

## 수리모형실험에 의한 다용도 블록의 성능검토 A Performance Investigation of Multipurpose Block using Hydraulic model test.

김규한<sup>1</sup>, 김동진<sup>2</sup>, 이근희<sup>3</sup>  
Kyu Han Kim<sup>1</sup>, Dong Jin Kim<sup>2</sup> and Geun Hee Lee<sup>3</sup>

### 1. 서 론

우리나라의 “항만 및 어항 설계 기준” (해양수산부, 1999)에 제시되어 있는 방파제의 구조형식은 경사제, 직립제, 혼성제, 소파블록제, 기타 형식 방파제등으로 구분되고, 이 중 국내에 시공되어 있는 방파제의 약 80% 이상이 경사제의 구조형식이며, 우리나라 방파제의 주요 형식으로서 자리잡고 있다. 경사제는 사면에서의 쇄파에 의해서 파에너지가 감쇠시키는 형식이어서 방파제의 효과 면에서는 탁월하나, 최근 물동량의 증가 및 선박의 대형화 등으로 인해 기존 항만의 확장시에는 방파제가 대수심 쪽으로 전진하여 배치되는 추세에 있으므로 피복블록의 대형화가 야기된다. 이에 따라 피복블록 전면부 세굴 등의 여러 문제점들이 발생하고 있다.

한편, 기존의 경사식 방파제의 경우 Tetrapod, Dolos, Accropode, Core-loc 등과 같은 전사면 피복블록의 하부에 거치하는 피복재의 주재료는 자연석이다. 그러나 자연석은 대파랑에 대한 상용중량의 확보가 현장 주변에서 채취하기 어려워지게 되었다. 이에 따라 중간피복층을 복층으로 시공하고 전사면 피복층과 접하는 첫 번째 중간피복층(First underlayer)에 중간피복블록을 이용하는 사례가 증가하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 2차원 단면 수리 모형실험을 통하여 G-3E 블록의 항만 구조물의 구성 요소 중 전사면 피복블록의 하부에 거치하는 자연석을 대체할 수 있는 중간피복블록으로서의 안정과

전사면 피복블록의 전면하부의 세굴방지공으로서의 안정성 및 세굴방지 효과를 검토하였다.

### 2. 이론적 배경

피복재의 안정성에 대한 연구는 수리모형실험에 의해 수행되어 왔다. Iribarren(1938)은 사석 사면의 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.

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

여기서  $K_D$ 는 안정계수(Stability factor),  $H$ 는 입사파고(불규칙파:  $H_{1/3}$ ),  $W$ 는 블록의 중량,  $\beta$ 는 사면의 경사,  $\gamma_r$ 는 블록의 단위중량,  $S_r$ 는 블록의 비중이다.

본 실험에서는 중간피복블록의 노출 안정성 검토를 위해 Hudson공식을 이용하여 G-3E 블록의 안정계수를 확인하였다. 안정계수 결정에 필요한 탈락률의 결정은 다음 식을 이용하였다.

$$D_a(\%) = \frac{(\text{탈락한블록의수})}{(\text{사면상의 전피복블록수})} \times 100$$

1 관동대학교 토목공학과 교수

2 관동대학교 석사과정

3 대도물산(주) 대표이사

대수심에 시공된 경사재의 경우 파랑의 영향이 미치는 일정한 수심까지의 피복석 개수에 대한 이탈 블록수를 탈락률로 취급하는 경우도 있다.

중간피복블록은 피복재와 달리 평면적 배치로 시공되며, 이탈 발생시 내부 사석의 유출이 발생할 수 있어 본 실험에서 중간피복블록에 대한 안정계수는 탈락률 2%의 값으로 결정하였다.

### 3. 수리모형 실험

#### 3.1 실험시설

본 실험에 사용된 2차원 단면 조파 구조는 폭(B) 0.7m, 높이(H) 1.5m, 길이(L) 40m로 조파부 3m를 제외한 37m구역의 양면이 강화유리로 제작되어 있어 실험단면 뿐만 아니라 입사파랑의 전반적인 경향을 볼 수 있도록 설계되어 있으며, 본 설비는 Goda의 입사파 분리법에 기초한 반사파 제어 기능이 내장되어, 반사파를 수조자체에서 제어하면서 실험수행이 가능하며, 조파기 형태는 피스톤형이며, 구동 방식은 전기식이고, 발생 최대주기는 0.1-3.0sec, 발생 최대파고는 30cm이다.

