

상자형 부유식 방파제의 소파성능 개선을 위한 실험적 연구

박재현⁽¹⁾, 안용호⁽¹⁾, 김도영⁽²⁾

An Experimental Study of Improving the Efficiency of Pontoon-Type Floating Breakwaters

by

Jae Hyeon Park⁽¹⁾, Yong Ho Ahn⁽¹⁾ and Do Young Kim⁽²⁾

요 약

부유식방파제의 소파성능 개선을 위한 실험적인 연구를 수행하였다. 투과계수는 부유식방파제의 흘수에 큰 영향을 받으며 계류체인 무게에는 큰 영향을 받지 않는다. 두 개의 방파제를 배열을 하면 방파효율을 높일 수 있으며, 앞 뒤 부유체의 흘수를 적절히 선택을 하면 넓은 주파수대에 걸쳐 안정된 방파 성능을 가질 수 있다.

Abstract

An experimental study is made to improve the efficiency of floating breakwaters. Wave transmission coefficients highly depend on the drafts of the floating breakwaters but not on the mooring chain weights. Array of two breakwaters can improve the efficiency of the floating breakwaters. Proper draft combination of the fore and the aft bodies may improve the performance of the floating breakwaters for various wave periods.

Keywords: Floating breakwater, wave transmission coefficient, floating breakwater efficiency, array of breakwater

1. 서 론

육지면적의 부족과 육상자원의 고갈문제가 심각하게 대두되고 있는 현 시점에서, 해양개발은 이를 해결할 수 있는 가장 현실적인 방법으로 인정되고 있다. 최근 생산 및 산업공간으로서의 해양공간 이용이 활발해지고 있다. 공업용지로는 임해부 매립 조성이 행해져 왔으며, 특히 최근에는 그 규모가

비약적으로 증가하여 항만 내 공유수면의 매립을 통하여 고도의 경제성장에 기여한 반면, 해양의 오염 및 자연 해안의 상실 등이 사회 문제를 야기하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 서, 인근 주민의 반대로 육상에 입지하기가 점점 곤란해진 폐기물처리장, 발전소 등과 같은 시설을 부유식 해양 구조물 등의 인공섬 위에 설치하는

(1) 학생회원 홍익대학교 조선해양공학과

(2) 정회원 홍익대학교 조선해양공학과, dykim@hongik.ac.kr

일이 검토되고 있다(대한조선학회 [1996]). 또한 요트, 윈드써핑, 모터보트 등 해양 레저도 점차 보급될 것이며 이에 따라 마리나(marina)의 설치가 늘어나게 될 것으로 보인다. 그리고 멀지 않은 미래에는 보다 더 먼바다로의 진출이 늘어날 것으로 예상된다.

해안 및 해양에 설치되는 해양시설의 기능성과 안전성을 극대화하기 위하여 주위에 방파제를 설치하고 있다. 하지만 경사제와 직립제와 같은 기존의 방파제는 설치에 많은 시간과 경비가 소요되고 환경 및 생태계에 원치 않는 변화를 주며, 설치 예정지의 수심, 지질 그리고 육지로부터의 거리등에 많은 제약을 받는다(Tsinker [1995]). 이를 해결하기 위하여 특정한 계류시스템에 의지하는 부유식 방파제의 도입이 최근 적극적으로 고려되고 있다(Grinyer[1995], Mani [1991], Nekado [1980], Sugawara [1984]). 그러나, 부유식 방파제는 고정식에 비하여 방파 효율이 떨어지는 것을 단점으로 들 수 있다. 이점을 극복하기 위하여, 부유식 방파제의 방파성능의 개선을 위한 연구도 진행되고 있다(송무석[1996], 김도영[1997, 1998]).

