

소흑산도항 방파제의 피복재 안정성 검토

○ 조휴상¹⁾, 박성욱²⁾, 편종근³⁾, 김규한⁴⁾

1. 서론

우리나라의 “항만 및 어항 설계 기준”(해양수산부, 1999)에 제시되어 있는 방파제의 구조형식은 경사제, 직립제, 혼성제, 소파블럭제, 기타 형식 방파제등으로 구분되며, 이중 국내에 시공되어 있는 방파제의 약 80%이상이 경사제의 구조형식으로서 우리나라 방파제의 주요 형식으로서 자리잡고 있다. 경사제는 돌이나 콘크리트 블럭을 사다리꼴 형상으로 쌓아올린 것으로서 주로 사면에서의 쇄파에 의해서 파 에너지를 감소시키는 형식이어서 방파제의 효과면에서는 탁월하나, 피복블럭의 대형화에 따른 피복블럭 자체의 강도 문제와 수심이 깊거나 지반이 연약한 경우의 구조물의 설치비의 기하학적 증가등 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 본 연구의 대상이 되는 소흑산도항은 전라남도 신안군 흑산면 가거도리에 위치하고 있으며, 방파제 형식은 전형적인 경사제로서 1979년 개발에 착수하여 현재 외곽시설이 완료된 상황이다. 그러나, 2000년 8월 31일 내습한 강력한 태풍 Prapiroon으로 인하여 완공된 방파제가 큰 피해를 입어 방파제의 두부 64m가 유실되고, 제간부 436m구간의 배면 및 전후면의 피복재가 유실되었다. 당시 흑산도 관측소의 기록으로는 Prapiroon태풍 내습시 순간최대풍속은 58.3m/s였으며, 최대풍속은 47.4m/s 이었다. 소흑산도항 방파제의 설계파고는 $H=8.3m$, $T=13.0sec$ 로 설계되어 있었으며, 본 지역의 내습파랑을 검토하기 위하여 WAM모형으로 소흑산도에 내습한 파랑을 재추정한 결과 $H=11.0m$, $T=15.0sec$ 로 나타났으며, 이는 재현기간 100년 이상을 초과하는 이상파랑으로 나타났다.

현장조사 결과 현장에서 사용된 T.T.P(64ton급)는 앞서 언급한 고파랑에 의하여 T.T.P의 다리부분이 회전이나 상호충돌(Rocking)등의 기타요인으로 잘려나가 중량이 감소하고 T.T.P 상호간의 결속력이 떨어져서 연쇄적으로 제체의 전체적인 붕괴를 유발하게 된 것으로 판단되어, T.T.P와는 달리 피복재 자체 형상을 보다 단순화한 구조형식의 피복재가 요구된다.

따라서, 본 실험에서는 2차원 단면 수리 모형실험을 통하여 중량을 달리한 기존의 T.T.P 2종류와 기하학적 형상을 단순화시켜 중량을 달리한 Modified Cube 2종류에 대한 수리학적 검토를 수행하였다.

¹⁾ 명지대학교 토목공학과 박사과정

²⁾ 명지대학교 토목공학과 석사과정

³⁾ 명지대학교 SOC공학부 교수

⁴⁾ 관동대학교 건설환경시스템 공학부 교수

2. 2차원 단면 수리모형 실험

2.1 실험시설

본 실험에 사용된 2차원 단면 조파 수조는 폭(B) 0.7m, 높이(H) 1.5m, 길이(L) 30m로 조파부 3m를 제외한 27m구역의 양면이 강화유리로 제작되어 있어 실험단면 뿐 아니라 입사파랑의 전반적인 경향에 대하여 관측할 수 있도록 설계되어 있으며, 본 설비는 Goda의 입반사 분리법에 기초한 반사파 제어기능이 내장되어, 반사파를 수조자체에서 제어하면서 실험수행이 가능하며, 조파기 형태는 피스톤형이며, 구동 방식은 전기식이고, 발생파랑주기는 0.1~3.0sec, 발생최대파고는 30cm이다.

