

막돌경사방파제에서 경사보호막돌의 안정질량 계산식들의 대비분석

리호영, 한유진

막돌경사방파제의 설계에서는 경사면상부에서 파도작용에 안전한 막돌의 최소질량인 막돌의 안정질량을 정확히 구하는 문제가 제기된다.

선행연구[1, 2]에서는 수리모형실험과 현장검증자료에 기초하여 파도작용에 안전한 경사보호막돌의 안정질량을 계산하는 여러가지 계산식들을 제기하였다.

본문에서는 국내외의 방파제건설규범에 반영된 4개의 계산식들을 대상으로 하여 각 이한 파도요소와 물깊이, 경사도의 조건에서 경사보호막돌의 안정질량을 계산하고 그 결과를 대비분석하였다.

1. 파도요소와 경사보호막돌 안정질량의 관계

우리는 파고를 현실조건에 맞게 1, 2, 3, 4, 5, 6m의 6개 급으로 주고 그것에 해당하는 파주기와 파장을 다음식을 리용하여 구하였다.[2]

$$T = 3.57\sqrt{H}, \quad L = L_0 \operatorname{th} \left(\frac{2\pi h}{L_0} + \frac{e^{-h/L_0}}{4} \right), \quad L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

여기서 $H(m)$ 는 파고이고 $h(m)$ 는 물깊이이며 파주기 $T(s)$ 와 파장 $L(m)$ 은 불규칙적인 파도에서의 평균값이다.

웃식들로부터 파고는 파장에 비례하고 파주기의 2제곱에 비례한다는것을 알수 있다. 경사보호막돌의 안정질량을 계산하는 대표적인 식들은 다음과 같다.

$$W = \frac{\mu_0 \rho_s H^2 L}{(\rho_s / \rho - 1)^3 \sqrt{1 + m^3}} \quad (1)$$

여기서 ρ_s, ρ 는 각각 막돌과 물의 밀도이고 m 은 경사도이다.

식 (1)은 우리 나라 방파제건설규범에 반영된 식인데 경사보호막돌을 투석시공할 때 $\mu_0 = 0.025$ 로 취한다.

$$W = 0.1 \frac{\rho_s g H^3}{K_D (\rho_s / \rho - 1)^3 m} \quad (2)$$

여기서 경사보호막돌을 투석시공할 때에는 $K_D = 4$ 로, 축조할 때에는 $K_D = 5.5$ 로 취한다.

식 (2)는 세계적으로 가장 널리 쓰이는 방파제건설규범에 반영된 식[2]인데 일명 하 드손식이라고 한다.

$$W = \frac{\lambda \rho_s H^3}{(\rho_s / \rho - 1)^3 m} \sqrt{\frac{L}{H}} \quad (3)$$

식 (3)은 어느 한 나라의 방파제건설규범에 반영된 식[1]인데 $h \geq 1.5H$ 일 때 $\lambda = 0.062$, $h < 1.5H$ 일 때 $\lambda = 0.071$ 8로 취한다.

$$D = \frac{aP}{(\rho_s - \rho)g} \frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)} \quad (4)$$

식 (4)는 우리 나라 방조제건설규범에 반영된 식인데 결수 $a=0.65\sim 0.8$ 이고 막돌의 크기(질량이 같은 구형체의 직경) $D(m)$ 는 막돌의 질량 $W(t)$ 와 $W=1.37D^3$ 의 관계를 가진다. 파의 최대압력은 $P=1.59k\rho gH$ 인데 여기서 결수 k 는 경사도에 따라 달라진다.(표 1)

표 1. 경사도에 따르는 k 의 값

m	2	2.5	3	4	5
k	1.2	1.3	1.4	1.3~1.4	1.2

우의 네가지 식들은 형태가 차이나는것처럼 보이지만 파고와 파장, 파고와 파주기의 2제곱, 파고와 파압의 비례관계를 놓고 볼 때 물리적인미가

같다.

2. 파도요소에 따르는 경사보호막돌 안정질량계산식들의 대비분석

우리는 어느 한 막돌경사방파제의 설계를 앞두고 계산한 막돌안정질량의 믿음성을 평가하기 위하여 4개의 계산식들로 얻은 계산값들을 대비분석하였다.

건설구역의 물깊이는 20m로서 비교적 깊고 5%보장률로 결정한 설계파고는 5m이다. 이 지역의 방파제건설을 위하여 확보된 막돌의 질량은 5t이하이다.