부유식방파제의 소파성능은 입사파의 주기와 방파제의 형상과 계류계의 특성의 함수이다. 부유식 방파제의 성능은 부유식방파제의 특성 중 투과계수(wave transmission coefficient), 반사계수(wave reflection coefficient), 부유체에 작용하는 힘과 계류력 그리고 부유체의 운동 등의 함수로 표시할 수 있다. 이 중에서 투과계수 CT 는 방파제의 성능을 나타내는 가장 중요한 파라미터로 입사파의 파고(H_i)와 방파제 후방의 투과파의 파고(H_t)의 비로 표시된다.

$$C_T = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

일반적으로 투과계수는 0 에서 1.0 사이의 값을 가지게 되며, 투과계수가 0인 것은 입사파를 완전히 방파하여 후방에 파도가 없다는 것을 의미하며, 1.0인 것은 전혀 방파를 하지 못한 것을 의미한다. 부유식 방파제로 투과계수가 0에 가까운 값을 가지는 것은 그 구조상 매우 어려운 일이다. 현재 부유식 방파제를 사용하여 소파를 했을 때, 설계 기준으로 받아들이고 있는 투과계수의 값은 0.5이다(Tsinker [1995]). 이것은 입사파의 파고를 반으로 줄인 것을 의미하며 파에너지 관점에서 보면 입사파의 에너지의 약 75%를 제거한 것을 의미한다. 파의 투과는 입사파의 주기의 함수이며 방파제의

형상과, 계류 특징에 따라 결정된다.

부유식 방파제의 성능은 입사파의 주기에 큰 영향을 받는다. 일반적으로 부유식 방파제는 주기가 짧은 파도에 대해서는 효율이 좋으나 긴 주기의 파에 대해서는 부유식 방파제의 설계를 잘하지 못할 경우 대부분의 파를 투과시킬 수 있다. 이 논문에서는 체인과 스프링을 계류장치로 사용하여 체인의 무게와 방파제의 흘수에 따른 방파효율을 살펴보고, 스프링형과의 특성을 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 조파수조는 길이 20m, 폭 0.5m 그리고 수심을 0.45m 내외로 조정하여 사용할 수 있는 장비이며 플랩 형식의 조파기와 비치 형식의 소파장치를 이용하고 있다. 실험에 사용된 파의 특성은 파장(L) 0.8m-2.35m, 파고(H) 2.6cm-5.9cm, 파경사도(H/L , wave steepness) 0.01-0.05 정도의 규칙파이다. Table. 1은 실험에 사용된 파를 계속한 결과를 보여주고 있다.

Table 1 Wave Period, Frequency, Height, Length, and Steepness used in the experiment.

period (T)	Frequency (f)	Wave Height H(m)	Wave Length L(m)	Wave Steepness (H/L)
1.35	0.74	0.048	2.35	0.0077
1.30	0.77	0.050	2.17	0.0083
1.25	0.80	0.054	2.14	0.0089
1.20	0.83	0.054	2.00	0.0095
1.17	0.85	0.059	1.88	0.0106
1.13	0.88	0.034	1.84	0.0109
1.09	0.92	0.039	1.75	0.0155
1.06	0.95	0.039	1.65	0.0134
1.03	0.98	0.042	1.54	0.0157
0.99	1.00	0.042	1.46	0.0171
0.96	1.04	0.026	1.39	0.0189
0.94	1.07	0.027	1.31	0.0205
0.92	1.09	0.029	1.29	0.0226
0.88	1.13	0.032	1.19	0.0267
0.84	1.12	0.033	1.13	0.0287
0.82	1.22	0.033	1.03	0.0312
0.72	1.40	0.038	0.83	0.0459

Fig. 1은 조파수조와 실험에 사용된 장비들의 배열을 보여주고 있다. 수직, 수평 및 회전운동을 허용하도록 제작된 가이드에 모델을 설치하고 계류계를 연결한다. 모델의 폭(B)은 40cm를 사용하였고 흘수(D)는 0.1m, 0.15m, 0.2m가 되도록 하였다.

