

신규개발 소파블록의 수리모형 실험 (上)



주 재 옥
(주)헤인E&C 기술고문

1. 기술개발 배경

1.1 환경성 및 친수성

기존에는 최소 목적만 충족하는 소파구조의 시설을 위주로 건설하여 왔으나 시대의 요구에 따라 경관도입 및 친수성, 친환경성을 고려한 시각적으로 즐길 수 있고, 기능면에서 질을 향상시킬 수 있는 다각적인 질적 향상을 지향하는 추세에 있다.

항만구조물에서도 이런 경향이 작용하여 구조물의 기능향상은 물론 시각적인 차원에서의 해결을 위하여 노력하여 왔고 그중에 하나가 구조물에 부딪히는 파랑이 반사하여 공진현상을 일으켜 항내정온을 저해하기 때문에 반사율을 저감방안으로 소파구조를 사용한 것이 지속적으로 필요성이 인정되어 종전의 신기술(제241호: 터널형 소파블록)을 개량하고, 새로운 형태의 소파블록을 개발하게 되었다.

1.2 경제성

아무리 좋은 기술이라 하여도 동일 조건에서의 경제성은 무시할 수 없는 비교조건에서 우위를 점한다는 사실이다.

기존의 신기술(제241호)로 지정된 터널형 블록이 이글루보다 효과면에서 반사율이 저감되는 양호함이 수리모형

실험에서 입증되었음에도 설계선택의 비교검토에서 경제성 문제에서 논란이 되어왔다. 소파구조에서는 당연히 반사율 저감이 우선이지만 기왕이면 경제적이어야 한다는 판단이 지배적이기 때문이다. 틀린말은 아닐 것이다. 이런 면에서 보다 더 경제적인 공법에 적합하도록 개발하게 된 것이 배경이라 할 수 있다 (4. 경제성 비교 참조).

2. 기술개발 내용

2.1 개요

항내에서 직립구조(Solid block)의 반사파에 의한 공진현상(共振現象)으로 항내정온도가 유지되지 않아 선박의 계류와 하역시 지장을 초래할 뿐 아니라 소형선들이 서로 부딪쳐 선체의 손상을 입는 사례가 많기 때문에 직립부의 안벽이나 물양장구조를 소파구조로 시설하는 추세에 있고 외국에서는 여러 가지 모양의 소파구조가 실용화되고 있으며 우리나라에서도 신기술(제241호)의 소파블록을 현재 사용하고 있으나 구조를 개선하고 새로운 구조로 구상하여 보다 안정적이고, 반사율을 저감시키며 경제적인 구조를 개발하고 수리모형실험을 실시하여 검증한 소파블록(3가지 형태)을 소개하게 되었으며, 새로 개발된 소파블록은

중전의 블록을 개선하거나 형태를 변경시켰고 소파블록의 핵심 목적은 처오름높이 저감(월파량 감소)과 반사율저감으로 항내정온도 확보가 주목적이 되므로 수리모형실험을 통하여 검증된 구조로 경쟁력을 고려한 경제적인 구조가 되어야 한다.

2.2 이론배경

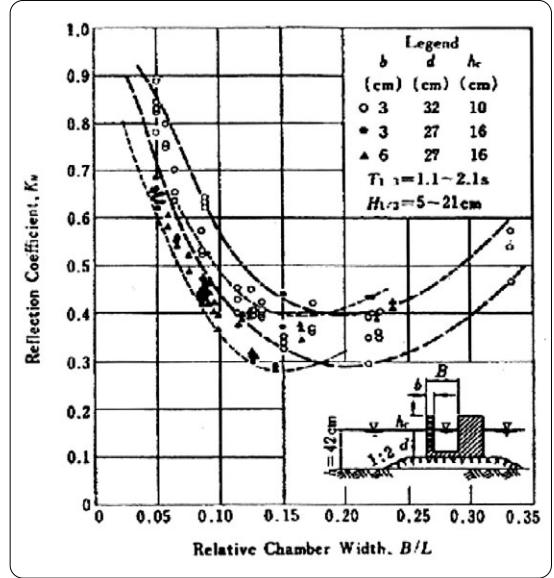
계류시설에서 사용되는 직립부의 구조는 거의 일반적으로 콘크리트 블록(Con'c Soild block) 구조 또는 케이슨벽체로 시공되고 있어 파고가 항내로 진입하여 벽체에 부딪치면 파가 반사하게 되고 반사파와 진입파의 공진현상으로 항내파고가 증폭하여 파고가 점차 커지면서 항내정온도 유지가 어렵기 때문에 선박끼리 부딪치거나, 소형 선박일 때 계류나 하역에 지장을 받게 된다(항만 및 어항 설계 기준에서 항내정온도는 어항 : 0.3m, 일반항 : 0.5m 이하로 요구). 항내정온도 유지를 위하여서는 방파제 배치 등 여러 가지 방안이 제시될 수 있으나 반사파를 최소화하기 위하여 직립벽체를 소파구조로 시설할 필요가 있으며 소파기능을 갖도록 콘크리트 블록을 여러 가지 형태의 다공질(多孔質)로 블록내부공간을 구성(개발)하여 입사파를 블록내부공간으로 분산시켜 파력의 약화 및 소파(消波)작용을 함으로써 반사파와 처오름높이를 감소시키는 원리이다.

