

저 마루높이 구조물의 피복재 안정성 실험: 피복석 피복 조건

이종인* · 배일로** · 문강일***

Lee, Jong-In*, Bae, Il Rho**, Moon, Gang Il***

Experiments for Amour Stability of Low Crested Structure Covered by Rocks

ABSTRACT

In this study, the stability of low crested structure armoured by rock has been investigated using two-dimensional hydraulic model tests. The effect of wave steepness and freeboard on the rock stability on crest, front, and the rear slope has been investigated. Rocks were mostly damaged near the upper part of the seaward slope and the crest of the seaward side. From the experimental data, the new empirical formula for the stability coefficients of the rocks was proposed.

Key words : Stability, Low crested structure, Hydraulic model experiment, Rock, Empirical formula

초 록

본 연구에서는 피복석으로 피복된 저 마루높이 구조물의 안정성을 검토하기 위해 2차원 수리실험을 수행하였다. 피복석 안정성은 구조물 상부, 전사면 및 후사면을 대상으로 파형경사와 여유고를 변화시키며 검토하였으며, 피복석의 주된 피해는 전사면 상부와 바다측 마루부에서 발생하였다. 수행된 2차원 실험결과를 이용하여 파복석의 안정계수 산정을 위한 경험식을 제안하였다.

검색어 : 안정성, 저 마루높이 구조물, 수리모형실험, 피복석, 경험식

1. 서론

국내에서는 동해안을 중심으로 연안침식 문제가 다양하게 발생하고 있으며, 이러한 연안침식을 저감시키는 여러 방법으로 저 마루높이 구조물(저 마루높이 이안제, 잠제 등)을 활용하는 공법이 일반적으로 적용되고 있다. 그동안 국내에서 수행된 연구성적을 살펴보면 저 마루높이 구조물의 소파특성(전달계수 산정)과 구조물 주변의 국부세굴 등의 문제가 주로 다루어져 왔다. 저 마루높이 구조물은 파랑 외력을 1차로 저지하는 기능을 가지기 때문에 파랑외력에 안정한 구조물로 설계 및 시공되어야 한다. 그러나 이에 대한 국내연구는 미미한 실정이며, Lee et al.(2019)은 저 마루높이 구조물의 피복재로 Tetrapod를 적용했을 때, Tetrapod의 안정성을 확보할 수 있는 안정계수(stability coefficient, K_D) 산정식을 제안하였다.

국내에서 잠제를 적용한 설계사례 19개소의 적용 피복재를 살펴보면 16개소에서 Tetrapod, 1개소에서 Tripod, 2개소에서 피복석을 적용하였으며, 피복재 중량은 Hudson식을 이용하여 산정하였다(Table 1 참조). 피복석을 적용한 사례에서 적용한 피복석의 중량은 $0.5 \text{ m}^3/\text{ea}$ 와 $1.0 \text{ m}^3/\text{ea}$ 이며, 이는 $1.0 \text{ m}^3/\text{ea}$ 이상의 피복석을 사용하지 않는 국내 여건을 고려한 것으로 판단된다.

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

** 정회원 · 전남대학교 해안항만실험센터 박사후연구원 (Chonnam National University · bagg32@nate.com)

*** 교신저자 · 전남대학교 대학원 건축토목공학과 박사과정 (Corresponding Author · Chonnam National University · rkddlf24@nate.com)

Received December 10, 2019/ revised December 15, 2019/ accepted December 17, 2019

Table 1. Armour of the Existing Design Cases

Site		Armour	Site		Armour
①	Gosung	Tetrapod 8 ton/ea	⑪	Uljin 3	Tetrapod 10 ton/ea
②	Sokcho	Tetrapod 10 ton/ea	⑫	Pohang	Tetrapod 32 ton/ea
③	Yangyang	Tetrapod 16 ton/ea	⑬	Gyeongju	Tetrapod 40 ton/ea
④	Gangneung 1	Tetrapod 8~10 ton/ea	⑭	Ulsan	Tetrapod 12.5 ton/ea
⑤	Gangneung 2	Tetrapod 6.3 ton/ea	⑮	Busan 1	Tetrapod 20~32 ton/ea
⑥	Gangneung 3	Tetrapod 8 ton/ea	⑯	Busan 2	Tetrapod 20~50 ton/ea
⑦	Gangneung 4	Tetrapod 16 ton/ea	⑰	Yeosu	Tetrapod 20~32 ton/ea
⑧	Ulleung	Tetrapod 40~50 ton/ea	⑱	Mokpo	Rock 0.5 m ³ /ea
⑨	Uljin 1	Tetrapod 5~16 ton/ea	⑲	Taean	Rock 1.0 m ³ /ea
⑩	Uljin 2	Tripod 13 ton/ea	-	-	-