계류라인으로 사용된 스프링의 스프링상수 값은 1N/m이고, 공기 중에서 측정한 체인의 무게는 0.7N/m, 2.5N/m, 3N/m인 것을 각각 사용하였다. 모델의 거동은 CCD 카메라를 이용하여 이미지 프로세서로 측정하였다. 입사 및 투과파의 계측은 Churchill사의 용량식 파고계와 증폭장치를 사용하였고 신호는 Keithley 1082HR/DA 보드를 사용하여 60-80초 동안 50Hz로 저장하였다. 파고계는 단독형일 경우는 입사파 용으로 1개와 투과파 용으로 2개를 사용하였고, 배열형(2개의 모델)일 때에는 입사파용 1개, 두 모델사이에 1개, 그리고 투과파용으로 1개를 사용하였다. Fig. 2는 계측된 파고와 그들의 FFT결과의 예를 보여준다.

3. 결과 및 고찰

본 연구는 상자형 모델을 설치하여 투과계수와 모델의 거동을 계측하였고 본 논문에서는 투과계수를 중심으로 방파제의 성능을 살펴보았다. Fig. 3에서는 계류라인으로 스프링(1N/m)을 사용한 단독형의 결과를 보여준다. 그래프에서 횡축은 L/B를 사용하였고 이것은 파장과 모델 폭의 비로써, 값이 증가할수록 부유체의 폭에 비해서 파장이 상대적으로 긴 장파 영역이 된다. 종축은 투과계수를 나타내었다. 그래프에서 표시한 점은 실험에서 계측한 결과를 표시한 것이고, 이점들을 다항함수로 (4차함수) fitting한 선을 참고로 표시하였다. 모델의 흘수를 3가지로(D=0.1m, 0.15m, 0.2m) 변화시켜 실험했다. 이것은 B/D가 각각 4.0, 2.67, 2.0에 해당한다. 그래프를 살펴보면, B/D=4 일 경우에는 L/B가 2.5 근처에서, B/D=2.67 인 경우에는 L/B가 3.8 에서, B/D=2 인 경우에는 L/B가 4.5 근처에서 최소 투과계수를 보인다. 그리고 B/D가 감소함에 따라 최소 투과계수의 값이 나타나는 L/B가 조금씩 커지는 것을 볼 수 있다.

Fig 4, 5, 6에서는 계류라인으로 체인을 이용한 모델의 실험결과를 보여준다. 계류라인이 스프링형인(Fig. 3) 것과 마찬가지로 B/D가 작아짐에 따라 최소 투과계수 값이 나타나는 L/B의 값이 커지는 것을 즉, 장파영역으로 이동함을 볼 수 있다. 또한 B/D가 감소함에 따라 최소 투과계수가 조금씩 커짐을 볼 수 있는데, 스프링형보다는 차이가 작음을

알 수 있다.

Fig 7, 8, 9에서는 동일한 흘수에서 계류라인이 스프링인 것과 무게가 다른 체인을 사용한 것을 비교하였다. 그래프를 살펴보면 체인의 무게에 따른 투과계수의 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그리고, 스프링형과 체인형을 비교해 보면 투과계수 값의 경향이 전반적으로 비슷한 경향을 보인다. 그렇지만 체인형의 전체적인 투과계수 값이 스프링형보다 작다. 특히 단파영역에서 그 특징이 두드러지게 나타난다.

Fig. 10, 11, 12에서는 같은 폭과 흘수를 갖는 2개의 모델을 사용하였고, 모델 사이의 거리(S)를 0.8m, 1.6m, 2.4m로 변화시켜 가면서 실험한 결과를 보여준다. 이것은 방파제간 거리와 방파제 폭의 비(S/B)가 2, 4, 6 이다. 단독형과 마찬가지로 B/D가 작아질수록 투과계수 값이 최소값을 나타내는 L/B영역이 큰 쪽(장파영역)으로 이동하는 모습을 보인다. 그러나 전체적인 투과계수는 많이 낮아짐을 알 수 있다. 그리고, L/B가 3이하에서는 B/D가 4인 모델이 방파효율이 제일 좋고, B/D가 2.67, B/D가 2인 순서인데, L/B가 4이상인 영역에서는 반대의 순서로 방파효율이 나타난다.

