

불규칙파에 의한 중간피복블록의 안정성 검토 Experimental Study of the Stability of Underlayer Armor Block

김규한¹ · 최 현² · 편중근³
Kyu Han Kim¹, Hyun Choe², and Chong Kun Pyun³

1. 서 론

국내 시공사례가 가장 많은 사석식 경사제는 피복층(cover layer), 중간피복층(underlayer), 그리고 내부사석(core and bedding layer)으로 이루어져 있다. 이 중 중간피복층의 재료는, 피복재의 중량(W)에 대한 중량비 $W/10$ 에서 $W/15$ 의 자연석을 이용하여 시공하는 것이 보통이다. 그러나, 항만의 대형화에 따른 설계파의 증가로 이형블록과 같은 피복재의 소요 중량이 증가하는 추세이며, 이에 따른 중간피복재의 소요중량도 크게 되어, 그에 맞는 자연석을 구하기 어려운 실정이다. 이러한 경우 중간피복층을 복층으로 설치하고, 피복층과 만나는 첫 번째 중간피복층(first underlayer)에 중간피복블록을 이용하는 사례가 증가하고 있다. 중간피복블록을 선정할 경우에는, 내부 사석의 보호기능, 피복재의 시공 편의성, 그리고 시공 단계의 위해 노출에 대한 안정성에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 중간피복블록으로 사각블록, 팔각블록, 그리고 국내의 시공사례가 있는 삼각블록을 대상으로 규칙파 및 불규칙파 실험을 수행하여 각각의 블록의 노출 안정성을 검토하고, 안정계수(K_D)를 상호비교 하였고, 이 과정에서 화상해석법을 이용하여 평면적으로 배치되는 중간피복블록의 이탈특성을 파악하였다.

2. 블록의 안정계수와 피해를

피복재의 안정성에 대한 연구는 주로 수리모형실험에 의해 수행되어 왔다. Iribarren(1938)은 사석 사면에서의 안정성에 대한 기초적 개념을 이용하여 파고, 비중, 제체경사 등의 함수로 이루어진 피복석의 소요중량 산정식을 제안하였다.

Hudson(1959)은 여러 가지 단면 및 다양한 피복재에 대한 수많은 실험을 통해 Hudson공식을 제안하였다. 현재까지 대표적으로 사용되고 있는 피복재의 중량산정식인 Hudson공식은 다음과 같다.

$$W \geq \frac{\gamma_r H^3}{K_D \{(S_r) - 1\}^3 \cot \beta} \quad (1)$$

여기서 K_D 는 안정계수(stability factor), H 는 입사파고(불규칙파: $H_{1/3}$), W 는 블록의 중량, β 는 사면의 경사, γ_r 은 블록의 단위중량, S_r 은 블록의 비중이다.

Hudson공식은 파고와 단위체적중량, 그리고 사면 경사 만으로 표현되어 그 외의 매개변수(parameter)를 전부 안정계수에 집약하고 있으므로 이형블록의 형상, 거치방법, 쇄파 유·무, 또는 설치장소(두부, 간부)에 따라 각각 다른 안정계수가 이용되고 있다. (1)식에서의 안정계수를 대신하여 안정수(N_s)를 도입한 식이 다수 제안되

¹ 관동대학교 건설환경시스템공학부 부교수

² (주)대영엔지니어링 기술연구소

³ 명지대학교 SOC공학부 교수

고 있으며, Hudson공식에서의 안정수는 다음과 같이 나타내고 있다.

$$N_s^3 = K_D \cos \beta \quad (2)$$

Van der Meer(1987)는 사면경사, 내습파랑의 수, 파형경사, 쇄파특성, 투수성, 피해의 정도 등 다양한 지표를 이용한 안정수 산정식을 제안하고 있다.

