



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

濟州 테우의 縱方向 틈에 의한
에너지 損失效果

濟州大學校 産業大學院

漁業學科

姜 晳

2013年 6月

濟州 테우의 縱方向 틈에 의한 에너지 損失效果

指導教授 安 長 榮

姜 哲

이 論文을 水産學 碩士學位 論文으로 提出함

2013 年 6 月

姜哲의 水産學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 崔 燦 文 ㉠

委 員 安 長 榮 ㉠

委 員 李 昌 憲 ㉠

濟州大學校 産業大學院

2013 年 6 月

Efficiency energy dissipation by the longitudinal porous of Jeju Tewoo

Seuk Kang

(supervised by jang-young Ahn)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF FISHERIES SCIENCE

DEPARTMENT OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2013. 6

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	v
Summary	vi
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 모형제작	4
2. 실험수조	6
3. 파고계 설치 및 보정	8
4. 측정방법	16
III. 결과 및 고찰	15
IV. 결론	45
참고문헌	47
감사의 글	49

List of Figures

Fig.1. General arrangement drawing of Tewoo.	3
Fig.2. Experimental model of Tewoo pontoon frame.	4
Fig.3. 2-D Wave tank.	6
Fig.4. Wave generator in 2-D wave tank.	7
Fig.5. Inclined punching plate wave absorber in 2-D wave tank.	8
Fig.6. Wave probe & AMP for 2-D wave tank.	9
Fig.7. Result calibration of each wave probes.	11
Fig.8. Sketch of 2-D wave tank and locations of wave probe for measuring the reflection and transmission coefficient of experimental Tewoo pontoon frame.	15
Fig.9. Eddy making resistance.	17
Fig.10. Typical wave signals and their spectra of 4 probes.	18
Fig.11. Time history after filtering wave probe.	19
Fig.12. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.0000$	19
Fig.13. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.0000$	20
Fig.14. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.0000$	21
Fig.15. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.1066$	22
Fig.16. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.1066$	23
Fig.17. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.1066$	24

Fig.18. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.1550.	26
Fig.19. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.1550.	26
Fig.20. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.1550.	27
Fig.21. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.2034.	28
Fig.22. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.2034.	29
Fig.23. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.2034	30
Fig.24. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.2518.	31
Fig.25. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.2518.	31
Fig.26. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.2518.	32
Fig.27. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3003.	33
Fig.28. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3003.	34
Fig. 29. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.3003.	34
Fig.30. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3487.	36
Fig.31. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3487.	36
Fig.32. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.3487.	

.....	37
Fig.33. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3971.	39
Fig.34. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.3971.	39
Fig.35. Energy dissipation rate for Tewoo Pontoon frame at p=0.3971.	40
Fig.36. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.4940.	41
Fig.37. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at p=0.4940.	42
Fig.38. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at p=0.4940.	42
Fig.39. Comparison of average and range of the reflection coefficient of each porosity.	44
Fig.40. Comparison of average and range of the transmission coefficient of each porosity.	45
Fig.41. Comparison of average and range of the energy dissipation rate of each porosity.	46
Fig.42. Photographies for porosity = 0.0000(a), 0.2518(b), and 0.3487(c) of the Tewoo pontoon frame for d=5mm, a_p/λ =125cm.	46

List of Tables

Table 1. Specification of porous used at experiment.	5
Table 2. Standard specification of 2-D Wave tank.	7
Table 3. Standard specification of DT-201 Wave probe.	9
Table 4. Incident wave condition of experimental Tewoo pontoon frame.	13
Table 5. Comparison of the Wave height entered into the wave maker and actual measured wave height of measurement wave probe.	14
Table 6. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.0000$	22
Table 7. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.1066$	25
Table 8. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.1550$	28
Table 9. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.2034$	30
Table 10. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.2518$	33
Table 11. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3003$	35
Table 12. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3487$	38
Table 13. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3971$	41
Table 14. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.4940$	43

Summary

Among the methods of approaching marine engineering-related topics, to get an optimal gap of the *Tewoo* pontoon system through a hydraulic model test using a 2-D tank, an analysis on porosity divided into 9 cases were carried out and the results are as follows:

As the wave penetrates through the porous (gap) of the *Tewoo* pontoon system model, it was found that there is a wave energy loss because the phenomenon of the separation of the gap due to the eddy of the *Tewoo*

In the overall trend by wave-height meter data, reflexivity increases to the domain with high frequency as the wavelength get shorter while the penetration ratio. In contrast, increases to the domain with low frequency as the wavelength get longer. On the other hand, energy loss rate showed the same tendency as that of reflexivity.

Reflexivity had a tendency in which the greater the porosity was, the narrower the distribution range of measured data and the less the average value got, and at porosity $p=0.2518$, a phenomenon in which the specifically distribution range of data and the average value got lower. Penetration ratio, in the opposite phenomenon to reflexivity, had a tendency in which the greater the porosity was, the wider the measured data scope got around the average value, and the greater the average value gradually got, and especially, at porosity $p=0.000$ and $p=0.2518$, the data scope appeared narrow, but the average value was the lowest at $p=0.2518$. On the other hand, energy loss rate increased linearly as porosity got greater around porosity $p=0.2518$, but it decreased around the peak.

Through the above results, a comparative analysis on the penetration ratio, reflexivity and energy loss rate among the *Tewoo* pontoon system models

with different porosity, the gap area of the model with the lowest penetration ratio and reflexivity was 0.23m^2 ($p=0.2518$, Width of porous(w)= 0.2600m) while the porous area with the model with the highest energy loss rate was also 0.23m^2 ($p=0.2518$, $w=0.2600\text{m}$), so in terms of the breaking efficiency and wave energy absorption of the *Tewoo* pontoon system model, the area of the gap with the optimum efficiency can be said to be 0.23m^2 ($p=0.2518$, $w=0.2600\text{m}$).

Since the porosity with the optimum efficiency in terms of the breaking efficiency and wave energy absorption of the *Tewoo* pontoon system model against the wave coming from the front stem was $p=0.2518$, it could be judged that the interval of the longitudinal porous (gap) of the system would have the optimum efficiency at 0.2600m .

I. 서론

배의 역사에서 볼 때 테우와 같은 모양의 배가 B.C 5 - 6,000년 전부터 세계 여러 지역에서 사용되어 왔었던 것으로 보고되어지고 사용방법도 지역마다 많이 달랐다고 생각된다(고, 1985).

제주도는 사면이 바다에 둘러싸여 있는 지리적인 여건 때문에 옛날 제주도 사람들은 제한된 지역 속에서 생활하면서 가까운 바다로 나아가 해조류의 채취 및 연안 어로작업 등을 하기위해서 여러 개의 통나무를 연결하여 만든 배가 제주도에서는 ‘떼배’, ‘떼위’, ‘테’, ‘테우’ 등으로 전해져 뗏목 모양과 비슷하다고 해서 현재에는 ‘테우’, 혹은 ‘떼배’라고 불리지고 있다(정, 1983).