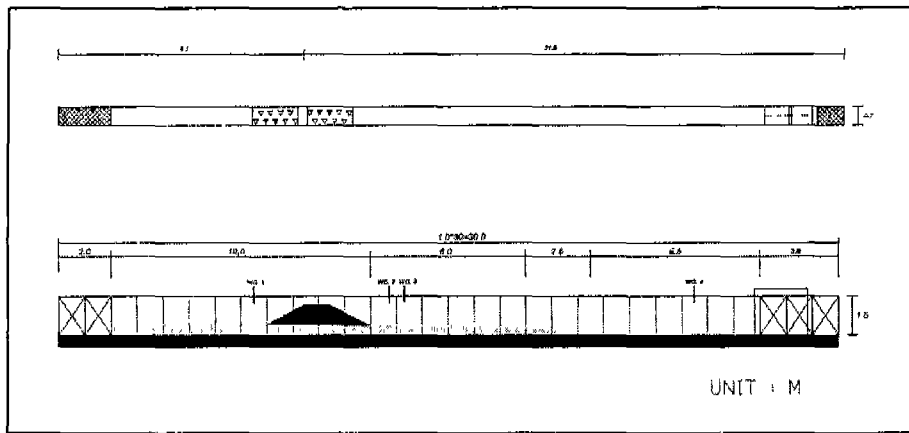


그림 1 2차원 단면 조파 수조

2.2 모형의 축척

파랑에 관한 수리모형실험에서 물의 점성과 표면장력은 보통 중요한 역할을 하지 않고, 관성력과 중력이 지배적으로 남게 되며, 이 경우에 대한 축척은 Froude 상사법칙으로서 시간과 속도의 축척이 길이축척의 제곱근과 같아야 한다는 것을 의미한다. 원형과 모형간의 관성력과 중력의 비가 같아야 한다는 개념에서 Froude법칙은 다음과 같이 유도된다.

$$V_r = \frac{V_p}{V_m} = \sqrt{g_r \cdot L_r}, \quad t = L_r / V_r = \sqrt{L_r / g_r}$$

여기서, V 는 속도, g 는 중력가속도, L 은 길이, t 는 시간, 첨자 p , m 은 원형, 모형을 나타내고 r 은 그 비를 나타내며, 원형과 모형간의 중력가속도비 $g_r=1$ 이므로 시간축척은 길이 축척의 제곱근과 같다는 결론이 나온다. 그리고 힘은 질량과 가속도의 곱이고, 원형과 모형에서의 중력가속도는 동일하므로 파력과 구조물의 무게에 대한 축척은 질량비, 즉 $(L_r)^3$ 과 같게 된다. 이상의 상사법칙과 실험 시설의 용량을 고려하여 실험의 축척은 1/49로 설정하였으며, 피복재 및 상치 콘크리트의 중량은 내부에 납을 넣어 맞추었고, 모형의 크기 및 중량은 목표치의 5%이내에 들도록 하였다. 쇄석 및 피복석은 적정중량으로 선별하였다. 실험은 피해를 입은 기존단면(T.T.P 64ton급)과 보강단면안 3개안에 대하여 실시하였으며, 제체의 모형제작시 피복재의 공급률이 약 50%정도가 되도록 제작하였다.