피해율을 산정하는 방법에는 전체 피복재의 갯수에 대한 이탈피복재의 수를 이용하는 산정방법과 이탈발생단면의 면적과 피복재의 대표경의 상호관계를 고려한 산정방법이 있다. 본 실험에서는 안정계수 결정에 필요한 피해율의 결정은 다음 식을 이용하였다.

$$D_d(\%) = \frac{(\text{탈락한 블록의 수})}{(\text{사면상의 전피복블록수})} \times 100 \quad (3)$$

대수심에 시공된 경사제의 경우 파랑의 영향이 미치는 일정한 수심까지의 피복재 갯수에 대한 이

탈 피복재수를 피해율로 취급하는 경우도 있다. 중간피복블록은 피복재와 달리 평면적 배치로 시공되며, 이탈 발생시 내부 사석의 유출이 발생할 수 있어, 본 실험에서 중간피복블록의 안정계수는 피해율 2%에서의 값으로 결정하였다.

3. 실험조건

본 실험에서는 70cm×150cm×3000cm의 2차원 수로(그림 1)에서 전기식 피스톤형 불규칙 조파기를 이용하여 실험을 수행하였다. 불규칙조파 실험의 입사파 신호의 목표(target) 스펙트럼으로는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용하였다. 입사파 검증 실험을 통한 입사파 신호의 Gain값을 사전 보정하여 입사신호와 입사파랑의 오차를 최소화하였다. 모형단면 경사는 1/1.5로 하여 실험을 수행하였다(그림 2).

입사파 조건은 규칙조파 실험의 경우 주기 1.2, 1.5, 2.0초에 대하여 실험을 수행하였으며, 이탈이 발생하지 않는 입사파고에서 실험을 시작하여 피해율 5%이상 발생의 파고까지 실험을 수행하였다. 단, 평면적 단층 배치로 이루어진 중간피복블

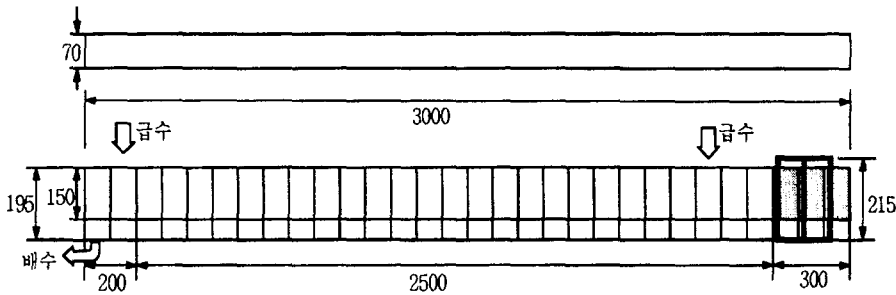


그림 1. 2차원 불규칙 조파수로(단위:cm)

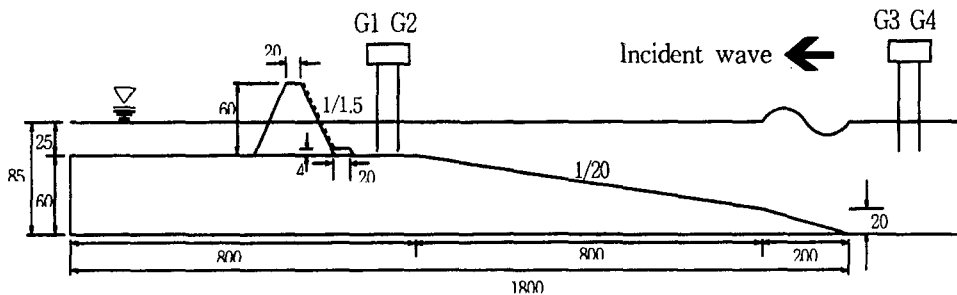


그림 2. 실험단면(단위:cm)

표 1. 모형블록의 제원

모형블록	사각블록	팔각블록	삼각블록(B)	삼각블록(A)
제원 (cm)	L=5.0 H=2.2	L=5.0 H=2.2	L=7.5 R=4.0 D ₁ =2.7 H=2.3	L=7.5 R=4.0 D ₁ =2.7 H=2.3
평균중량(g)	123.9	96.3	119.0	119.0
단위중량 (g/cm ³)	2.25	2.25	2.3	2.3
피복블록수	247	247	208	182
피복면적 (cm ²)	70×97	70×97	70×98	70×98
단위피복면적 (cm ²)	28.0	28.0	32.8	37.7
공극률	5%이하	22%	28%	40%