피복재 중량 산정에 활용된 Hudson식은 일정경사를 가지는 무한사면을 대상으로 안정계수를 제시한 경험식으로서 저 마루높이 구조물(low crested structure)에도 적용가능 한가에 대한 검토는 충분하지 않은 실정이다. 또한 Hudson 식은 입사파의 주기(파장)를 고려하지는 않으며, 저 마루높이 구조물의 경우에는 구조물의 상단마루폭이 유한하기 때문에 파장이 안정성 확보에 영향을 미칠 수 있다. 피복석을 적용한 저 마루높이 구조물을 대상으로 안정수(stability number, $N_s = (K_D \cot \alpha)^{1/3}$)에 대한 경험식의 제시는 있지만, Tripod를 대상으로 한 경험식의 제시는 없는 실정이다(Van der Meer and Pilarczyk, 1990; Van der Meer and d'Angremond, 1991; Vidal et al., 1992). 국내 항만 및 어항 설계기준-해설(Ministry of Ocean and Fisheries, 2017)의 연안보전시설편(KDS 64 50 00)에서는 피복재 안정중량 산정과 관련하여 Hudson식에 의한 중량산정을 기본으로 하되, 저 마루높이 구조물에 대한 표준적인 안정질량 산정법이 없으므로 수리모형실험에 의해 구해진 안정수를 사용할 것을 권하고 있다.

본 연구에서는 피복재로 피복석을 적용한 저 마루높이 구조물을 대상으로 2차원 실험을 통한 안정계수를 제시하였다. 저 마루높이 구조물의 상단은 정수면 상부, 정수면, 정수면 하부에 위치하는 조건 전체를 포함하며, 다양한 주기를 적용하여 주기에 따른 영향도 검토하였다. 또한 저 마루높이 구조물의 상단마루폭을 변화시키며 안정성을 검토하였다.

2. 기존 연구 사례

피복석의 안정중량 산정과 관련된 연구는 일본과 유럽을 중심으로 일부 소개되어 있다. 일본의 연구는 규칙파를 대상으로 하였고, 안정중량 산정식에 저 마루높이 구조물 상단의 유속이 포함됨으로 인해 적용하기 어려울 것으로 판단되어 본 논문에서는 소개하지 않았다.

Powell and Allsop(1985)은 Allsop(1983)의 연구결과를 확장하여 다음과 같은 피복석에 대한 안정식을 제안하였으며, Eq. (1)은 구조물 상단이 수면위에 돌출된 조건으로 구조물 상단이 수중에 있는 경우는 제외된다.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{s_p^{1/3}}{b} \ln \left(\frac{1}{a} \frac{N_{od}}{N_a} \right) \quad (1)$$

Eq. (1)에서 H_s 는 유의파고, $\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$, $s_p (= H_s / L_p)$ 는 파형경사, N_{od} 와 N_a 는 각각 피복재 이탈개수와 총 피복개수이며, a 와 b 는 경험상수로서 Powell and Allsop(1985)을 참고할 수 있다. 여기서, ρ_s 와 ρ_w 는 각각 피복석과 물의 밀도이며, L_p 는 첨두주기(peak period)에 해당하는 파장이다.

Van der Meer(1991)는 피복석을 대상으로 불규칙파를 적용한 2차원 실험을 통해 Eq. (2)와 같은 식을 제안하였다.

$$\frac{h'_c}{h} = (2.1 + 0.1S) \exp(-0.14 N_s^*) \quad (2)$$

Eq. (2)에서 h 는 수심, h'_c 은 해저면에서 구조물 상단까지의 높이, S 는 상대 침식면적, N_s^* 는 스펙트럼 안정수(spectral stability number)로서 $N_s^* = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} s_p^{-1/3}$ 이다.)

Vidal et al.(1992)은 저 마루높이 구조물에 피복석을 피복한 단면을 대상으로 수리실험을 수행하고, 피복재 피해를 전사면(front slope), 상단(crest), 후사면(rear slope)으로 구분하여 분석하였다. 그리고 구조물 상단이 수중($R_c / D_{n50} < 0$ 조건), 정수면($R_c / D_{n50} = 0$ 조건) 및 수상($R_c / D_{n50} > 0$ 조건)에 있는 경우로 구분하여 안정수를 제안하였다. 초기피해($S=0.5\sim 1.5$)에 해당하는 수중조건($R_c / D_{n50} < 0$ 조건)에서는 전사면과 상단의 안정수가 유사하고, 후사면의