특히 제주도에서는 ‘테우’를 이용해서 멸치잡이, 자리잡이, 갈치잡이, 오징어잡이 등 어로 작업에 차지하는 비중이 컸음을 고(1985)의 문헌을 통해서 알 수 있으며, ‘테우’의 구조를 살펴보면 배의 재료로는 우리나라의 특산수종(特産樹種)이며 일부 아고산(亞高山)지대에만 분포하는 구상나무를 사용하였다. 제주도에서 자생하는 나무들 중 부력이 가장 좋은 구상나무(비중 0.44)는 김(2009)에 의하면 제주도 한라산에서 가장 넓은 면적의 순림이 형성되어 있다고 한다.

테우의 외형 상 구조는 통나무를 종 방향으로 하고 이들을 견고하게 하기 위해서 횡 방향으로 단단히 연결시키는 종식 구조를 갖추고 있다. 선저의 구조는 평저선(平低船, pontoon) 구조라고 하는 두껍고 평탄한 저판의 형태를 하고 있으며, 이러한 형태는 우리나라 옛 선박의 공통적인 구조 중 하나이다. 따라서 테우를 원형으로 그 구조가 발달하였다고 추정된다(채, 1997).

이러한 추정과 실제 어로작업 및 채취어업 그리고 무역 및 어획물 수송에 사용되었던 견고한 구조로 미루어 볼 때 테우의 평저선 구조를 포함한 테우의 설계가 조선공학적 및 항해학적인 측면을 고려한 것으로 생각되며 특히 평저선 구조 사이의 틈새(공극 Porous)는 구전을 통해서 정확한 간격이 있다고 알려지고 있지만 어느 정도가 최적인지는 연구한 것이 거의 없는 실정이다.

간접적인 연구로서는 Dracy의 법칙을 가정한 타 공판을 통과하는 유체의 법선 방향속도가 전후 압력차에 선형적으로 비례한다는 이론 해석에서 출발하여 과거

여러 해 동안 수직 기공(氣孔)관에 의한 파 흡수에 관해서 이론 및 실험을 통해서 언급되어 왔다.

특히, Chwang(1983)는 기공관이 유체력 뿐 만 아니라, 파의 진폭을 감소시키는 효과, Twu & Lin(1991)는 여러 개의 유공관을 구성하여 파의 흡수효과를 크게 개선시킬 수 있다는 것을 연구하였다. 그리고 최근 Cho and Koh(2007)는 에너지 손실($= 1 - |R_f|^2 - |T_r|^2$)은 원형 파일 방파제 간격과 파장의 비인 B/λ (폭/파장)와 공극률, 반사율과 파력이 밀접한 관계가 있어서 저주파 영역에서는 공극률이 작을수록 에너지 손실이 크며 고주파 영역에서는 에너지 손실이 불규칙적이라는 연구 결과를 도출했다.

본 연구는 테우의 평저선 구조가 가지고 있는 설계상의 특인 공극을 파랑 중의 파(波)가 통과하면 갑작스런 단면현상의 변화로 인한 박리현상으로 에너지 손실 효과를 일으키는데, 평저선 구조의 전체면적에 대한 틈 면적의 비인 공극률(Porosity)과 국부현상의 밀접한 관계와 파 에너지손실 및 소파성능에 관한 최적의 공극률을 규명하기 위하여 해양공학적인 측면에서 접근하였다.

일반적으로 해양공학에 관련된 문제를 접근하는 방법은 이론해석, 수치해석 및 수리 모형실험으로 정리할 수 있다. 본 연구에서는 수리모형실험을 통해 그 결과를 얻기 위하여 제주대학교 해양과학대학의 2차원 수조에서 실험을 행하였으며, 테우 평저선 구조의 파 에너지손실 및 소파성능에 관한 최적의 공극률을 찾는 데 그 의의를 두었다.

제주도에서는 테우에 대해서 관광 상품화 하려고 많은 노력을 하고 있으나, 옛 우리 선조들의 테우 제작방식에 대한 고증을 거치지 않음은 물론이고 틈이 파를 흡수한다는 공학적인 측면에서 논의 된 바 없는 테우를 무분별하게 제작하여 바다체험을 하고 있는 실정이다. 그래서 본 연구에서는 한국의 해양문화유산인 ‘테우’의 구조가 선체 운동을 고려한 옛 선조의 지혜가 담긴 구조이며 나아가 한국 고(古)선박의 공통적 구조중 하나인 평저선 구조에 대하여 그 효율성을 규명하는데 기초자료를 제공하고 이를 바탕으로 보다 안전성을 고려한 테우의 제작을 도모할 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

Fig. 1은 제주 테우의 일반적인 구조 및 규모와 각부의 명칭을 나타낸 것으로, 크기는 제작자의 의도에 따라 임의로 규격을 정하는 경우가 흔하기 때문에 일정하지 않았다.

테우의 일반적인 구조 중 평저선구조의 모양은 통나무의 직경이 21cm - 30cm, 선수와 선미의 폭은 각각 170cm 와 217cm로 선수가 좁고 선미가 넓은 종 방향으로 구성되며 선미 폭은 선수 폭에 비해 30cm - 40cm 정도 넓다. 그리고 종 방향으로 놓인 통나무는 선수쪽에 대한 종 방향 강력재의 역할을 하고, 횡 방향으로 놓인 통나무는 선수쪽에 대한 종 방향 강력재의 보조역할을 하는 기구로는 ‘장쇠’가 있다. ‘장쇠’란 종 방향 통나무의 횡으로 배의 앞뒤 양쪽에 구멍을 파고, 그 구멍에 끼우는 참나무나 소나무로 만든 정사각형의 나무못이며 통나무를 고정시켜 횡 방향 강력재로서 역할을 하였다 (안, 1985).