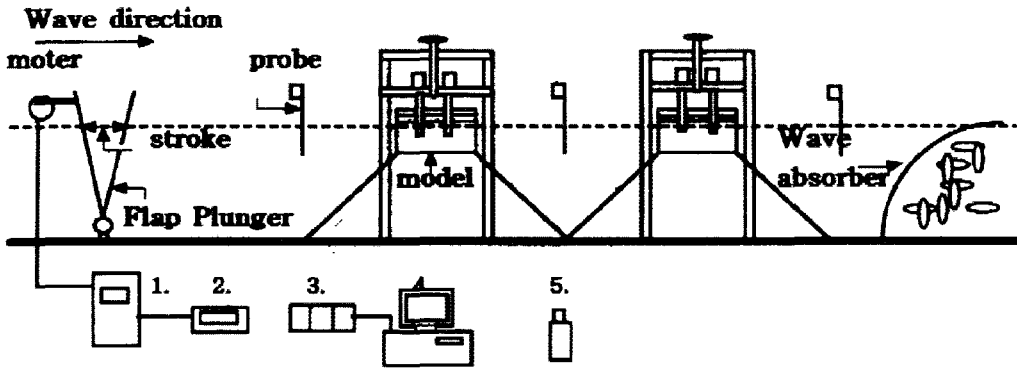
Fig. 13, 14, 15는 계류라인으로 체인을 사용하고, 앞뒤 모델의 흘수를 다르게 변화시켜 실험한 결과와, 각 모델의 흘수가 같은 경우를 비교한 것이다. 그래프를 살펴보면 전후방 모델의 흘수를 다르게 했을 경우, 투과계수의 경향은 흘수가 적은 쪽의 경향을 가지는 것을 알 수 있다. 그리고, 전후방모델의 흘수가 다를 때 앞뒤 모델의 흘수를 서로 바꾸어도 투과계수는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. Fig. 14를 살펴보면 전후방 흘수가 서로 다를 때에는 같을 때 보다 전반적으로 폭넓은 L/B 영역에서 안정된 방파효율을 나타낸다.

Fig. 16, 17, 18은 흘수를 고정시키고, 단독형과 배열형의 두 모델사이의 거리를(S=0.8m, 1.6m, 2.4m) 변화시켜 비교하였다. 단독형일 때 보다 배열형이 L/B가 4이하인 영역에서 투과계수가 많이 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 배열형의 전후방 모델의 거리변화에는 투과계수에 특별한 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

상자형 부유식방파제의 실험을 통하여 투과계수를 살펴보았고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 투과계수는 주어진 흘수에 따라 최소값을 가지는 L/B가 존재한다.



1. Wave Generator
2. Function Generator
3. 3-Channel Amp for Wave Data Acquisition
4. Data Acquisition System for Wave Data
5. Video Recorder

