

Core-Loc 소파구조물의 안정성에 관한 실험적 연구

윤한삼 · 남인식 · 김종인 · 류청로
부경대학교 해양공학부

Experimental Study for the Stability of Core-Loc Armour Structure

HAN-SAM YOON, IN-SIK NAM, JONG-IN KIM AND CHEONG-RO RYU
Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National Univ., Pusan 608-739, Korea

KEY WORDS: Core-Loc, T.T.P.(Tetrapod), Hydraulic experiments 수리실험, the destruction of armor blocks 피복석파괴, Overtopping rate 월파량, irregular wave attack 불규칙파 침입

ABSTRACT: Hydraulic experiments were performed in 2-D wave flume to investigate the stability of the breakwaters, the destruction of armor blocks and overtopping under irregular wave attack on the structures armored by 'Core-Loc'. Overtopping rate and stability were examined and compared when armored by Core-Loc and by T.T.P. Results shows both type of blocks are stable and overtopping rates are similar in the adopted experimental condition. Therefore Core-Loc can replace some portion of T.T.P. which is uniquely used in Korea. Further integrated experimental data with Core-Loc are need for destruction mechanism or overtopping rate.

1. 서 론

최근, 산업의 발달에 따른 생활의 풍요와 함께 연안역의 이용에 대한 다양한 욕구가 집중되며 경관성, 환경친화성 등을 고려하는 친수성 연안역 개발이 제기되고 있다. 태풍 및 저기압성 폭풍의 내습이 빈번한 우리나라는 파랑 또는 월파에 의한 해안시설물 및 어선의 피해가 막심한 실정이다. 예로들어 어항시설물의 경우 호안 피해가 33%, 월파에 의한 파괴가 25%, 항내파고에 의한 파괴가 28% 등으로 알려진바 있으며, 월파의 경우 거의 모든 항에서 발생하고 있고, 월파고가 2~8 m에 달하는 경우도 있다고 보고된 바 있다(Kim, 1997).

따라서 연안역의 안전한 이용을 위하여 다양한 파랑 및 월파제어대책이 연구·개발되어 왔으며, 대체적으로 직립식, 경사식, 혼합식 및 수중식 해안구조물로 설치되어 왔다. 직립식은 경제성 및 접안성 등이 양호하며, 경사식은 생태계와의 조화와 극단적인 피해발생 확률이 낮은 장점이 있다. 이들 해안구조물은 그 기능 및 안전성의 제고를 위해 지속적인 개량과 보완 연구가 이루어져 왔으며, 그 예로 직립제와 사석제에 대한 개량 및 개발연구로서 전면에 파랑제어기능의 소파블럭(사석, 테트라포드 등)을 피복하거나 소파공간(슬릿, 퍼포 셀 등)을 부설하는 형태가 고려되었다.

그러나 최근 지구대기환경의 이상현상으로 인해 해양의 파랑이 거대화되는 현상이 발생하고 이로인해 해안구조물의 파괴가 급증하는 추세이다. 따라서 설계파고가 큰 방파제의 설치가 요구되어짐에 따라 자연골재의 사용보다는 점차 인공소파블럭을 사용해서 자연재해를 방재하는 추세이다.

우리나라에서 가장 널리 사용되어지는 테트라포드(Tetrapod)

는 1950년 프랑스에서 개발된 것으로 수리적, 강도적으로 완성된 형태라 평가받고 있으며 세계각지에서 사용되어지고 있다. 또한 그 외에도 선진국에서는 Dolos, CORE-LOCTM 등의 소파블럭개발을 통해 해안방재에 널리 사용하고 있다.

그러나 이러한 인공피복재는 자연석과는 형상·공극율·비중 등에 크게 차이가 있어 제체를 설계할 때 자연석을 토대로 작성된 기존의 설계기준에는 적합하지 못해 합리적 설계가 어려웠으며, 우리나라 연안의 파랑조건에 따라서 그 중량이나 형태를 달리해야할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 기존의 소파블럭에 대한 기능성 및 경제성을 향상시키기 위한 인공소파블럭 개발이란 목표아래 최근 새로운 인공소파블럭으로 주목받고 있는 Core-Loc을 사용하여 우리나라 연안역의 적용성을 평가하고자 한다. 평가대상으로는 우리나라 제 1항이라 불리는 부산항의 신선대 방파제를 대상으로 불규칙파랑의 내습시 직립식 방파제 단면의 안정성 및 피복블럭의 파괴, 천단고별 월파량 등을 검토하고자 한다. 또한 일반 호안의 피복석을 TTP와 Core-Loc으로 설치하였을 경우에 대하여 월파량을 측정하고, 안정성을 검토하여 현지 해역의 불규칙 파랑제어를 위한 경제적·안정적인 방안을 강구하고자 한다.

