

## 수리모형실험에 의한 소흑산도항 방파제 두부 설계 Design for Breakwater Head of Soheuksando Harbor by Hydraulic Experiment

주재욱<sup>1</sup> · 고진석<sup>1</sup>  
Jea-Wook Joo<sup>1</sup> and Jin-Seok koh<sup>1</sup>

### 1. 서 론

#### 1.1 설계배경

소흑산도항 방파제의 전체 길이 500m가 완공된 것이 1999년 12월 말일경 이었고 2000년 8월 31일 제12호 태풍 프라피룬(PRAPIRON)이 내습(순간최대풍속:58.3m/sec, 4시간 지속 최대풍속 47.4m/sec)하여 완공된 방파제 두부구간 64m가 유실되고 제간부 436m의 부분파손을 입는 피해를 보았다.

당초 설계된 방파제 피복용 T.T.P 1개의 중량은 64ton급이었고, 제두부 상치콘크리트의 1개 중량이 1,180여ton이고 T.T.P 중간피복피복제로 X-block(8ton급)이 시공되었으나 제두부에 시설된 등대시설과 함께 파손되어 항내로 흩어져 매몰되었다.

### 2. 수리모형실험

#### 2.1 단면수리모형실험

방파제에 대한 단면 수리모형실험 결과를 보면 다음과 같다.

##### 2.1.1 실험내용

###### 2.1.1.1 실험범위

본 실험에서는 2차원 단면 조파 수조 (Two-Dimansinal Wave Tank)를 이용하여 방파제 단면의 안정성 실험을 위주로 하고, 실험의 범위는 다음과 같다.

- 구조물 안정성 검토
- 반사율 및 전달율 측정
- 월파량 측정

- 사면(소파블록)의 안정성 검토
- 피복제 소요중량 결정

###### 2.1.1.2 실험안

실험안은 방파제의 제간부와 제두부의 주어진 4개 안(기존단면, 보강단면 3개안)을 실시하였으며 제두부와 제간부로 나누어 먼저 제두부의 기존안에 대하여 13case, 보강안은 1안 10case, 2안 10case, 3안 10case를 실시하여 계 43case의 제간부에서는 기존안 13case, A구간 10case, B구간 10case, C구간 10case 계 43case로 모두 86case에 대한 수리모형실험을 실시하였다.

###### 2.1.1.3 실험과

###### (1) 설계파 제원

소흑산도항에 적용되고 있는 설계파는 50년 빈도의 심해파  $H_o=8.9m$ (SSE, S, SSW),  $T_o=13.0sec$  체원에서 적용된 설계파  $H_{1/2}=8.3m$ (SSE, S, SSW),  $T_{1/2}=13.0sec$ 를 그대로 적용하는 것으로 하였으며 태풍 프라피룬(PRAPIROON) 내습시 순간최대풍속 8.3m/sec (최대풍속 47.4m/sec, 4시간 지속)을 심해하고 추정된 파고는  $H_o=11.0m$ (S10° E), 와  $H_o=10.5m$ (S), 주기는  $T_o=15.0sec$ 로 추정되어 100년 빈도를 초과한 파도가 내습한 것이되어 준공된 방파제 두부가 64m나 유실하게 되었다.

###### (2) 실험과

실험과는 상기한 여건을 고려하여 규칙파, 불규칙파 실험을 하고 만조시(Approx. H.H.W) 와 간조시(Approx. L.L.W)에 대하여도 실험을 실시하여 발생가능한 최대파(PRAPIROON)에 대해서는 규칙파 실험을 시행하였다.

<sup>1</sup> (주)헤이인앤씨 부설기술연구소 (Technology R&D Institute, Hyein E&C Co. Ltd., Seoul 150-854, Korea)

•태풍피해 전후 비교 사진



사진 1. 준공후 제두부 전경(2000. 3월경).

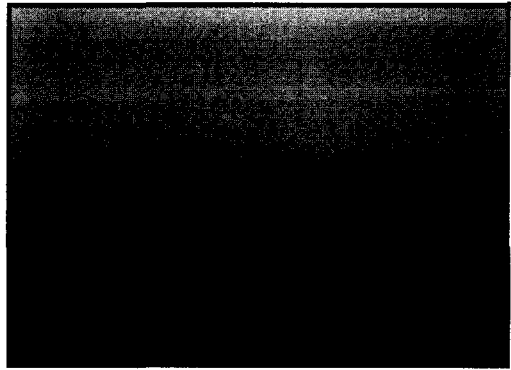


사진 2. 태풍피해후 제두부 현황(2000. 11월경).

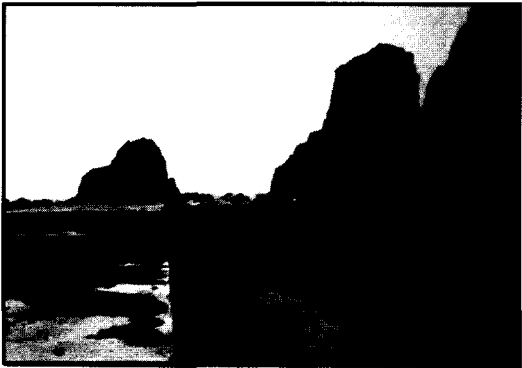


사진 3. 준공후 제두부 현황(2000. 3월경).

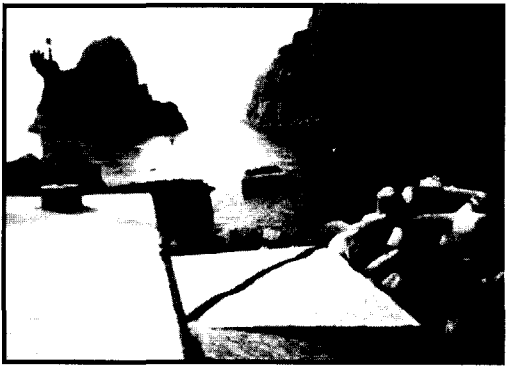


사진 4. 태풍피해후 제두부 상황(2000. 11월경).

Table 1. 실험시설 및 장비

구 분	주기(sec)		파 고		파특성	Case	비 고
	원형	모형	원형(m)	모형(m)			
조 파 기	13.0	1.86	9.0	24.5	이상파	1	
			12.0	30.6	이상파	2	
			15.0	18.4	이상파	3	현존 단면에 대해서만 적용
	14.0	2.00	9.0	24.5	이상파	4	
			12.0	30.6	이상파	5	
			15.0	16.9	이상파	6	
	15.0	2.14	9.0	20.4	이상파	7	
			12.0	16.9	이상파	8	
			15.0	20.4	이상파	9	현존 단면에 대해서만 적용
계 측 장 비	13.0	1.86	8.3	18.4	설계파	10	적용조위: App. L . L . W
	15.0	2.14	10.0	24.5	이상파	11	적용조위: App. L . L . W
	13.0	1.86	8.3	30.6	설계파	12	적용조위: App. L . L . W
	15.0	2.14	10.0	18.4	이상파	13	적용조위: App. L . L . W

### 2.1.1.4 모형

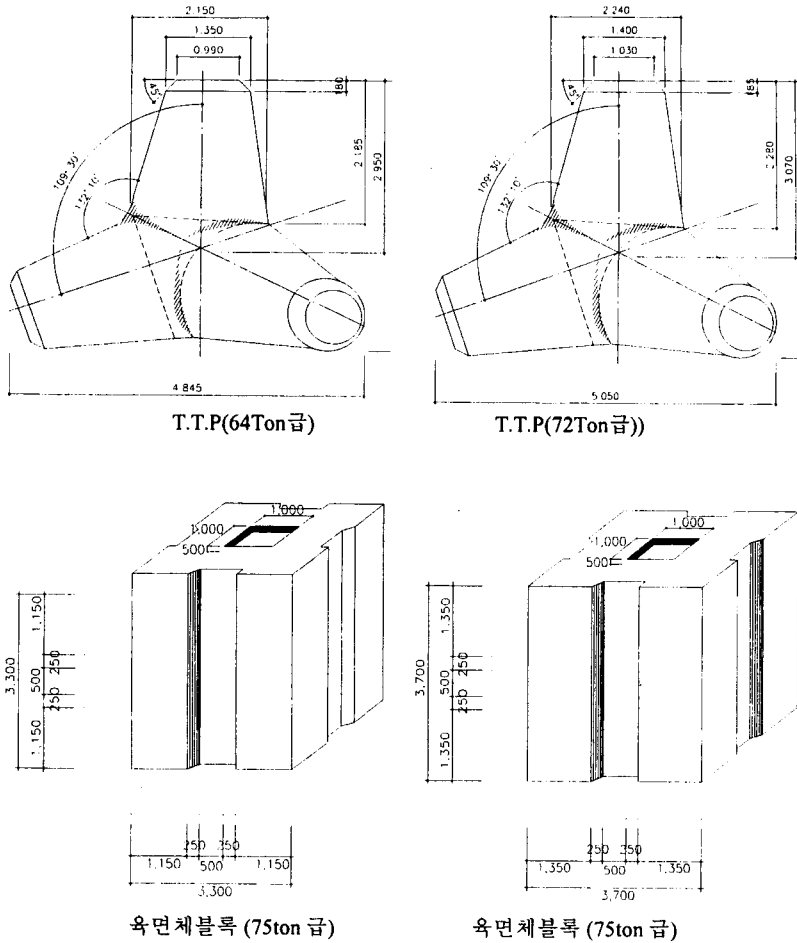


Fig. 1. 수리모형실험에 사용한 모형들.