표 2. 블록의 배치

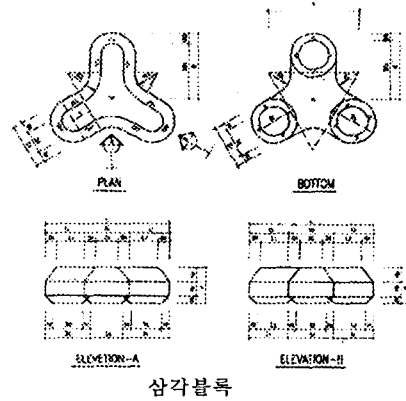
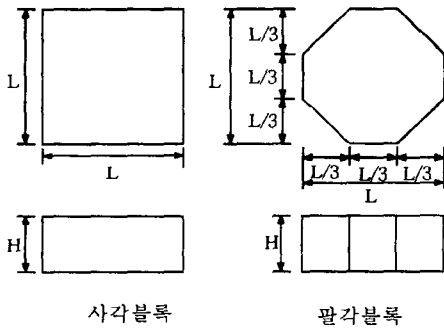
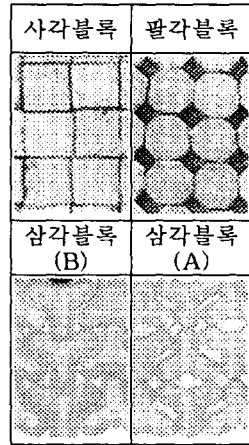


그림 3. 모형블록의 기본치수

록은 주변 블록의 이탈이 발생할 경우 블록의 상호 결합력의 상실로 이탈이 급격히 증가하는 현상이 나타나기 때문에 각 실험 단계에서 이탈 발생 시 블록을 제 시공한 후 다음 실험을 수행하였다. 불규칙과 실험에서는 유의주기를 1.2, 1.5, 2.0초로 하여 실험을 수행하였고, 입사파고($H_{1/3}$)의 결정은 규칙과의 경우와 동일한 방법으로 실험을 수행하였다.

실험에 사용한 모형블록(사각블록, 팔각블록, 삼각블록)의 제원은 표 1과 같고, 배치 방법은 표 2와 같으며, 그 기본 치수는 그림 3과 같다.

블록의 노출 안정성 실험과정에서 디지털 캠코더를 이용하여 블록의 이탈현상을 관측하였다. 각각의 실험에서 주로 이탈이 발생하는 평균수면 부근의 블록을 근접 촬영한 후 이탈 순간을 일정한 시

간격의 정지화면으로 분리하여 블록의 이탈 특성을 파악하였다.

4. 실험결과

규칙과 실험결과 삼각블록 A형의 안정계수가 가장 크게 나타났다. 반면, 안정계수가 가장 작아 안정성이 저조한 블록은 평균중량이 가장 크고, 단위피복면적이 작은 사각블록으로 나타났다. 팔각블록 또한 삼각블록의 B형이나 A형보다 안정계수가 작게 나타났다.

사각블록과 팔각블록은 배치 특성상 삼각블록과 같이 좌우의 블록과 엮물리는 배치가 불가능하여 이탈 발생시 이탈블록의 위쪽으로 이탈이 과급되는 현상을 볼 수 있었다.

참고문헌

불규칙파 실험결과에서도, 안정계수가 가장 큰 블록은 삼각블록 A형이고, 가장 작은 블록은 사각블록으로 나타나, 규칙파 실험과 동일한 양상을 보여 주었다. 또한 각 블록의 안정계수는 규칙파의 경우보다 전반적으로 작은 값을 나타내었다. 불규칙파 실험의 안정계수가 규칙파 실험의 안정계수보다 작게 나타난 이유는, 불규칙파 입사파랑에는 유의파고($H_{1/3}$)보다 높은 파랑이 포함되어 있으며, 불규칙파 실험에서 실제로 블록을 탈락시키는 파고는 이와 같은 유의파보다 높은 파랑에 의한 것으로 판단되어진다.

