

## 경사제의 두부구간 피복재 안정성 Stability of Armor Block for Head Part of Rubble-Mound Breakwaters

김영택<sup>1</sup>, 이종인<sup>2</sup>, 조용식<sup>3</sup>  
Kim Young Taek<sup>1</sup>, Lee Jong In<sup>2</sup> and Cho Yong Sik<sup>3</sup>

### 1. 서 론

다양한 연안역 방재시설중에서 방파제는 내습파를 제어하여 항만이나 배후지역의 기능을 유지시킬 목적으로 건설되는 가장 기본적이고 중요한 연안시설물중의 하나이다. 외곽시설인 방파제는 외해로부터 파랑에너지를 반사, 소파시켜 항내정온도를 유지하여 선박의 항행 및 정박, 하역작업 등의 안전성확보 및 가동율 등의 향상을 도모하는 주된 역할을 맡고 있다. 이들 방파제는 구조형식상 크게 경사식방파제, 직립식방파제, 혼성식방파제, 소파블록피복제 등으로 나눌 수 있다(해양수산부, 1999). 무역항 및 연안항의 방파제 단면을 중심으로 분석한 기존 연구결과에 의하면 전체 방파제 연장 대비 약 70%가 경사식방파제이며, 경사식방파제는 피복재, 중간피복석, 내부사석 등으로 이루어져 있고, 중간피복석과 내부사석은 피복재의 중량비로 시공하는 것이 일반적이다. 안정한 방파제 설계에 필요한 일반적인 기준은 많은 연구를 통해 정립되어 있으며, 현재는 국부적인 현상에 대한 보다 정확한 자료 또는 미흡한 부분에 대한 연구가 수행되고 있는 실정이라 할 수 있다.

경사식방파제를 설계함에 있어 제두부구간은 외력에 취약한 부분이므로 제간부구간에 피복되는 피복재 중량의 1.5배를 적용하는 것이 일반적이다. 항만배치상 방파제가 주 설계외력에 대해 경사지게 배치되는 경우가 종종 발생하게 되며, 이러한 경우에 대한 피복재의 안정성을 검토한 연구는 많

지 않다. 따라서, 본 연구에서는 내습파의 파고 및 주기, 내습파의 입사방향 등에 따른 제두부구간 피복재의 안정성을 실험적으로 검토하였다. 실험은  $\beta=0^\circ$ (제체에 직각으로 입사하는 경우)~ $90^\circ$ 까지 수행되었으며, 사면경사는 1:1.5로 일정하게 적용하고, 파랑은 비쇄파(또는 부분쇄파) 조건을 적용하였다.

### 2. 실험시설 및 실험조건

#### 2.1 실험시설

피복재 안정성 실험은 평면수조내에 실험수로를 구성하여 수행하였다. 평면수조는 길이 42m, 폭 36m, 높이 1.2m이며, 조파장치는 4개의 구동부로 구성되어 있고, 각 구동부에 연결된 조파판 하나의 폭은 5m, 높이는 1.2m로서 전체 조파판의 폭은 20m이다. 실험에 사용된 조파기는 전기서보피스톤식으로서 최대수심 0.9m, 최대파고 0.3m, 주기 0.5sec~5.0sec의 파를 재현할 수 있으며, 일방향 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다.

실험은 Fig. 1과 실험수로를 구성하여 실시하였다. 실험수로는 길이 36m, 폭 18m이며, 실험모형이 설치되는 수로의 폭은 16m이고, 실험파 설정을 위한 수로의 폭은 2m이다. 반사파를 제어하기 위해 수로외부의 수조 양벽면에는 1:3 경사, 조파기 후면에는 1:5 경사의 쇄석을 배치하였다. 그리고 조파기 전면벽에는 1:10 경사의 쇄석을 배치하여 수조벽면에 의한 반사파를 최소화하였다. 수로

1 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원  
2 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원  
3 한양대학교 토목공학과 교수

벽은 시멘트블록으로 구성된 후, 벽면을 미장하여 파랑이 매끈하게 진행할 수 있도록 하였으며, 수로벽면의 시점에는 스테인리스 재질의 철판을 부착하여 수로벽에 의한 반사파가 발생하지 않도록 하였다.