### 2.1.2 수리모형실험 결과

단면 수리모형실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 기 시공되어 있는 제체의 단면중 두부 구간에 대한 규척과 실험결과 각 주기별로 14m파랑이 내습하는 경우까지는 피복재의 피해가 발생되지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 15m파가 입사하는 경우 소단부(DL(-)16.6m)의 피복석부터 요동하기 시작하여 소단부의 경사가 완만하여지고 이후 소단부에 설치된 T.T.P가 이탈하기 시작하여 단면의 안전성에 영향을 주었으나, 그 피해율이 10%미만이어서 크게 우려할 사항은 아닌 것으로 판단되었다. 불규척 파에 대해서는 이상파랑 내습시 약간의 월파가 존

재하나 제체의 배후 이용성을 고려한다면 이 또한 제체의 안전성에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

(2) 보강안에 대한 실험결과 각 안별로 제체의 안정성은 양호하며, 월파량은 보강 1안(육면체블록 75ton)이 크게 나타나고, 향내 전달 파고는 보강 2안(T.T.P 72ton)이 크게 나타났다. 두부구간의 피해단면에 대한 보강안들의 실험결과에서는 피해 단면의 저면 체재폭이 넓고 또한 소단부에서의 쇄파로 인하여 제체의 안정성은 유리한 것으로 나타났으며, 제체 배후로 월파되는 양도 보강 1안에서만 일부 나타나고 그 외의 안에서는 월파량은 존재하지 않아 보강 단면들 모두 안정성이 유지되는 것으로 판단된다.

- (3) 제간부에 대한 실험결과에서는 현재 단면에서는 전면의 피복블록 및 피복석의 피해형상 및 피해율은 두부의 현존 단면과 유사하게 나타나 단면의 안정성에는 무리가 없는 것으로 판단되나, 이상파랑(규칙파:파고 12m이상, 불규칙파:파고10m, 주기 15sec이상) 내습시 발생하는 월파에 의한 제체 배후의 피해는 배후지의 이용성을 고려한다면 이에 대한 보강은 필연적이라 할 수 있다.
- (4) 제간부 구간에서 배후지의 이용성을 고려한 구간별 보강안에 대해서는 재현 단면의 실험결과 정선부근에 피복블록을 일부 보강토록 하여 파고의 감소를 유도하고 마루높이를 높임으로서 배후에 정박되는 선박의 안전을 도모하는 것이 타당하리라 본다. 그러나 실험결과 보강 C구간은 배후지의 이용이 없으므로 경제적인 면을 고려한다면 계획된 단면이 타당할 것이다.
- (5) 제두부 구간에 대한 수리모형 실험은 실질로 3차원적으로 발생하는 파랑변형 현상의 재현이 무엇보다 중요하다. 따라서 회절파의 영향을 충분히 고려할 수 있는 3차원 평면수리모형실험을 추가적으로 수행하여, 제 현상을 동시에 판단할 필요가 있을 것으로 사료된다.

이상의 결론은 실현상에서 발생할 수 있는 평면적인 파랑 변형을 고려할 수 없는 2차원 단면실험의 결

과임으로, 결과의 판단에는 신중을 기할 필요가 있다. 그 이유로는 축소 모형실험에서는 피복재의 크기를 Froude의 상사법칙에 따라 축소하였으므로 단위질량은 실험역에서와 같으며, 재료의 강도도 일반적으로 원형에서와 같게 하므로 록킹이 매우 심하여도 피복재의 파괴는 발생하지 않는다. 즉, 실험역에서 피복재의 파괴로 인한 피해는 실험실에서는 피해로 나타나지 않으며, 이러한 문제점으로 인해 대형 피복재를 사용할 경우 통상의 실험결과에서는 안전성을 실제 이상으로 과도하게 평가할 수 있다. 축소 모형실험 결과에는 안정하다고 판정된 단면이 실험역에서는 매우 큰 피해를 보이는 예가 있는 것은 1차적으로 이런 요인에 의한 것으로 추측된다. 파괴로 인해 중량이 감소된 피복재는 쉽게 제자리를 이탈하게 되며 따라서, 파괴의 직접 원인인 피복재의 심한 회전이나 록킹은 실험실에서 콘크리트 인공 피복재의 안전성을 판단하는 중요한 항목으로 취급하여야 할 것이다. 그 이전까지는 중량이 큰 피복재를 사용함이 바람직한 것으로 판단되며, 특히 평면적인 회절파에 의해 막대한 손상이 야기될 수 있는 제두부구간의 실험결과는 추후 3차원 평면실험결과에 의해 반드시 재검토되어야 할 것이다.

•수리모형실험 사진

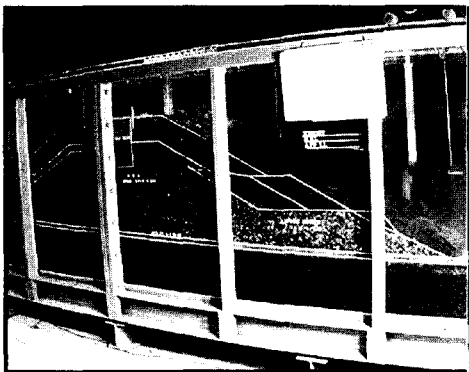


사진 5. 보강3안 실험 단면.

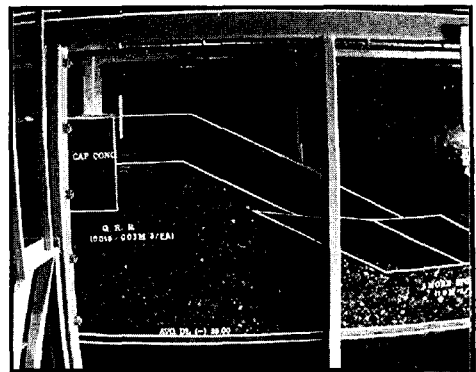


사진 6. 완성 단면.

## 2.2 평면수리모형실험

### 2.2.1 3차원 평면수리모형실험 실시 배경

당초에는 2차원 수조에서의 수리모형 실험으로 방파제 단면을 확정하기로 하였으나 2차원 수조에서는 제두부에 대한 집중파 해결과 회절파에 대한 영향 및 범위, 피해가 가장 많이 예상되는 제두부 평면상의 위치, 피해로 인한 T.T.P와 피복석 또는 기초사석 등이 산재한 피해 잔재의 파도에 의한 이동수심 한계 및 굴착(준설)수심 결정 등 2차원 수조에서 해결되지 않는 부분이 많아, 당초 과업에 포함되지 않은 사항을(주)에인이앤씨에서 부담하여 한국건설기술연구원에 의

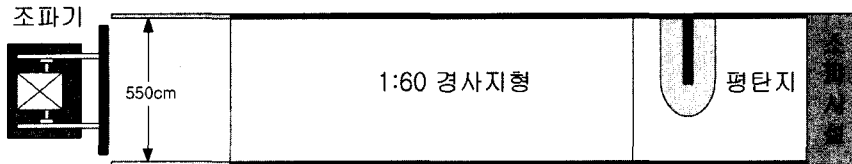
뢰하여 3차원 평면수리모형 실험을 수행하게 되었다. (※ 2차원 수조실험 결과에서도 3차원 평면실험에 의한 재검토를 건의 하였음.)

### 2.2.2 실험시설 및 장비

제두부 수리모형실험은 한국건설기술연구원 옥외 실험장에서 실시하였으며 실험수로의 길이 31.0m, 높이 1.2m로 조파기는 전기서보 피스톤식으로 최대수심 0.9m, 최대파고 0.3m, 주기 0.3~5.0sec의 파를 재현할 수 있으며 일방향 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다.



<단 면 도>



<평 면 도>

Fig. 2. 실험시설장비 설명도.

### 2.2.3 실험파 제원

설계파 및 이상파의 내습시 제두부구간의 안정성을 검토하기 위하여 2차원 수조 모형실험에서 적용한 실험파에 준하여 다음과 같이 실험파를 적용하여 수리모형실험을 수행하였다.

### 2.2.4 안정성 실험 방법 및 분석방법

#### 2.2.4.1 실험방법

- 각각의 실험안에 대해 20분간(원형 2시간 40분에 해당) 조파하여 두부구간의 피복재, 사석 및 상치콘크리트의 안정성을 검토하였다.
- 매회 실험마다 이탈된 피복재 등을 초기 상태로 복구하여 실험을 수행하였다.