Fig. 1 Wave tank and measuring equipment

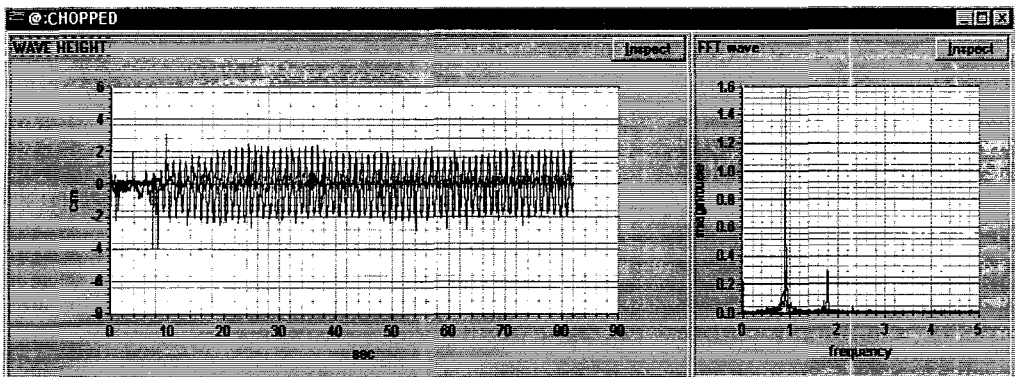


Fig. 2 Typical Wave Signals and their spectra

2. 폭홀수비(B/D)가 증가하면 투과계수가 0.5이하가 되는 영역이 늘어나게 되며 최대 방파효율을 가지는 L/B 가 증가하게 된다.
3. 계류라인으로 체인을 사용한 모델에서는 폭홀수비가 증가하면 투과계수가 0.5이하가 되는 영역이 늘어나게 되며 최대 방파효율을 가지는 L/B 가 증가하게 된다.

4. 계류라인으로 스프링을 사용한 모델과 체인을 사용한 모델을 비교하여 보면 투과계수의 경향이 스프링을 사용한 모델보다 체인을 사용한 모델이 단파영역에서 투과계수가 작아지게 된다.
5. 계류라인이 체인형인 경우 단위길이 당 체인무게가 변하여도 전체적인 투과계수의 경향에 변화가 없다.

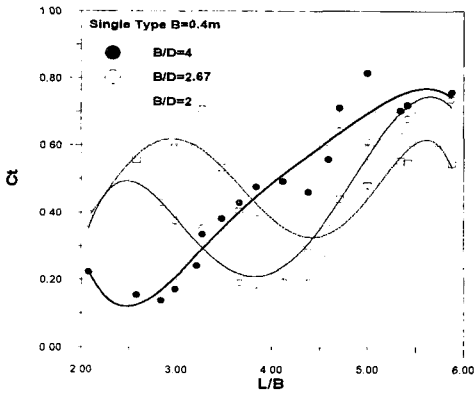


Fig. 3 Comparison of C_T with draft variation (Spring 1N/m)

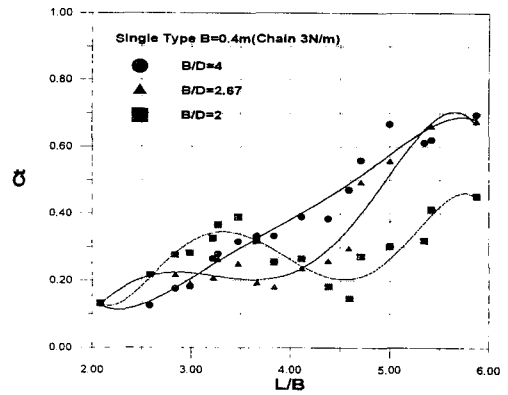


Fig. 6 Comparison of C_T with draft variation (chain 3N/m)

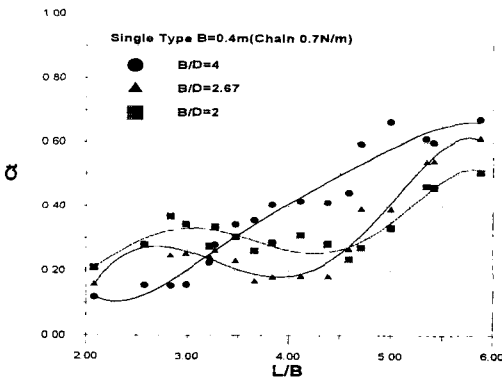


Fig. 4 Comparison of C_T with draft variation (chain 0.7N/m)