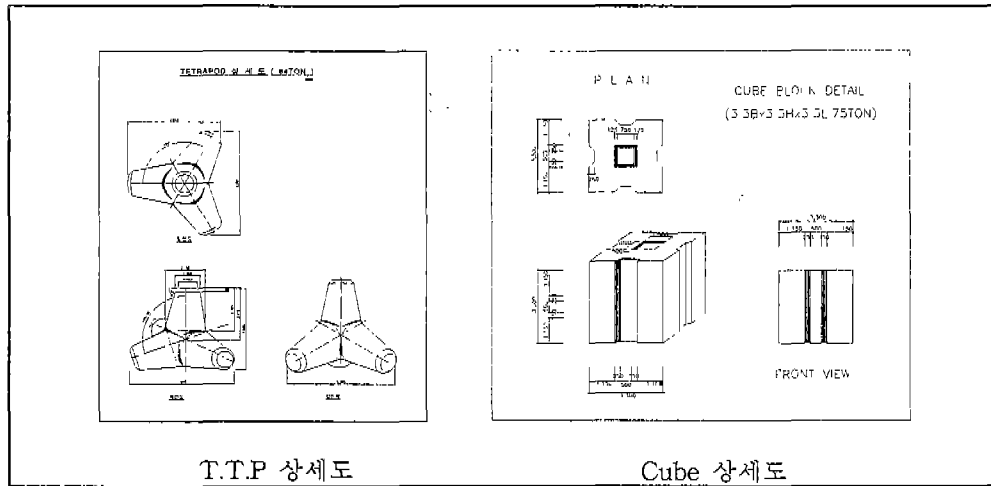


그림 2 실험에 사용된 피복재들

2.3 실험과

실험과의 설정은 불규칙과와 규칙과로 구분하였으며, 현지 구조물의 설계과는 규칙과로 설정되어 있으나 경사제의 안전성 평가는 파랑의 불규칙성을 고려하여야 하므로 본 실험에서는 불규칙과에 대해서 실험을 수행하였으며, 실험은 설계과와 이상과를 설정하고 각각 만조시(App.H.H.W)와 간조시(App.L.L.W)에 대하여 실험을 수행하였다. 이상의 불규칙과 실험외에 금번 소흑산도항에 내습한 것과 같은 이상과랑에 대해서는 조파기의 용량한계를 고려하여 규칙과로 실험을 수행하였다.

본 실험에서의 조파신호 제작은 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 사용하였으며, 현지에서의 태풍 내습시간을 고려하여 42.0분(실제 5시간) 동안 조파를 실시하여 방파제의 활동량을 측정하였으며, 활동량 측정은 육안 및 실험전, 후의 사진을 이용하여 분석하였다. 반사율 측정은 Goda의 2점법을 이용하여 입사파와 반사파를 각각 분리하여 실험을 수행하였다.

표 1 실험과 제원

	주기(sec)		파고		파특성	비고
	P	M	P(m)	M(cm)		
규칙과	13.0	1.86	9.0	18.4	이상과	
			12.0	24.5	이상과	
			15.0	30.6	이상과	기존 단면에만 적용
	14.0	2.00	9.0	18.4	이상과	
			12.0	24.5	이상과	
			15.0	30.6	이상과	기존 단면에만 적용
	15.0	2.14	9.0	18.4	이상과	
			12.0	24.5	이상과	
			15.0	30.6	이상과	기존 단면에만 적용
불규칙과	13.0	1.86	8.3	16.9	설계과	적용조위 : App. L.L.W
	15.0	2.14	10.0	20.4	이상과	적용조위 : App. L.L.W
	13.0	1.86	8.3	16.9	설계과	적용조위 : App. H.H.W
	15.0	2.14	10.0	20.4	이상과	적용조위 : App. H.H.W