규칙파 실험과 불규칙파 실험에 대해 주기별로 정리된 안정계수(K_D)값은 표 3과 같다. 이 표에서 같은 주기에서는 삼각블록(A형)의 안정계수가 가장 큰 것으로 나타났고, 사각블록의 안정계수가 가장 작은 것으로 나타났다.

이 결과를 통해 삼각블록이 본 실험에서 사용된 블록 중 가장 안정된 블록임을 확인시켜 주며, 실제 설계에 적용함에 있어 안전 등을 고려하여 규칙파의 안정계수보다 불규칙파 실험의 값을 이용하는 것이 타당하다는 것을 알 수 있다.

화상해석법을 이용하여 모형블록의 동적거동을 해석하였다. 모형블록은 대부분의 경우 처내림(down-wash)의 수위가 평균수위 이하로 내려가는 순간 반시계 방향으로 전도되면서 이탈이 발생함을 확인하였다(그림 5).

실험 결과 블록의 이탈을 발생시키는 양압력은 공극이 커질수록 감소하며 블록의 형상 또한 양압력 감소에 영향을 미침을 확인하였다.

- Hudson R. Y. Robert. Laboratory Investigation of Rubble-Mound Breakwaters, Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE, 1959
- Hughes S. A., Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, World Scientific, 1993
- Iribarren C. R., A Formula for the Calculation of Rock-Fill Dikes, Revista de Obras Publicas, 1938(Translation in The Bulletin of the Beach Erosion Board, Vol. 3, No. 1, Jan. 1949)
- Osamu Toyoshima, Gentle Slope Seawalls Covered With Armour Units, Coastal Engineering, 1988, pp1983-1996
- Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, vicksburg, Mississippi 39180, 1984
- Van der Meer, J. W., Stability of Breakwater armour layer-Design formulae, Coastal Engineering, 11, 1987, pp. 219-239
- 范期錦, 渡辺 晃, 堀川青何, 不規則波に對する消波ブロック傾斜堤の安定性に關する實驗的研究, 第30回 海岸工學講演會論文集, 1983, pp.352-356
- 谷本勝利, 原中佑人, 山部 一雄, 不規則波に對する消波ブロック被害率の變動性, 第30回 海岸工學講演會論文集, 1985, pp.480-484

표 3. 안정성 실험 결과(피해율 2%기준)

	블록		사각블록	팔각블록	삼각블록 (B형)	삼각블록 (A형)
	파형	주기 (sec)				
안정계수 (K_D)	규칙파	1.2	2.5	4	5	12
		1.5	2	4	8	15
		2.0	2	3	6	10
		전체	2-2.5	3-4	5-6	10-15
	불규칙파	1.2	1	2	4	5
		1.5	1	2.5	5	8
		2.0	1	2.5	3	4
		전체	1	2-2.5	3-5	4-8