2. 실험방법

위에서 서술한 두가지 소파블럭 TTP와 Core-Loc의 단면안정성 실험을 수행하기 위해 실제 부산항 신선대 방파제 설계파를 적용하여 (1) 케이슨의 활동에 의한 안정성 (2) 피복블럭의 파에 의한 안정성 (3) 월파에 의한 방파제 배후면에서의 전달

파의 특성에 대해서 2차원 단면안정 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 Brestschneider -Mitsuyasu 스펙트럼을 이용한 불규칙파를 대상파랑으로 사용하였으며, 동일한 파랑의 규칙파에 대해서도 실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용한 파랑의 제원은 Table 1에 나타내었고, 목표스펙트럼과 재현스펙트럼을 Fig. 2에 나타내었다.

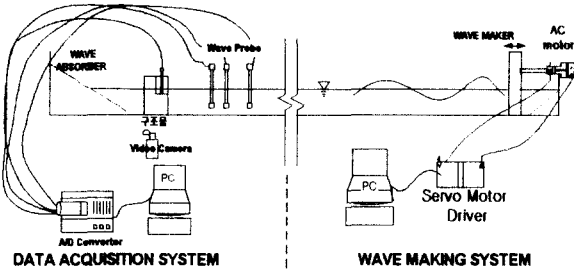


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Experimental conditions

CASE	Scale	Field		Model		Depth (m)	Slope
		Hs' (m)	Ts' (sec)	Hs (cm)	Ts (sec)		
Vertical Breakwater	Vertical wall	1/44	7.8	17.7	2.11	45	1:1.5
	T.T.P.	1/44		17.7	2.11	45	
	Core-Loc	1/60		13.0	1.8	40	
Slope Breakwater	T.T.P.	1/44	3.0	6.8	2.11	45	
	Core-Loc	1/35		8.57	2.13	4	

$W_{TTP}=46.3g$, $W_{Core-Loc}=82g$, $W_{filter/core}=2\sim5g$

사용된 파고계는 용량식 파고계(모델명 CHT 4-50)로서 측정 범위는 $0\sim\pm 25$ cm이며, 수리모형실험시 실험단면 전면에 3개를 설치하여 입반사분리를 하여 입사하는 파랑의 제원을 측정하였다. 구조물로 인한 반사파와 입사파의 분리를 위해 3개의 파고계로부터 최소자승법(Least Squares Method)을 사용하여 입반사시켰는데, 이는 가정된 파형과 측정된 파형의 오차(Error) 제곱의 합이 최소가 되도록 미지수를 구하는 방법이다.

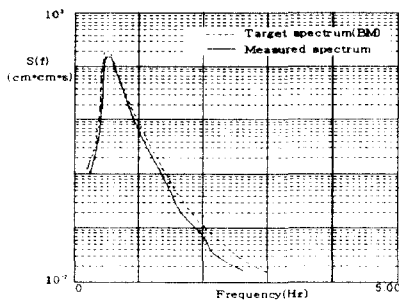


Fig. 2 Target spectrum and measured spectrum.

기존 연구에 따르면 방파제의 수직부에 작용하는 파압은 입사파의 파고에 비례하지만 그 외에 파의 주기, 해저구배 또는 사석의 형상 및 크기 등에 따라서도 변화한다고 보고된 바 있다(Goda, 1985).

따라서 소파블럭이 없는 상태에서 케이슨부의 활동과 전도에 영향을 미치는 작용파압을 측정하는 것은 소파블럭 설치시 파압의 영향 정도를 파악하는데 매우 중요하다. 이에 본 연구는 케이슨 전면에 피복재나 슬릿이 없는 직립방파제의 경우를 대상으로 파압분포 계측을 수행하였다. 파압계의 설치위치는 케이슨 전면 중앙의 마운드 위의 수심이 $d(=27cm)$ 일때, Goda의 제안식에 따른 중복파의 최대파압합력의 작용점 높이에 해당하는 $0.21d$ 와 $0.41d$ 에 각각 파압계 1개씩을 설치하였고, 계측 주파수는 50 Hz, 실험오차는 0.2%이다. 케이슨 및 피복재의 활동은 실험 전과 실험 후의 사진을 판독함으로써 관찰하였고, 실험 중에도 비디오촬영을 통해 관찰하였다.

