

소형파수조에 적합한 소파장치 개발에 관한 실험적 연구

이희성*, 권순홍**, 조효제***

An Experimental Study on Development of the Wave Absorber for Small Wave Flume

H.S. Lee*, S.H. Kwon** and H.J. Jo***

요 약

본 논문에서는 유연한 그물 구조로 된 새로운 개념의 소파 장치를 제안한다. 본 연구를 하게 된 동기는 이미 알려져 있는 기존의 소파장치들이 작은 파수조에서는 제대로 그 역할을 하지 못한다는 점에서 시작되었다. 소파기의 성능을 파악하기 위하여 소파기의 길이와 소파기의 면적을 변화시켜 여러 가지 파장의 파에 대해서 실험을 수행하였다. 실험 결과 제안된 소파 장치는 그 길이가 짧은 파수조에서도 뛰어난 성능을 발휘함을 알 수 있었다.

Abstract

This paper proposes a new wave absorber made of flexible net structures. The motivation of this research is that the wave absorbers which already invented are not effective in small wave flume. To test the efficiency of the proposed water absorber, experiments were done for various wave length, the length of the wave absorber, and the areas of the wave absorber. The proposed new wave absorber demonstrated its efficiency when used in small-length wave flume.

접수일자: 2000년 8월 14일, 승인일자: 2000년 12월 9일

*학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 박사과정(E-mail: chaos730@hanmail.net)

**정회원, 부산대 조선해양공학과 정교수(E-mail: shkwon@hyowon.pusan.ac.kr)부산대 기계기술연구소

***정회원, 한국해양대학교 조선해양공학과 조교수(E-mail: hjjo@hanara.kmaritime.ac.kr)

1. 서론

본 연구의 필요성은 학부에서 시행되는 해양파 역학의 부교재로 파수조가 설계되고 제작되면서부터이다. 학부 실험용 파수조는 학부에서 배우게 되는 여러 해양파 현상을 실제 구현해 보고자하는 목적에서 제작되었다. 이러한 이유로 정량적으로 정확한 결과를 얻기보다는 정성적인 성질을 잘 관찰하고, 특별한 관리자 없이도 자유로이 실험을 할 수 있으며, 본 연구실의 남는 공간을 충분히 활용할 수 있도록 전면이 투명하고 길지 않은 수조가 처음부터 고안되었다. 그리하여 길이 4m, 높이 0.7m, 내부폭 0.3m인 수조가 제작되었으며, 여기에서 학부생들은 이론적으로만 다루어 보았던 정지파와 진행파의 생성, 조파기의 transfer function 구하기, 비선형파형 관찰, 쇄파 생성, 군속도와 위상속도의 상호 비교와 같은 여러 실험을 수행해 보게 되었다. 하지만, 수조가 워낙 짧은지라 조파기의 구동 후 바로 정지파가 생성되어 성능이 뛰어난 소파 장치의 필요성이 절실하게 되었다. 기존의 소파장치 개발에 관한 논문에서 제시하는 방법들은 이러한 소규모 수조에는 맞지 않았다(Sollitt 1986) (Thompson 1992) (Williams 1992) (Zhao 1994). 대형 파수조의 경우 파진행 방향으로 충분히 길어서 완전히 소파되지 않은 파가 반사되어 오는데 시간이 있지만 소형의 경우 금방 반사파가 생기게 되었기 때문이다. 이에 여러 방면으로 고심하던 중 그물식 구조의 유연한 망을 여러 겹으로 겹쳐 놓았을 때 탁월한 소파 성능을 띄게 됨을 발견하게 되었다.

본 연구에서는 이렇게 고안되어진 망사형 소파 장치가 어느 정도의 소파 효과가 있고, 어떠한 특성을 가지는지 알아보고자 수행되어졌다. 그리고 소파 장치의 길이와 두께가 소파 성능에 어떠한 영향을 미치는지 비교 분석해 보았다.

