

삼각블록을 이용한 방파제 및 호안의 중간피복공법<下>

정 공 일 / 주식회사 한아엔지니어링 대표이사

Ⅳ. 수리 안정성 검토

$$W \geq \frac{\rho_s H^3}{K_D \{(\rho_s/\rho) - 1\}^3 \cot \beta} \dots\dots\dots (1.1)$$

1. 이론적 배경

모형실험을 이용한 방파제 피복제의 안정성에 대한 연구는 1930년대 미육군 공병단 (US Army Corps)에 의해 처음 시도되었으며, Iribarren (1938)은 사석 사면에서의 안정성에 대한 기초적 개념을 이용하여 파고, 비중, 제체경사 등의 함수로 이루어진 소요중량 산정식을 제안하였다. Hudson (1959)은 여러 가지 단면 형태 및 피복블록에 대한 수많은 실험을 통해 현재 가장 많이 사용되고 있는 Hudson공식을 제안하였다.

본 실험에서는 중간 피복 블록의 안정성 검토를 위해 Hudson공식을 이용하여 각각의 블록의 안정계수를 확인하였다.

여기서 K_D 는 안정계수 (stability factor), H 는 입사파고(불규칙파: $H_{1/3}$), W 는 블록의 중량, β 는 사면의 경사, ρ 는 물의 질량, ρ_s 는 블록의 질량이다.

Hudson공식은 파고와 단위 체적중량, 그리고 사면경사 만으로 표현되어 그 외의 매개변수(parameter)를 전부 안정계수에 집약하고 있으므로 이 형블록의 형상, 거치방법, 쇄파 유·무, 또는 설치장소(두부, 간부)에 따라 각각 다른 안정계수가 이용되고 있다.

안정계수 결정에 필요한 탈락률의 결정은 다음의 식을 이용하였다.

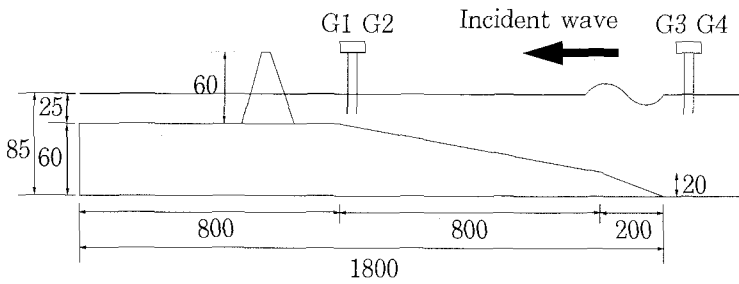
$$D_a(\%) = \frac{(\text{탈락한 블록의 수})}{(\text{사면상의 전피복블록수})} \times 100 \dots\dots\dots (1.1)$$

2. 실험조건

2.1 블록의 안정성 실험

본 실험에서는 70cm×150cm×3000cm의 수로에서 2차원 불규칙 조파기를 이용하여 실험장비의 모식도는 <그림-3>과 같다. 입사파 신호는 PC상에서 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 목표(target) 스펙트럼으로 하여 제작하였으며, 입사파 검증 실험을 통해, 증폭기의 Gain를 조정하여 입사신호와 입사파랑의 오차를 최소화했다.

안정성 실험에 대해서 규칙파 실험과 불규칙파 실험을 수



〈그림-3〉 실험 장비의 모식도(단위:cm)

행하여 결과를 상호 비교하였다. 주기 1.2, 1.5, 2.0초에 대하여 실험을 수행하였고, 입사파고는 탈락물이 0에서 5% 이상까지 증가하도록, 파고를 점진적으로 증가시켜 실험을 수행하였다.

실험에 사용한 모형블록의 제원은 〈표-4〉와 같다.

2.2 수리특성 실험

수리특성 실험에서는 모형블록과 함께 일정한 경사면 공극

물을 유지하기 위해 공극률판을 제작하였다. 공극률판은 각각 15, 20, 25, 30, 35, 40%의 공극률을 이루고 있다. 공극률판은 일정한 공극률을 유지하기 위하여 기본 단위인 셀을 기준으로 직경 1cm의 구멍을 천공하여 제작하였고, 각각의 공극률판의 셀의 크기는 〈표-5〉와 같다.