월파고와 월파유량은 호안 및 방파제 설계시 고려하여야 할 중요한 실험인자 중의 하나이다. 월파량은 Fig. 3과 같이 40 cm(W)×78 cm(L)×19 cm(H)의 단면적을 가진 사각상자 중심에 하부 투과형 칸막이를 시설하였고, 칸막이 뒤면에 파고계를 설치하여 계측하였다. 실험전 초기 수위를 일정하게 유지한 후 실험을 시작하였고, 월파된 물의 시간에 따른 자유표면의 상승을 측정하여 월파량을 산정하였다.

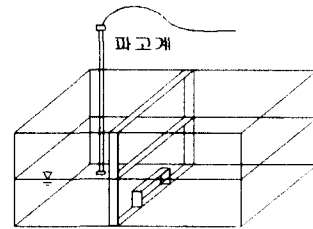


Fig. 3 Instrument for measuring wave overtopping.

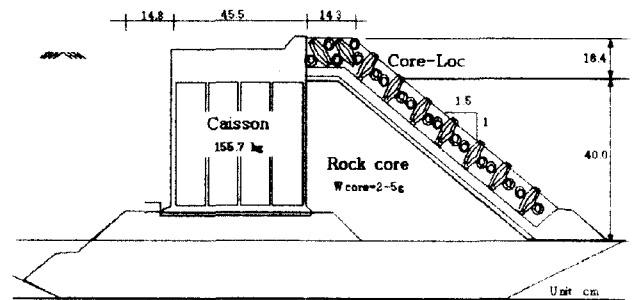


Fig. 4 Experimental section for vertical breakwater(Core-Loc).

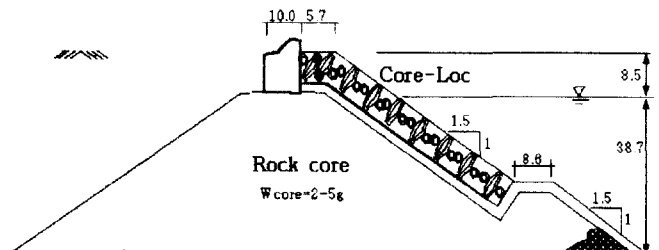


Fig. 5 Experimental section for slope breakwater(Core-Loc).

본 실험에서 사용한 직립벽 방파제와 경사 호안의 실험단면은 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

3. 수리모형 실험결과

3.1 직립방파제

직립벽인 경우 벽 전반에서 쇄파된 파가 벽에 강한 충격압을 가할 수 있고 이 충격압에 의해 케이슨 외벽이 큰 손상을 받을 수 있어 케이슨 외벽에 걸리는 파압분포를 측정함으로써 직립벽의 안정성을 판단해 보았다. 측정위치는 케이슨 전면중심선을 따라 정수면으로부터 밑으로 0.22 d 및 0.41 d 떨어진 위치이다. 여기서 d는 피복블록이 설치되어진 마운드 위의 수심으로서 27 cm이다. 실험결과 측정된 파압의 시간시그널중 규칙파는 Fig. 6에, 불규칙파는 Fig. 7과 같다. 측정값은 Table 2와 같이 평균파압 및 파정시 파압 즉 최대파압으로 분석하였다.

Table 2 Wave force distribution for vertical breakwater

wave condition and gauge location		Wave force $P(t/m^2)$		$d =$ water depth above mound * $d=27$ cm
		mean	max.	
regular	0.22 d	0.8690	0.8234	
	0.41 d	0.8693	0.9210	
irregular	0.22 d	0.8568	0.9186	
	0.41 d	0.8573	0.9171	