건설구역에서 파고에 따르는 파장과 파주기를 얻고 각이한 파도요소에 따르는 막돌의 안정질량들을 계산한 다음 국내규범에 반영된 식 (1)의 계산값과 다른 계산값들을 대비하였다.(표 2)

표 2. 파도요소에 따르는 막돌의 안정질량(t)

경사도	계산식	파도요소					
		$H=1m$ $L=20m$ $T=3.6s$	$H=2m$ $L=40m$ $T=5.1s$	$H=3m$ $L=58m$ $T=6.2s$	$H=4m$ $L=74m$ $T=7.1s$	$H=5m$ $L=88m$ $T=8.0s$	$H=6m$ $L=101m$ $T=8.8s$
2	식 (1)	0.09	0.8	2.6	5.8	10.8	17.7
	식 (2)	0.07	0.6	2.0	4.6	9.0	15.6
	식 (3)	0.08	0.7	2.2	5.1	9.2	16.3
	식 (4)	0.02	0.2	0.6	1.50	2.9	5.1
4	식 (1)	0.03	0.3	1.0	2.2	4.0	6.6
	식 (2)	0.04	0.3	1.0	2.3	4.5	7.8
	식 (3)	0.04	0.3	1.1	2.5	4.8	8.1
	식 (4)	0.01	0.1	0.2	0.4	0.9	1.5

표 2로부터 다음과 같은 결과를 얻을수 있다.

첫째로, 설계파고가 5m인 현장에서 5t이하의 막돌을 경사보호막돌로 리용하자면 방파제의 경사도를 4로 해야 한다. 만일 경사도를 2로 하면 막돌질량이 9t이상인데 이러한 큰 막돌은 현장주변에 부족하다.

둘째로, 식 (4)의 계산값은 식 (1)~(3)의 계산값들과 대비하여볼 때 1/5~1/4배정도로 작으므로 믿음성이 적다.

계산값들의 이러한 차이는 막돌을 쌓는 방법과 관련되어있다. 식 (4)는 장석피복한 방조제에 해당된것인데 장석피복은 썰물때 바닥이 드러난 상태에서 막돌들을 서로 잘 맞물려 진행한다. 그러나 비조석해안대에 막돌경사방파제를 건설할 때에는 물속에서 막돌을 축조하기 힘드므로 막돌을 물속에 투석한다. 그러므로 막돌을 투석시공하는 방법으로 방파제를 건설할 때에는 이 식을 리용할수 없다.

이렇게 식 (4)를 제외하면 경사도가 2일 때에는 식 (1)의 계산값이 제일 크지만 경사도가 4일 때에는 반대로 식 (1)의 계산값이 제일 작다. 그러나 계산값들의 차이는 그리 크지 않다.

한편 파고가 5m일 때 물깊이에 따르는 막돌의 안정질량을 계산한 결과는 다음과 같다.(표 3)

표 3. 물깊이에 따르는 막돌의 안정질량(t)

경사도	계산식	물깊이/m						
		4	8	12	16	20	24	28
2	식 (1)	5.8	7.9	9.2	10.1	10.8	11.3	11.6
	식 (2)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
	식 (3)	7.1	8.2	8.9	9.3	9.7	9.9	10.0
4	식 (1)	2.2	2.9	3.4	3.8	4.0	4.2	4.3
	식 (2)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	식 (3)	3.5	4.5	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0

표 3에서와 같이 국내규범에 반영된 식 (1)의 계산값은 경사도가 2, 물깊이가 12m이상일 때 제일 크지만 경사도가 4일 때는 반대로 제일 작다.

계산값들의 차이는 물깊이 4m에서 2t이상으로서 제일 크고 경사도가 4, 물깊이가 16m이상일 때에는 1t이하로서 제일 작다. 그러므로 물깊이가 20m인 방파제건설수역에서 경사도를 4로 할 때 경사보호막돌의 안정질량은 5t으로 정하는것이 합당하다.

이상과 같이 경사보호막돌의 안정질량계산식들은 적용대상과 적용조건이 서로 다르므로 적용에서 대상에 따르는 계산식들을 정확히 선택하고 대비분석한 다음 믿음성정도를 판단하여 리용하여야 한다.

맺 는 말

파도요소들사이의 관계를 볼 때 경사보호막돌의 안정질량을 계산하는 4개 식들의 물리적의미는 같다.

경사보호막돌의 안정질량계산값은 경사도의 영향을 가장 크게 받으며 그 정도는 파고가 높을수록 더 명백해진다.

참 고 문 헌

- [1] 한경남 등; 조선해운, 3, 24, 주체100(2011).
- [2] 严恺; 等海岸工程, 海洋出版社, 57~208, 2002.

Comparison and Analysis of the Formulas for the Stabilization Mass of Slop Protection Rubble in Slop Rubble Breakwater

Ri Ho Yong, Han Yu Jin

In this paper, we compared and analyzed the formulas for the stabilization mass of slop protection rubble in slop rubble breakwater according to different wave elements, depth of water, and slop angle, and illustrated that the formulas were different in application condition and application object.

Keywords: slop rubble breakwater, slop protection rubble