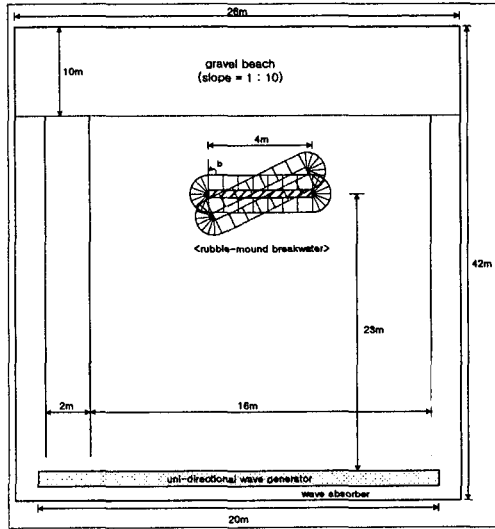


Fig. 1 실험영역

## 2.2 실험조건

피복재의 안정성 실험에서는 수심을 45cm로 일정하게 하고, 일방향 불규칙파를 적용하였으며, 실험파는 비쇄파조건에 해당한다. 그러나 불규칙파 작용시 일부 파형경사가 큰 파가 조파될 때에는 약간의 쇄파가 발생한다. Table 1은 본 실험에 적용된 실험파를 정리한 것으로서 실험파는 유의주기 1.0sec~2.0sec까지 0.2sec 간격으로, 유의파고 7cm ~15cm까지 1cm 간격으로 설정하였으며, 불규칙파는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 적용하였다. 표1에서 볼 수 있는 바와 같이  $T_{1/3}=1.0\text{sec}$ 인 경우에는  $H_{1/3}=9\text{cm}$ 까지 실험파를 설정하였다. 그리고 표1에서 'B'는 완전쇄파가 아닌 부분쇄파가 발생한다는 것을 의미하며, 주기가 길어지더라도 파고가 커지게 되면 일부 조건에서 부분쇄파가 발생한다.

본 실험에 사용된 모형 T.T.P.의 중량은 평균 271g/ea(모형 I)와 211g/ea(모형 II)로서 모형 I을 제두부구간에 피복하고, 모형 II를 제간부구간에 피복하였다. 본 실험에 적용된 단면은 1:1.5의 사면경사를 가지고, 모형 T.T.P.를 2층 피복하였으며, 단면의 마루높이는 내습파의 월파가 발생하지 않는 조건으로 설정하였다.

Table 1 실험파 조건

$T_{1/3}$ $H_{1/3}$	1.0 sec	1.2 sec	1.4 sec	1.6 sec	1.8 sec	2.0 sec
7cm	○	○	○	○	○	○
8cm	○	○	○	○	○	○
9cm	○(B)	○	○	○	○	○
10cm	-	○	○	○	○	○
11cm	-	○(B)	○	○	○	○
12cm	-	○(B)	○(B)	○	○	○
13cm	-	-	○(B)	○(B)	○	○
14cm	-	-	-	○(B)	○(B)	○(B)
15cm	-	-	-	-	○(B)	○(B)

Fig. 2는 실험구간 및 관측영역의 분할도를 나타낸 것으로서 제두부구간 곡면부는  $\Delta\theta=22.5^\circ$ 각도로 등분할 하여 8개의 구역(E-L)으로 설정하였고, 곡면부와 연해있는 항내-외측 폭 1m의 관측영역은 제두부구간 직선부로 설정하여 폭 25cm씩 4개의 구역(A~D, M~P)으로 분할하였다. 그리고 항외측 2m 구간은 제간부구간으로 설정하고 폭 50cm씩 4개의 구역(Q~T)으로 설정하였다. 그리고 모형체제의 연직방향으로는 4개의 구역(I, II, III, IV)으로 분할하였다. 이와 같이 분할된 각 구역에는 서로 다른 색으로 도색된 모형 T.T.P.를 피복함으로써 피해발생시 어느 구역에서 발생한 것인지를 구분을 쉽도록 하였다. 또한 모형제작시 각 구역별로 피복되는 모형 T.T.P.의 전체 개수를 기록하여 피해를 분석에 활용하였다. 안정성 실험은 유의주기 기준 1,000파를 작용시켰으며, 매 200파 마다 피복재의 이탈개수를 기록하여 작용파수에 따른 피해를 검토할 수 있도록 하였다.

그리고 안정성 실험시 체체와 내습파가 이루는 각( $\beta$ )은  $\beta=0^\circ\sim90^\circ$ 까지  $15^\circ$ 단위( $\Delta\beta=15^\circ$ )로 수행하였으며, 여기서  $\beta=0^\circ$ 라는 것은 Fig. 2에 도시된 바와 같이 방파제 법선에 파랑이 직각으로 내습하는 경우를 의미한다.