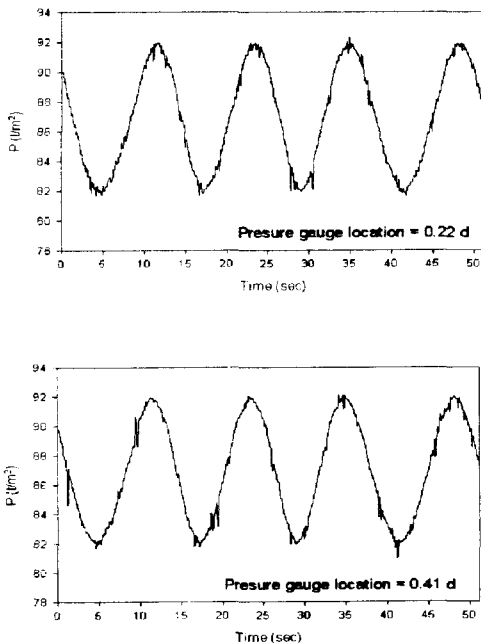


Fig. 6 Pressure time signal for regular wave.

직립벽 방파제의 실험결과 반사율은 규칙파인 경우에는 0.725이고, 불규칙파인 경우에는 0.722였다. 월파량은 규칙파인 경우에는 발생하지 않았으며, 불규칙파인 경우에는 $94 \text{ cm}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 이다. 케이슨 및 기초사석의 안정성에 대한 규칙파 실험에서 케이슨 및 기초사석의 활동은 관찰되지 않았지만, 불규칙파 실험에서는 Fig. 8과 같이 케이슨이 1.2 cm 움직임 관찰할 수 있었고, 기초사석의 경우에도 약 40개가 이동함을 확인할 수 있었다. 따라서 케이슨 전면에 피복을 하지 않고는 케이슨 및 기초사석이 불안정하다고 할 수 있다.

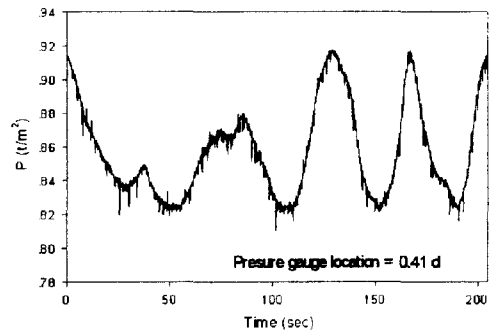
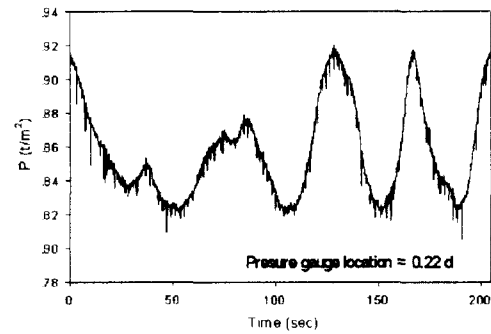


Fig. 7 Pressure time signal for irregular wave.

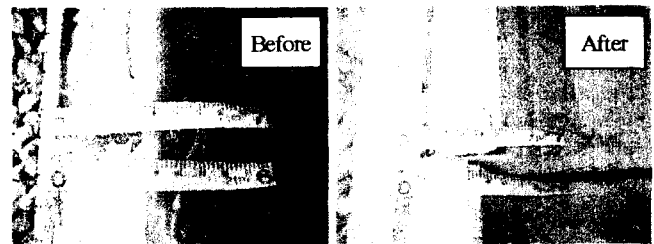


Fig. 8 Caisson slide of vertical breakwater for irregular wave.

따라서 케이슨 앞쪽에 T.T.P로 1.5 : 1의 경사를 이루도록 피복시켰을 때에는 파랑이 피복체의 급격한 경사를 타고 쳐오름하는 과정에서 쇄파되어 에너지가 흡수되는 현상을 볼 수 있었다. 케이슨 전면에서 피복적으로 피복을 하였을 경우 규칙파 실험에 있어서 반사계수는 0.3125 ~ 0.3825 사이에서 나타났고, 불규칙파는 0.505로 측정되었다. 케이슨의 이동은 관찰되지 않았지만 규칙파 실험에서 T.T.P는 촬영사진(Fig. 8) 판독결과로

부터 알 수 있는 바와 같이 안정한 것으로 판명되었다. 그러나 불규칙파 실험에서는 그림 3.4에서와 같이 윗쪽에 위치한 T.T.P 5개가 롤링됨이 관찰되었다.