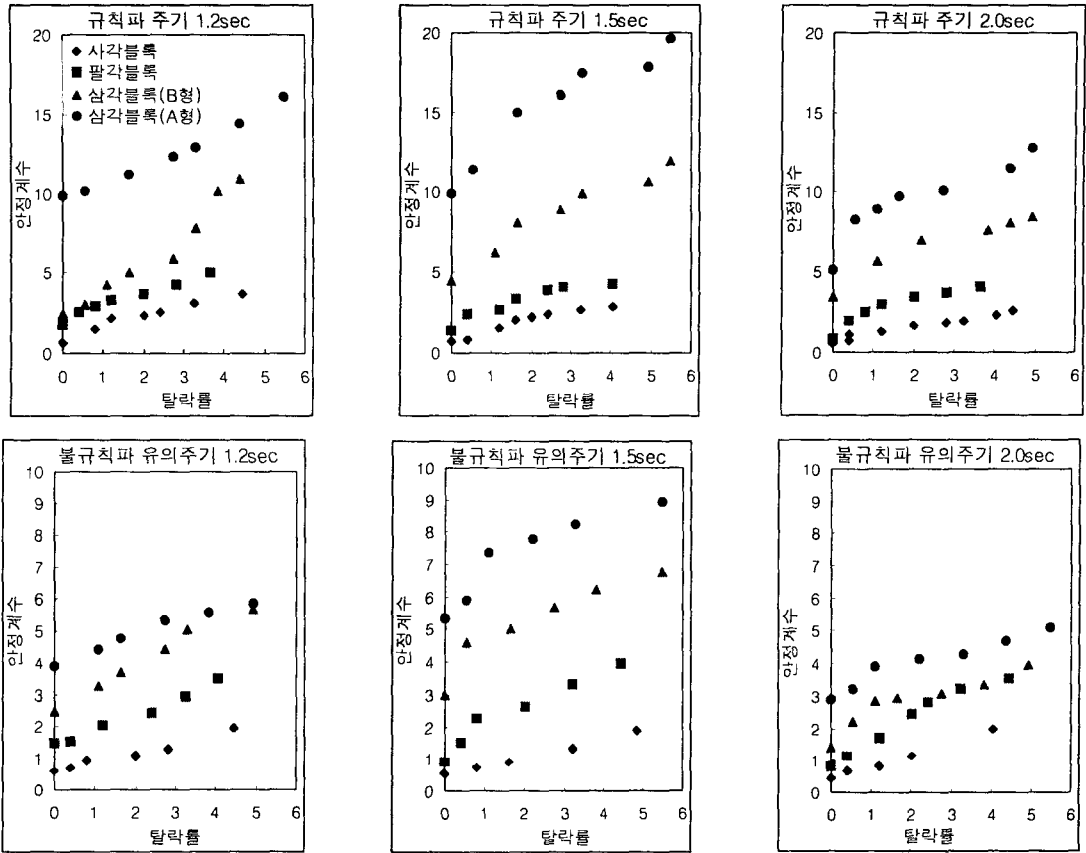


그림 4. 노출 안정성 실험결과

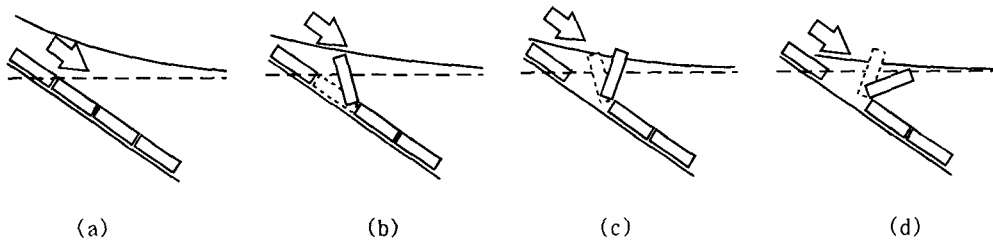


그림 5. 블록의 이탈경향

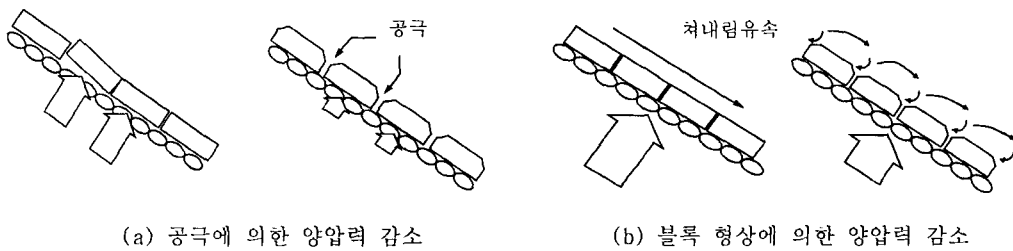


그림 6. 블록의 양압력 감소효과