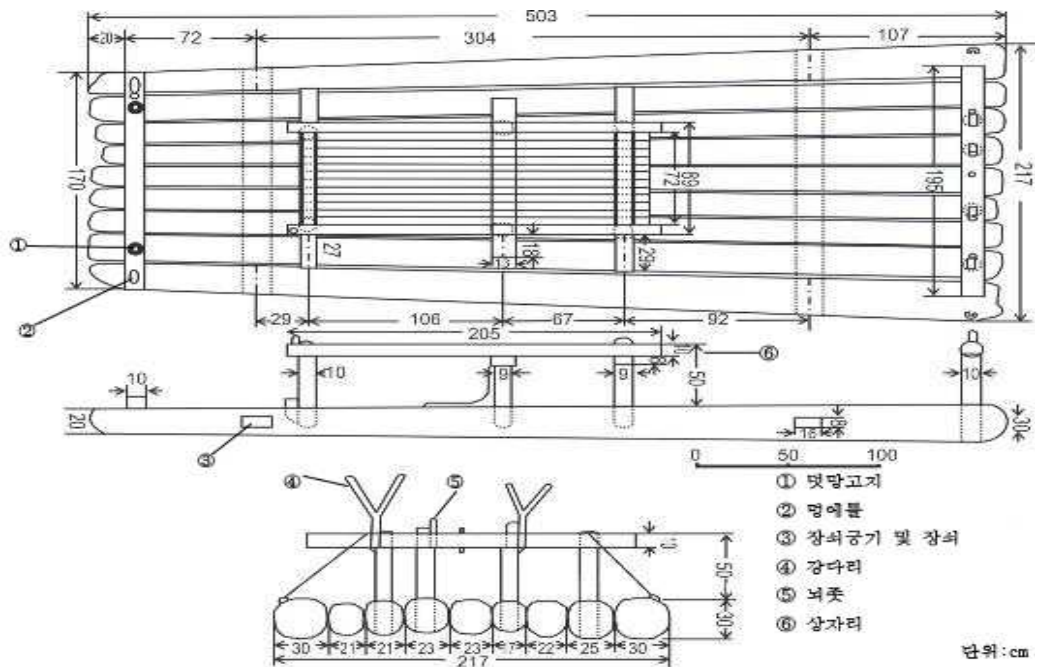


Fig. 1. General arrangement drawing of Tewoo.

1. 모형제작

Fig. 2는 실험모형의 전체적인 구조이다. 테우의 일반배치도에 기초하여 상사법칙으로 1/4로 축소하려 하였으나, 수조 측면부에서 되돌아오는 반사파에 의한 제약 때문에 수조의 측면부와 평행한 길이만 상사법칙으로 적용되었고 선수파를 받는 방향의 길이는 계산 가능한 범위 내에서 최대한 수조에 맞게 제작되어 선수파를 받는 방향의 모형의 길이는 0.74m, 수조와 평행한 방향의 모형 길이는 1.25m로 전체 면적은 0.925m^2 으로 제작되었다. 재질은 두께 10cm 포맥스(Fomex, 비중 0.75)로 플라스틱 압축제품을 사용하였다. 모형의 재질로 포맥스를 사용한 이유는 물에 잘 뜨면서 신축성 또한 좋고 모형제작 시에 정확한 레이저 가공이 가능하기 때문이다.

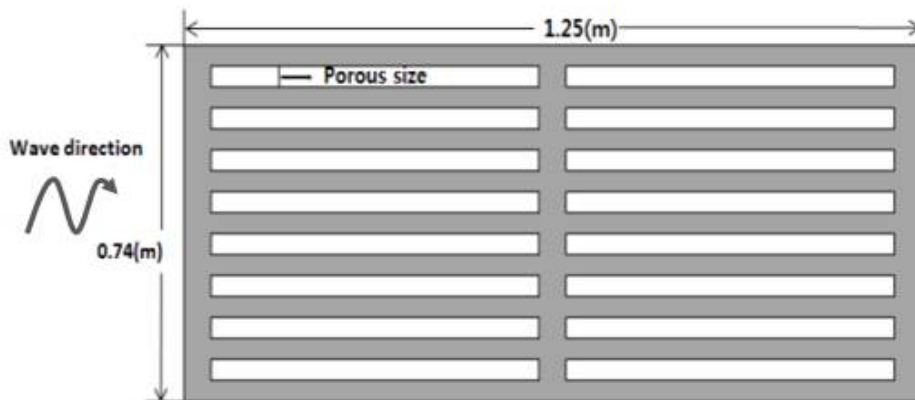


Fig. 2. Experimental model of Tewoo pontoon frame.

테우 평저선 구조의 최적의 공극률을 규명하기 위하여 뚫린면적/전체면적으로 계산하여 공극률 0.0000, 0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940까지 9개의 모형을 제작하였으며 각기 다른 공극률을 가진 실험 모형을 가지고 동일한 실험 조건에서 실험을 실시하여 공극률에 따른 반사율, 투과율, 에너지 손실률 등에 대한 수치변화의 경향과 특징을 분석하였다.

Table 1은 실험 모형의 공극률에 따른 틈의 면적의 크기와 폭 등을 나타낸 것이다.

Table 1. Specification of porous used at experiment.

Porosity(p)	Square meter of porous(m^2)	porous size(m)	The whole area except for the porous(m^2)
0.0000	0.0000	0.0000	0.9250
0.1066	0.0986	0.0110	0.8264
0.1550	0.1434	0.0160	0.7816
0.2034	0.1882	0.0210	0.7368
0.2518	0.2330	0.0260	0.6920
0.3003	0.2778	0.0310	0.6472
0.3487	0.3226	0.0360	0.6024
0.3971	0.3674	0.0410	0.5576
0.4940	0.4570	0.0510	0.4680

2. 실험수조

Fig. 3은 테우의 평저선 구조모형의 소파성능 모형실험을 위해 사용된 제주대학교 해양과학대학 2차원 수조이다.

Table 2는 실험수조 및 수조 내부에 설치되어 있는 조파기와 소파장치의 명세이다. 실험 수조는 길이가 20m, 폭은 0.8m 그리고 최대 수심은 1.0m이며 중앙 관측부의 길이는 15m이다. 수조 전면에는 파를 발생시키기 위해서 최대 왕복거리 0.4m인 피스톤 타입 조파장치가 설치되어 있으며, 반대편 수조 끝단에는 반사파를 줄이기 위해 경사형 타공판을 이용한 소파장치가 설치되어 있다.