실험조건은 실험결과와 상호 비교를 위해 규칙과 실험을 수행하였고, 반사파에 의한 영향

〈표-5〉 공극률판의 제원

공극률 (%)	a (cm)	b (cm)	셀의모양 (D=1cm)
15	2.2	2.4	
20	2.2	1.8	
25	1.7	1.85	
30	1.6	1.65	
35	1.5	1.5	
40	1.4	1.4	

을 최소화하기 위해 반사파가 조파판에 대한 1차 반사가 일어나 다시 단면에 입사하기 전에 실험을 중지하여 처오름 높이(R)와 반사율(Kr)을 측정하였다. 처오름 높이는 화상해석법을 이용하여 관측하였다. 입사파 주기는 1.2, 1.5, 2.0초로 하였고, 파고(H)는 실험 수행 중 블록의 움직임이나 이탈에 의해 처오름 현상 및 반사율의 영향을 최소화하기 위해 비교적 낮은 파고인 5, 7cm를 이용하여 실험을 수행하였다.

〈표-4〉 모형블록의 제원

블록	사각블록	팔각블록	삼각블록 (B)	삼각블록 (A)
모형블록				
공극률	5%이하	22%	28%	40%
중량(g)	123.9	100.5	119	119
단위피복면적(cm ²)	28.3	28.3	30.6	34.7
단위중량(g/cm ³)	2.3	2.3	2.3	2.3

2.3 피해기구 파악 실험

블록의 피해기구(damage mechanism)의 파악은 고성능 디지털 비디오 카메라를 이용하여 안정성 실험 및 수리특성 파악 실험 과정에서 확인된 이탈이 가장 많이 발생하는 평균수면 아래의 블록을 이용

〈표-6〉 안정성 실험 결과(탈락률 5% 기준)

안정계수	블록	사각블록	팔각블록	삼각블록 (B형)	삼각블록 (A형)
		규칙파	3-4	4-5	9-10
	불규칙파	2-3	4	6-7	8-9

하였다. 주기 1.2, 1.5, 2.0 초의 규칙파를 이용하여 이탈이 발생하는 파고에서 촬영하여 일정한 시간 간격으로 촬영 화면을 편집하여 블록의 이탈 경향을 파악하였다.

3. 실험 결과

3.1 안정성 실험 결과

각각의 실험 결과를 정리하면 〈표-6〉과 같다. 공극률이 가장 크고, 단위피복면적이 가장 넓은 삼각블록(A형)의 안

정계수가 가장 크게 나타나며, 공극률이 가장 작은 사각블록은 중량이 가장 큰에도 불구하고 안정계수가 가장 작게 나타났다. 각각의 실험의 결과는 〈그림-4〉과 같다.

본 실험에서 알 수 있듯이 삼각블록의 공극률이 40%일 경우 안정계수가 매우 양호함을 확인하였다.

3.2 단면의 수리특성파악

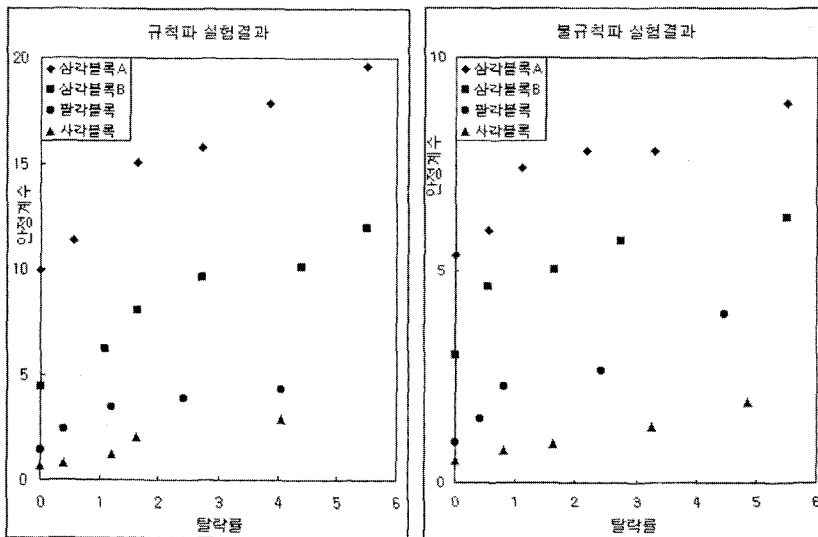
단면에서의 반사율(Kr)과 상대 처오름 높이(R/H)를 각각

의 주기에 대하여 정리한 것은 〈그림-5〉와 같다. 상대 처오름 높이의 비교에서 공극률판을 이용한 경우의 실험에서 모형 블록을 이용한 실험보다 값이 조금 큰 것은 공극률판이 모형 블록에 비해, 조도계수가 작은 이유라 사료된다. 실험 결과를 비교해 보면, 각각의 주기에 대하여 공극률 25~30% 범위에 이르기까지 상대 처오름 높이의 감소 경향이 뚜렷하지만, 이 범위 이상의 공극률에서는 상대 처오름 높이의 감소율이 작아짐을 알 수 있다.

