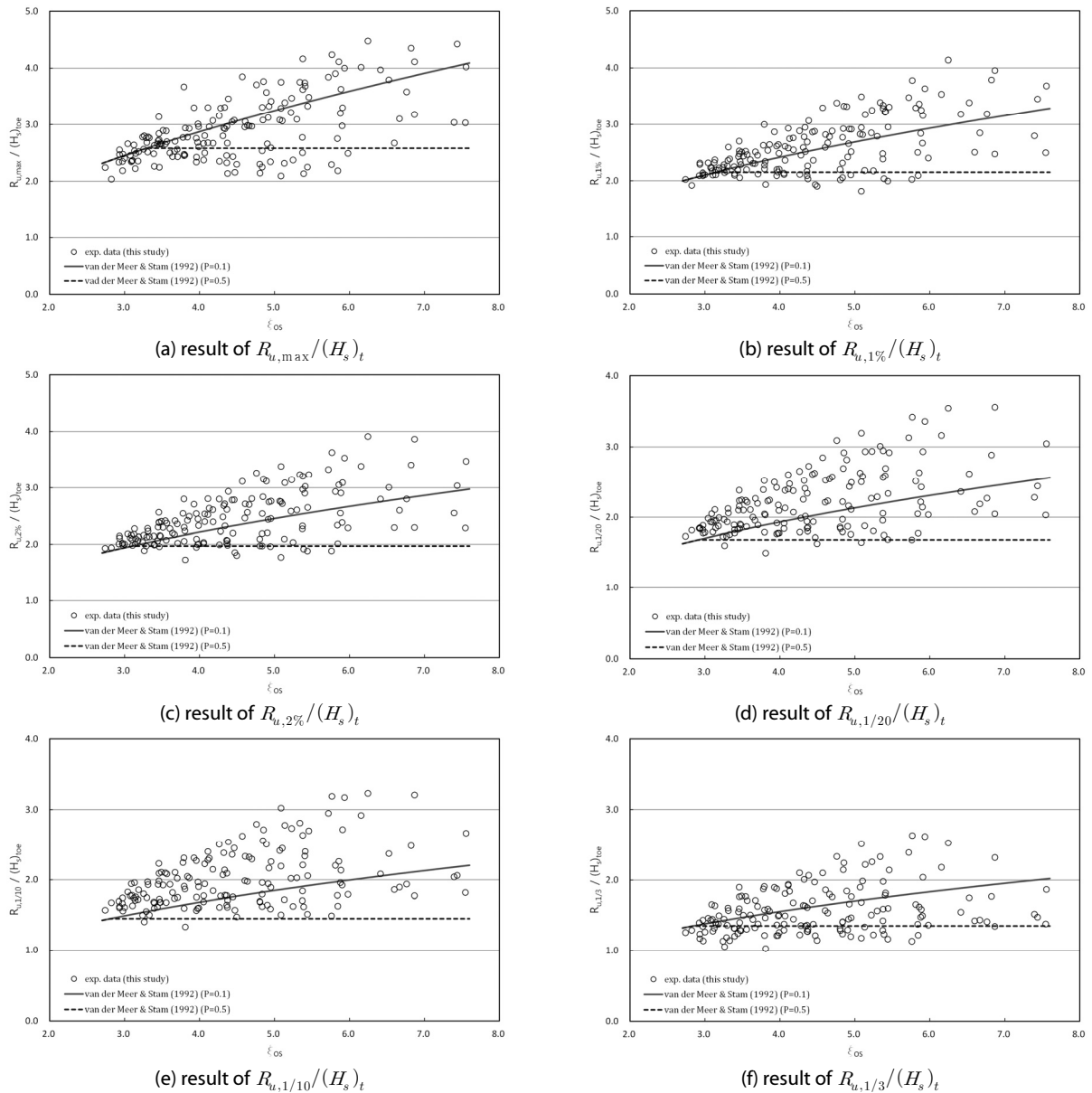


Fig. 3. Comparison of Measured Data with Predicted Results by the Empirical Formulas (van der Meer and Stam, 1992)