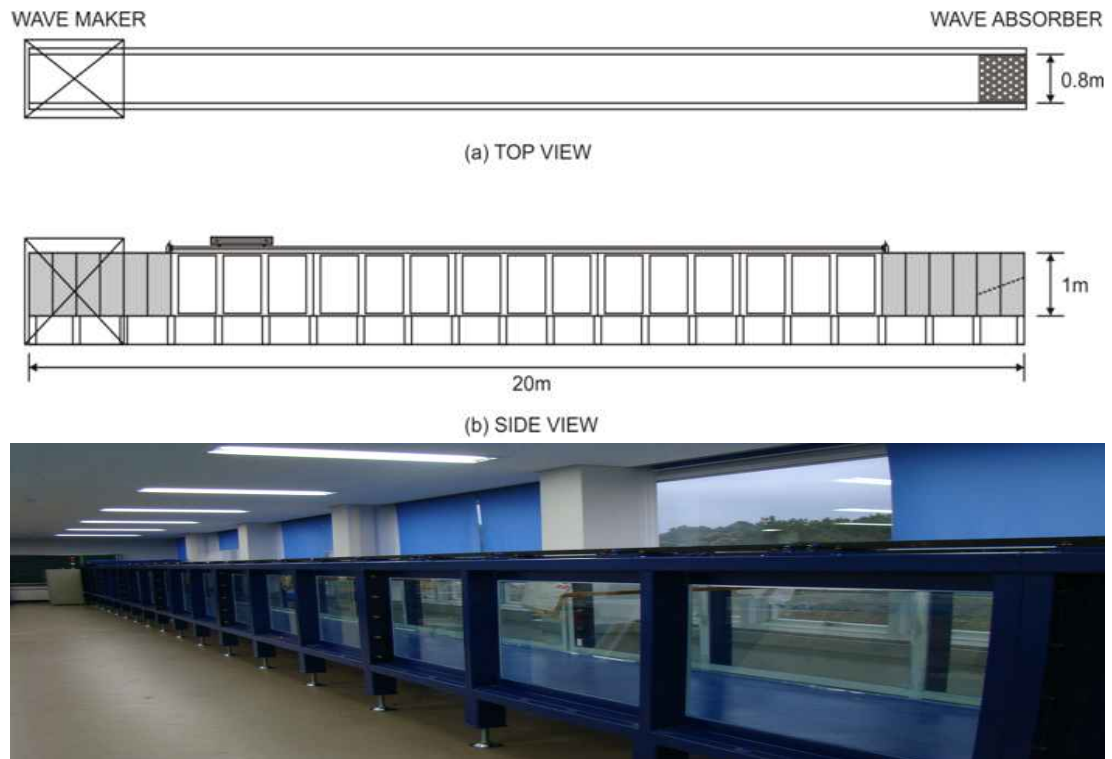


Fig. 3. 2-D Wave tank.

Table 2. Standard specification of 2-D wave tank.

Tank dimensions		20M(L)×0.8M(W)×1.0M(H)
Wave maker	motor	servo motor 1.5kw
	stroke	400 mm
	plate of wave maker	790mm(W)×850mm(H)
Wave absorber		400mm(W)×800mm(H)×2SET

Fig. 4는 2차원 수조의 조파장치(Wave generator)를 나타낸 것으로 모터의 용량은 1.5kw, 폭 0.79m, 높이 0.85m이다. 2차원 조파수조에서는 파를 생성하는 Piston type의 조파장치가 설치되어 있으며, 규칙파 및 불규칙파를 발생시킬 수 있다. 2차원 조파 시스템은 피스톤의 stroke로부터 파고를 조절하며 조파장치의 inverter 입력 주파수를 조절하여 파주기를 생성할 수 있으며 그리고 파장은 0.5m - 2.5m, 파주기는 0.5sec - 5.0sec이고, 파고의 생성 범위는 0.024m - 0.045m이다.



Fig. 4. Wave generator in 2-D wave tank.

Fig. 5는 2차원 조파수조 조파장치 반대 측 끝 부분에 설치되어 실험 후 발생된 수면교란을 약화시키는 역할을 하는 소파장치이다. 구멍의 직경이 8mm, 간격

25mm, 공극률이 0.1인 폭 0.78m의 경사형 타공판재를 사용한 Stainless steel 망 구조물로 되어 있는데 이러한 경사형 타공판재를 이용한 소파성능은 조와홍 (2004)에 의하여 보고되었다.

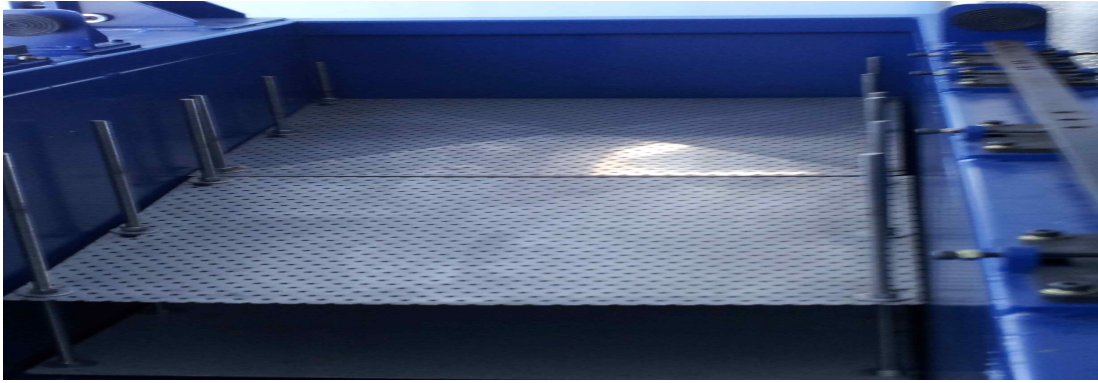


Fig. 5. Inclined punching plate wave absorber in 2-D wave tank.

3. 파고계 설치 및 보정

Fig. 6은 실험에 사용된 파고계이며 그 특성은 Table 3에 나타냈다. 본 실험에서 파랑 측정에 사용된 파고계는 DT-201형 정밀 용량식 파고계로 물에 잠기는 부분의 용량 변화로 파고를 감지하는 원리이다. 계측부는 얇은 피막을 입힌 가는 에나멜선이나 구리선을 사용하여 물에 접촉된 계측부의 길이에 비례하여 파고가 감지되므로 측정시 파의 비말 등에 매우 주의하여 실험을 실시하였다.



Fig. 6. Wave probe & AMP for 2-D wave tank.

Table 3. Standard specification of DT-201 Wave probe.

Channel number	1 Channel
Measuring mode	$\times 1$, $\times 2$, $\times 4$ (3 points manual switching)
Calibration voltage	1, 1/2, 1/4, 0 (4 points manual switching)
Output voltage	$\pm 2.5V$ / Full scale (Load over 10k Ω)
Output current	$\pm 20mA$ / Full scale (Load over 20 Ω)
Temperature range	0 ~ 40 $^{\circ}C$
Power source	220AC $\pm 10V$, 50/60 Hz
Electricity consumption	15VA(Approx)
Dimensions	66(W) \times 168(H) \times 215(D)

테우 평저선 구조의 최적의 공극률을 규명하기 위해 2차원 조파수조에서 테우의 평저선 구조 모형의 틈에 따른 공극률 별로 나누어서 정밀 용량식 파고계를 통해 파고를 측정하였다.

Fig. 7은 각 파고계들의 보정 값을 나타낸 것으로, 실험을 시작하기 전 전압값을 파고의 변위로 환산하기 위한 보정 작업을 각 파고계에 별로 행하였다. 1번 파고계는 계측파를 측정한 파고계로 -10.217, 2번 파고계는 입사파를 측정하는 파고계로 9.980, 그리고 3번 파고계는 반사파를 측정한 파고계로 -10.202, 4번 파

고계는 투과파를 측정한 파고계로 -9.695의 gain 값을 얻어서 각각의 파고계에 대한 설치 높이를 보정하였다.