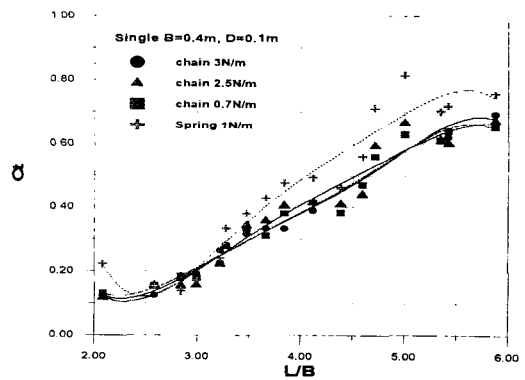


Fig. 7 Comparison C_T for various mooring line ($B/D = 4$)

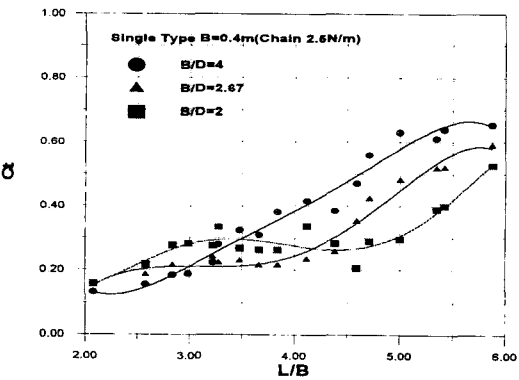


Fig. 5 Comparison of C_T with draft variation (chain 2.5N/m)

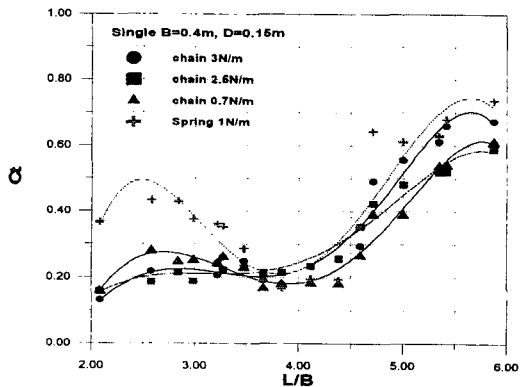


Fig. 8 Comparison C_T for various mooring line ($B/D = 2.67$)

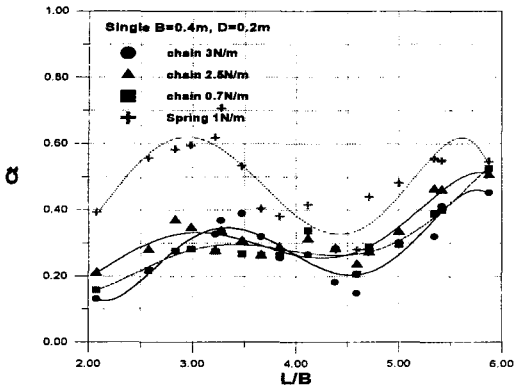


Fig. 9 Comparison C_T for various mooring line ($B/D=2$)

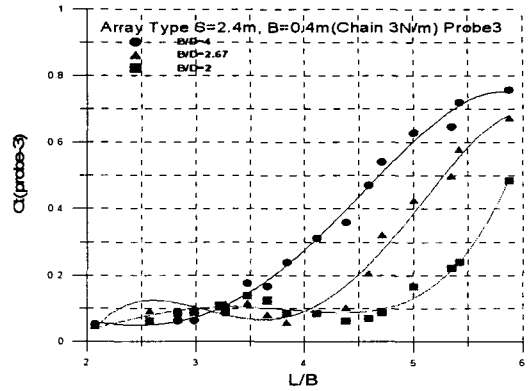


Fig. 12 Comparison of C_T for various model draft (array type $S=2.4\text{m}$)

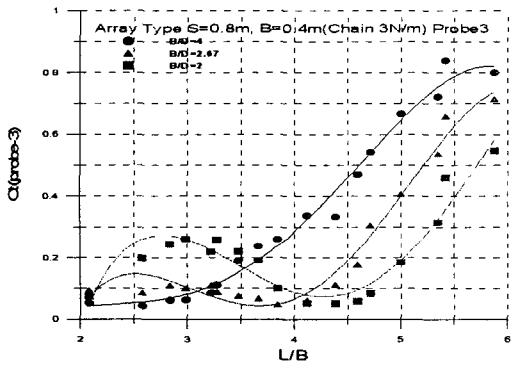


Fig. 10 Comparison of C_T for various model draft (array type $S=0.8\text{m}$)