P=0.1인 조건의 산정식 결과가 본 실험결과와 보다 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 적용한 중간피복층의 평면투과율이 약 23%이기 때문에 P=0.5인 결과보다 P=0.1의 결과에 보다 부합되는 것으로 판단된다. 따라서 추후 중간피복층의 구성재료에 따른 처오름높이 검토가 필요할 것으로 판단된다. 쇄파 유사성 매개변수(surf-similarity parameter) ξ_{os} 가 작을 때, 즉 파형경사가 큰 경우에는 상대 처오름높이는 일정값에 수렴하는 반면, 파형경사가 작은 경우에는 동일한 ξ_{os} 값에서도 다양한 상대 처오름높이가 분포한다. 이는 van der Meer and Stam(1992) 및 기존 여러 실험결과에서도 나타나는 동일한 경향이다.

Fig. 4는 본 연구의 실험결과를 이용하여 상대 처오름높이를 상대파고(H/d_t)별로 구분하여 도시한 것이다. 여기서 (H/d_t)는 구조물 설치수심, 즉 toe부에서의 유의파고와 수심의 비로서 toe부에서의 쇄파정도를 구분하는 것이라 할 수 있다. 즉, (H/d_t)가 크다는 것은 수심에 비해 파고가 큰 경우로서 강한 쇄파가 발생하는 조건이라 할 수 있다.

본 연구에서 수행된 실험결과를 여러 조건으로 분석해본 결과, 전술한 바와 같이 상대파고(H/d_t)별로 구분하는 것이 적절하다고 판단되었다. 따라서 본 연구에서 수행된 실험조건 범위내에서

TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 1:1.5 조건

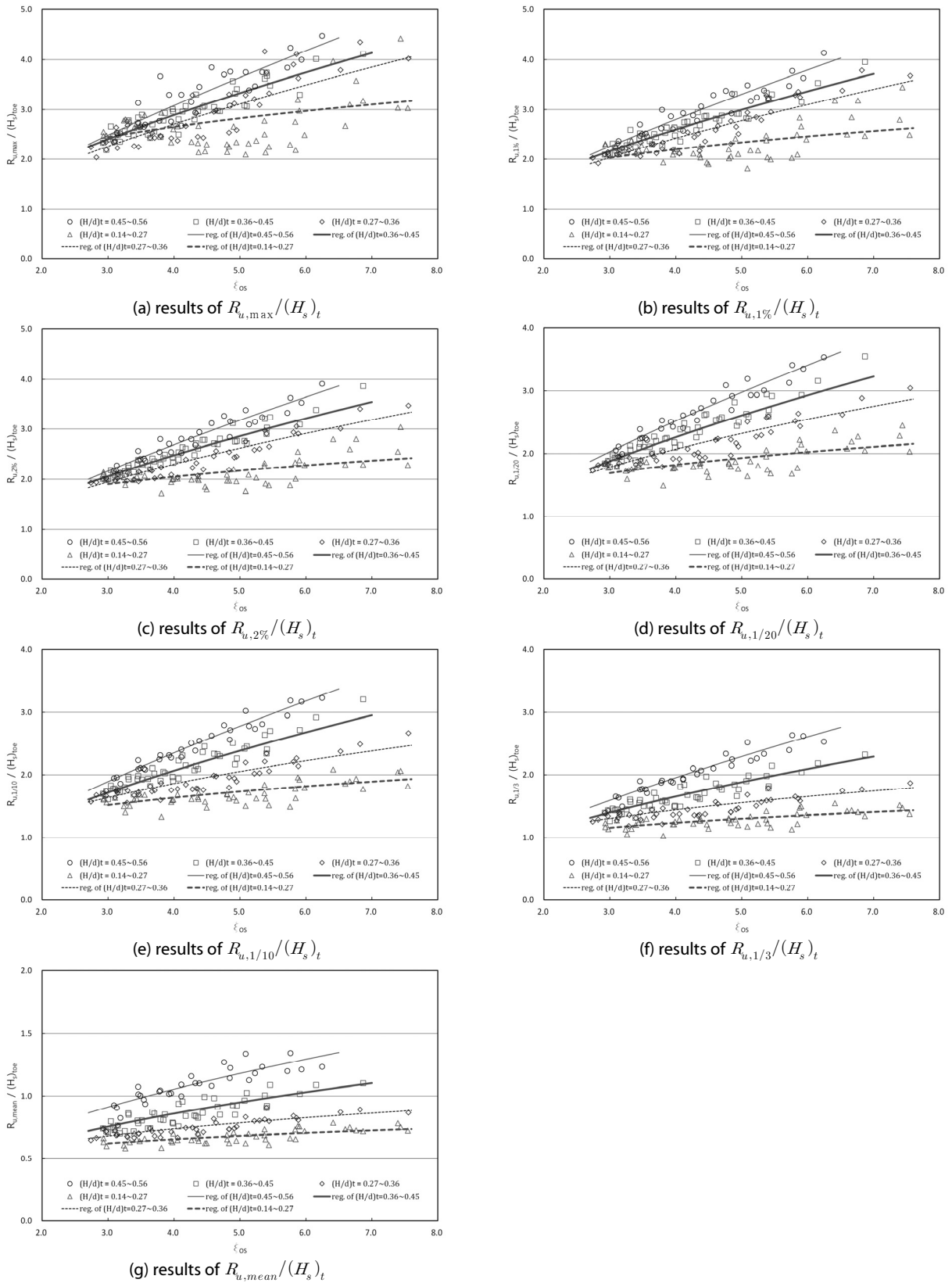


Fig. 4. Relative wave Runup Heights in Front of the Structure

Table 2. Coefficients for Runup Levels to be Used in Eq.(4)

Runup level	$(H/d)_i=0.45\sim 0.56$		$(H/d)_i=0.36\sim 0.45$		$(H/d)_i=0.27\sim 0.36$		$(H/d)_i=0.14\sim 0.27$	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$R_{u,max}$	1.09	0.75	1.19	0.64	1.13	0.63	1.80	0.28
$R_{u,1\%}$	0.99	0.75	1.07	0.64	1.04	0.61	1.49	0.28
$R_{u,2\%}$	0.95	0.75	1.02	0.64	1.03	0.58	1.43	0.26
$R_{u,1/20}$	0.89	0.75	0.93	0.64	1.02	0.51	1.27	0.26
$R_{u,1/10}$	0.83	0.75	0.85	0.64	1.01	0.44	1.14	0.26
$R_{u,1/3}$	0.73	0.71	0.74	0.58	0.90	0.34	0.90	0.23
$R_{u,mean}$	0.52	0.51	0.46	0.45	0.50	0.28	0.51	0.18
range	$2.5 \leq \xi_{os} \leq 6.5$		$2.5 \leq \xi_{os} \leq 7.0$		$2.5 \leq \xi_{os} \leq 8.0$		$2.5 \leq \xi_{os} \leq 8.0$	

$(H/d)_i=0.45\sim 0.56$, $(H/d)_i=0.36\sim 0.45$, $(H/d)_i=0.27\sim 0.36$, $(H/d)_i=0.14\sim 0.27$ 조건으로 구분하여 상대 처오름높이를 분석하고 최적 산정식을 도출하였다. 전체적인 경향을 살펴보면 동일한 ξ_{os} 인 값에서도 파형경사가 큰 조건에서 더 큰 상대 처오름높이가 나타남을 알 수 있다. 이는 Ahrens(1979)이 수행한 사면경사 1:1.5의 연구결과와 동일한 결과이며, 완경사 불투과성 사면에서의 연구인 Mase(1990)의 실험결과와 반대되는 경향이다. Mase(1990)의 실험은 사면경사가 1:5~1:30인 조건에서 수행된 것이며, 사면경사가 완만함으로 인해 파형경사가 큰 경우에 쇄파가 사면상에서 발생되어 상대 처오름높이가 작게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 본 연구와 같이 사면경사가 급한 경우에는 보다 높은 처오름높이가 발생됨을 의미한다. Fig. 4를 전체적으로 살펴보면 $R_{u,max}$ 실험 결과의 분산이 가장 큼을 알 수 있으며, 이는 최대값만을 대상으로 하였기 때문으로 판단되며, $R_{u,2\%}$ 부터는 분산정도가 감소하는 것을 보인다.