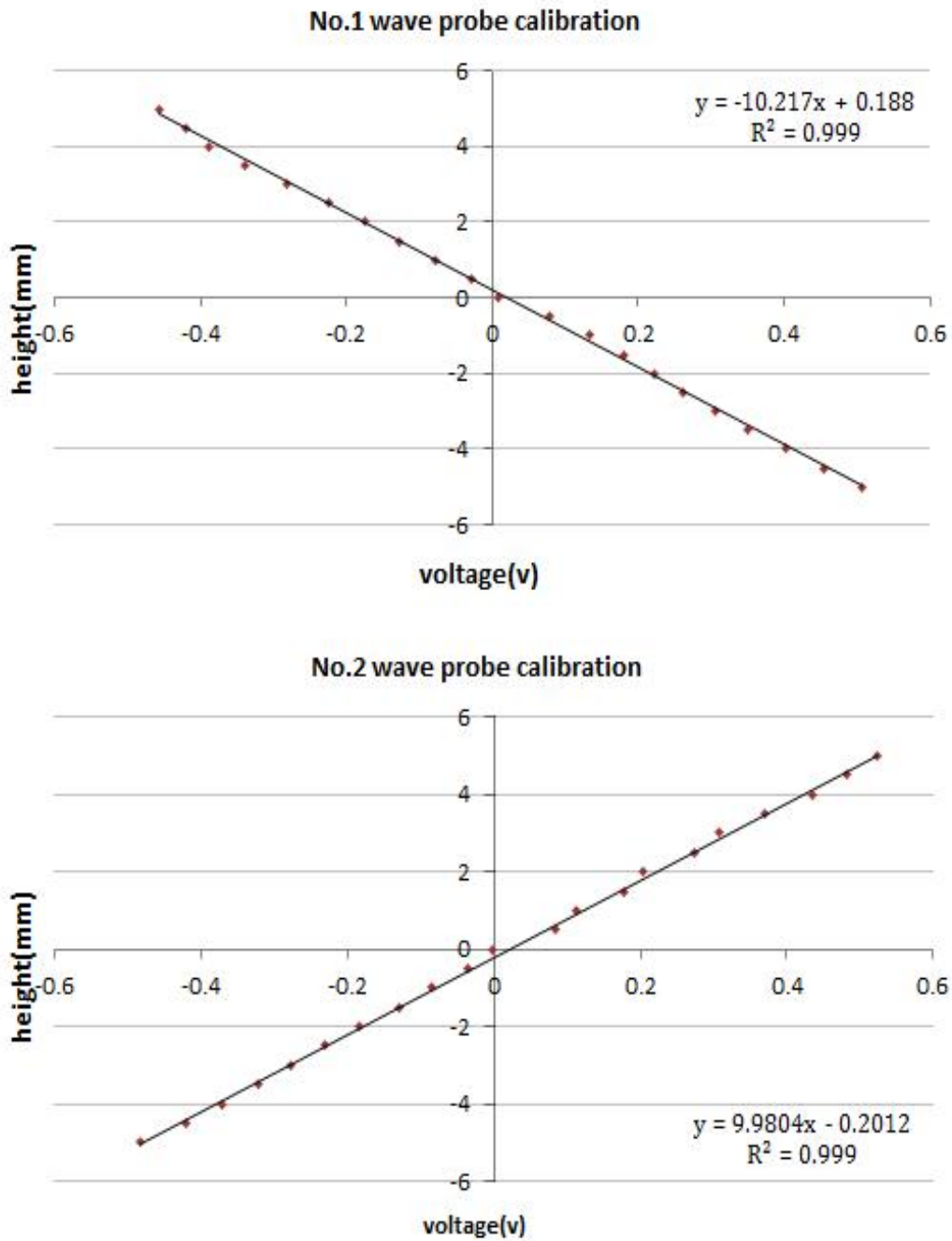


Fig. 7. Result calibration of each wave probes.

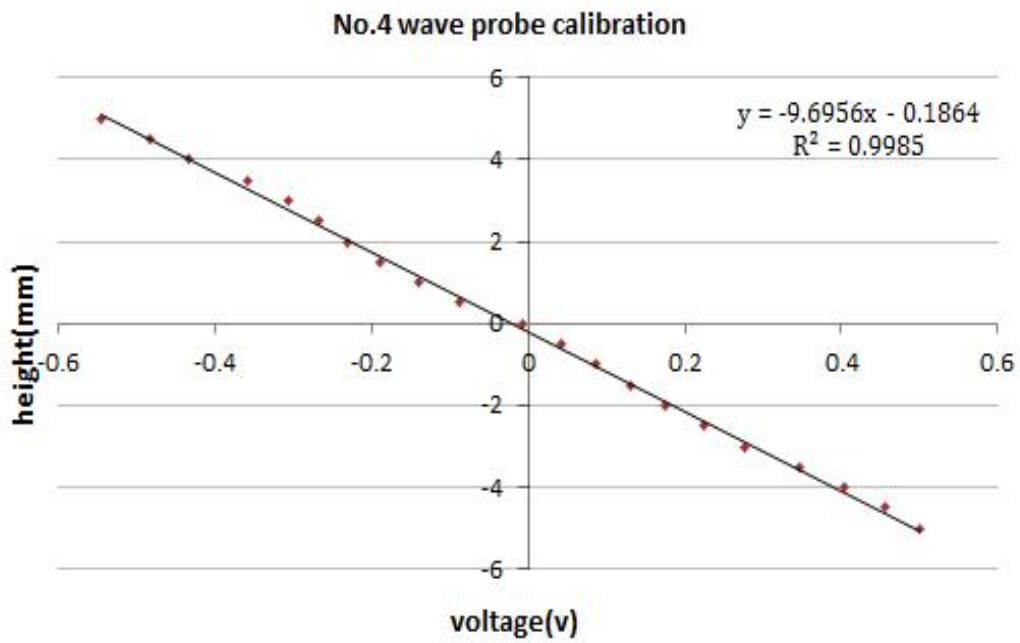
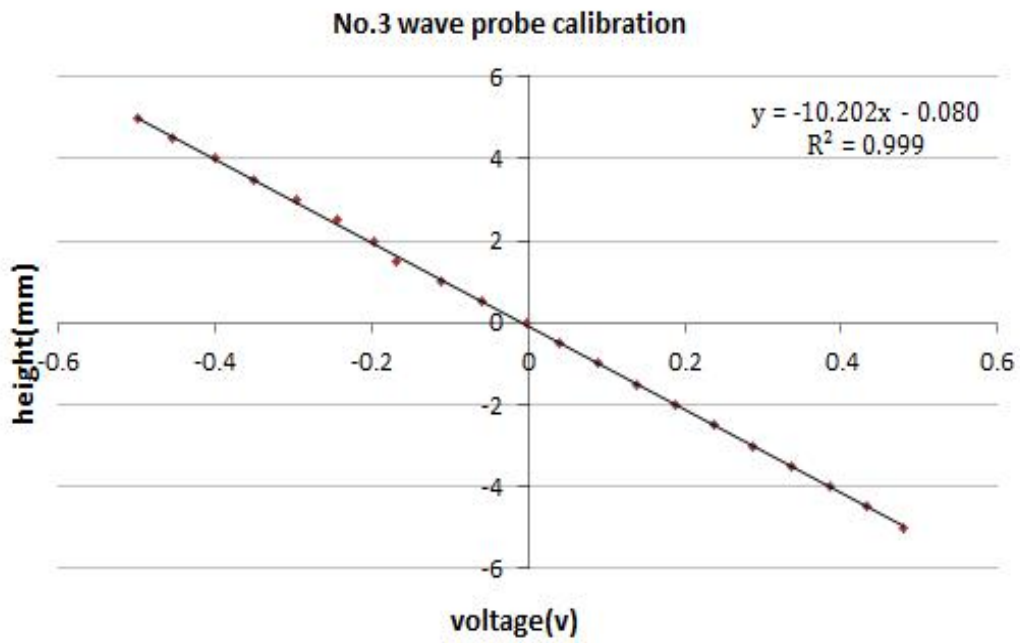