2. 실험장치 및 내용

2.1 소파 장치

그물눈의 길이가 대략 0.5mm 정도 되는 망사형 구조의 유연한 그물로서, 규격화하여 특성 파

악의 실험을 하고자 1.8m×1.6m의 그물을 5번 접어 0.3m×0.4m의 소파 장치를 만들었다. 이 소파 장치는 시간이 흐를수록 가라앉게 되므로, 일정한 흘수를 유지코자 0.2m×0.02m×0.01m의 얇고 작은 스티로폼을 소파 장치의 중앙에서 길이방향으로 각각 0.1m 떨어진 전후 부분에 두 개를 삽입하였다. 또한 소파장치의 중심은 조파기로부터 2m 떨어진 곳에 위치하였다. 또한 수면에 떠 있는 소파 장치는 조파기가 가동되면 생성된 파로 인해 서서히 위치 이동을 하게 되므로, 이를 최소한으로 막기 위하여 지름이 2mm인 얇은 철사를 사용하여 일정 위치에 고정시키고자 하였다. Fig. 1은 실제 설치되어진 소파 장치이다.

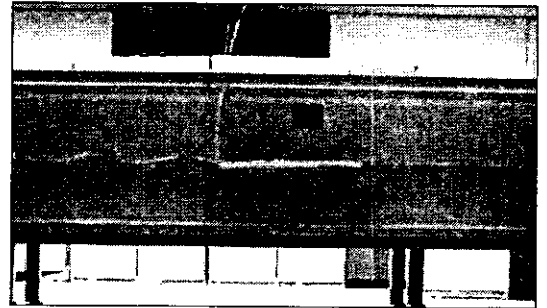


Fig. 1 Experimental sep up

2.2 조파기

조파기의 구동은 사인 운동을 할 수 있도록 회전 운동을 직선 운동으로 바꾸어 주는 시스템으로 구성하였다. 회전 운동은 저속 모터를 사용하였으며 속도는 모터의 속도 조절로, 스트로크는 회전 운동의 운동 반경 조절로 제어하였다.

2.3 디지털 캠코더

실험이 수행되어지는 상황을 직접 촬영하고, 동영상으로 기록하고자 디지털 카메라를 컴퓨터와 연결하였다. 컴퓨터에는 TV 수신카드를 장착하여 동영상을 생성토록 하였으며 초당 3프레임의 속도로 주요 실험을 촬영하였다.

2.4 파고계

파고계는 저항식 파고계를 사용하였으며 자체

데이터로그를 통해 시계열(time history)을 기록하였다. 이 데이터로그는 초당 31개의 데이터를 취득하는 것으로서, 운동이 일정해 졌다고 보이는 시각부터 30초간 데이터를 취한 후 평균을 내어 파고를 결정하였다.

2.5 파수조

Fig.2와 같이 제작된 본 수조는 길이 4m×폭 0.3m×높이 0.7m의 제원으로 구성되어 있으며, 전면을 투명한 유리로 제작하여 어느 방향에서나 관측이 가능하도록 하였다.

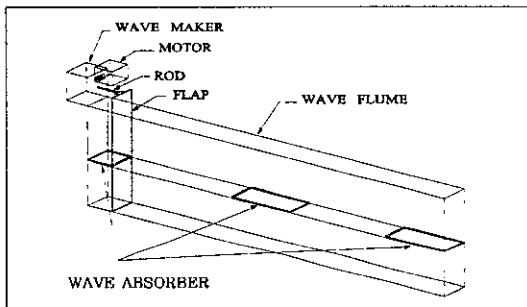


Fig. 2 Experimental sep up

3. 실험 결과 및 분석

먼저 소파 장치의 성능을 단적으로 보여주는 Fig.3과 Fig.4를 관찰해 보자.

이 시계열은 조파 장치가 가동되어 5번의 스트로크가 있게 한 후 정지시켰을 때, 소파 장치가 사용되었을 때의 소파 시간과 사용되지 않았을 때의 소파 시간을 비교한 것이다. 소파기의 위치는 조파기로부터 2m, 그리고 파고계측 위치는 소파기의 하류쪽 끝부분에서 측정하였다. 소파 장치가 사용되었을 경우는 시계열에서도 잘 보여주듯이 스트로크가 멈춘 후 30초 전후로 수조의 수면을 급속히 안정시켜주는 반면, 소파 장치가 설치되지 않은 상황에서는 150초가 넘도록 수면이 안정되지 않음을 관측할 수 있었다. 이는 이 소파 장치가 실제의 수조 실험에서 실험의 시간적 효율을 5배 정도 높일 수 있다는 사실을 보여주는 것이다.