본 연구에서 수행한 2차원 수리실험결과를 이용하여 TTP가 2층 피복되고 중간피복층의 평면투과율이 약 23%인 콘크리트블록으로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식을 Eq. (4)와 같이 제안하며, Eq. (4)의 계수 A와 B는 Table 2와 같다.

$$R_{u,i\%}/(H_s)_{toc} = A\xi_{os}^B \quad (5)$$

5. 결론

본 연구에서는 TTP로 피복된 사면경사 1:1.5의 경사식구조물을 대상으로 처오름높이에 대한 2차원 실험을 수행한 후, 처오름높이 산정식을 제안하였으며, 주된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구결과는 van der Meer and Stam(1992)의 결과보다 상대 처오름높이의 분포가 넓게 나타났으며, 이는 다양한 입사

파 조건을 적용하였기 때문으로 판단된다. 즉, van der Meer and Stam(1992)의 결과는 파형경사가 상대적으로 작은 조건이고, 본 연구에서 적용한 사면경사보다 완만한 경사를 대상으로 하였기 때문이다.

- (2) 입사파의 파형경사가 큰 경우에는 상대 처오름높이가 일정값에 수렴하며, 이는 기존 연구결과와 동일한 경향이다. 그러나 파형경사가 작은 경우에는 상대파고(toe부에서의 파고와 구조물 전면수심의 비)에 따라 처오름높이의 차이가 크게 나타났다. 따라서 보다 정도 높은 처오름높이의 산정을 위해 상대파고별로 처오름높이 산정식을 제시하였다.
- (3) 사면경사 1:1.5인 TTP 피복 경사식구조물의 처오름높이를 산정할 수 있는 산정식을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 산정식은 중간피복층으로 콘크리트블록을 사용하는 조건에 해당하며, 이는 설계파고가 커서 고중량의 콘크리트블록이 사용되는 경우에 해당된다 할 수 있다. 국내 항만 및 어항설계기준 해설(MOF, 2014)에는 TTP 피복 경사식구조물에 대한 처오름높이 산정식이 부재한 실정으로서 본 연구결과는 실무 활용측면에서 가치가 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 사면경사가 1:1.5인 조건만을 대상으로 한 결과이기 때문에 향후 사면경사 1:2 조건과 중간피복층이 사석으로 설치되는 조건 등에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다. 그리고 최근 설계파랑 증대에 따른 기존 경사식구조물의 보강사업이 활발하게 진행됨을 감안할 때 피복층의 두께가 처오름높이의 저감에 미치는 영향에 대한 검토도 수행하여 저감정도를 정량적으로 제시할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 한국해양과학기술진흥원의 연구비 지원(과제번호: 20110131) 및 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국

연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2011-0030040)이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ahrens, J. P. (1979). "Irregular wave runup." *Proc. Coastal Structure '79*, ASCE, pp.998-1019.
- Mase, H. (1989). "Random wave runup height on gentle slope." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp.649-661.
- Ministry of Oceans and Fisheries (2005). *Design standard for harbor and fishery port* (in Korean).
- Ministry of Oceans and Fisheries (2014). *Design standard for harbor and fishery port* (in Korean).
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1984). *Shore Protection Manual* (in USA).
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2005). *Coastal Engineering Manual* (in USA).
- van der Meer and Stam, C. L. (1992). "Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structure." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp.534-550.