Fig. 7. Continued.

Table 4는 테우 평저선 구조모형의 실험조건을 나타낸 것이며. 본 실험에서 사용한 2차원 수조에서는 파장과 모형 길이의 비(a_p/λ)가 0.650이하이면 투과파를 측정하는 파고계가 반사파의 영향을 직접 받는 특성을 고려하여 0.1씩 증가시켜 0.650 - 1.550로 하였다. 또한 이에 따른 파장은 0.806 - 1.923m, 그리고 파경사 (steepness = H/λ), 파수(k : wave number), 주파수(ω : frequency), 주기(T : wave period)는 1) - 4)식에 의해서 실험조건을 구하여 2차원 파를 생성하여 측정하였다.

$$steepness = \frac{H}{\lambda} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (2)$$

$$\omega^2 = k \cdot g \cdot \tanh(kh) \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4)$$

여기에서

H : 파고(m)

ω : 주파수(rad/sec)

g : 중력가속도($9.81m/sec^2$)

h : 수심(0.6m)

k : 파수

Table 4. Incident wave condition of experimental Tewoo pontoon frame.

Period (T)	Frequency (f)	a_p/λ	Wave Height H(m)	Wave Length λ (m)	Wave Steepness (H/ λ)	Wave Number (k)
0.72	1.38	0.650	0.024	1.923	0.030	3.267
0.74	1.35	0.750	0.026	1.667	0.030	3.770
0.77	1.29	0.850	0.028	1.471	0.030	4.273
0.80	1.25	0.950	0.030	1.316	0.025	4.775
0.84	1.19	1.050	0.027	1.190	0.025	5.278
0.87	1.14	1.150	0.030	1.087	0.025	5.781
0.92	1.08	1.250	0.033	1.000	0.025	6.283
0.98	1.02	1.350	0.029	0.926	0.020	6.786
1.04	0.96	1.450	0.033	0.862	0.020	7.288
1.13	0.88	1.550	0.038	0.806	0.020	7.791

Table 5는 Table 4의 파의 조건중 파고(Wave height)만을 한정 한 것으로써 실험체의 공극률에 따른 조파기에 입력된 파고와 실제 계측파 파고계에서 측정된 데이터의 비교이다.

실험에 사용하기 위해 설계된 파의 실측은 본 실험의 데이터 분석방법에서는 고려되고 있지 못하지만 입력파고와 계측파고가 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

Table 5. Comparison of the Wave height entered into the wave maker and actual measured wave height of measurement wave probe.

Designed wave height	0.0240	0.0260	0.0280	0.0300	0.0270	0.0300	0.0330	0.0290	0.0330	0.0380
Measured wave height of $p=0.0000$	0.0248	0.0278	0.0293	0.0304	0.0276	0.0303	0.0334	0.0300	0.0336	0.0343
Measured wave height of $p=0.1066$	0.0247	0.0272	0.0291	0.0303	0.0273	0.0302	0.0333	0.0293	0.0335	0.0342
Measured wave height of $p=0.1550$	0.0249	0.0248	0.0290	0.0303	0.0274	0.0303	0.0334	0.0293	0.0384	0.0341
Measured wave height of $p=0.2034$	0.0229	0.0263	0.0285	0.0298	0.0264	0.0298	0.0334	0.0289	0.0394	0.0349
Measured wave height of $p=0.2518$	0.0237	0.0264	0.0286	0.0300	0.0267	0.0296	0.0335	0.0290	0.0393	0.0348
Measured wave height of $p=0.3003$	0.0223	0.0259	0.0284	0.0296	0.0260	0.0293	0.0332	0.0288	0.0330	0.0343
Measured wave height of $p=0.3487$	0.0237	0.0269	0.0293	0.0301	0.0266	0.0295	0.0340	0.0293	0.0329	0.0347
Measured wave height of $p=0.3971$	0.0236	0.0269	0.0288	0.0307	0.0282	0.0307	0.0344	0.0314	0.0338	0.0355
Measured wave height of $p=0.4940$	0.0243	0.0278	0.0297	0.0313	0.0278	0.0312	0.0349	0.0303	0.0414	0.0358
Average of Measured wave height by porosity	0.0239	0.0267	0.0290	0.0303	0.0271	0.0301	0.0337	0.0296	0.0361	0.0347
Average error	0.0001	-0.0007	-0.0010	-0.0003	-0.0001	-0.0001	-0.0007	-0.0006	-0.0031	0.0033
Standard deviation	0.0008	0.0009	0.0004	0.0005	0.0007	0.0006	0.0005	0.0008	0.0034	0.0005

Fig. 8은 2차원 수조 실험시 테우 평저선 구조모형의 설치 후 파고계의 위치를 나타낸 것으로 테우 평저선 모형의 전면에 3개의 파고계와 후면에 투과파를 측정하기 위하여 1개를 설치하였다.