안정수가 큰 것으로 나타났다. 이는 잠재와 같은 수중구조물은 동일 파랑조건에서 주된 피해가 전사면과 상단에서 발생함을 의미한다. 정수면조건($R_c/D_{n50}=0$ 조건)에서는 상단의 안정수가 전사면보다 약간 작게 나타난다. 이는 구조물 상단이 정수면에 위치할 경우에는 전사면보다는 상단에서 피복석 이탈이 일찍 시작됨을 의미한다. 수상조건($R_c/D_{n50}>0$ 조건)에서는 구조물의 높이에 따라 차이를 보이지만, 구조물의 높이가 가장 높은 경우에 전사면, 후사면, 상단 순으로 안정수가 작게 나타났다. 수중조건과는 달리 수상조건에서는 후사면의 안정수가 상단보다 작게 나타나는 것은 율파에 의해 후사면의 피해가 증가하기 때문으로 판단된다.

3. 실험시설 및 실험조건

3.1 실험시설

본 실험은 전남대학교 해안항만실험센터 단면수로에서 수행되었으며, 사용된 단면수로의 제원은 폭 1 m, 길이 50 m, 높이 1.3 m이며, 전기서보퍼스트식 조파기가 설치되어 있고, 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 또한 조파관 전면에 부착된 파고계를 이용하여 독립한 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고 수로 양쪽 끝부분에 소파제가 설치되어 있다. 단면수로에 설치된 조파기는 최대수심 1 m, 최대파고 0.7 m이고, 재현가능 주기는 0.5~8 sec이다. 실험시설 개념도는 Lee et al.(2019)을 참조할 수 있다.

3.2 실험조건

본 실험에 적용된 구조물 설치수심(d_0)은 0.3 m이고, 실험파는

유의주기(T_S)는 1.0 sec에서 3.0 sec까지 0.2 sec 간격($\Delta T_S=0.2$ sec), 유의파고(H_S)는 0.02 m에서 0.26 m까지 0.01 m 간격($\Delta H_S=0.01$ m)으로 하였으며, Bretschneider-Mitsuyasu 주파수 스펙트럼을 적용한 불규칙파를 이용하였다. 본 실험에 적용된 실험파(T_S, H_S)는 구조물 설치위치에서의 값으로서 향후 분석시 활용되는 유의파 주기에 해당되는 파장(L_S)도 구조물 위치에서의 파장이다.

본 실험에 적용한 저 마루높이 구조물 단면을 도시한 것이 Fig. 1이다. Fig. 1에서 d_0 는 구조물 설치수심, R_T 는 피복재 상단여유고(free board over armour layer), W 는 피복재 상단마루폭(armour width of structure)을 의미한다. 본 실험에서는 피복재로 중량이 160~169 g/ea인 피복석(평균 165 g/ea)을 적용하였고 2층 피복시 $A_T=0.07$ m이며, 전면 및 후면의 사면경사(S_T)는 국내에서 일반적으로 적용하고 있는 1:1.5로 고정하였다. Table 2는 본 실험에서 적용한 실험안을 정리한 것으로 상단여유고(R_T), 상단마루폭(W)을 변경시키며 수행하였다. 상단여유고(R_T)가 음(-)의 값을 가지는 경우는 피복재 상단이 수면 상부로 돌출되었다는 것을 의미한다.

4. 분석방법 및 실험결과

4.1 분석방법

저 마루높이 구조물 상부에 피복된 피복석의 안정성 분석을 위해 설정된 유의파주기별로 1,000파를 조파하여 매 100파 마다 이동 및 이탈 개수를 관찰하였다. 본 실험에서는 Lee et al.(2019)과 같이 저 마루높이 구조물의 전면 모서리부(A구역), 수평부(B구역), 후면 모서리부(C구역)로 구분하여 피복석의 이동 및 이탈 개수를 기록하였으며(Fig. 1 참조), 한계파고 분석방법도 동일하다. 전사면

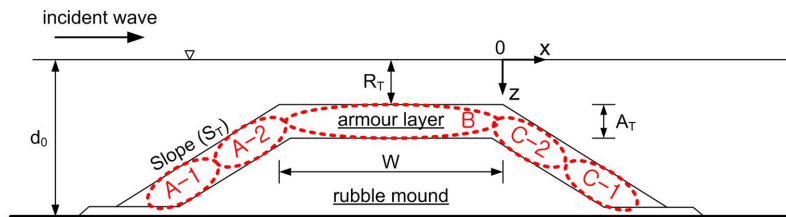


Fig. 1. Schematic Sketch of Model Structure

Table 2. Parameters of Test Cases

Water depth d_0 (m)	Free board over armour layer R_T (m)	Armour width of structure W (m)	Remarks
0.3	-0.05	0.5 1.0 1.5 1.6	$A_T=0.07$ m $S_T=1:1.5$
	-0.02		
	0		
	0.02		
	0.05		