그간 세계각국에서 수리모형실험한 결과의 반사율의 개략값과 유공케이슨의 방파제 반사율을 인용하면 다음과 같다.

[반사율의 개략치]

구조형식	반사율(%)
마루높이가 정수면 위인 직립벽	70 ~ 100
마루높이가 정수면 아래인 직립벽	50 ~ 70
사석사면(1:2~3구배)	30 ~ 60
이형소파블록 사면	30 ~ 50
직립소파구조물	30 ~ 80
천연해변	5 ~ 20

[불규칙파에 대한 유공케이슨 방파제의 반사율]



2.3 신형식 소파블록 모양

신형식의 소파블록은 종전기술인 터널형의 변형인 터널(신)형(Tunnel-lok), 무지개형(Rainbow-lok)과 벌집형(Hexagoon-lok)의 3개형식이며 종류별 모양과 이용계획 종류별 유형은 다음 그림과 같다.

터널(신)형 (Tunnel-lok) (디자인등록 제0351252호)	무지개형 (Rainbow-lok) (디자인등록 제0324197-1호)	벌집형 (Hexagoon-lok) (디자인등록 제0300915호 실용신안등록 제0246944호)
터널(신)형 시공 모형도	무지개형 시공 모형도	벌집형 시공 모형도

유형	터널(신)형	무지개형	벌집형
일반형			
해수소통형			
방충재취부형			

3. 수리모형 실험

신형식 소파블록의 3가지 형태를 모형별로 수리모형 실험을 실시하였으며 수리모형실험은 부경대학교 해양산업개발연구소의 수조에서 실시하였다.

3.1 수리모형실험의 목적

본 실험은 신형식 소파블록의 파랑제어특성 중 반사파의 발생에 대한 수리학적 특성을 검토하기 위하여 여러 입사파랑조건에 대한 블록의 형상과 수위차이에 따른 반사율의 변화를 파악하는데 목적을 두었다.

3.2 실험의 내용

3.2.1 주요검토내용

본 실험에서는 신형식 소파블록의 반사파 제어특성을 검토하기 위하여 기존에 개발·시공되어 있는 직립소파블록과 이글루 소파블록에 대한 반사파 발생특성을 검토하고, 급회에 개발·개선된 벌집형(I형), 무지개형(T형), 터널(신)형 블록의 반사파 발생특성을 파악하였다.

블록의 2단과 3단 거치를 기본으로 하여 블록의 2단 중앙부에 정수면이 위치한 경우와 3단 중앙부에 정수면이

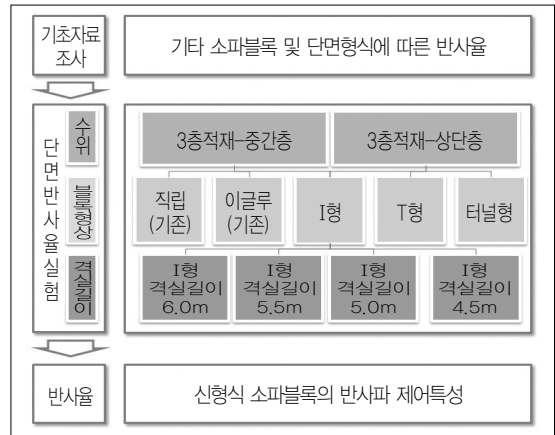
위치한 경우에 대해 수위변동에 따른 블록의 반사파발생 특성을 검토하였다.