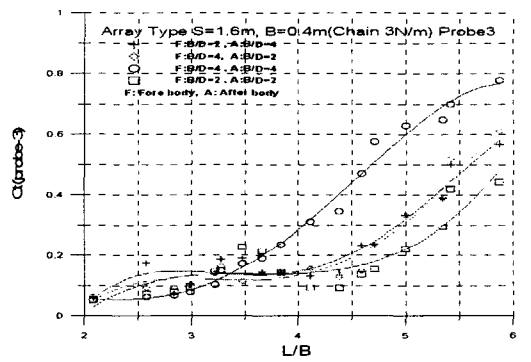


Fig. 13 Comparison of C_T for various model draft (different draft for each array type $D=0.1\text{m}, 0.2\text{m}$)

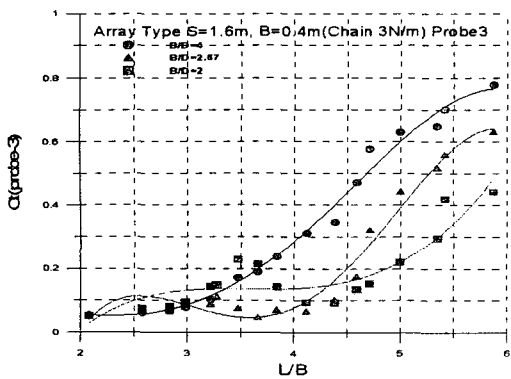


Fig. 11 Comparison of C_T for various model draft (array type $S=1.6\text{m}$)

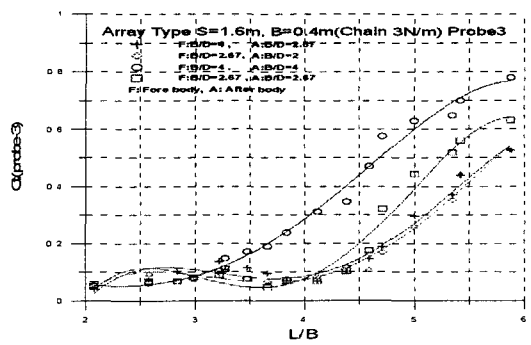


Fig. 14 Comparison of C_T for various model draft (different draft for each array type $D=0.1\text{m}, 0.15\text{m}$)

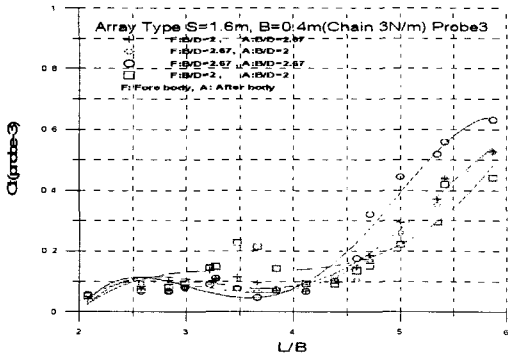


Fig. 15 Comparison of C_T for various model draft (different draft for each array type $D = 0.15m, 0.2m$)

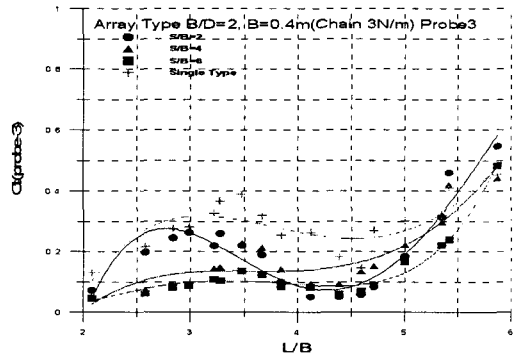


Fig. 18 Comparison of C_T for single and array type ($D = 0.2m$)