과 후사면의 피해를 산정에 활용된 피복재의 전체 개수는 저 마루높이 구조물의 상단에서 유의파고(H_s) 깊이까지 피복된 피복재 개수를 활용하였다. 그리고 본 연구에서는 피복석의 피해를 실험에 사용한 피복석의 공칭길이($D_n = V^{1/3}$) 이상 이동 및 이탈했을 경우와 뒤집힌 경우를 피해로 정의하였다. 여기서, V 는 실험에 적용된 피복석의 체적이다.

본 실험에 사용된 단면수로의 폭은 1 m이지만, 피복재의 안정성 분석을 위한 관찰영역은 수로 중앙부 0.6 m를 대상으로 하였다. 이는 수로 벽면효과로 인한 영향을 배제하기 위함이다. 또한 구역별

블록의 이동 및 이탈을 쉽게 구분하기 위하여 서로 다른 색으로 도색된 피복석을 구역별로 피복하였다. 피해율은 각 구역별 피복석의 총 개수에 대한 이동 및 이탈, 뒤집힌 개수의 비로 산정을 하였으며, 구역별 피해율이 1% 이하인 조건을 이용하여 한계파고를 산정하였다. 이는 국내 설계사례에서 피복석을 1층 피복하고 있기 때문에 체제 안정성 확보측면에서 1%로 설정하였다. 그리고 Hudson 식으로부터 계산되는 한계파고와 본 실험에서 도출된 한계파고를 비교하여 저 마루높이 구조물의 피복중량 산정을 위한 안정성을 검토하였다.