3.2.2 실험의 흐름

실험의 흐름은 다음 그림과 같다.

먼저 기초자료조사를 통해 기존의 소파블록의 수리특성을 파악하였으며, 단면반사율실험에서는 2개의 수위, 5개의 블록형상 그리고 4개의 블록길이에 따른 반사율 발생 특성을 파악하였다.

[실험의 흐름도]



3.2.3 실험안

본 실험안은 다음과 같이 구성되었다.

<블록형상에 따른 반사율>

- 직립블록
(수위: 2단·3단 중앙, 블록길이: 6.00m)
- 이글루블록
(수위: 2단·3단 중앙, 블록길이: 6.00m)
- 벌집형 블록
(수위: 2단·3단 중앙, 블록길이: 6.00m)
- 무지개형 블록
(수위: 2단·3단 중앙, 블록길이: 6.00m)
- 터널(신)형 블록
(수위: 2단·3단 중앙, 블록길이: 6.00m)

3.2.4 실험조건

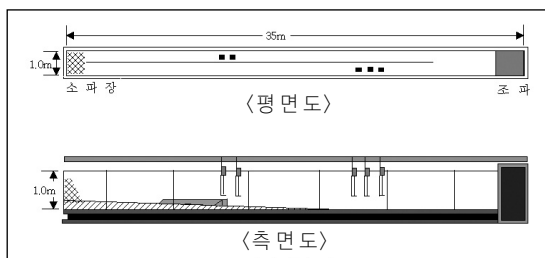
- 실험수위
 - 쇄파가 발생하는 비선형적인 현상을 최대한 배제하기 위하여 실험적용 유의파고의 2배 수심을 적용
 - 블록의 3단 거치를 중심으로 2단 중앙부와 3단 중앙부에 대해 실험수심으로 적용
- 모형축척
 - 수심, 조위, 해저경사, 구조물의 마루높이, 모형제작 영역, 실험수조 및 실험수로의 크기, 실험장비의 성능, 실험파 및 실험결과의 정확도 등을 종합적으로 고려하여 1/40의 정상모형을 적용하였다.
- 상사법칙
 - 본 항내파고분포 실험은 자유수면을 가지며 중력이 유체 운동을 지배한다. 따라서 수심, 실험파 및 모형의 제작 등과 같은 제반인자는 Froude 상사법칙에 의거하여 축소 제작하였다.
- 실험파 결정 및 적용
 - 실험파는 수치모형실험 결과를 모형실험의 입사경계에 대응하여 설정하였다.
 - 본 과업에서 수행된 모든 실험은 JONSWAP 스펙트럼을 이용하여 불규칙파랑에 대해 적용하였다.

3.3 수리모형 실험의 장비와 시설

3.3.1 단면수로 및 조파기

단면 수리모형실험은 부경대학교 해양수리실험소에 위치한 2차원 조파수로에서 수행되었다.

[단면수로 모식도]



[단면수로 및 조파기 특성]

구분	실험시설 및 장비	비고
수로제원	35m(L)×1.0m(W)×1.0m(H)	
조파기 성능	조파판 크기	1.0m(W)×1.0m(H)
	최대파고	0.25
	재현주기	0.5sec~2.5sec
	최대수심	0.8m
구동방법	전기서보피스톤식	