Table 2. 실험파 제원

파고( $H_{1/2}$ )	주기( $T_{1/2}$ )	비 고
8.3m (12.97cm)	13sec (1.63sec)	Spectrum
	14sec (1.75sec)	Spectrum
	15sec (1.88sec)	Spectrum
9.0m(14.06cm)	13sec (1.63sec)	Spectrum
	14sec (1.75sec)	Spectrum
	15sec (1.88sec)	$H_{1/2}, T_{1/2}$
10.0m(15.63cm)	13sec (1.63sec)	Spectrum
	14sec (1.75sec)	$H_{1/2}, T_{1/2}$
	15sec (1.88sec)	$H_{1/2}, T_{1/2}$
11.0m(17.19cm)	13sec (1.63sec)	$H_{1/2}, T_{1/2}$

2.2.4.2 분석방법

- 실험결과와 사진과 비디오 촬영결과 및 육안관측 결과를 이용하여 분석하였고
- 매 실험시 20분을 초과한 후 제체에서 이탈한 피복재(T.T.P 및 육면체블록)의 개수를 확인하여 제체를 구성하는 피복재의 전체개수와 비교하여 전체 피해율(%)을 분석하였으며, 두부구간을 여러개의

구역으로 설정하여 각 구역별 피해율을 산정하였다.

- 일정 피해율 이상이 발생한 실험안에 대해서는 집중피해 영역에 대한 수심 및 범위를 도시하였다.

2.2.5 제두부 수리모형 실험안 및 실험결과

Table 3. 제두부 실험안 및 실험결과표

실험안	단면형식	실험내용	실험 CASE	수리모형실험결과
기존상태	제두부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•실제 태풍내습시 피해상황 재현	5	파고의 주기가 작은 경우, 회절에 의하여 주향각 135° 부근에서 T.T.P 이탈 파고와 주기가 증가하면서 제두부 피해 발생
제1-1안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(75ton) 제간부:T.T.P 4층 난적 피복(64ton)	•75ton 육면체블록 제두부구간 안정성 확인 •제간부 안정성 확인 실험	8	파고와 주기가 작은 경우 회절에 의하여 주파향각 135° 부근에서 이탈발생 파고와 주기가 증가하면서 외해쪽 블록 이탈피해
제2-1안	제두부:T.T.P 2층 난적 피복(72ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•72ton T.T.P의 제두부구간 안정성 확인 •제간부 안정성 확인 실험	5	많은 월파량으로 제간부 항내 콘크리트 포장 파손 제두부 안정성 불안
제3-1안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(108ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•108ton 육면체블록 제두부구간 안정성 확인 •육면체블록 하단을 자갈로 피복하여 자체중량에 의한 안정성 확인 실험	8	파고와 주기가 작은 경우 회절에 의하여 주향각 135° 부근 일부 블록 이탈, 계속 증가하면서 월파와 회절의 복합 영향으로 외해쪽과 135° 부근 다량 이탈
제3-2안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(108ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•108ton 육면체블록 제두부구간 안정성 확인 •육면체블록 하단을 사석과 T.T.P로 피복함에 따라 치내림에 대한 제두부의 안정성 확인 실험	5 (LLW)	육면체블록(108ton)하단의 T.T.P(64ton)와 사석이 쇄파의 흐름에 유실되면서 육면체블록이탈, 제두부 중앙과 좌측 외해쪽 보강요망
제3-3안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(108ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•108ton 육면체블록 제두부구간 안정성 확인 •제두부 외해쪽에 소단을 설치하여 치내림에 의한 육면체블록 이탈을 방지하기 위한 실험	5 (HHW) 4 (LLW)	제두부 중앙 좌측 피해 발생 피복깊이 수심은 1.5H가 안전, 주파향각 135° 부근에서 피해발생, 후면보강요
제3-4안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(108ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•108ton의 제두부구간 안정성 확인 •제두부를 -13.5m까지 굴착하여 육면체블록을 거치할 경우 육면체블록 이탈에 대한 제체 안정성 확인 실험	6 (HHW) 6 (LLW)	주파향각135° 에서 이탈, 140° 부근에 퇴적, 제두부 전면과 주파향각 135° 부근 보강요 상치콘크리트 보강시 안전, 다만 월파로 사석 일부 유실
건의안	제두부:육면체블록 2층 난적 피복(108ton) 제간부:T.T.P 2층 난적 피복(64ton)	•108ton의 제두부구간 안정성 확인 •제두부를 -13.5m까지 굴착하여 육면체블록을 거치할 경우 육면체블록 이탈에 대한 제체 안정성 확인 실험	6 (HHW) 6 (LLW)	주파향각 135° 부근 다소 보강, 월파로 인한 콘크리트 하부 사석 일부 유실
피복깊이 산정실험		•제두부에 대해서 피복석인 108ton 육면체블록이 파랑에 의하여 어느 깊이까지 영향을 받는가를 확인하기 위한 실험	64	약 2.0H인 -17.0m까지 피복이 되어야 파의 영향을 받지 않을 것임.

## 2.2.6 제두부 수리모형실험 종합검토 및 주요사항의 결정

### 2.2.6.1 종합검토

- (1) 64ton T.T.P로 피복되어 있는 기존안과 보강안으로 T.T.P 72ton, 육면체 블록 75ton, 108ton등 4가지 형태의 피복재를 사용하여 실험을 수행하였다.
- (2) 기존안의 제두부에 64ton T.T.P를 사용하여 피복한 경우 다소 불안정한 결과를 보였고 2000년도에 내습한 태풍 프라피룬과 마찬가지로 제두부에서 상당량의 피해가 발생하였다.
- (3) 제1-1안의 제두부에 75ton 육면체블록을 사용하여 피복한 경우로 다소 불안정한 결과를 보였고, 육면체블록의 특성상, 육면체블록 상호간의 결속이 없고 자체 중량에 의하여 제체형상을 유지해야하나, 자체 중량부족으로 인하여 2층 난적피복 중 1층이 상당량이 이탈하므로 제체의 안정성에 문제가 있을 것으로 판단된다.
- (4) 제2-1안의 제두부에 72ton T.T.P를 사용하여 피복한 경우로 다소 불안정한 결과를 보였고, T.T.P 상호간의 결속력에 의한 제체의 안정성이 유지되지 못하며, 자체 중량도 부족한 것으로 판단된다.
- (5) 제3-1안은 제두부를 108ton 육면체블록을 사용하여 피복한 경우로 육면체블록 하단을 자갈 및 64ton T.T.P가 섞여 있는 상태로 피복함으로써 파랑의 처내림에 의한 제두부의 피해가 없도록 하고자 하였으며, 자체 중량에 의한 제두부의 안정성을 확인하는 실험안이었다. 그 결과 파고 10m, 주기 15초에서 전체 피해를 14%를 보였으나, 비교적 제두부의 형상은 유지하고 있었다.
- (6) 제3-2안은 제3-1안의 다른 안으로서 육면체블록 하단의 자갈을 사석 및 T.T.P로 치환하여 실제의 피해추정선과 같이 만든 후 육면체블록을 거치함으로써 파랑의 처내림에 의한 제체의 안정성을 확인하는 실험안이며, 결과적으로 기존의 피해추정선인 -7.0m를 기준으로 제두부를 피복할 경우 파의 영향이 바닥까지 미치므로 제체의 안정성에 문제가 있는 것으로 판단된다.
- (7) 제3-3안은 제3-2안에 소단부를 만들어 수행한 실험안으로서 소단부가 설치된 부분은 비교적 안정

적이었으나, 소단부를 제외한 부분에서는 다소의 피해가 발생하였다. 특히, 소단부를 설치할 경우 흐름의 양상이 변하면서 기존의 피해 양상과는 다른 피해가 발생하였다.

- (8) 제3-4안은 제3-3안의 소단부를 제거하고 대신 파의 영향이 바닥수심에 미치지 않는 범위까지 피해추정선을 굴착한 후 108ton 육면체블록을 피복하여 수행한 실험안으로서 타안에 비하여 비교적 안정적인 결과를 보였으나, 여전히 제두부 전면 및 주파각 135° 부근에 대해서는 일부 보강이 필요한 것으로 판단되었고, 특히 피복 깊이가 산정 실험 결과 최소한 약 -17.0m정도까지는 굴착 후 피복석을 거치하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

### 2.2.6.2 주요사항의 결정

3차원 평면수리모형실험을 토대로 설계에 반영할 수 있는 주요사항을 다음 내용과 같이 확인 결정 하였다.

#### (1) 피복블록의 중량 결정

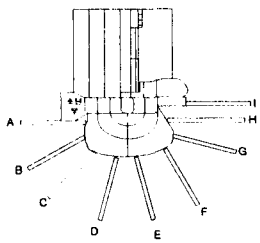
피복블록은 T.T.P 64ton, 72ton과 육면체블록 75ton, 108ton을 사용하여 실험한 결과 입사파각 135° 부근의 일부 보강 방안만 고려한다면 피복블록의 피해율이 3%범위의 108ton급의 육면체블록이 적합한 것으로 판단된다. 즉, 피복블록은 실험 결과에 따라 우리나라에서 최대인 108ton급 육면체블록을 적용하는 것으로 결정하였다.