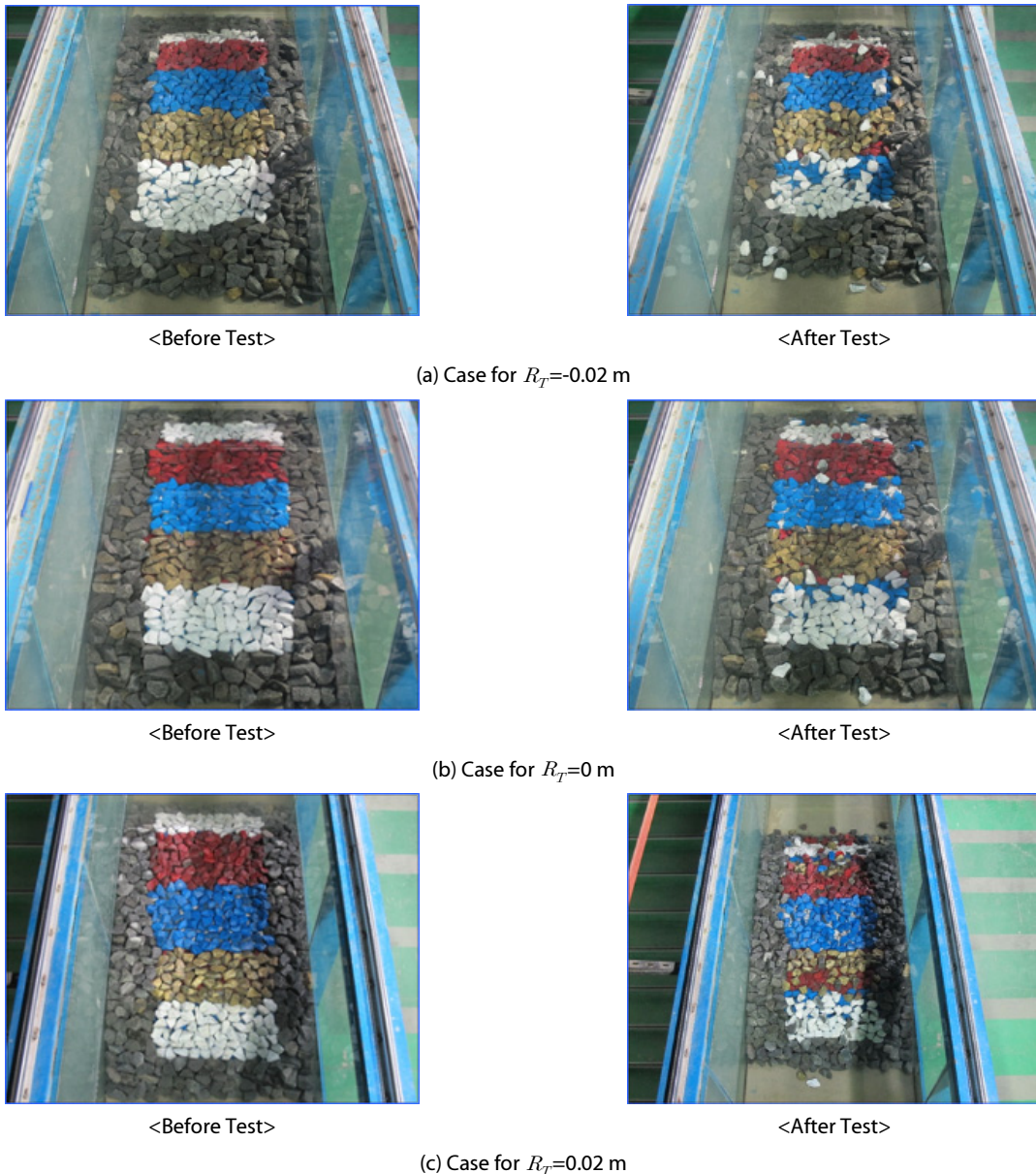


Fig. 2. Selected Images of Stability Test

Fig. 2는 본 실험에서 수행한 일련의 실험조건 중 일부 조건에 대한 실험전과 실험후의 사진이다. Fig. 2(a)는 피복석 상단이 정수면으로부터 모형상 0.02 m 돌출된 조건($R_T=-0.02$ m), Fig. 2(b)는 피복석 상단이 정수면에 위치한 조건($R_T=0$ m), Fig. 2(c)는 피복석 상단이 정수면으로부터 모형상 0.02 m 아래에 위치한 조건 ($R_T=0.02$ m)의 실험전·후 사진이다.

4.2 구역별 안정계수 분석

전술한 바와 같이 본 연구에서는 상단여유고 및 구조물 폭을 다양하게 변화시키며 피복석의 안정성 실험을 수행하였으며, 본 절에서는 구역별 안정계수를 분석한 일부 결과를 도시하였다.

Fig. 3은 구조물 상단마루폭이 $W=1$ m인 조건에 대해 입사파의 유의주기에 따른 구역별 안정계수(K_D)를 도시한 것이다. Fig. 3에서 A-1(전사면 하단)과 A-2(전사면 상단)는 전사면을 2개로 구분한 것으로서 A-2는 상단 수평부(B)와 인접한 전사면이다(Fig. 1 참조). 그리고 C-2(후사면 상단)와 C-1(후사면 하단)은 후사면을 2개로 구분한 것으로서 C-2는 상단 수평부(B)와 인접한 후사면이다. 전체적으로 A-1과 C-1 구역보다는 A-2, B, C-2 구역에서의 안정계수가 상대적으로 작게 나타났으며, 이는 동일 파랑조건에서 피복석의 피해가 쉽게 발생할 수 있는 구역을 의미한다. 그리고 입사파의 주기가 길어질수록 안정계수가 작게 분석되었으며, 피복석 중량산정을 위한 안정계수 제한시 입사파의 주기를 고려할 필요가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3(a)는 피복석의 상단이 정수면으로부터 약간 돌출된 $R_T=-0.02$ m 조건의 결과로서 실험에 적용된 실험파의 유의주기가 상대적으로 짧을 때에는 안정계수가 크게 나타나고 변동폭이 크지만, 입사파의 유의주기가 모형상 $T_s \geq 2$ sec에서는 안정계수가 작아짐과 동시에 변동폭이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 상대적으로 유의주기가 짧은 경우에는 수평부(B구역)의 안정계수가 작게 나타났지만, 유의주기가 길어지게 되면 전사면 상단(A-2), 수평부(B), 후사면 상단(C-2)의 안정계수는 유사하게 분석되었다. 후사면 상단(C-2) 구역의 경우에는 유의주기가 짧은 경우보다 긴 경우의 안정계수가 작게 나타났으며, 이는 유의주기가 길어짐에 따라 파장이 길어져 후사면의 피해가 증가하는 것으로 판단된다. Fig. 3(b)는 피복석의 상단이 정수면에 위치한 $R_T=0$ m 조건의 결과로서 전체 주기조건에서 전사면의 안정계수가 상대적으로 작게 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 구조물 상단이 정수면에 위치함으로 인해 강한 쇄파가 전사면에 작용하기 때문으로 판단된다. 그러나 입사파의 주기가 길어지게 되면, 전사면(A-1, A-2), 수평부(B) 및 후사면 상단(C-2)의 안정계수는 유사하게 분석되었다. Fig. 3(c)는 피복석의 상단이 정수면 아래에 있는 $R_T=0.02$ m 조건의 결과로서 전체적으로 타 조건($R_T=-0.02$ m, $R_T=0$ m)에

비해 안정계수가 크게 나타났다. 이는 구조물 상단이 수면 아래로 내려갈수록 안정계수가 증가함을 의미하며, 이는 Vidal et al. (1992)의 결과와 동일한 경향이다. 구역별 안정계수를 살펴보면, 전사면(A-1, A-2)과 수평부(B)의 안정계수가 유사하고, 후사면 상단(C-2)의 안정계수는 이보다 약간 크게 나타났다.