3.3.2 계측장비 및 주변장치

- 계측장비
 - 파고계: 실험파 설정 및 실험파고 계측에 사용된 파고계는 용량식 파고계(모델명 CHT4-50)로서 길이가 50cm이고 측정범위는 0~±25cm이며, 평면 수리모형실험 시 15대의 파고계를 운용하였다.
 - A/D, D/A Converter: 데이터 독취를 위해 파고계 측기로부터 전송된 아날로그 신호를 이산화하여 디지털 값으로 변환하고(A/D), 목표스펙트럼에 의해 생성된 디지털 조파신호를 아날로그 형태로 변환(D/A)하는 장치이다.
 - Camcorder, VTR, TV 및 카메라: 실험과정의 모니터링, 촬영, 편집 및 결과분석을 위해 사용되었다.
- 소파시설
 - 모형실험은 유한한 수조에서 수행되므로 구조물과 수조벽면 등에서 실제와 관계없는 반사파가 발생하게 된다.
 - 본 실험 시 수조벽면은 유공블록과 다공질 소파재로 피복하여 반사파 발생을 최소화하였으며, 조파기 후면에는 스테인리스 재질의 소파시설을 배치하여 반사파를 최소화 하였다.
 - 대상해역 외의 주변지형 및 구조물에서 발생한 반사파가 조파판에서 재반사 되는 것을 최소화 하기 위해 소파제 및 쇄석을 설치하여 재반사를 최소화 하였다.

3.4 모형의 축척과 제작

3.4.1 일반사항

제한된 길이의 수로를 이용해 구조물 축조위치에서 설계파 이상의 큰 파고를 발생시키기 위해 바다에 사면을 설치하여 천수효과를 이용하였다.

수조의 바다에는 현지의 해저대표경사와 천수효과를 고려하여 스테인리스 재질의 일정경사(1:100)의 저면을 설치하였으며, 파랑의 진행에 따른 바다 상하부의 수괴의 유출입을 막기 위해 실리콘을 이용하여 수밀하였다.

조파판 전면에서 모형수심이 시작되는 곳까지 수평 약 8m 이상의 일정수심 구간을 두었으며, 이는 조파기에 의해서 발생된 파가 일정수심을 전파하며 발달할 수 있는 거리를 두기 위한 것이다.

3.4.2 축척 및 상사율

[Froude 상사법칙 적용예]

항 목	기 호	축 척	예	원 형	모 형
길 이	L_r	L_r	1/40	40m	1m
수 심	h_r	L_r	1/40	28m	0.7m
파 고	H_r	L_r	1/40	1.2m	3cm
파 장	λ_r	L_r	1/40	160m	4m
주기와 시간	T_r	$L_r^{1/2}$	$(1/40)^{1/2}$	4.3sec	0.7sec

3.4.3 모형제작

본 실험은 블록의 안정성은 고려하지 않았으므로, 모형은 아크릴로 제작하였으며, 기하학적인 상사를 중심으로 상사율을 적용하고, 모형블록의 비중 및 중량은 고려하지 않고 수로 내에 고정하여 설치하였다.

모형 제작시 현 실정을 감안하고, 가능한 한 상사 재현성을 고려하여 정교한 작업을 수행하였다.

3.5 실험조건

3.5.1 실험수심

본 반사율 실험에서는 입사하는 파랑과 반사하는 파랑의 위상의 변화가 반사율 계산에 중요한 변수가 된다. 쇄

파가 발생하는 비선형적인 현상을 최대한 배제하기 위하여 실험적용 유의파고의 2배 이상의 수심을 적용하였다.

일반적인 본 블록의 설치기준인 블록의 3단 거치를 중심으로 현장의 경우 천문조위 및 기상조위로 인해 발생하는 안벽 전면에서의 평균수위 변동으로 인한 소파블록의 반사파 제어효과를 고려하기위해 아래에서부터 2단 중앙부와 3단 중앙부를 실험수심으로 적용하였다.

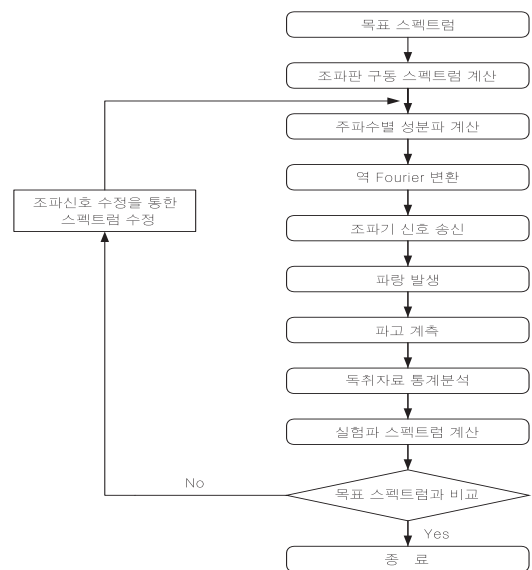
3.5.2 실험파랑

본 실험에 사용된 파랑조건은 현지의 파랑조건과 본 블록에서 목표로 하는 소파파랑조건을 고려하여 B/L_0 이 0.03~0.20인 주기조건과 $H_{1/3}/L_0$ 이 0.08~0.28의 파랑조건을 적용하였다. 여기서 B는 블록의 블록길이, $L_0(L_0=1.56T^2)$ 는 심해파장, $H_{1/3}$ 은 1/3 유의파고 그리고 h는 실험수심이다.