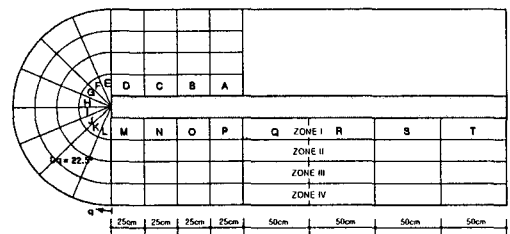


Fig. 2 실험구간 및 관측영역

### 2.3 안정계수 산정식

각 실험조건별 피복재 안정성은 안정계수( $N_s$ )를 계산하여 나타내었다. 안정계수 산정식은 대표적으로 Hudson식과 van der Meer식으로 구분할 수 있으며, Hudson식에 의한 안정계수 산정식은 다음과 같다.

$$N_s = (K_D \alpha a)^{1/3}$$

여기서,  $K_D$ 는 피복재의 피해계수,  $a$ 는 체체사면과 해저면이 이루는 각도이다. 피해계수는 피복재의 종류에 따라 서로 다르게 적용되며, 주어진 파고에서 무손실 범위, 즉 피해율이 0%~5% 범위로 Hudson식의 계수이다.

### 3. 안정계수 산정결과

Fig. 3은 입사각( $\beta$ )에 따른 안정계수 산정결과를 각각 도시한 것이다. Fig. 3(a)는  $\beta=0^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서  $\theta=135^\circ\sim 157.5^\circ$ (F구간) 구간에서 안정계수( $N_s$ )가 약 1.8로 가장 작게 나타났으며, 전체적으로  $N_s < 2(K_D=5.33)$ 인 구간은  $\theta=90^\circ\sim 157.5^\circ$ 로 나타났다. 기존 연구에서도 제두부구간의 취약구간은  $\theta=120^\circ\sim 150^\circ$ 로 나타나 있으며, 본 실험의 결과도 이와 유사함을 알 수 있다. 그러나 실험조건내에서 항내측구간(A구간~D구간)은  $\beta=0^\circ$ 인 경우에 5% 이상의 피해가 발생하지 않았다. 전반적으로 내습파의 주기가 긴 경우에 안정계수가 다소 작게 나타났다.

Fig. 3(b)는  $\beta=15^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서  $\beta=0^\circ$ 인 경우와 유사하게 나타났으며,  $\theta=112.5^\circ\sim 157.5^\circ$ 구간(F구간과 G구간)의 안정계수가 가장 작게 나타났다. 그리고  $\theta=157.5^\circ\sim 180^\circ$ 구간(E구간)에서도 피해가 발생하였으며, E구간은  $N_s=2.14(K_D=6.53)$ 로 산정되었다.  $\beta=0^\circ$ 인 경우에는 F구간까지 5%의 피해구간이 나타났지만,  $\beta=15^\circ$ 인 경우에는 E구간까지 피해가 발생함을 알 수 있다.

Fig. 3(c)는  $\beta=30^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서 산정된 안정계수가 다소 산만하게 분포되어 있다. 그러나 전반적인 경향은 타 내습방향과 유사하게 나타나고 있으며,  $\theta=135^\circ\sim 157.5^\circ$ 구간(F구간)의 안정계수가 가장 작게 나타나고 있다. 그리고  $\beta=0^\circ$ 와  $\beta=15^\circ$ 인 경우와는 달리 항내측구간인 D구간에서도 피해가 발생하였으며, 실험결과에 의하면  $N_s=2.22(K_D=7.29)$ 로 나타났다. D구간은 실험조건내에서 장주기에 해당하는  $T_s=2.0\text{sec}$ 인 경우에서 피해가 발생하였으며, 동일한 파고라 하더라도 내습파의 주기가 긴 경우에 회절파의 증대 동

으로 인해 파 에너지가 항내측으로 많이 전달됨을 알 수 있다.

Fig. 3(d)는  $\beta=45^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서 전반적인  $N_s$ 값의 분포는  $\beta=30^\circ$ 인 경우와 유사하며, N구간~P구간은  $\beta=30^\circ$ 인 경우보다  $N_s$ 값이 크게 산정되었다. 이는 내습파가 보다 경사지게 입사함으로 인해 파력이 분산되었기 때문으로 생각된다. 또한  $\beta=30^\circ$ 인 경우와 같이 항내측구간인 D구간에서도 피해가 발생하였으며, 실험결과에 의하면  $N_s=2.26(K_D=7.70)$ 으로 나타났다.

Fig. 3(e)는  $\beta=60^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서  $\theta=67.5^\circ\sim 135^\circ$ 구간(G구간~I구간)의 안정계수는 크게 나오는 반면,  $\theta=135^\circ\sim 180^\circ$ 구간(E구간 및 F구간)의 안정계수는 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 파랑의 내습방향이 항내측으로 보다 이동됨에 따라 항내측 D구간의 안정계수는  $\beta=45^\circ$ 인 경우보다 낮게 나타났다.