#### 3.2 블록의 형상

본 연구에서 사용된 G-3E 블록 4.0ton형은 L=2,190mm, B=1,460mm, H=730mm, 실중량=3800kg로써 형상은 Fig. 1과 같다. G-3E 블록은 수중설치 전용 단위부재로서 4방향 모두 "U"볼트로 4~20개씩 Mat화 할 수 있다는 특징이 있다.

#### 3.3 실험 조건 및 방법

본 실험에서는 2가지 조건에 대한 G-3E 블록의 특성을 검토하였고, 블록의 정확한 수리적 특성을 파악하기 위해 단일 개체로 실험한 후 동일한 조건으로

블록을 Mat화하여 실험을 수행하였다.

#### 3.3.1 중간피복블록 실험

실험단면은 Shore Protection Manual(1984)에서 제안하고 있는 표준단면을 참고로 하였으며, (Fig. 2 참조) 규칙파 및 불규칙파 실험을 수행하여 블록의 노출 안정성을 검토, 안정계수( $K_D$ )를 구하였고, 이 과정에서 평면적으로 배치되는 피복블록의 이탈특성을 화상해석법을 이용하여 파악하였다. 입사파 조건은 규칙파 실험의 경우 주기 1.2, 1.5, 2.0sec에 대하여 실험을 수행하였으며, 이탈이 발생하지 않는 파고 조건에서 탈락률이 5%이상 발생하는 경우까지 실험을 수행하였다.

불규칙파 실험에서는 유의파주기를 1.2, 1.5, 2.0sec로 하여 실험을 수행하였고, 입사파고( $H_{1/3}$ )의 결정은 규칙파의 경우와 동일한 방법으로 실험을 수행하였다.

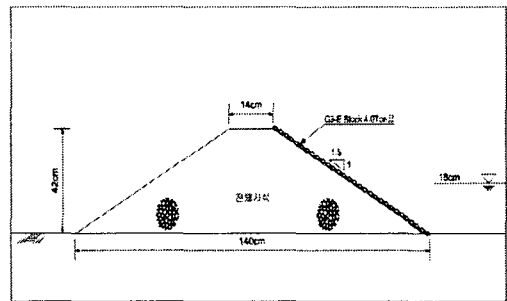


Fig. 2 중간피복블록 실험 단면

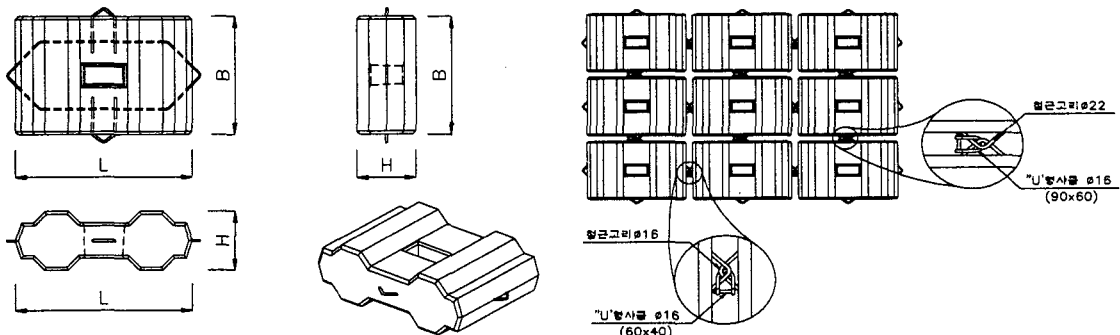


Fig. 1 블록의 형상 및 연결방법

### 3.3.2 세굴방지공 실험

본 실험은 블록의 세굴방지공으로서의 성능 검토 실험으로 고정상 및 이동상 실험을 통하여 안정성 및 세굴방지 효과를 검토를 하였다. 실험단면은 아래 Fig.3와 같이 단면 Toe 부분을 G-3E 블록으로 피복하였다.

첫 번째 안정성 실험은 일반적으로 서해안에 내습하는 10년 빈도의 설계파랑( $H_{1/3}=3.4m$ ,  $T_{1/3}=8.7sec$ )을 대상으로 파고 및 주기를 산정하였고, 실험은 각각의 실험파를 모형상에서 35분간 조파한 후 이 과정에서 평면적으로 배치되는 블록의 이탈특성을 해상해석법을 이용하여 파악하였다.