실험파랑의 조파는 아래 그림과 같이 불규칙파랑의 일반적인 재현 과정을 따른다.

실험에 사용된 불규칙파의 목표스펙트럼은 JONSWAP이다. 아래의 불규칙파의 재현과정은 일반적인 불규칙파

[실험파 설정체계 순서도]



[실험파랑제원]

구간	실험파	원 형		모 형	
		T _{1/3} (sec)	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (sec)	H _{1/3} (cm)
직립소파블록, 이글루블록, 벌집형(형)블록, 무지개형(T형) 블록, 터널(신형)블록	수심 (16.0m)	4.43 L=30.61	1.2	0.7 L=0.76	3
			2.8		7
			4.4		11
		5.69 L=50.51	1.2	0.9 L=1.26	3
			2.8		7
			4.4		11
		6.96 L=75.57	1.2	1.1 L=1.89	3
			2.8		7
			4.4		11
		8.22 L=105.41	1.2	1.3 L=2.64	3
			2.8		7
			4.4		11
	9.49 L=140.49	1.2	1.5 L=3.51	3	
		2.8		7	
		4.4		11	
	10.75 L=180.28	1.2	1.7 L=4.51	3	
		2.8		7	
		4.4		11	
	수심 (18.0m)	4.43 L=30.61	1.2	0.7 L=0.76	3
			2.8		7
			4.4		11
		5.69 L=50.51	1.2	0.9 L=1.26	3
			2.8		7
			4.4		11
6.96 L=75.57		1.2	1.1 L=1.59	3	
		2.8		7	
		4.4		11	
8.22 L=105.41		1.2	1.3 L=2.64	3	
		2.8		7	
		4.4		11	
9.49 L=140.29	1.2	1.5 L=3.51	3		
	2.8		7		
	4.4		11		
10.75 L=180.28	1.2	1.7 L=4.51	3		
	2.8		7		
	4.4		11		

랑의 재현과정을 나타내며 본 실험에서는 추가적으로 대부분의 항만설계에서 반영되는 소파블록의 설치위치가 항만 및 어항의 시설에 포함되는 천해역에 설치된다.

이러한 천해역 불규칙파랑을 고려하기 위하여 천해역의 파랑관측자료를 이용하여 천해역 수리특성을 검토하여 (Kim, 2005) 그 결과를 스펙트럼의 목표형상으로 사용하였다. ($\gamma = 3.3$)

3.5.3 실험항목

• 반사율


- 반사율의 계측은 구조물의 설치위치에서 1파장이 상 전면으로 이격하여 용량식 파고계를 이용하여 수면변동을 계측하였으며, Goda와 Suzuki의 3점법을 이용하여 입사파와 반사파성분을 분해하였다.

- 이러한 반사파 성분은 성분 모두가 동일한 주파수를 가지고 위상차가 일정하기 때문에 적당한 거리만큼 떨어진 2~3개 지점에서 관측된 불규칙파시계열을 이용하여 입사파 성분과 반사파 성분을 구분한다.

- 실험에 사용된 수면변동을 계측하기위한 용량식 파고계 간격은 아래의 조건을 만족한다.

$$\text{상한}(f_{\max}) : \Delta l / L_{\min} \cong 0.45$$

$$\text{하한}(f_{\min}) : \Delta l / L_{\max} \cong 0.05$$

- 수로내의 다중반사에 의한 파랑교란을 방지하기 위해 파랑해석에 필요한 최소한 데이터를 수집하였으며, 실험 후 파랑이 완전히 소멸된 후 다음 실험을 실시하였다. 

〈다음호에 계속〉