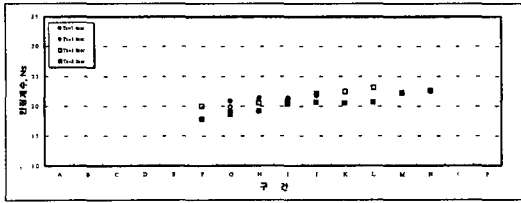
Fig. 3(f)는  $\beta=75^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서 전반적으로 타 입사방향에 비해 안정계수가 비교적 높게 산정되었으며, 피해율이 약 5%로 나타나는 항내측구간은 C구간과 D구간에서 관찰되었다. 내습파의 입사각이 증가함으로 인해 M구간~P구간의 안정계수 또한 2.1 이상으로 높게 나타났다.

Fig. 3(g)는  $\beta=90^\circ$ 인 경우의 안정계수를 도시한 것으로서 본 연구에서 수행한 실험조건내에서 전구간의 안정계수가 2 이상으로 나타났으나, 내습방향이 체체방향과 평행함으로 인해 항내측의 피해구간은 증가하였다. 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 파고조건이라 하더라도 내습파의 주기가 상대적으로 긴 경우에 피해가 나타났으며, 주기가 상대적으로 짧은 경우에는 실험조건내에서 피해율이 5% 이하로 나타나 피해율 5%에 해당하는  $N_s$ 값을 산정하지 못하였다.

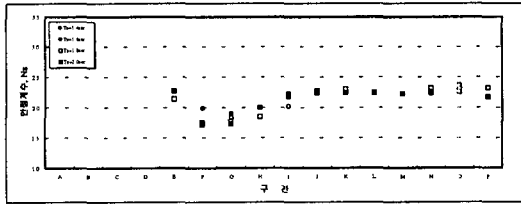
### 4. 결론

제두부구간은 입사각이 변화됨으로 인해 주 피해구간이 변화함을 알 수 있었다. 그리고 입사각이 증가할수록 항내측구간의 피해가 증대되고, 피해가 발생하는 위치도 보다 항내측으로 이동되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입사각이 증가할수록 제간부구간의 안정계수는 증가하였으며, 입사각  $\beta$ 가  $45^\circ$ 보다 작은 경우에는  $\beta=0^\circ$ 인 경우와 유사한 안정계수가 나타났다. 즉, 입사각  $\beta=0^\circ\sim 45^\circ$

범위에서는 제체에 직각으로 입사하는 경우와 동일한 중량의 피복재가 필요함을 의미한다.



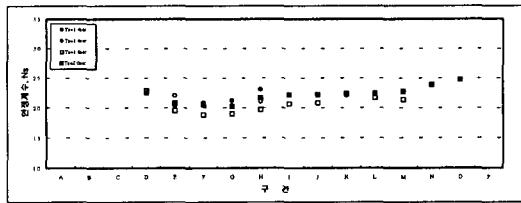
(a)  $\beta=0^\circ$



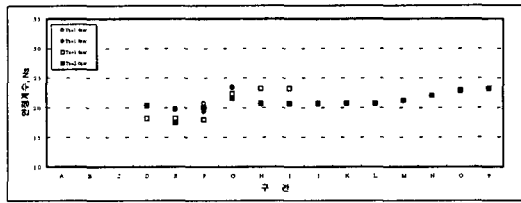
(b)  $\beta=15^\circ$



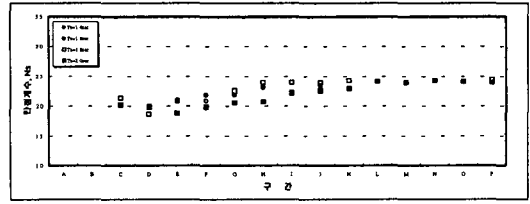
(c)  $\beta=30^\circ$



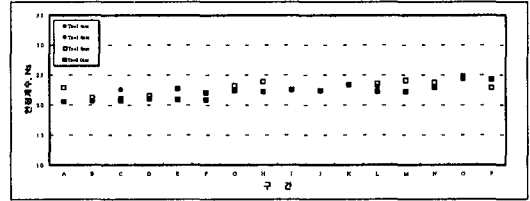
(d)  $\beta=45^\circ$



(e)  $\beta=60^\circ$



(f)  $\beta=75^\circ$



(g)  $\beta=90^\circ$

Fig. 3 안정계수 산정결과

### 참고문헌

해양수산부(1999). 항만 및 어항 설계기준.