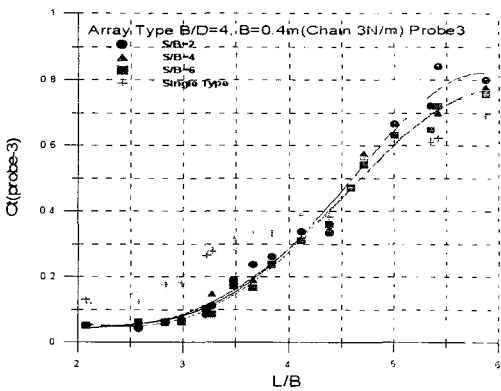


Fig. 16 Comparison of C_T for single and array type ($D = 0.1m$)

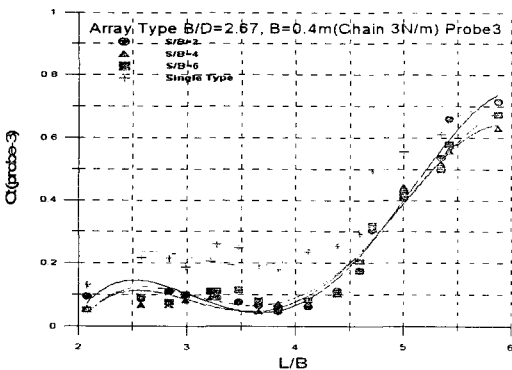


Fig. 17 Comparison of C_T for single and array type ($D = 0.15m$)

6. 체인 계류형의 투과계수가 스프링 계류형과 유사한 경향을 보이는 것으로 봐서, 모델의 투과계수 값에 영향을 주는 것은 체인의 단위길이당 무게가 아니라 홀수의 영향이 지배적이다.
7. 단독형인 경우와 배열형의 경우 배열형의 투과계수는 파도의 중, 단파영역에서 많이 낮아진다.
8. 배열형에서 앞 뒤 홀수가 적절히 조종하면 두 개의 홀수가 같을 때 보다 전반적으로 안정된 투과계수를 가질 수 있다.

5. 후 기

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구 과제번호 981-1212-036-2의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 대한조선학회편, “해양공학개론”, 1996, 농명사
- [2] 송무석, 김도영, 이현엽, 조일형, “규칙파중 수면 근처에 고정된 상자형 방파제의 특성에 관한연구”, 대한조선학회 논문집, 제35권 제2호 pp. 38-50, 1998
- [3] 김도영, 김용섭, 송무석, 류황진, 정학재, 심재운 “부유식방파제의 소파특성에 대한 연구” 대한조선학회 추계학술회의, 1997
- [4] 김도영, 류황진, 박재현, 박인배 “상지형 부유식 방파제의 소파성능 개선에 대한 연구” 한국해양공학회 춘계학술대회, 1998
- [5] Tsinker, G.P., *Maine Structures Engineering: Specialized Applications*, Chapman & Hall, NY, 1995.

- [6] Grinyer, A.W., "*Fixed and floating breakwaters for small craft harbours: experience at Town Quay Southampton, Haslar Marina, Portsmouth and Parkstone Yacht Haven, Poole*", 3rd Int. Conf. Planning Design and Operation Marina III, 1995.
- [7] Mani, J.S, "*Design of Y-frame Floating Breakwater*", J. Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, No.2, pp.105-119, 1991.
- [8] Nekado, Yukiharu & Kokumai, Akihisa, "*A Study on Air Controlled Floating Breakwater*", J. KSNJ, 177, pp.1-9, 1980.
- [9] Sugawara, Tadao & Yoshimura, Tadashi, "*Development of PC Hybrid Floating Breakwater*", Mitsui Technical Review Tokyo, Mitsui Heavy Industries, Ltd., n 124, Feb 1984.