Lee et al.(2019)에서 Tetrapod를 대상으로 실험한 결과와는

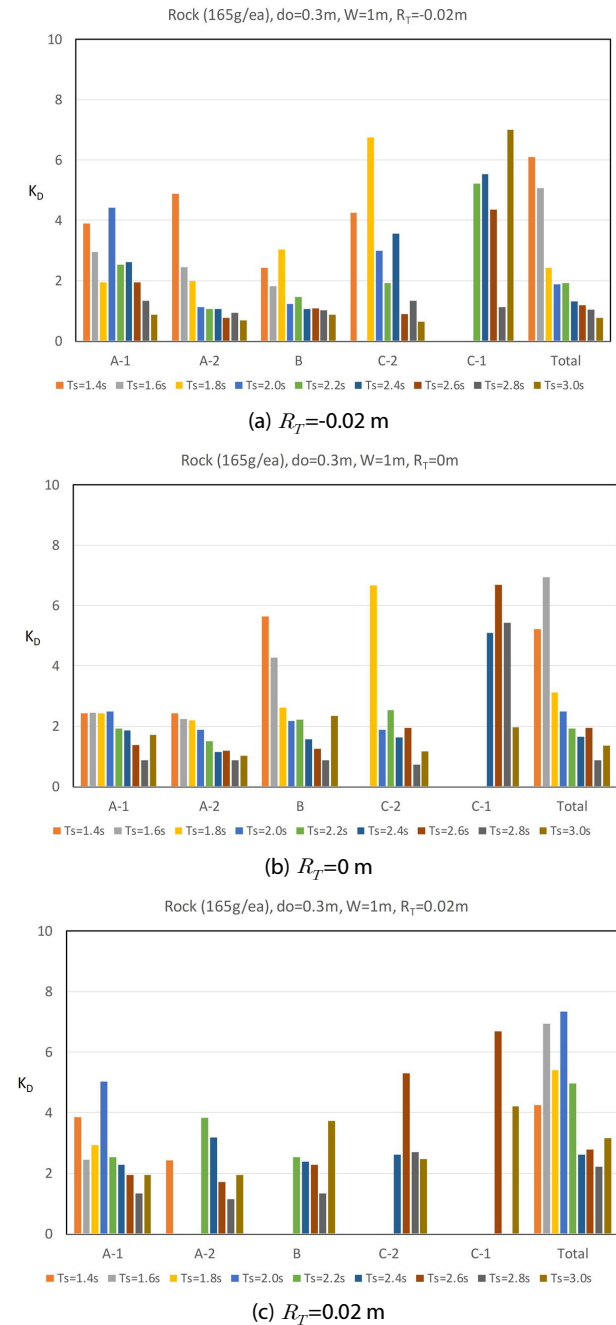


Fig. 3. Stability Coefficients of Low Crested Structure Covered by Rocks for $W=1$ m

달리, 피복석을 피복재로 적용한 본 연구에서 분석한 안정계수의 변동성이 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 허용피해율을 1%로 설정함으로 인해 선형보간을 이용한 한계과고 산정시의 변동폭이 다소 크기 때문으로 판단된다. 즉, 실험과의 유의과고를 0.01 m 간격으로 설정했지만, 유의과고 0.01 m의 증가로 인한 피해율의 변동폭이 크기 때문이다.