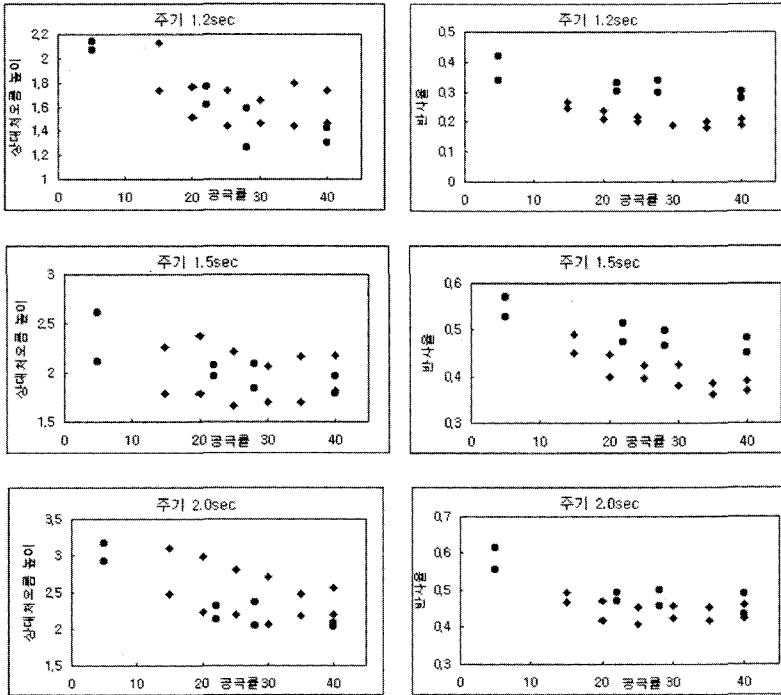
단면의 반사율은 전반적으로 모형블록의 실험결과가 공극률판의 실험결과보다 큰 것을 알 수 있다. 하지만, 각각의 실험 결과에서 공극률의 변화에 대한 반사율 감소는 일정한 경향을 보이고 있으며, 공극률 25% 전·후에서 반사율의 감소비율이 작아짐을 알 수 있다.

3.3 블록의 이탈특성

화상해석법을 이용하여 모형블록의 동적거동을 해석하였다. 모형블록은 대부분의 경우 처내림(down-wash)의 수위가 평균수위 이하로 내려가면서 이탈



〈그림-4〉 안정성 실험결과



(●:모형블록, ◆:공극률판)

〈그림-5〉 공극률 변화에 따른 상대치오름 높이 및 반사율의 변화

이 발생하기 시작함이 확인되었다. 처내림시 블록이 움직이기 시작하고, 블록 상호간의 결합력이 약화되면서 사면에 대한 수직방향으로 움직이기 시작한다. 동일한 입사파 조건 하에서 공극률이 가장 작은 사각블록에서 가장 먼저 움직임이 발생한다. 〈그림-6〉 a, b, c.에서 처럼 처내림과 함께 블록의 움직임도 사면 아래쪽을 따라 전파되고, 움직임이 가장 큰 순간은 처내림이 멈추기 직전(〈그림-6〉 c)이다. 다시 처오름 발생시 블록은 사면의 움

직임을 멈추고 다시 안정을 찾는다. 이러한 현상이 반복되면 블록의 움직임은 점점 커지다가 이탈이 발생한다.

이탈 경향은 대부분 〈그림-7〉에서 보이는 것처럼 시계방향으

로 전도되는 현상을 보인다. 움직임이 가장 큰 블록은 주변 블록과의 결합력을 상실하고 전도되며, 한번 이탈이 발생한 블록은 처오름에 의해 다시 제자리를 확보하는 경우는 매우 희박하며, 대부분 완전한 탈락으로 이어진다.