#### (2) 피해잔해물 굴착깊이 결정

태풍(프라피룬)의 피해로 두부64m가 유실, 붕괴된 구간은 T.T.P 64ton, 중간피복블록(X-block)과 사석 및 피복석 등이 혼재하여 제두부 해저에 산재하여 있어 피복용 108ton급 육면체블록으로 붕괴된 상태 그대로의 상부에 피복할 경우 비탈면 경사가 완만하여 피복량이 많아질 뿐 아니라 완만한 경사로는 항 입구 항로 폭이 확보되지 않아 비탈면 경사 1:2로 굴착하여야 하므로 파력에 의한 안전한 굴착 깊이를 파악하기 위하여 수리모형실험을 수행한 결과 파고 10m, 주기 13sec와 파고 10m, 주기 15sec일 때 약 (-)17.0m(1.7H에 해당)까지 굴착할 필요가 있는 것으로 검토되었다.

Table 4. 굴착깊이 실험결과(수심)

(단위:m)

배열도	구간	$H_{1/3}=8.3m$	$H_{1/3}=8.3m$	$H_{1/3}=9.0m$	$H_{1/3}=9.0m$	$H_{1/3}=10.0m$	$H_{1/3}=10.0m$
		$T_{1/3}=13sec$	$T_{1/3}=15sec$	$T_{1/3}=13sec$	$T_{1/3}=15sec$	$T_{1/3}=13sec$	$T_{1/3}=15sec$
	A	-11.5	-13.0	-13.4	-12.7	-13.1	-13.7
	B	-10.6	-12.2	-11.8	-12.4	-13.1	-14.0
	C	-13.0	-14.3	-15.6	-15.9	-16.9	-16.9
	D	-12.7	-14.3	-16.0	-15.8	-16.0	-16.3
	E	-11.1	-13.2	-15.0	-15.0	-10.8	-16.0
	F	-9.8	-10.5	-10.5	-10.9	-10.9	-14.0

※ 본 실험은 피해추정 수심인 -7m이하에 육면체블록 108ton급을 일렬로 거치한 후 파도의 처내림과 쳐오름으로 인한 영향이 어느 수심까지 미치는지 관측하는 실험임

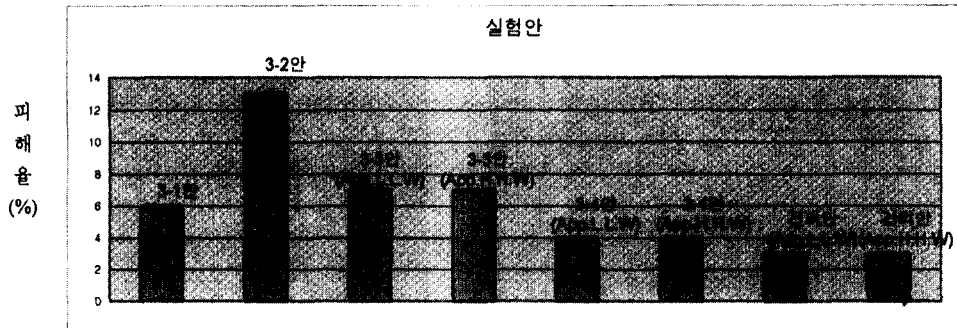


Fig. 3. 각 실험안별 최대피해율의 비교.

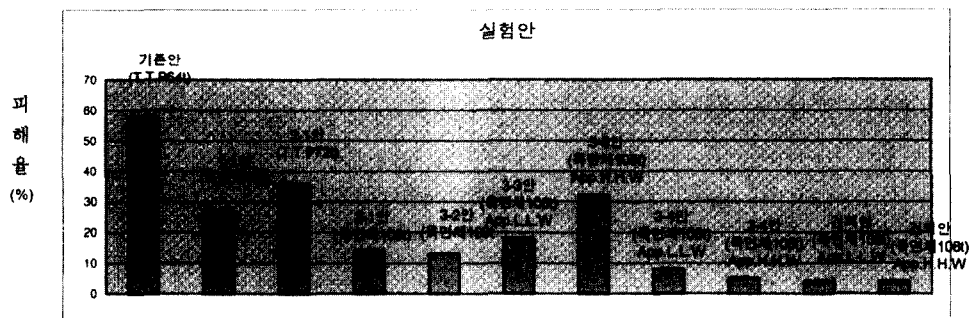


Fig. 4. 108ton 육면체블록의 피복 안별 제두부 피해율 비교도(파고10m, 주기13sec).



• 수리모형 실험 사진



사진 7.  $H_{1/3}=10.0\text{m}$ ,  $T_{1/3}=13\text{sec}$ (약최저저조위 조건).



사진 8.  $H_{1/3}=10.0\text{m}$ ,  $T_{1/3}=15\text{sec}$ (약최저저조위 조건).

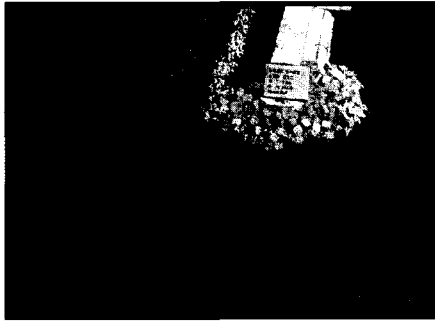


사진 9.  $H_{1/3}=8.3\text{m}$ ,  $T_{1/3}=15\text{sec}$ (약최저저조위 조건).

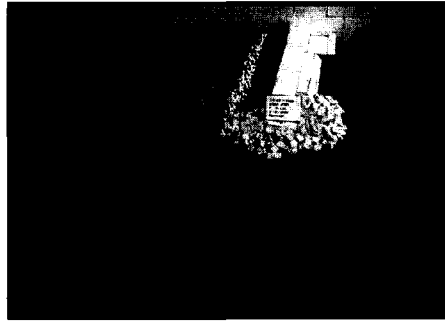


사진 10.  $H_{1/3}=9.0\text{m}$ ,  $T_{1/3}=13\text{sec}$ (약최저저조위 조건).



사진 11.  $H_{1/3}=10.0\text{m}$ ,  $T_{1/3}=13\text{sec}$ (약최고고조위 조건).



사진 12.  $H_{1/3}=10.0\text{m}$ ,  $T_{1/3}=15\text{sec}$ (약최고고조위 조건).

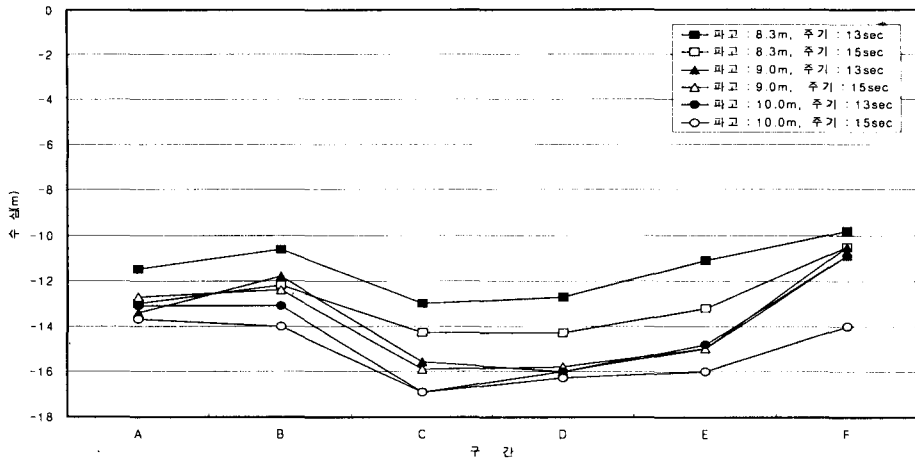


Fig. 5. 굴착깊이 실험결과표.

### 3. 수리모형실험에 의한 설계방향 결정

#### 3.1 설계방향 검토 및 결정

우리나라에 순간최대풍속 58.3m/sec(최대풍속 47.4m/sec, 4시간 지속)의 유래없는 태풍으로 인하여 피복블록으로 사용한 T.T.P 64ton급이 붕괴된 피해를 입은 현장으로 설계파고  $H_{1/2}=8.3m$ ,  $T_{1/2}=13sec$ (50년빈도) 보다 훨씬 큰 10.0~11.0m의 파고로 추정되는 100년 빈도 이상의 파가 강타한 것이다.

피해복구설계에 반영할 사항은 수리모형실험 결과를 최대한 반영하여 안전한 구조, 경제적인 배치 및 시설이 되도록 다음의 내용을 검토하였다.