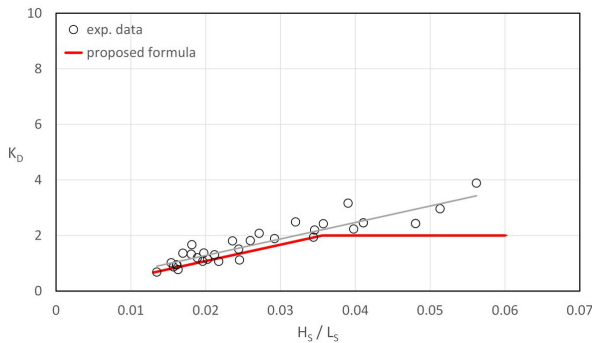
4.3 안정계수 분석

4.2절에서 살펴본 바와 같이 피복석의 주요 피해 구간은 전사면 상단(A-2)과 수평부(B)로 확인되었으며, 안정계수(K_D)는 두 개 구간에서 산정된 한계과고를 이용하여 제시하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한 피복석의 안정성 확보에 파랑의 주기 영향이 크게 나타났으므로 파형경사(H_S/L_S)의 영향을 고려할 필요가 있다. 피복석으로 피복된 조건의 안정계수를 분석한 결과, 상대상단고($R_H = R_T/H_S$)가 $R_H = 0.6 \sim 0.15$ 와 $R_H = 0.15 \sim 0.5$ 의 안정계수는 유사한 경향을 보임에 따라 제안식의 단순화를 위해 $-0.6 \leq R_H < 0.15$ 와 $0.15 \leq R_H < 0.5$ 의 범위로 구분하여 실험결과를 도시하였다.

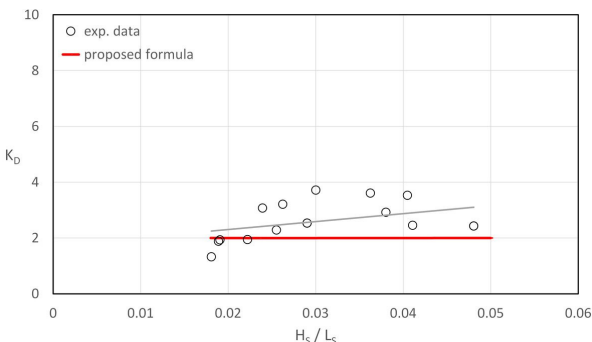
Fig. 4는 피복석으로 피복된 저 마루높이 구조물의 피복재 중량 산정에 요구되는 안정계수(K_D)를 상대상단고($R_H = R_T/H_S$)별로 구분하여 파형경사(H_S/L_S)의 함수로 도시한 것이다. Fig. 4(a)는

$-0.6 \leq R_H < 0.15$ 범위의 안정계수를 통합하여 도시한 것으로서 실험결과에 대한 선형 회귀식의 결정계수(R^2)는 $R^2 = 0.85$ 이다. 전반적으로 파형경사(H_S/L_S)가 증가함에 따라 안정계수도 증가하는 경향을 보였다. Fig. 4(b)는 $0.15 \leq R_H < 0.5$ 범위의 결과로서 파형경사의 증가에 따른 안정계수의 증가경향은 알 수 있으나, Fig. 4(a)보다는 그 정도가 크지 않은 것으로 나타났다. 실험결과에 대한 선형 회귀식의 결정계수는 $R^2 = 0.2$ 로서 분산이 큰 것으로 나타났다. 이는 구조물 상단이 수면 아래로 유의과고의 0.15배 이상 깊게 위치함에 따라 상이한 쇄파 형상 및 쇄파 위치 등에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 피복재 상단이 정수면 인근에 위치하는 조건과는 달리 정수면 아래로 내려갈수록 파랑에 대해서는 보다 안정해짐을 의미한다. 경사식방파제와는 달리 잠제와 같은 저 마루높이 구조물은 동일 과고 조건에서 주기가 짧은 조건보다는 긴 조건(파장이 긴 조건)에서 피복재의 이탈이 쉽게 발생하였으며, 이는 주기가 길어짐으로 인한 유속성분이 피복재의 안정성에 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

국내 설계사례에서 저 마루높이 구조물의 피복재로는 대부분 Tetrapod를 적용하고 있고 피복석을 적용한 경우는 소수이며, 피복석의 안정계수는 파랑의 주기와 관계없이 경사식방파제 중량산정과 동일하게 $K_D = 2$ 를 적용하였다. 그러나 상대상단고(R_H)가 작거나 피복재 상단이 정수면 위로 돌출된 경우에는 경사식방파제와 달리 보다 작은 안정계수가 필요한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 피복석으로 피복된 저 마루높이 구조물의 안정성 확보를 위해 수행한 일련의 실험결과와 기존 설계방법 등을 감안하여 피복석으로 피복하는 저 마루높이 구조물의 안정계수를 다음과 같이 제안하고자 한다. 아래 제시된 경험식은 Fig. 4에서 제안식(proposed formula)으로 도시된 것을 나타낸 것이다.