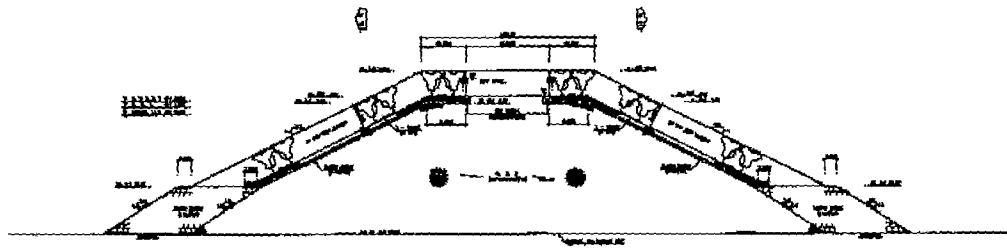


그림 3 기존 단면

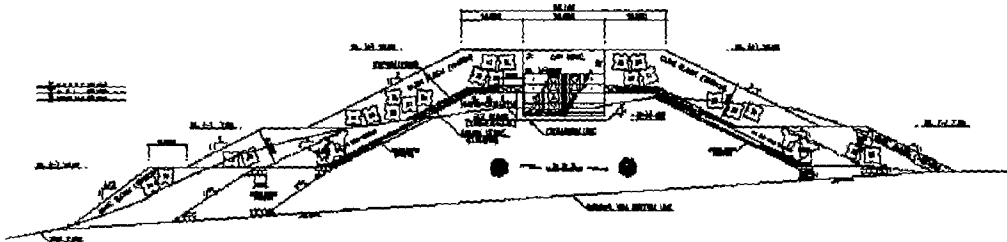


그림 4 보강 단면

2.4 실험결과

기존안(T.T.P 64ton)에 대한 실험결과 규칙파로 실험한 경우 전반적으로 조파 발생후 약 2~5분 사이에 T.T.P가 약간씩 움직이다가 제자리를 찾으며, 주기의 변동에 상관없이 파고 9m, 12m가 입사하는 경우에는 T.T.P의 탈락은 발생하지 않았다. 단, 12m파가 입사되는 경우중 주기가 14sec, 15sec일때는 파랑이 상치콘크리트를 넘어 월파하는 경우가 발생하였다. 각 주기별로 15m파가 입사하는 경우는 소단부의 피복석부터 요동하기 시작하여 소단부의 경사가 완만하여지고, 이후 소단부에 위치한 T.T.P가 이탈하였으며, 그 피해율은 10%범위 내였다.

보강 1안(Cube 75ton)에 대한 실험은 기존안에서 수행된 파랑조건 중 조파기의 효율상 15m 파는 제외하였으며, 실험결과는 전반적으로 기존안과 유사하나 파의 쳐오름은 기존안보다 약간 높게 판측되었는데, 이는 제체전면의 소단부의 폭이 넓고 또한 소단이 2단으로 되어 있어 내습하는 파랑이 제체전면에서 쇄파되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 내습한 파는 상치콘크리트 전면에서 쳐오른 후 비산되며 향내로 유입되는 양은 기존안에 비하여 적게 나타났다.

보강 2안(T.T.P 72ton)의 실험결과는 전반적으로 보강 1안과 유사하나 Cube에 비하여 T.T.P의 결속력이 우수하기 때문에 요동 자체는 적게 나타났다.

보강 3안(Cube 108ton)의 실험결과도 전반적으로 보강 1안과 유사하며 Cube의 결속력이 떨어지기 때문에 조파 후 초기에 요동은 있으나, Cube의 중량에 의하여 제자리를 잡은 후에는 요동 자체는 보강 1안 보다 적게 나타났다. 이상의 실험결과들은 다음의 그림. 5~그림. 6과 같이 나타내었다.

이상 수리모형실험 수행 결과 기 시공되어 있는 제체의 단면에 대한 실험결과 각 주기별로 14m파랑이 내습하는 경우까지는 피복재 자체의 움직임은 있으나 이탈은 발생하지 않아 단면의 안정성에 있어서는 안정을 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 15m이상의 파가 입사하는 경우 소단부(DL.(-)16.6m)의 피복석부터 움직임이 발생하여 소단부에 위치한 T.T.P가 이탈하기 시작하고, 단면의 형상이 일부 변하였으나 그 피해율이 10%미만이어서 크게 우려할 사항은 아

닌 것으로 판단되었다.

또한 Cube는 T.T.P에 비하여 결속력이 떨어져 피복재 자체의 움직임은 상대적으로 크게 나타났으나, 사면경사가 완만한 관계로 피복재의 이탈은 기존안에 비하여 적게 나타났으며, T.T.P의 중량을 크게 하는 경우(T.T.P 72ton)에도 피복재 자체의 움직임은 있으나, 기존안에 비하여 그 크기는 적게 나타나 각 안별 제체의 안정성은 양호하것으로 판단된다.