- 설계파 검토
- 피복블록의 규격 결정(피해율을 고려)
- 항구폭 결정에 따른 제두부 배치계획 조정
- 월파량 및 배면 구조물
- 제두부 보강 방안 검토
- 방파제 마루높이 조정
- 굴착깊이 검토 및 결정
- 피해잔해물 준설(굴착) 계획
- 제간부 단면 검토

#### 3.1.1 설계파 검토

##### 3.1.1.1 기존 심해파 추정

Table 5. 심해파 현황

적용항	파향	파고	재현기간(년)						설정요인
			10	20	30	50	70	100	
소혹산도. 대혹산도	SSE	$H_s$	7.4	8.1	8.5	8.9	9.2	9.4	태풍

※ 자료:해역별(동해, 남해) 심해파추정 보고서 1988. 8, 수산청

#### 3.1.2 태풍 프라피룬에 의한 심해파 추정

- KORDI(한국해양연구소): S 10° E 방향일때의 심해파고 10~11m(해파예보 모형에 의한 파랑 추산치)
- 중앙기상청: 예보파고 10~11m(RE WAM모형에 의한 파랑 예보치)
- 해인연구소+성균관대학교: S 10° E 방향 심해파고 10~11m(WAM Cycle-4 해파모형과 조석해일 + 파랑복합 모형)

#### 3.1.3 설계파 결정

태풍 프라피룬에 의한 파고는 100년 빈도의 초과파로 방파제에 막대한 피해를 입혔으나 이는 최대파에 해당되며 재현기간별 공식적인 심해파 추정자료가 없으므로 설계파는 50년 빈도의  $H_{1/2}=8.3m$ ,  $T_{1/2}=13sec$ 를 그대로 적용하고 수리모형실험에서 여러 가지 조건의 파를 적용하여 구조물 규모 결정을 하는 것으로 하였다. 앞으로 공식자료에 의한 재현기간별 심해파의 수정이 되어야 바람직 하다고 사료된다.

### 3.2 설계반영 내용 검토(수리모형실험 결과에 따른 설계적용 사항 검토)

#### 3.2.1 피복블록의 규격결정

##### 3.2.1.1 피해 위치 및 피해율 검토

기존 단면의 피복블록은 T.T.P 64ton이었으나 태풍 프라피룬에 의하여 제두부 64m가 유실되는 피해를 입었으므로 제간부는 수리모형실험 결과 T.T.P 64ton 기존단면을 보강하는 것으로 하고 제두부는 수리모형실험결과에 의한 피해율 등을 고려할 때 육면체블록 108ton급이 피해율 5~6%에 해당하므로 피해 복구용 피복블록으로 육면체블록 108ton급을 결정하였다. 이로서 국내에서는 현재까지 사용했던 피복블록중 최대

중량을 사용하게 된 것이다.

##### 3.2.1.3 중간 피복용 블록

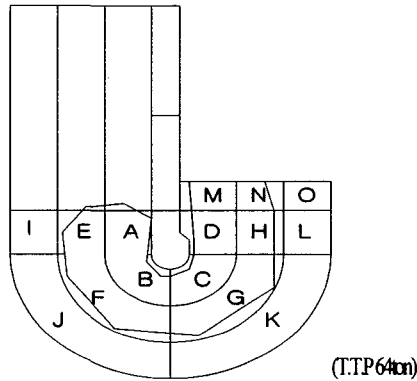
제두부의 중간 피복용 블록은 피복용 블록이 108ton급을 사용하게 되므로 약 1/10에 해당되는 Tribar 10ton급을 사용하기로 결정하였다.

##### 3.2.2 항구폭 결정에 따른 제두부 배치계획 조정

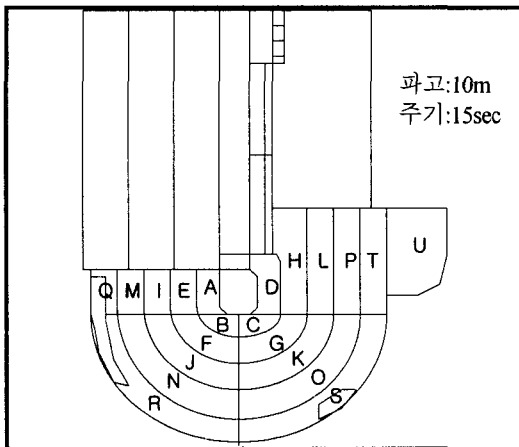
항구의 선박 입·출항은 항입구를 돌면서 입출항하고 있기 때문에 어민들이 개구폭 확대를 수차 건의하여 온 실정을 감안, 항구폭을 결정하는 것으로 하고 이에 따라 방파제 제두부 위치를 조정하게 되었다.

항 입구는 제두부의 태풍시 유실로 피해잔해가 제두부 부근 해저에 확산되어 있으므로 이를 감안하여 항구 및 항로폭을 조정하였다.

(1) 기존안 구역도와 주피해 영역  
피해율 : 59%



(2) 건의안 구역도와 주피해 영역(약최저저조위)  
피해율 : 6%



(3) 건의안 구역도와 주피해 영역(약최고고조위)  
피해율 : 5%

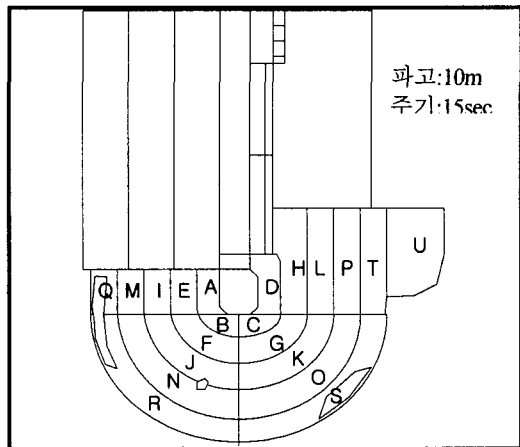


Fig. 6. 피해위치 및 영역도.

### 3.2.2.1 대상선박

Table 6. 대상선박 제원표

구분	표준선형			비고
	선장(L)	선폭(B)	만재흘수	
어선 50G/T급	23.0	5.0	1.8	자료:항만 및 어항설계기준
여객선 321G/T급	38.0	10.0	3.3	자료:현지조사

### 3.2.2.2 항로폭

항만 및 어항 설계 기준서에서 규정한 항로폭은 다음과 같다. 여기서, B는 대상선박의 폭이다.

Table 7. 항로폭

항로의 위치	항로폭	비고
외해에서 외항으로 들어오는 항로	6B~8B	
외항에서 내항으로 들어오는 항로	5B~6B	

### 3.2.2.3 항로폭 산정 및 항로폭 채택

Table 8. 항로폭 채택(안)

어선(50G/T급) 편도 항로폭	여객선(321G/T) 편도 항로폭	합계	채택
3B~4B = 15~20m	5B~6B	45~60m	50.0m

### 3.2.2.4 항로폭 50m 결정으로 인한 제두부 평면 계획 조정

항로폭을 50m로 결정할 경우 방파제 제두부 끝은 항로평면 계획을 보면 피해복구 제두부 연장이 25m로 전체 방파제 연장은 당초 500m에서 480m로 조정된다,

### 3.2.3 제두부 구체 보강 방안 검토

#### 3.2.3.1 제두부 구체의 보강 방안

당초 시공 완성된 상치콘크리트는 단체(單位)로 시공되었던 것이 태풍 프라피룬의 강타로 T.T.P 64ton급 피복블록이 일부 파손, 유실되고 상치콘크리트에 파력이 작용하면서 기초 사석이 유실되어 상치콘크리트가 붕괴되었기 때문에 제두부의 구체를 보강할 필요성이 대두되어 일부 기초사석을 굴착하여 구체바닥을 (-)4.0m에서 (+)4.7m까지는 Cell block으로 제작하여 거치한 후 콘크리트로 채움을 하고 그 위에 (+)10.0m의 마루높이까지 상치콘크리트를 쳐서 제두부 구체를 보강하는 것으로 계획하였다.

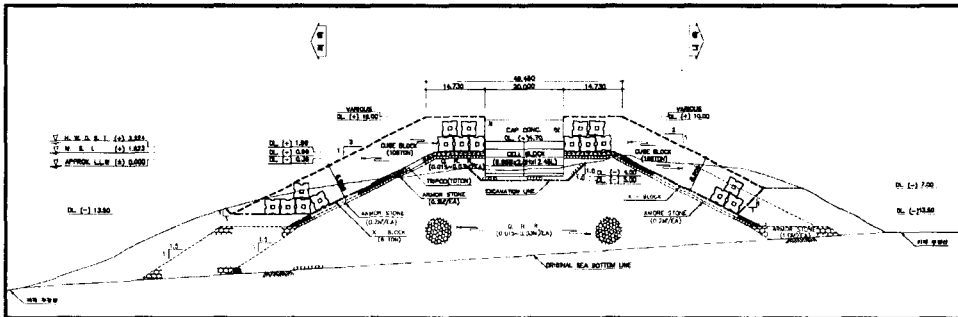


Fig. 7. 제두부(구체) 보강 단면도.