설치 위치는 조파기 쪽에서 부터 계측파고계, 입사파고계, 반사파고계, 그리고 투과파고계를 설치하였으며, 파고계 사이의 간격은 Fig. 8에서와 같이 조파기에서 계측파고계사이의 간격은 513cm, 계측파고계와 입사파고계의 간격은 415cm로 하였고, 입사파고계와 반사파고계 사이의 간격은 Goda(1976)식에 의거하여 입력주기가 0.72 - 0.84sec사이에서는 235cm, 0.87sec - 1.04sec에서는 350cm 그리고 1.13sec 입력주기에서는 480cm의 간격을 주어 입사파와 반사파를 분리하였다. 주기별로 두 개의 파고계(입사파 파고계, 반사파 파고계)사이의 간격을 다르게 위치시킨 이유는 파장에 따라 적절한 간격을 유지 되어야만 입사파/반사파 분리가 잘 이루어지기 때문이다. 또한 테우 평저선 구조모형의 전면에서 반사파고계까지는 162cm, 후면의 투과 파고계까지는 90cm의 간격을 두고 설치하였다. 그리고 수조 후면에 경사형 타공판을 이용한 소파장치를 설치하여 반사파를 최소화 하였다.

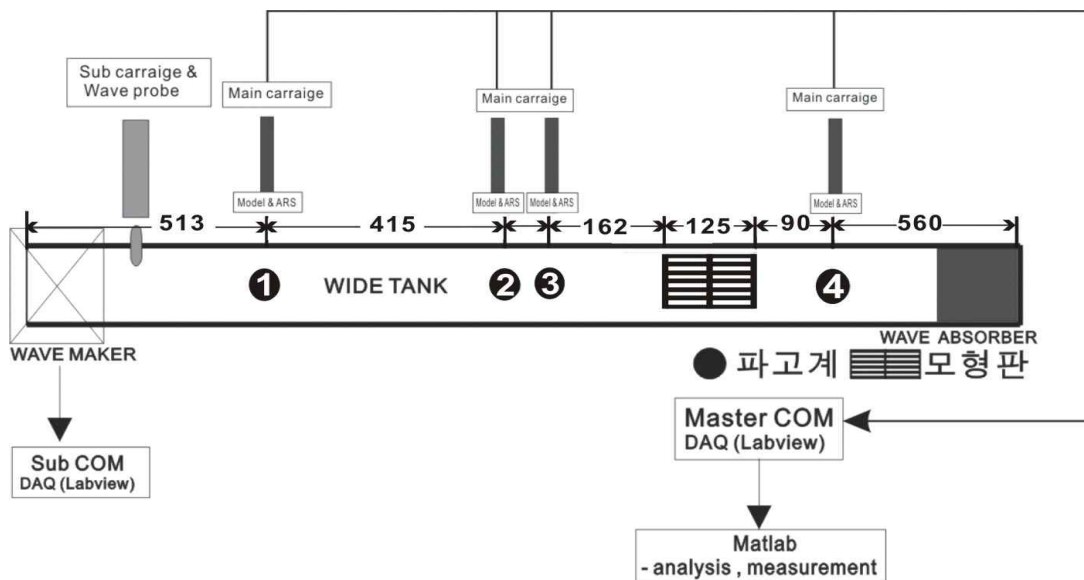


Fig. 8. Sketch of 2-D wave tank and locations of wave probe for measuring the reflection and transmission coefficient of experimental Tewoo pontoon frame.

4. 측정방법

파고계로부터 전달된 신호는 테우 평저선 구조모형으로 부터 반사되어 나오는 파가 파고계 설치지점에 도달하여 입사파와 충분히 형성된 반사파가 동시에 측정될 수 있는 시점으로 측정시간은 약 80초 정도이다. 시간이 경과함에 따라 파는 조파기에 도달하여 다시 반사되어 오는데 이 실험에서 사용한 반사파 분리기법에서는 이렇게 입사파와 섞여 들어오는 조파기로부터의 다중 반사파는 고려하고 있지 못하므로 이러한 조파기 다중반사파가 측정된 영역은 데이터에서 제거하였다. 측정된 값들을 우선 시계열 데이터로 변환하여 아직 모형으로부터 반사가 충분히 도달하지 않은 처음부분이 있거나 후반부에 다중 반사파가 포함된 부분이 있으면 이 부분의 데이터를 삭제·가공하였으며, 이렇게 한번 가공된 데이터를 입사파, 반사파 분리 해석 프로그램에 입력하여 계산하였다.

$$R = \frac{H_r}{H_i} \quad (5)$$

$$T = \frac{H_t}{H_i} \quad (6)$$

$$\varepsilon = 1 - (R^2 + T^2) \quad (7)$$

여기에서

R : 반사율

T : 투과율

H_i : 입사파 파고

H_r : 반사파 파고

H_t : 투과파 파고

ε : 에너지 손실률

실험모델 안에 소멸기구가 없는 경우 $R^2 + T^2 = 1$ 인 에너지 보존법칙이 성립하는데, 본 실험모델에서는 입사파가 모형을 통과하면서 구조사이의 틈을 통하여 형성된 박리에 의한 와류로 인해 Fig. 9에서와 같은 현상으로 에너지가 소멸되므로 식 (7)과 같이 에너지 손실률 ε 이 존재한다(조와고, 2007). 에너지 손실률은 입사파가 테우 평저선 구조모형을 통과하면서 손실되는 에너지양을 의미한다.

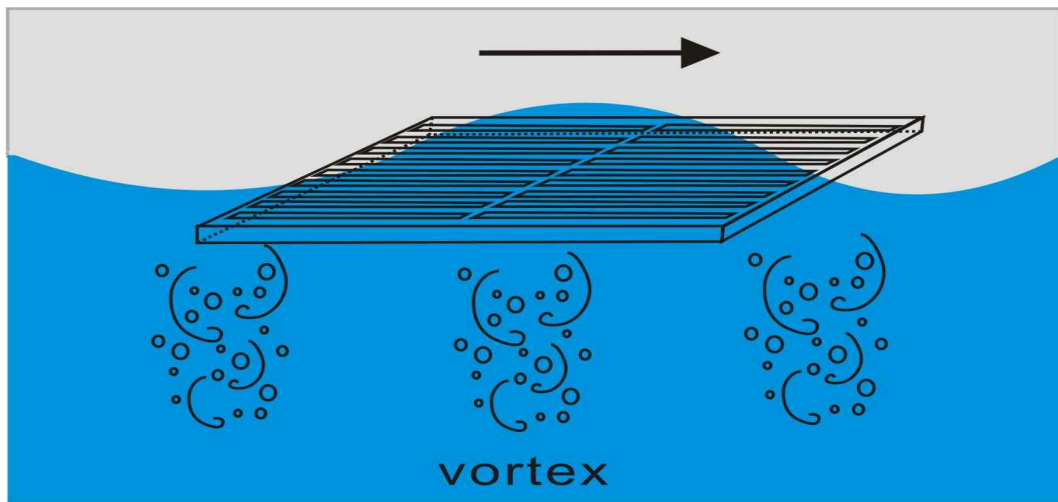


Fig. 9. Eddy making resistance.