다음으로 Table 1에서 표시한 파고계에서 측

정된 결과들을 보도록 하자. 먼저 각 축에 쓰인 기호들의 의미를 설명해 보면, parameter 축에 있는 λ 와 A는 각각 조파기를 통해 생성된 파의 파장과 소파기의 면적을 의미한다. λ 의 측정은 디지털 캠코더로 캡처된 파의 파형을 분석하여 얻은 것이고, A는 1.8m×1.6m로 규격화시킨 소파장치 한 개를 의미하는 것이다. 그리고 2A는 이 규격화 된 소파장치를 두 개 써서 포개어 놓음을 의미한다. 세로의 height 축에 있는 h_1 는 입사파의 파고를, h_2 는 소파 장치를 통과하기 직전의 파고를, h_{a-free} 는 한쪽 단이 고정되지 않은 소파 장치를 통과한 파의 파고를, h_{a-fix} 는 양단을 고정시킨 소파 장치를 통과한 파의 파고를, 그리고 h_0 는 수조 끝단부에 소파장치를 설치하고 소파장치에 입수되는 파의 파고를 측정할 값들이다. 사실, 순수한 입사파라 함은 조파기에서 수십의 두 세배정도 이상 떨어진 위치에 안정된 파가 생성되어 먼저 지나간 파들이 반사되어 다시 돌아오지 않을

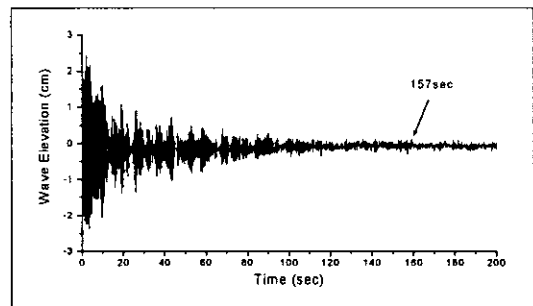


Fig. 3 Time history of wave elevation W/O wave absorber

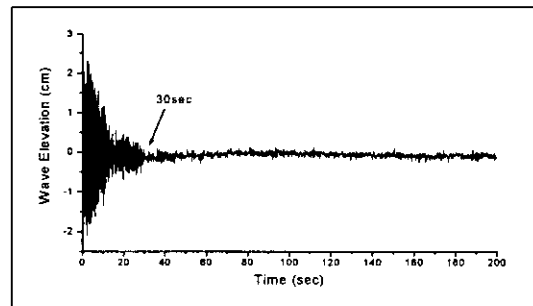


Fig. 4 Time history of wave elevation with wave absorber

Table 1 Results on measurements of wave height

| Parameter Height | $\lambda = 300\text{mm}$ | | $\lambda = 400\text{mm}$ | | $\lambda = 500\text{mm}$ | |
|---------------------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|--------------------------|------|
| | A | 2A | A | 2A | A | 2A |
| $h_i(\text{mm})$ | 23.2 | | 31.5 | | 26.1 | |
| $h_r(\text{mm})$ | 26.5 | 27.8 | 38.2 | 38.9 | 33.0 | 33.0 |
| h_r/h_i | 1.14 | 1.20 | 1.21 | 1.23 | 1.26 | 1.26 |
| $h_{a \text{ free}}(\text{mm})$ | 10.3 | 6.1 | 14.9 | 9.1 | 14.2 | 9.5 |
| $C_{T1}=h_{a \text{ free}}/h_i$ | 0.45 | 0.26 | 0.47 | 0.29 | 0.54 | 0.36 |
| $h_{a \text{ fix}}(\text{mm})$ | 8.0 | 4.9 | 12.0 | 6.9 | 11.7 | 8.4 |
| $C_{T2}=h_{a \text{ fix}}/h_i$ | 0.34 | 0.21 | 0.38 | 0.22 | 0.45 | 0.32 |
| $h_e(\text{mm})$ | 26.4 | 27.6 | 39.5 | 39.7 | 34.2 | 34.3 |
| h_e/h_i | 1.14 | 1.19 | 1.25 | 1.26 | 1.31 | 1.31 |