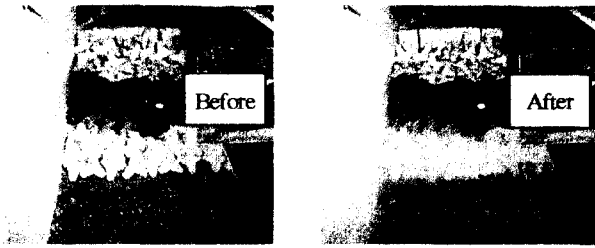


Fig. 9 Block mound seawall for irregular wave.

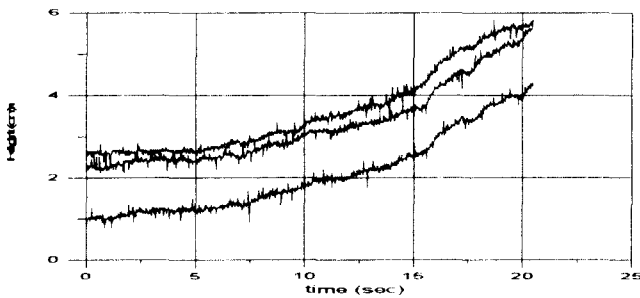


Fig. 10 Water level change in wave overtopping instrument.



Fig. 11 Regular wave experiment (Core-Loc).

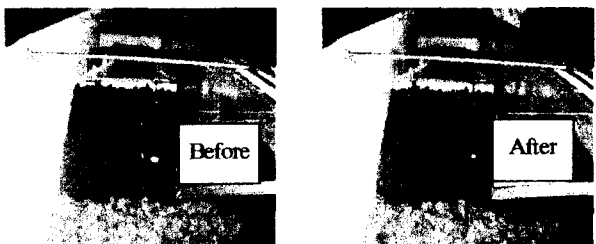


Fig. 12 Irregular wave experiment (Core-Loc).

월파량은 Fig. 10와 같이 월파측정용기에서 수위변화 자료를 분석하여 산정하며, 반복성을 검증하기 위해 파발생 시작 후 각각 다른 시각에서부터 측정하여 3회 자료를 취득하였다. 수리모형실험결과로부터 산정된 단위폭당 평균 월파량은 $1358.3 \sim 1482.0 \text{ cm}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 이었으며, 실제 신선대 방파제의 월파

량으로 환산하면 $0.3964\text{--}0.4324 \text{ m}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 이다. 불규칙파 실험에서는 평균 월파량은 $1056 \text{ cm}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 로 나타났고, 실제단면의 월파량으로 환산하면 $0.3082 \text{ m}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 에 해당되었다.

또한 직립벽 방파제에서 피복석을 T.T.P 대신 Core-Loc으로 사용한 경우 사면의 안정성을 검토하여 보았다. 우선, 규칙파 실험에서의 결과를 살펴보면 월파는 발생하지 않았으며, 케이슨 및 소파블럭 및 기초사석의 운동 또한 볼 수 없었고(Fig. 11), 이때 반사율은 0.459로 나타났다. 반면, 불규칙파 실험에서는 소파블럭 1개가 이동하였으며(Fig. 12), 반사율은 0.516이었다. 이때 월파량은 작지만 $94 \text{ cm}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 로서 실제 스케일로 환산하면 $0.0274 \text{ m}^3/(\text{sec} \cdot \text{m})$ 이었다.

따라서 직립벽인 경우 월파에 의한 전달파가 항내 정온도에 미치는 영향을 파악하고 개선방안을 제시하기 위하여 이에 대한 수리학적 검토가 필요하다고 판단되어 진다.

3.2 경사제 호안

호안은 Fig. 5의 단면도와 같이 케이슨 앞면에 T.T.P를 경사 1 : 1.5로 쌓았다. 호안 단면실험은 케이슨의 거동과는 무관하며, T.T.P의 안정성, 반사율 및 월파량에 검토하기로 한다.

우선, 규칙파 실험결과, 실험 후에도 T.T.P의 위치 및 형상변화가 없음을 알 수 있었고, 접속호안에 T.T.P를 사용하였을 경우에도 안정하다는 것을 알 수 있었으며, 이때 반사계수는 0.63 ~ 0.68 사이에서 측정되었으며, 월파는 발생하지 않았다. 불규칙파 실험에서도 T.T.P의 움직임은 전혀 관찰되지 않았으며, 반사율은 0.68이었다. 또한 월파량은 규칙파의 경우와는 달리 $33 \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 로서 실제 스케일로 환산하면 $0.0096 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 이다.