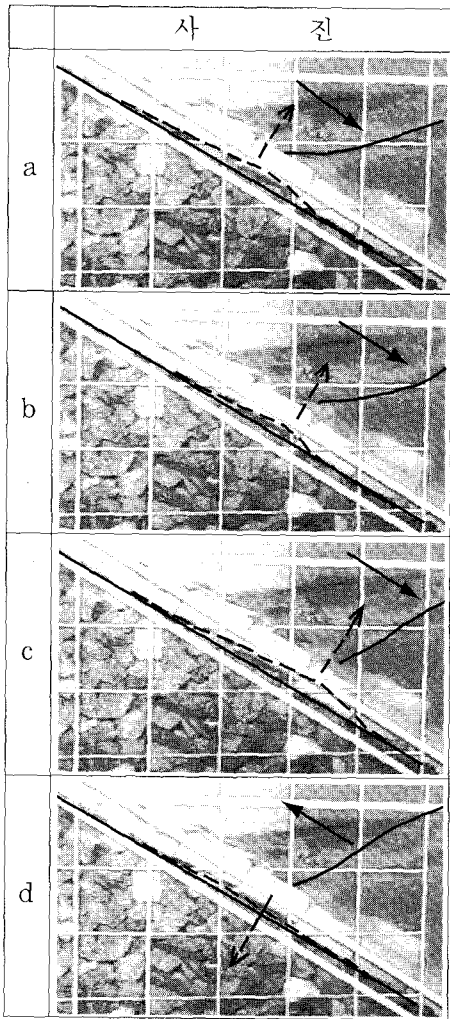
4. 결 론

본 실험을 통하여 삼각블록의 안정성이 확인되었으며, 공극률의 변화에 따른 사면상의 수리특성의 비교를 통해 공극률의 추천범위를 제안할 수 있다. 아울러 화상해석을 이용하여 파랑의 처오름과 처내림 순간 블록의 동적거동을 해석하고 블록의 이탈특성을 확인할 수 있었다.

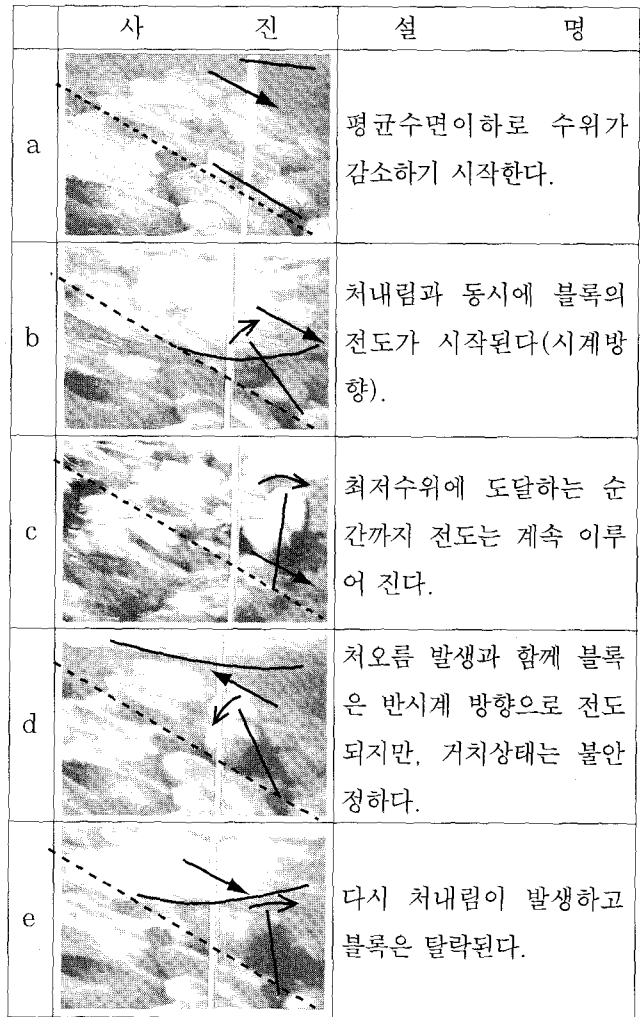
수리모형실험 결과에서 추정된 K_D 값과 X블록의 K_D 값은 〈표-7〉과 같다.