때까지의 파고를 의미하는 것이나, 이는 본 실험에 쓰인 수조로써는 도저히 만들 수 없는 상황이었다. 그래서 본 실험에 쓰인 소파기 재료의 성능을 믿고 이 소파 재료를 최대한 많이 조파기 반대 끝단에 투입하여 조파기에서 발생되어 나오는 파를 측정, 이를 순수한 입사파라 가정하였다. 소파기의 성능 실험은 수조의 중앙과 끝단에서 수행되었는데, 중앙에서 한 실험의 파고는 각각 h_r 와 h_a 로 표시하였고, 끝단에서 한 실험의 파고는 h_e 로 표시하였다.

실험의 결과를 살펴보면, 첫째로 동일한 스트로크에서 파장을 짧게 하면 파고가 높아져야 할 것인데 $\lambda = 300\text{mm}$ 에서는 도리어 파고가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이는 조파기가 높은 frequency에서 무리하게 파를 생성함으로써 파가 생성 단계에서 약간의 붕괴로 인한 에너지 손실이 있었음을 의미하는 것으로, 실제 눈으로도 어느 정도 확인할 수 있었다. 이렇게 무리하게 파장을 줄여 실험한 이유는 길이가 400mm인 소파 장치보다 짧은 파가 어느 정도의 소파가 되는지를 확인해 보기

위해서였다. 즉 파장의 길이가 소파 장치의 길이에 비해 짧은 경우, 같은 경우, 긴 경우로 나누어 관측해 보기 위해 세 가지 파장을 선택하여 실험한 것이다.

둘째로 h_r 와 h_i 의 비를 보면 모두 1.0보다 크며 파장이 길수록 좀더 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 이는 소파 장치가 자체의 운동이나 흐름의 방해 등을 통해 약간의 방사파를 만들고 있음을 알 수 있었다.

셋째로 입사파와 소파 장치를 통과한 파의 파고 비를 표현한 C_{T1} 과 C_{T2} 를 비교해 보면, 아무리 파장과 소파 면적이 변화하여도 C_{T2} 가 작음을 알 수 있었다. 이는 양단을 고정시킨 소파 장치가 자체 운동을 크게 하는 한 단만을 고정시킨 소파 장치의 단점을 보완해 준 효과로 보였다.

마지막으로 h_e 와 h_i 의 비를 h_r 와 h_i 의 비로 비교해 보면, h_e 가 더 높은 값을 확인할 수 있었다. 이는 끝단에서 통과된 파가 다시 반사되어 어느 정도 입사파에 영향을 미쳤다고 보아야 할 것이다.

이제 실험의 결과 중 대표로 한 경우만 소파 장치 통과 전후로 그 파고 비교를 해 보도록 하자. Fig.5의 시계열은 Table 1에서 음영으로 나타낸 경우를 분석한 것으로 $\lambda=400\text{mm}$ 이고 2A인 소파 장치를 쓸 경우, 안정된 부분의 시계열을 겹쳐 그린 것이다.

Fig.5에서도 잘 보여 주듯이 확연한 파고 감소를 관찰할 수 있을 것이다. 이 뿐만 아니라 주기적으로도 입사 전후가 거의 같다는 것을 느낄 수 있을 것이다.

이러한 주기 특성을 좀 더 자세히 관찰하고자 두 시계열을 FFT로 분석한 결과, Fig.6과 Fig.7에서 보는 바와 같이 두 wave spectrum이 동일한 위치에서 큰 피크치를 이루고 있음을 볼 수 있다. 이는 두 시계열이 동일한 frequency를 가진다는 의미로서, 소파 장치의 통과 후에도 파고만 낮아질 뿐 주파수의 특성이 같다는 것을 알 수 있었다.