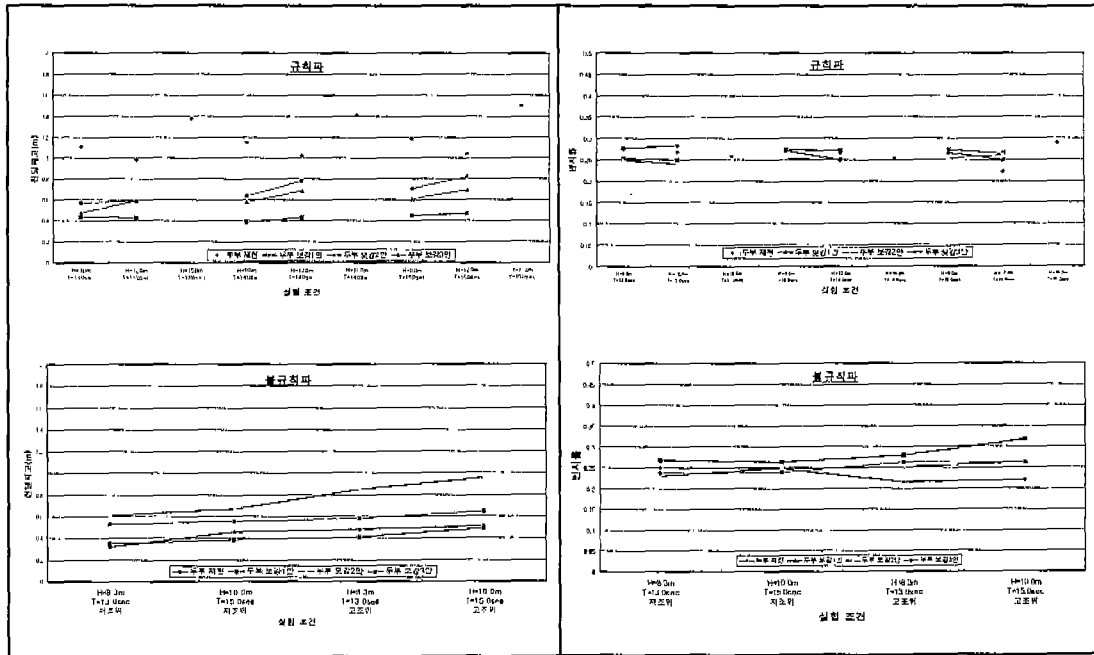


그림 5 실험안별 전달과고

그림 6 실험안별 반사율

3. 결론

본 연구에서는 소흑산도항의 피복복구시 기존안의 손상단면을 토대로 형상을 달리한 두종류의 피복재를 이용하여 보강단면을 설계하였을 경우 추후 예상되는 수리학적영향을 2차원 단면 수리모형실험을 통하여 검토하여 보았다. 두종류의 피복재를 이용한 보강안의 실험결과 크게 차이없이 모두 안정한 양상을 나타내었다. 이러한 결과는 한편으로는, T.T.P에 비해 개체결속력(interlocking)이 저하될것으로 예상되고 있는 Cube block의 피복재로서의 성능이 확인되었다고 바꿔 말 할수 있을 것이다.

아울러, “경사식 방파제의 최적설계기술개발(I)”(해양수산부, 2001)에 기술된 바와 같이 축소 모형실험에서는 피복재의 크기를 Froude의 상사법칙에 따라 축소하므로 단위질량은 실험역에서와 동일하고, 재료의 강도도 일반적으로 원형에서와 같게 하므로 피복재의 회전이나 요동이 매우 심하여도 피복재의 파괴는 발생하지 않으므로 본 실험에서와 같이 대형 피복재를 사용할 경우 안전성을 실제 이상으로 과도하게 평가할 가능성도 배제할수 없을 것이다. 따라서 향후 개별 피복재의 재료와 형상에 따라 피복재 내부에 발생하는 응력의 계측과 아울러 피복재의 움직임을 동시 분석하는 별도의 구체적 연구도 필요할 것으로 판단된다.

또한 본 대상지역과 같이 평면적인 회절과에 의해 막대한 손상이 야기될 수 있는 구간의 실험결과는 실질적으로 3차원적으로 발생하는 파랑변형 현상의 재현이 무엇보다 중요하다(이,

1986). 따라서 현상의 제현 및 대책강구를 위해서는 회절파의 영향을 충분히 고려할 수 있는 3차원 평면수리모형실험을 추가적으로 수행하여, 제현상을 동시에 판단할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

Goda Yoshimi, 이정규 역, 1995, 불규칙파와 항만 구조물 설계, 청문각

국립건설시험소, 1987.7., 소혹산도항 수리모형실험 보고서

박의환, 1987, 경사방파제의 단면안정에 관한 연구, 명지대학교 대학원 석사논문

이봉희 등, 1986, 방파제두부의 3차원 수리모형실험의 필요성에 관한 고찰, 대한토목학회 학술강연회 논문집

해양수산부, 2001.2., 경사식 방파제의 최적설계기술개발(I)