〈표-7〉 블록별 K_D (안정계수) 값

구 분		K_D		비 고
		규칙파	불규칙파	
삼각블록	A형 배열	10~15	4~8	* 피해율 2 %
	B형 배열	5~6	3~5	
사각블록		2~2.5	1	* 수리모형실험 결과
팔각블록		3~4	2~2.5	
X블록		15	10	* 피해율 0~5 % *일본테트라포트 주식회사



〈그림-6〉 블록의 흔들림 현상

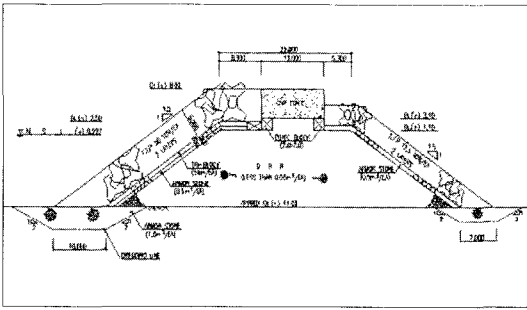


〈그림-7〉 블록의 이탈경향

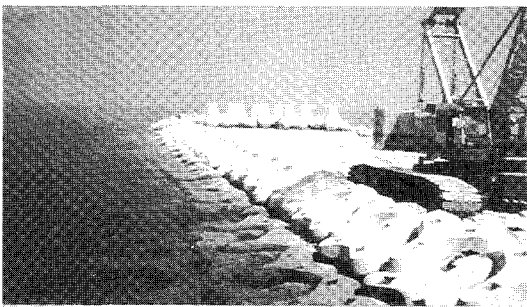
〈표-8〉 삼각블록 시공사례

시 공 년 도	공 사 명	발 주 자	외곽피복재 규모 (ton)	중간피복재 규모 (ton)
1995 ~2000	수산항 방파제 축조공사	동해지방 해양수산청	50.0	5.0
2000~ 현재	울산신항 방파제 1단계(1공구) 축조공사	울산지방 해양수산청	25.0	7.0

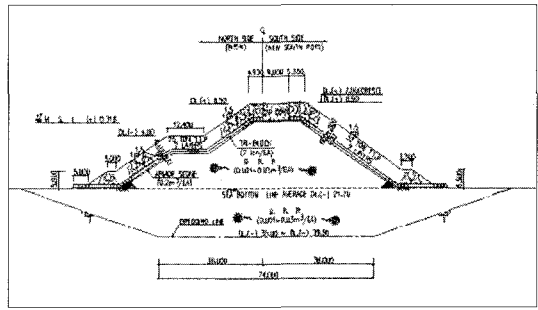
수산항 북방파제 표준단면도



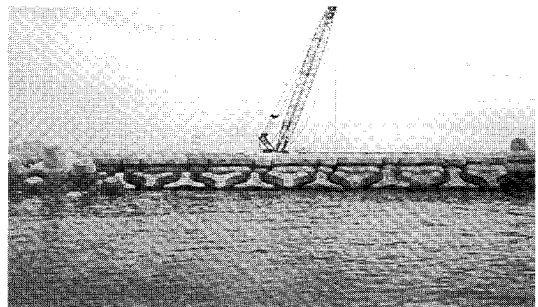
수산항



울산산항 중앙방파제 표준단면도



울산산항



〈그림-8〉 시공사례 현장별 표준단면도 및 시공 현황사진

V. 국내 건설공사 사례

삼각블록의 활용실적은 1980년대말에 개발하여 1995~2000년까지 수산항 방파제, 2000~현재까지 울산산항 중앙방파제 등에 다수의 적용실적이 있다.

VI. 건설공사 활용전망

근래에는 높은 파랑에 견딜 수 있는 대규모의 방파제의 건설 증가 추세에 따라 피복 콘

크리트 블록의 규모도 커지고 있다. 이러한 경향에 맞추어 최외각 피복 콘크리트 블록과 사석제체 사이에 쓰이는 중간 피복재의 규모도 점차 증가하고 있어 자연적으로는 소요규모를 산정하기 곤란한 경우가 대부분이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 중간피복재로 쓰일 수 있는 삼각형태의 콘크리트 블록을 개발하였는데 기존의 사각형태의 블록에 비해 사석면에 거치시 시공성과 블록의 구조적 안정성을 상

당히 개량하였기 때문에 앞으로 대형 방파제 공사시 활용빈도가 높아질 것으로 기대된다.

또한 삼각블록의 수리적 안정점도 결과 사각블록이나 팔각블록에 비해서는 상당히 안정한 것으로 나타났으며, X블록과 중공사각 블록의 안정계수와 거의 동등한 수준임을 판단해볼 때 앞으로도 삼각블록이 방파제의 중간피복재로 많이 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 