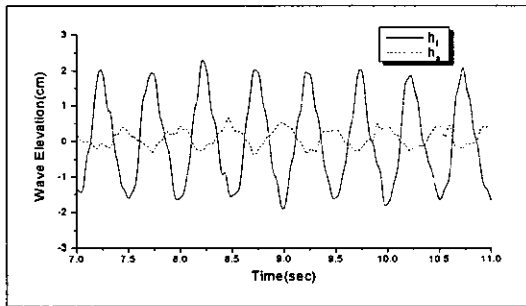


Fig. 5 Time histories of up/down stream of wave absorber

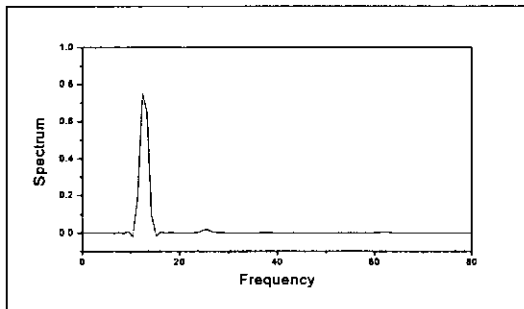


Fig. 6 Spectrum of up-stream wave

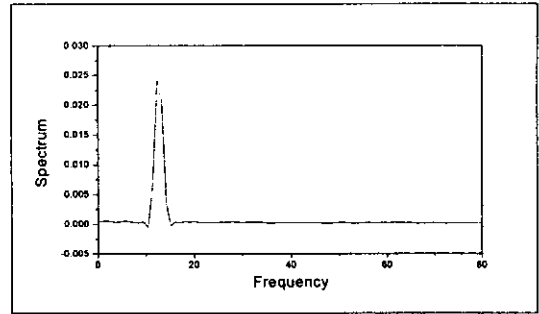


Fig. 7 Spectrum of down-stream wave

앞에서 언급된 C_T 의 각 결과들을 그 경향 파악을 위해 Fig.8에서 모두 모아 표시해 보았다.

여기서 Fig.7을 통해 볼 때, 소파 장치의 양단 고정과 면적의 증가는 소파 성능에 큰 효과가 있음을 쉽게 알 수 있었고, 파장이 소파 장치의 길이를 벗어남에 따라 급속하게 그 성능이 떨어짐을 어느 정도 예측할 수도 있었다.

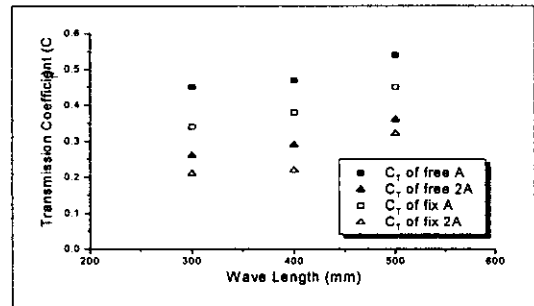


Fig. 8 C_T vs Wave Length

4. 결 론

본 실험을 통해서 우수한 소파 성능을 가진 새로운 소파 장치를 제안하였다. 제안된 소파기는 손쉽게 구할 수 있고 제작 또한 너무나 간단하다. 그 기능도 파장보다 긴 길이의 소파 장치를 설치하면 뛰어난 성능을 발휘한다는 것을 알 수 있었다. 특히 제안된 소파 장치는 짧은 길이의 파수조에 간단하게 소파 장치로 활용함으로써 정성적인 실험에 효과적으로 사용될 수 있다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- Sollitt, C. K., Lee, C. P., McDougal, W. G., and Perry, T. J., 1986, "Mechanically Coupled Buoyant Flaps : Theory and Experiment", Proc., 20th Coast. Engineering Conf., 3. 2445-2459.
- Thomson, G. O., Sollitt, C. K., McDougal, W. G., and Bender, W. R., 1992, "Flexible Membrane Wave Barrier", Proc. Oc. V., ASCE, NewYork N. Y., 129-149.
- Williams, A. N., Geiger, P. T., and McDougal, W. G., 1992, "A Submerged Compliant Breakwater", J. Offshore Mech. and Arctic Engineering, 114(May), 83-90.
- Zhao, R. "Hydroelastic Analyses of a Floating Flexible Body in Waves" Proc. 9th Int. Workshop on Water Waves and Floating Bodies", Japan, 241-244.



〈이희성〉



〈권순홍〉



〈조효제〉