### 3.2.3.2 제두부 및 항 입구 배면(제간부 C구간 : 136m) 구조물의 보강

제두부나 제간부는 큰 파도가 월파하면서 배면 구조물(포장, 상치콘크리트 등)을 강타하여 파손되기도 하고 배면 구조물의 기초사석이 유실되는 등 피해가 일어나고 있어 항 입구부의 배면 구조물의 보강을 요하게 된다. 제두부와 제간부 C구간(항입구측에서 136m구간)은 배면에 선박이 계류나 정박을 하지 않기

때문에 방파제 마루높이는 (+)10.0m로 당초와 같이 시공하고 다만, 월파에 의한 배면 구조물의 보호를 위하여 약 12.0m폭의 콘크리트 포장로를 시설하되 경사면 일부를 굴착하여 콘크리트 블록을 거치하고 콘크리트 포장은 두께 1.0m에 보강 철근을 배근하였고 위험 방지를 위하여 난간을 시설하기로 계획하였다.

### 3.2.4 방파제 마루높이 조정

제두부에서의 피해는 파고에 의한 T.T.P의 다리 손상, 파손 및 절손으로 중량이 감소되면서 유실이 시작되었다고 보아지며 방파제 배면부는 월파에 의한 파력의 작용으로 배면부 상치콘크리트 파손과 배면부 X-block 및 기초사석의 파괴가 전체 체체를 붕괴로 이어간 것이라 보아질 때 월파로 인한 파손의 위력이 대단했던 것임을 짐작할 수 있고 방파제 배면부 또는 배후가 박지일 때에는 선박의 피해로 이어지므로 수리모형실험결과에서 이를 검토하였으며 방파제 단면의 보강과 배면부를 물양장으로 사용하기로 계획하여 제두부를 제외한 배면부 물양장 구간은 마루높이를 현재 (+)10.0m에서 (+)12.0m로 조정하기로 하고 배면부 상치콘크리트(상부 포장두께)는 두께를 1m로 하고 월파로 인한 파손 및 균열을 방지하기 위하여 철근을 보강하기로 계획하였다.

수리모형실험에 의하면 마루높이를 (+)12.0m로 할 경우 한때 전달 파고가 0.6m이하로 나타나고 약 80%의 전달파고 감소효과가 있었다.

### 3.2.5 수리모형실험에 의한 굴착심도 결정

제두부에 집중되는 파에 대한 육면체블록 108ton급의 기초사석부가 영향을 받는 깊이를 수리모형실험에 의하여 검증한 결과 파고 10.0m, 주기 13sec와 파고 10.0m, 주기 15sec에서 수심 약 (-)17.0m(1.7H < 2.0H)까지 피복을 하는 것이 바람직한 것으로 결과가 도출 되었다.

굴착심도 역시 (-)17.0m로 하고 그 상부에 피복용 블록을 거치하여야 하므로 굴착심도에 따른 굴착량의 증감에 따라 공사비는 물론 공사기간에 절대적인 영향이 미치므로 굴착심도를 결정하기 위하여 건의안으로 다시 수리모형실험을 실시하게 되었으며, 건의안에서는 수심(-)13.5m까지 굴착하고 육면체블록 108ton급을 거치한 안정실험을 실시한 것이다. 그 결과 약최저저조 위일 때 파고 10.0m, 주기 13sec일 때 피해율이 4%, 파고 10.0m, 주기 15sec일 때 피해율 6%로 비교적 안정적이었으나 외해쪽 제두부 전면이나 주파향 각 135° 부근에 대해서는 동등조건 또는 동등이상의 파가 내습하였을 경우 일부 피해가 예상되고 피해부분에 대하여서는 향후 지속적인 보강을 하는 것이 바람직한 것으로 결론을 짓고 굴착심도는 수심(-)13.5m로 결정을 하였다. (Ⅲ. 3차원 평면수리모형실험 내용 참조)

### 3.2.6 피해잔해물 굴착(준설)계획 및 실적

태풍 프라피룬으로 인한 피해는 준공된 제두부 64m의 유실을 가져왔으며 이로 인한 피해 잔해물인 사석, 피복석 및 T.T.P 64ton의 잔해와 X-block 및 상치콘크리트 등이 혼재하여 제두부 반경 약 150m 해저구간으로

확산, 분산되었다.

피해 잔해물, 특히 64ton급 T.T.P가 혼재한 잔해물의 굴착에 대하여서는 시공 실적이 없고, 그 상태로 두는 피해복구가 되지 않기 때문에 피해 잔해물 굴착을 공기와 공사기간, 공사비 등을 분석하여 효과적인 최소화 방안을 검토하게 되었고, 수리모형실험을 통하여 최대 굴착 깊이를 (-)13.5m로 결정하게 되었다.

#### 3.2.6.1 시험준설

T.T.P 64ton이 혼재한 피해 잔해물의 굴착(준설)에 대한 실적이 없고 일본 등의 실적을 참고하고 싶지만 이 역시 실적이 없기 때문에 T.T.P가 혼재한 잔해물의 준설 및 능력을 파악하고, 굴착할 수 있는지 등 우선 가능성 여부에 대하여 시험준설을 하기로 하였다.

투입 준설선은 초대형 그레브 준설선으로 그레브버킷 16m<sup>2</sup>급과 50ton급 쇄암봉을 장착할 수 있는 준설과 쇄암 겸용인 은진 G-18호를 시험준설 장비로 선정하였다.

(1) 시험준설 기간 : 2001. 4. 12~2001. 4. 13(12일간)

(2) 위치 : 외항측 No.46~No.49(30m구간)

(3) 일자별 작업내용

12일간의 준설작업시간은 52시간이며 준설투기량 기준으로 했을 때 1,850m<sup>3</sup>을 준설한 것이 되며 작업 능력은  $1,850 \div 52 \approx 35.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ 으로 분석되었고 피해 잔해물의 혼재로 쇄암시간이 70시간이 소요되어 준설시간 52시간의 약 1.35배가 쇄암시간으로 소요되어 피해 잔해물의 준설의 난이도를 실감케 하였으며 일단 피해 잔해물의 준설 가능성은 확인이 되었다. 일별 작업 집계표 다음과 같다.

#### 3.2.6.2 준설(굴착)계획

(1) 준설량

준설량을 최소화 하기 위하여 굴착깊이는 건의안의 수리모형실험에 따라 (-)13.5m로 하고 준설(굴착)량을 계산해 보면

T.T.P 및 사석(제거)	: 36,058m <sup>3</sup> (쇄암 50%적용)
사석 및 피복석(유용)	: 27,204m <sup>3</sup>
계	63,262m <sup>3</sup>

(2) 준설공기 검토

① 쇄암작업 :

$$36,058 \text{ m}^3 \times 50\% \div 140.2 \text{ m}^3/\text{hr} \times 10 \text{ hr/day} \times 16.3 \text{ day/month} \approx 2.75 \approx 3 \text{ 개월}$$

② 준설작업 :

i) 잔해물 :

$$36,056 \text{ m}^3 \div (99.68 \text{ m}^3/\text{hr} \times 10 \text{ hr/day} \times 16.3 \text{ day/month}) \approx 2.2 \text{ 개월}$$

ii) 사 석 :

$$27.204\text{m}^3 \div (229.38\text{m}^3/\text{hr} \times 10\text{hr}/\text{day} \times 16.3\text{day}/\text{month}) \approx 0.7\text{개월}$$

계획공기는 쇄암작업 3개월(별도장비)와 준설 3개월이 추정되어 5개월 공기로 계획하였으나 작업위치가 외해에 면해 있으며 태풍기에는 작업이 되지 않는 점을 고려하여야 한다. 상기한 준설능력은 현행 품셈에서 규정한 조건에서 나쁜경우의 계수를 적용하였으나 유사 실적이 없고, 단기간의 시험 준설 결과를 그대로 반영할 수 없기 때문에 품셈에서 규정한 작업

능력을 적용하여 준설 공기를 검토한 것이다.

### 3.2.6.3 준설 실적

시험준설에 의하여 4월 2일부터 4월 13일 까지의 준설 가능성을 확인하고 준설을하기로 결정하였으며 태풍기에 대비 준설 장비를 현장에서 철수하기까지의 6월 18일 까지 78일간 작업한 작업 현황을 요약하면 다음과 같다.