(a) $-0.6 \leq R_H < 0.15$



(b) $0.15 \leq R_H < 0.5$

Fig. 4. Stability Coefficients of Rock Armoured Low Crested Structure by Wave Steepness

$$K_D = 59(H_S/L_S) - 0.1, \quad (K_D)_{\max} = 2$$

$$\text{for } -0.6 \leq R_H (= R_T/H_S) < 0.15$$

(적용범위 : $W/L_S = 0.2 \sim 0.5$, $d_0/L_S = 0.05 \sim 0.14$)

$$K_D = 2 \text{ for } R_H (= R_T/H_S) \geq 0.15$$

(적용범위 : $W/L_S = 0.2 \sim 0.5$, $d_0/L_S = 0.05 \sim 0.14$)

5. 결론

국내에서는 연안침식 저감을 위한 대책으로서 대부분 저 마루높이 구조물을 적용하고 있으며, 구조물 피복재로는 Tetrapod가 주로 사용되지만, 일부 사례에서는 피복석을 적용하였다. 피복석 적용사례가 상대적으로 작은 것은 국내에서는 $1 \text{ m}^3/\text{ea}$ 이상의 피복석을 사용하지 않기 때문으로 판단된다. 본 연구에서는 저 마루높이

구조물의 피복재(피복석 대상)의 안정계수를 도출하기 위한 일련의 2차원 실험을 수행하였다. 실험에 적용된 저 마루높이 구조물은 피복재 상단이 정수면 상부, 정수면 및 정수면 하부에 위치하는 조건 모두를 포함한다.

본 연구에서 도출된 주된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 피복재로 피복석을 사용한 저 마루높이 구조물의 주된 피해(피복재 이탈) 구역은 Tetrapod를 적용한 경우와 같이 파랑이 입사하는 전사면과 어깨부(수평부의 전사면 모서리)인 것으로 나타났다. 입사파의 주기가 증가할수록 안정계수가 감소하는 경향을 보였으나, 일정 주기조건 이상에서는 차이가 크지 않았다.
- (2) 저 마루높이 구조물의 상단이 정수면 인근에 위치하는 조건의 안정계수는 파형경사에 따라 다르게 산정되었으며, 파형경사가 증가할수록 안정계수는 증가하였다. 그러나 구조물 상단이 일정 깊이 이상 정수면 아래로 내려갈 경우에는 이러한 영향은 크지 않았다.
- (3) 저 마루높이 구조물 상단이 정수면 부근에 위치하는 경우와 일정 깊이 이상 정수면 아래로 내려간 경우를 대상으로 피복석의 안정계수를 파형경사의 함수로 다음과 같이 제안하였다.

$$K_D = 59(H_S/L_S) - 0.1, \quad (K_D)_{\max} = 2$$

$$\text{for } -0.6 \leq R_H (= R_T/H_S) < 0.15$$

$$\text{(적용범위 : } W/L_S=0.2\sim 0.5, d_0/L_S=0.05\sim 0.14)$$

$$K_D=2 \text{ for } R_H (= R_T/H_S) \geq 0.15$$

$$\text{(적용범위 : } W/L_S=0.2\sim 0.5, d_0/L_S=0.05\sim 0.14)$$

본 연구는 피복재로 피복석을 적용한 저 마루높이 구조물의 피복재 안정성을 검토하였으며, 설계사례가 존재하는 Tripod를 적용한 저 마루높이 구조물에 대한 안정계수 산정식을 추후에 제안하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(재해안전항만 구축기술 개발, 20180323).

References

- Allsop, N. W. (1983). "Low-crested breakwaters, studies in random waves." *Proceedings of Coastal Structures '83*, ASCE, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 94-107.
- Lee, J. I., Bae, I. R. and Moon, G. I. (2019). "Experiments for armour stability of low crested structure covered by Tetrapods." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No. 6, pp. 769-777 (in Korean).
- Ministry of Ocean and Fisheries (2017). *Korea standard of harbour and port design*, Korea Ports and Harbours Association (in Korean).
- Powell, K. A. and Allsop, N. W. (1985). *Low-crested breakwaters, hydraulic performance and stability*, Report No. SR 57, Hydraulic Research Station, Wallingford, England.
- Van der Meer, J. W. (1991). *Stability and transmission at low-crested structures*, Delft Hydraulics Publication No.453, Delft Hydraulic Laboratory, The Netherlands.
- Van der Meer, J. W. and d'Angremond, K. (1991). "Wave transmission at low crested structures." *Proceedings of the Coastal Structures and Breakwaters Conference*, Institute of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, London, UK, pp. 25-41.
- Van der Meer, J. W. and Pilarczyk, K. W. (1990). "Stability of Low-crested and Reef Breakwaters." *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, Delft, The Netherlands, pp. 1375-1388.
- Vidal, C., Losada, M. A., Medina, R., Mansard, E. P. D. and Gomez-Pina, G. (1992). "An universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters." *Proceedings of the 23rd International Coastal Engineering Conference*, ASCE, Vol. 2, pp. 1679-1692.