두 번째 세굴방지 성능 검토 실험은 일반적으로 서해안에 내습하는 유의파고 및 주기( $H_{1/3}=2.2m$ ,  $T_{1/3}=6sec$ )를 대상으로 파고 및 주기를 산정하였고, 실험은 전사면 피복블록 아래에 G-3E 블록의 설치시와 미설치시에 대하여 설정된 실험파를 모형상에서 90분간 조파한 후 세굴현상을 검토 및 비교하였다.

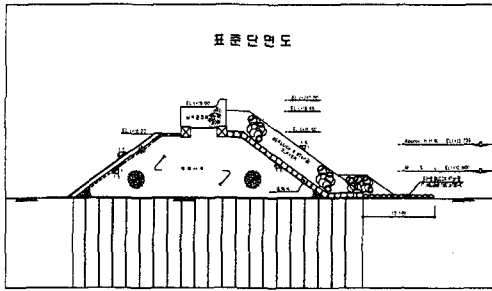


Fig. 3 세굴방지공 실험 단면

### 3.4 실험 결과

#### 3.4.1 중간피복블록 안정성 실험

대부분의 경우 처내림(down-wash)시의 수위가 평균수위 이하로 내려가게 되어 반시계 방향으로 전도되면서 이탈이 발생하였다. 처내림시에 블록이 거동하기 시작하였고, 블록 상호간의 결합력이 약화되면서 사면에 대해 수직방향으로 움직이기 시작하였다.

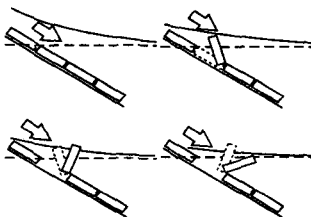


Fig. 4 단일개체 실험시 블록의 이탈 특성

규칙파의 경우 모든 주기에서 안정계수값이 3-7로 나타났고, 불규칙파의 경우에는 모든 주기에서 안정계수값은 5-8로 나타났다.(탈락률 1%기준)

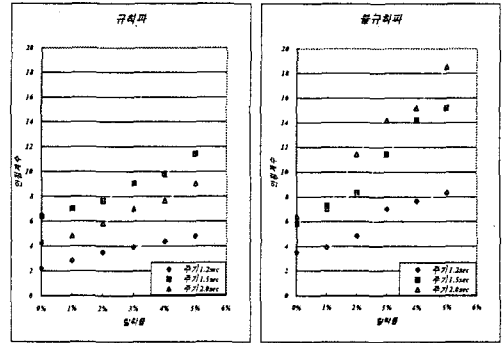


Fig. 5 파고 및 주기변화에 따른 안정계수

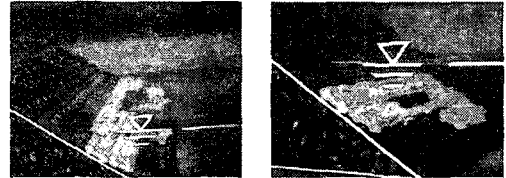


Fig. 6 단일 개체로서의 노출안정성 실험 결과

반면에 개체를 U볼트로 연결하여 블록을 Mat화 하여 설치시에는 규칙파, 불규칙파 모든 실험조건에서 안정하였다.(Fig. 7 참조)

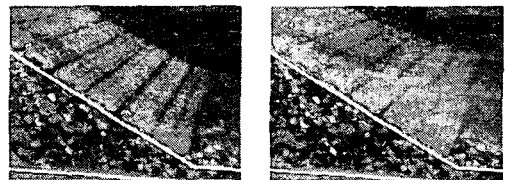


Fig. 7 블록 Mat화시 노출안정성 실험 결과

#### 3.4.2 세굴방지공 실험

##### 가. 세굴방지공 안정성 실험

단일 개체설치시 설계파( $H_{1/3}=3.4m$ ,  $T_{1/3}=8.7sec$ )가 내습할 경우, 선단부의 G-3E 블록이 이탈되는 피해가 발생하였으나, 그 피해율은 5% 이내로 나타났다. 그러나 설계파를 초과하는 고파랑( $H_{1/3}=5.1m$ ,  $T_{1/3}=8.7sec$ )내습시에는 국부적으로 5%이상의 피해가 발생하였다.(Fig. 8 참조)