Table 9. 일자별 작업 집계표

(단위:hr)

구 분	작업시간		앵커설치 장비투입	정비 수리	항내 대기	비고	준설량(m <sup>3</sup> ) (준설토투기량)
	쇄암	준설					
4월 2일	-	-	-	11	6		
4월 3일	5	-	12	-	7		
4월 4일	24	-	-	-	-		
4월 5일	15	1	-	8	-		
4월 6일	-	-	-	24	-		
4월 7일	-	-	-	24	-		
4월 8일	-	6	3	-	18		
4월 9일	-	4	-	-	17		
4월 10일	-	9	-	-	15		
4월 11일	17	-	-	-	7		
4월 12일	9	15	-	-	-		800
4월 13일	-	17	-	-	-		800+250
총 계	70	52	15	67	70		1,850

Table 10. 준설작업 집계표

일 자	작업시간(시간)		해상투하		사석유용		계
	쇄암	준설	2000P	1500P	2000P	1500P	
4월2일~6월18일 (78일)	400	627	1,700m <sup>3</sup>	9,250m <sup>3</sup>	4,500m <sup>3</sup>	3,850m <sup>3</sup>	34,600m <sup>3</sup>

평균 작업 능력 : 34,600m<sup>3</sup> ÷ 627hr ≈ 55.2m<sup>3</sup>/hr

설계계산 작업 능력은 현행 품셈상 가능한 능력을 계산하면 잔해물 제거 : 99.68m<sup>3</sup>/hr, 사석준설 : 229.38m<sup>3</sup>/hr로 계산되어 실제작업 능력 평균값이 55.2m<sup>3</sup>/hr에 불과하여 현실적으로 잔해물 준설의 능력과 단가, 공기산정과의 차이가 많음을 보여주고 있다. 태풍기에

는 준설이 불가능하고 준설장비의 대피가 되지 않아 일단 철수하여 2001. 6. 19~2001. 11. 18까지 대피시키고 2001년 11월 19일자로 재투입하여 전체계획 준설이 완공된 것이 2002년 4월 12일이며 전체분에 대한 준설 실적을 보면 Table 11.과 같다.

Table 11. 전체준설 총괄표

일 자	작업시간(시간)		해상투하		사석유용		계
	쇄암	준설	2000P	1500P	2000P	1500P	
2001. 4. 2 ~ 2002. 4. 12	735	1,615	24,978m <sup>3</sup>	14,820m <sup>3</sup>	11,150m <sup>3</sup>	14,150m <sup>3</sup>	65,098m <sup>3</sup>

전체 평균작업능력 :

$$65,098\text{m}^3 \div 1,615\text{hr} = 40.3\text{m}^3/\text{hr}$$

쇄암시간(준설시간의 %) : 45.5%

공사기간 1차 : 2001. 4. 2 ~ 2001. 6. 18 (78일)

2차 : 2001.11.19 ~ 2002. 4. 12 (152일)

계 230일

T.T.P.잔해, 피복석, X-Block, 상치콘크리트 등의 태풍에 의하여 파손된 잔해의 준설은 쇄암을 겸하여 준설을 하였으며 현행 품셈에 의하여 산출한 능률에 비하면 실능력/계획능력 = 40.3/99.68m<sup>3</sup>/hr = 40% 정도의 능률에 그쳤고 공사기간도 계획공기가 약 3개월인데 7.3개월로서 실제 공사기간의 약 40.0% 정도만 계산되었다.

### 3.2.7 제간부의 피해 검토

전체 방파제 길이 480m(기부 15.3m제외)중에서 제두부 25m를 제외한 455m가 제간부에 해당된다. 방파제의 단면을 보강하고 배면부 활용을 고려하여 A구간(200m:기부 15.3m제외), B구간(119m), C구간(136m)로 구분하였으며 제두부측 C구간을 제외한 A구간과 B구간은 배면부 물양장을 시설하여 방파제의 단면을 보강하고 배면 수면적을 계류시설로 활용하는 것으로 계획하였다.

#### 3.2.7.1 제간부의 피해 현황

제간부는 거의가 T.T.P 64ton급으로 피복되어 있으나 그간 여러차례 태풍으로 인한 고파랑이 외항측의 H.W.L(고조위)와 L.W.L(저조위) 사이에서 가장 많은 피해를 입었으며 경사부분에 파손, 이탈, 침하 등의 현상이 나타나 있고 사면기초부의 일부 유실 등으로 하단 기초사면부의 보강과 T.T.P보수 조치를 취하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

#### 3.2.7.2 수리모형 실험 결과

제간부는 T.T.P 64ton의 현 상태에서 수리모형실험 결과 그대로 유지되는 것으로 검증되었으나 일부 월파가 있고 그간의 태풍에 의한 피해 부분을 보수, 보강하는 것이 바람직한 것으로 검토되었다. 제간부 전체 단면을 T.T.P 64ton으로 재 피복하는 것이 최상의 보강방법이겠으나 예산이 너무 소요되어 앞으로의 태풍 등 피해발생시 보강하는 방안으로 건의하였다. (II.4 단면수리모형 실험 참조)

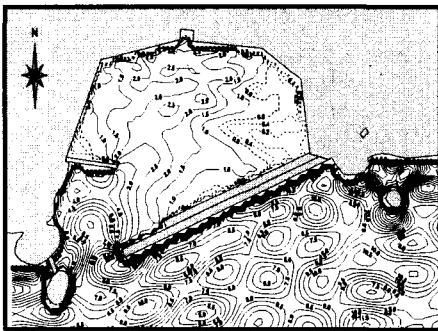
#### 3.2.7.3 제간부 보강 계획

제간부의 수리모형실험 결과를 토대로 보강 계획을 수립하면 마루높이가 기존 (+)10.0m로 되어 있어 고파랑일 때 월파가 되어 월파로 인한 배면부가 파손이 되므로 배면부의 보강을 요하며 보강계획으로 A구간과 B구간을 계류시설인 물양장으로 활용할 계획이며, B구간은 여객선용 물양장(L=70m, 수심(-)4.0m), A구간은 물양장(L=211m, 수심(-)3.0m)으로 계획하고 포장용 상치콘크리트는 두께 1.0m에 철근을 배근하여 고파랑의 월파에 견디도록 하고 설계파(H<sub>1/2</sub>=8.3m)에 대한 월파 방지를 위하여 방파제 마루높이는 당초 (+)10.0m에서 (+)12.0m로 2.0m증고 하기로 하였다.

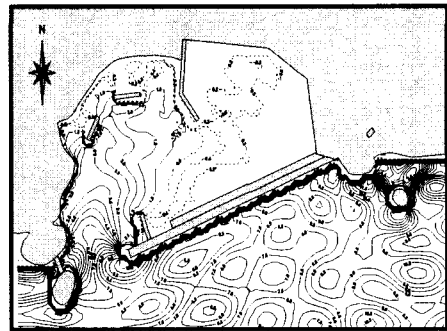
C구간은 제두부에 가깝고 회절파의 작용을 고려하여 배면부를 활용하지 않는 것으로 계획하여 마루높이는 (+)10.0m 그대로 두고 배면부 월파에 대한 피해 방지 시설로 사면부를 콘크리트 블록으로 밀받침하고 상부 콘크리트 포장면은 두께 1.0m의 철근 콘크리트 포장으로 계획하였다.

### 3.3 평면배치 계획 재검토

태풍 프라피룬에 의하여 완공된 제두부의 64m붕괴, 유실로 인하여 붕괴, 유실된 피해 잔해물이 항내 제두부 지름 150m범위의 해저에 확산되어 주민건물에 따른 항로폭 유지를 고려한 결과 제두부 25m만 피해 복구하게 되어 항입구가 당초보다 짧고 넓어지기 때문에 설계파 H<sub>1/2</sub>=8.3m에 대한 항내 정온도를 수리모형 실험으로 실시한 결과 평면 배치가 달라졌으며 기왕 배치계획을 재검토하는 과정에서 방사제 이동배치가 불가피 하게 되었고 선양장의 시설을 고려하고, 물양장 선형을 조정하여 새로운 평면 계획을 수립하게 되었다. 주민들의 의견수렴을 고려한 평면계획을 재검토한 결과는 다음의 평면배치 계획도와 같다.



기존안



채택안

Fig. 8. 당초안 및 채택안의 항내정온도 수리모형실험 결과.

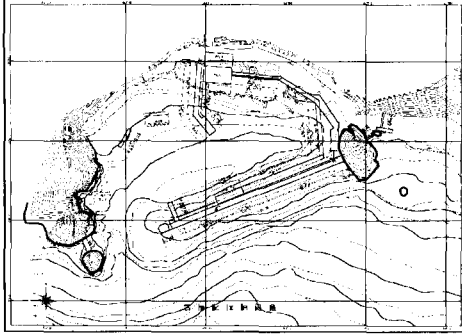


Fig. 9. 채택 건의된 배치계획 평면도.



Fig. 10. 위치도.

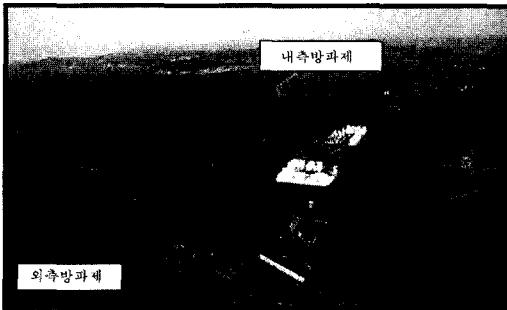


사진 13. 방파제 전경 사진

#### 4. 외국사례

##### 4.1 개요

육면체블록을 시공한 사례가 있는 항은 유럽중 북대서양에 면해 있는 항만의 방파제공사에서 그 사례를 찾을 수 있다.