또한 Core-Loc으로 피복한 경우에 규칙파의 경우(Fig. 13) 월파량은 $650 \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 로서 실스케일로 환산하면 $0.1898 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 이었으며, 이때 반사율은 0.610이었다. 실험 전과 실험 후의 사진판독으로부터 Core-Loc과 사석의 활동은 볼 수 없었다. 불규칙파의 경우(Fig. 14)에는 월파량은 $285 \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 로서 실스케일로 환산하면 $0.0833 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{m}$ 이다. 이때 반사율은 0.64로서 규칙파와 거의 비슷한 결과를 나타내었다. 실험 전과 후의 사진을 이용하여 분석한 결과 Core Loc과 사석의 움직임은 규칙파의 경우와 같이 관찰되지 않았다.

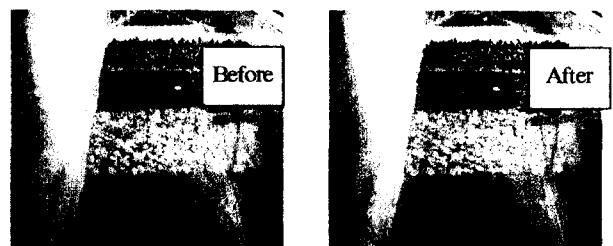


Fig. 13 Regular wave experimental results(Core-Loc)

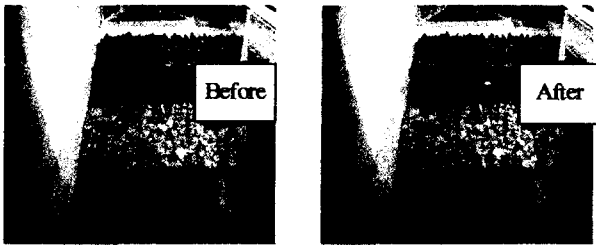


Fig. 14 Irregular wave experimental results(Core-Loc)

CERC (1984): Shore Protection Manual I, II.
 Goda, Y. (1985): Random seas and design of maritime structures.
 Univ. of Tokyo Press, 323p.

4. 결 론

TTP와 Core-Loc의 두가지 소파블럭을 이용한 직립방파제 및 호안에 대한 단면 수리모형실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

Table 3 Experiment results

Remark	Caisson	Core	Reflection Coef.		Wave Overtopping (m/sec · m)	
			Regular	Irregular	Regular	Irregular
Vertical Breakwater	TTP	Stability	0.35	0.51	0.4144	0.3082
	Core-Loc	Stability	0.46	0.52	0.0	0.0274
Slope Breakwater	TTP	Stability	0.65	0.68	0.0	0.0096
	Core-Loc	Stability	0.61	0.64	0.1898	0.0833

- (1) 케이슨 전면에 T.T.P 또는 Core-Loc을 피복하는 경우에 대해서 실험을 한 결과, 두가지 실험의 경우에 대해 규칙파 실험에서는 안정하였고, 불규칙파 실험에서는 T.T.P와 Core-Loc의 이동이 관찰되나 허용파괴율 한도에 들어 안정한 것으로 판단할 수 있다.
- (2) 직립벽 방파제에 대해 파압분포 측정실험을 수행한 결과 충격쇄파압은 발생하지 않았고, 피복석으로 Goda의 파압산정식과 잘 일치하므로 케이슨 설계에 Goda식을 사용하는 것에 무리가 없음을 알 수 있었다.
- (3) 호안의 경우 T.T.P 또는 Core-Loc을 피복시키는 구조로서 안정성 및 월파량 등에 대해 실험한 결과 월파량도 거의 없고, 소파블럭도 안정한 것으로 나타났다.
- (4) 이상의 결과를 바탕으로 인공소파블럭인 TTP와 Core-Loc의 비교실험에서 TTP를 대신할 수 있는 인공소파블럭으로서 Core-Loc의 적용성이 검증되었다. 그러나 피복블럭의 파괴, 천단교별 월파량 등에 대한 더욱 많은 검토가 요구되어진다.

참 고 문 헌

- 류청로, 류연선 (1987): 연안시설물의 안정성 및 기능해석에 관한 연구. 부산수대연보 27(1), 51-88.
 류청로, 신현옥, 김현주 (1993): 월파제어에 관한 비교연구. '93 한국수산학회 춘계학술 발표논문집, B4.