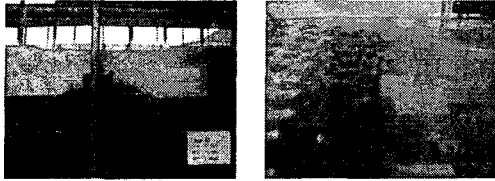


Fig. 8 단일 개체로서 노출안정성 실험 결과

반면에 개체를 U볼트로 연결하여 블록을 Mat화 하여 설치시에는 모든 실험조건에서 안정하였다.(Fig. 9 참조)

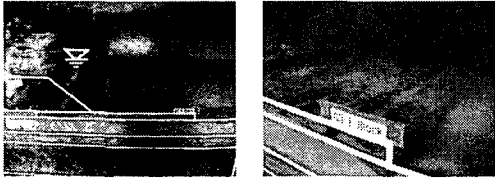


Fig. 9 블록 Mat화시 노출안정성 실험 결과

#### 나. 세굴방지공 성능 실험

G-3E 블록 미설치시에는 전사면 피복블록의 전면부에 약 1m의 세굴현상이 발생하였다.

반면에 G-3E 블록을 설치하였을 경우에는 세굴현상이 거의 일어나지 않았다.(Fig. 10, 11 참조)

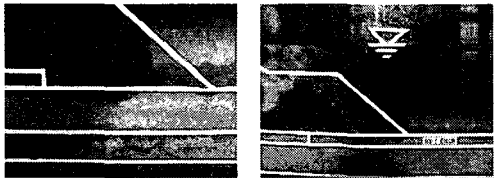


Fig. 10 세굴방지공 성능실험 결과 비교

## 4. 결 론

본 실험에서는 2차원 모형 수조를 이용하여 G-3E 블록의 중간피복석으로서의 안정성과 세굴방지공으로서의 안정성 및 세굴방지 효과를 검토하였으며, 그 실험 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

G-3E 블록은 단일개체 설치시에도 대체적으로 안정한 모습을 보였으며, 특히 U볼트로 연결하여 Mat화 하였을 경우에는 탁월한 안정성을 보였다. 또한, 세굴방지공으로서의 효과도 좋은 것으로 입증 되었다.

따라서, 본 연구에서 검토한 G-3E 블록은 기존의 중간피복석 및 세굴방지공블록을 대체할 수 있는 피복블록으로서 적합한 것으로 사료 된다.

## 참고문헌

- Hudson R. Y. Robert.(1959) Laboratory Investigation of Rubble-Mound Breakwaters, Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE.
- S. Tanimoto et al (1979) 消波 Block 피복재의 불규칙 전달파에 대해서, 제26회 해안공학 강연회 논문집, 309-313
- Van der Meer, J. W.(1988) Deterministic and probabilistic design of breakwater armor layers, Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 60-80
- 최현, 김규한, 편종근, 정공일(2000), 수리모형실험을 통한 경사방파제 중간블록의 안정성검토, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 967-972.

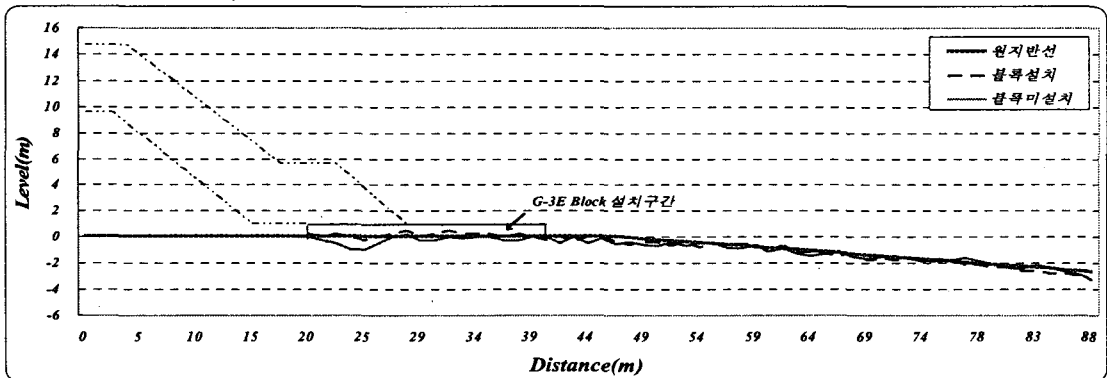


Fig. 11 세굴방지공 성능실험 결과 비교