소혹산도항의 조건과 유사한 현장이 스페인의 빌바오(Bilbao)항일 것이다. 빌바오항은 프랑스와 스페인이 이루는 비스케이만(Biscay)내에 위치하며 네르비온강 하구에 자리잡고 있으며 만 연안에 공업지역이 형성되어 철강, 금속공업 외에 조선, 화학, 정유공업 등이 발달되고 있다.

##### 4.2 공사 개요

방파제 시설 현황을 보면 외측방파제 2,500m, 내측방파제가 3,500m 축조되어 있다.

##### 4.2.1 시공개요

- 1970 - 1975 : 외측방파제 시공(피복재 : 65ton급 CUBE Block)
- 1976 : 외측방파제 태풍피해 발생
- 1980 - 1985 : 피해복구 및 보강공사(150ton급 CUBE Block)
- 1992 - 1998 : 내측방파제 시공(100ton급)

##### 4.2.2 설계개요

구 분	외측방파제	내측방파제	비고
설계파고	18m	12m	
주파향	NW	NW	
설계조위	H.W.L DL. (+4.50m)	H.W.L DL. (+4.50m)	
마루높이	DL.(+)21.00m	DL.(+)18.00m	
전면피복재	CUBE 150ton	CUBE 100ton	
공극율	45%	45%	

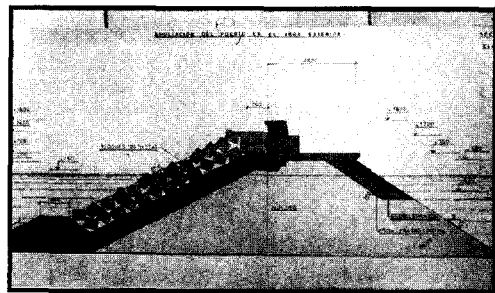


Fig. 11. 표준단면도



#### 4.3 시공현황

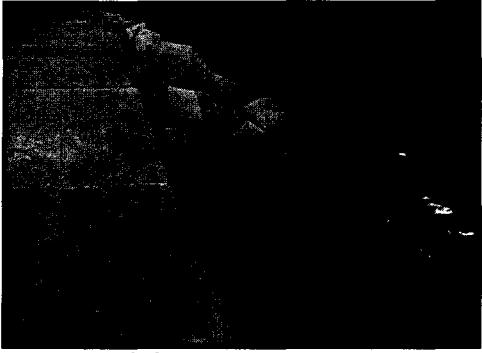


사진 14. 내측방파제 현황.

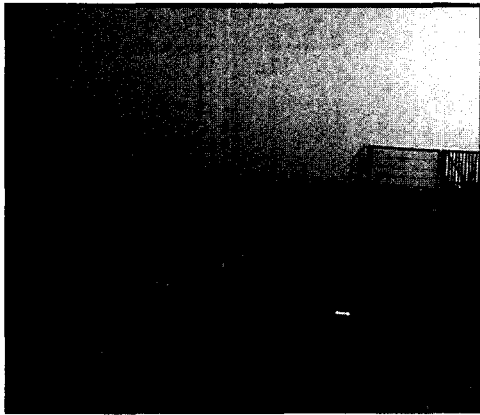
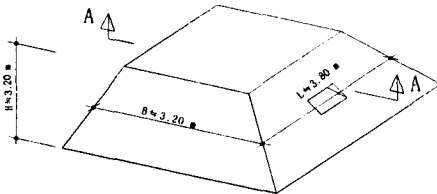
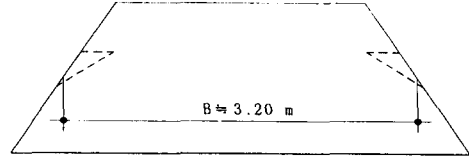


사진 15. 외측방파제 시공현황.

#### 4.4 사용블록의 모형도



모형도.



A-A단면도

Fig. 12. 사용블록의 모형도(100ton급 CUBE Block)

#### 4.5 제작, 거치 요약

거푸집을 일체로 제작하고 거푸집 해체가 용이하도록 사다리꼴 모양으로 밑폭이 약간 넓게 하였으며 블록의 돌고리시설은 하지 않고 Fig. 12.의 블록모양과 같이 측면에 홈을 파서 들수 있도록 제작하였다. 150ton급 블록을 들기위한 특수장비로 450ton급 링가크레인을 특수 제작하여 방파제 상부에 이동레일을 부설하여 육상에서 난적 거치를 하였다.

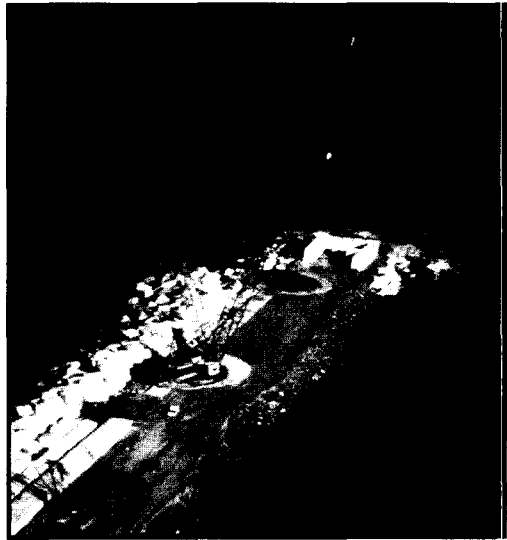


사진 16. 링가크레인에 의한 거치 장면.



사진 17. 다리가 없는 T.T.P.

## 5. 결론 및 건의

T.T.P가 급세기의 최대 걸작이라 하더라도 높은 파고에는 다리가 부러지는 등 상처를 입게되어 자연의 위력을 감당하기에는 역부족인지도 모른다. T.T.P 64ton이 다리가 부러지고 허리가 잘린 채 제두부의 위에 앙증스럽게 올라 앉은 모습을 본다. 이것이 태풍이 활고간 상흔(傷痕)이라 할까?

그래서 피해를 입은 소흑산도에는 다리가 없는 육면체블록을 수리모형실험을 통하여 설계하게 되었다. 프라피룬이 다시 오더라도 방파제는 그대로 낫낫이 견뎌야 하기 때문이다.

수리모형실험에서 단면실험으로는 부족하여 3차원 평면실험까지 수십가지 경우를 실험한 결과 다음의 몇가지 사항을 확인하게 되었다.

- 피해가 가장 많은 평면 방향: 직각파로 입사할 때 전면부와 주향각 135° 부근
- 파도에 의한 피해 잔해 및 하부 기초의 영향을 받는 수심: (-)17.0m(1.7H < 2.0H). 급변 수리모형실험 결과임.
- 소파피복 블록의 규격: 육면체블록 108ton급

등이다. 이들을 종합하여 수리모형 실험결과 피해를 5~6%로써 피해 잔해의 준설공기, 공사비, 능률 등을 검토하여 (-)13.5m로 하고 태풍피해가 발생할 경우 보강, 보수를 하는 방안으로 결론을 짓고 소흑산도항의 프라피룬에 의한 태풍피해 복구의 실시설계를 시행하였다.

피해복구 설계는 수리모형실험을 토대로 결론을 얻었기 때문에 현장과의 부합여부에 관심이 쏠릴 것이다. 항만설계에서 미지의 사항은 수리모형 실험을 통하도록 항만 및 어항설계 기준에 명시하였기 때문에 수리모형실험을 거쳐 여건을 정하는 것이 현재까지는 최상의 방침이라 할 수 있다.

앞으로 방파제 두부의 설계에서는 가능하면 수리모형실험에 의하여 검토하고 설계를 할 필요가 있음을 건의한다.

피해 잔해물의 준설은 시험준설을 통하여 가능성만 확인하였고 약 7개월 여 장기간 준설한 실능률은 설계의 약 40%라는 결과를 보면 현재 주어진 품셈 능력과 현저한 차이가 있다는 것을 확인하게 되었다. 공기에서도 계획공기가 3개월인데 실제공기는 7.3개월이 소요되었고 채암봉에 의한 채암시간이 준설시간의 45.5%를 점하여 계획 50%에 육박하였음도 확인되었으며, 앞으로 유사한 현장에서의 준설능률에 참작하여 설계할 것을 건의한다.

## 참고문헌

- 건설기술연구원, 2001. 방파제 두부 평면 수리모형실험 보고서.  
명지대학교, 2001. 방파제 단면 수리모형실험 보고서.  
목포지방해양수산청, 2001. 소흑산도항 태풍피해복구 계획 및 기타시설 설계용역 보고서.  
소흑산도 현장 감리단, 2002. 준설작업일보.  
해양수산청, 1996. 어항구조물 설계기준.  
해양수산청, 1999. 항만 및 어항 설계기준(상·하).  
해양수산청, 1999. 어항구조물 설계기준.  
해양수산청, 1999. 어항공사시공관리요령.  
(주)헤인이엔씨, 2002. 소흑산도항 피해복구 공사에 따른 해외출장 보고서.