테우 평저선 구조의 최적의 공극률을 얻기 위해서 각기 다른 공극률을 가진 테우 평저선 구조모형을 수면과 평행하게 설치하고 Table 4의 입사파조건을 주며 재료 및 방법에서 언급된 바와 같이 각 파고계사이의 거리를 적절한 간격으로 조절하면서 데이터를 측정하고 수조와 평행한 모형의 길이와 파장의 비인 a_p/λ 에 따라 반사율, 투과율, 에너지손실률을 계산하여 그 경향 및 특징을 분석하였으며, 각각의 공극률에 따른 모형의 움직임과 파의 변화는 실험의 절차별로 디지털 일안 반사식 카메라(Digital single-lens reflex camera, DSLR)를 이용하여 이미지 프로세서로 측정하여 기록하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 10은 공극률이 $p=0.0000$ 인 테우 평저선 구조모형에 Table 4와 같은 입력조건으로 실험했을 때 파고계에서 측정된 시계열 파고 데이터이다. 실험에 사용한 파고계의 측정 주파수 스펙트럼은 (a)와 같이 $0.8\text{Hz} - 1.25\text{Hz}$ 의 범위에 존재하고 있었고 파고계 각 각의 측정된 파장의 분포범위는 (b)와 같이 나타났다. Ch.1은 모형을 지나서 설치한 투과파를 계측할 수 있는 투과파 파고계이고 Ch.2는 입사파 파고계, Ch.3은 반사파 파고계, Ch.4는 계측파 파고계에 기록된 데이터를 나타내고 있다. Fig. 11은 각각의 파고계에 측정된 데이터를 필터링한 것이다. 또한 Fig. 10의 (b)와 Fig. 11에 음영으로 표시된 영역은 파고계가 안정된 그래프를 나타낸 영역이다.

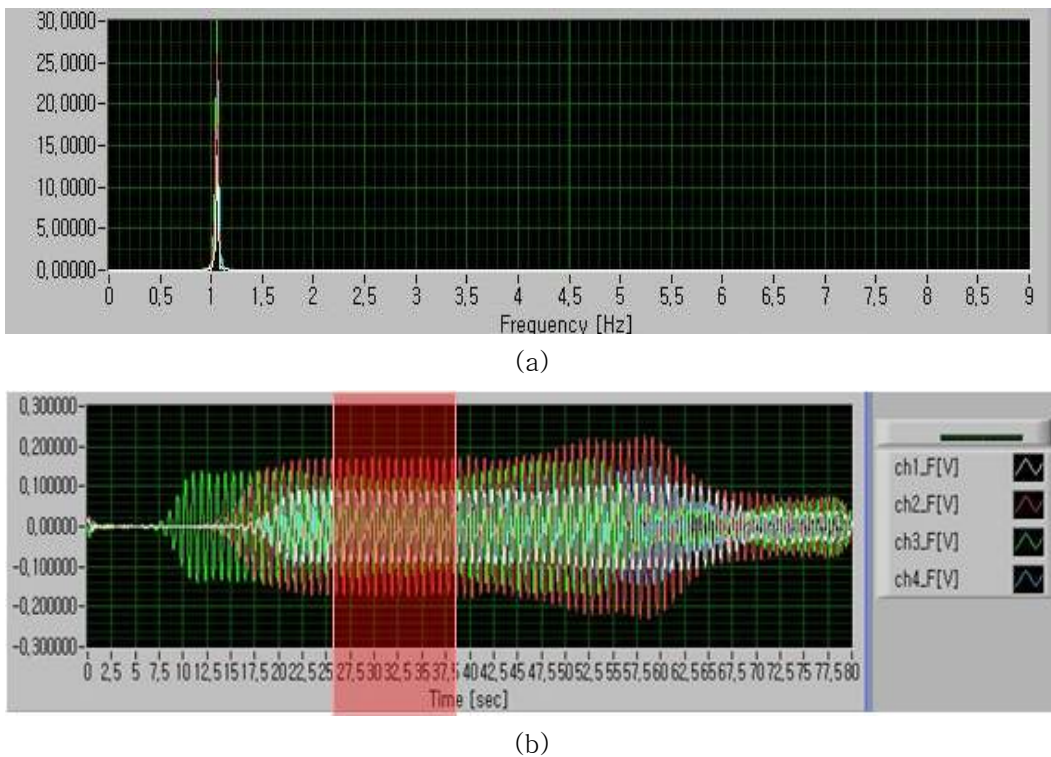


Fig. 10. Typical wave signals and their spectra of 4 probes.

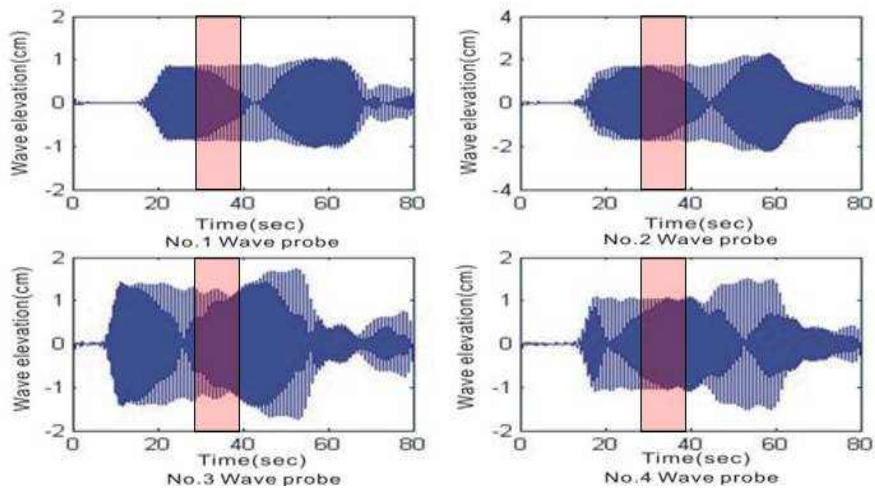


Fig. 11. Time history after filtering wave probe.

Fig. 12는 Table 4에서와 같이 파경사, 입사파 파고계와 반사파 파고계의 간격, 입력주기를 실험조건을 주었을 때의 공극률 $p=0.0000$ 의 반사율 $[R=H_r/H_i]$ 계수를 나타낸 것으로 x축은 테우 평저선 구조모형의 길이와 파장의 비인 a_p/λ 이며 반면 y축은 반사율이다 그 범위는 0.2137 - 0.6227이었으며, 평균 0.3885정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파 영역에서 고주파 영역으로 갈수록 감소하는 것을 알 수 있었다.

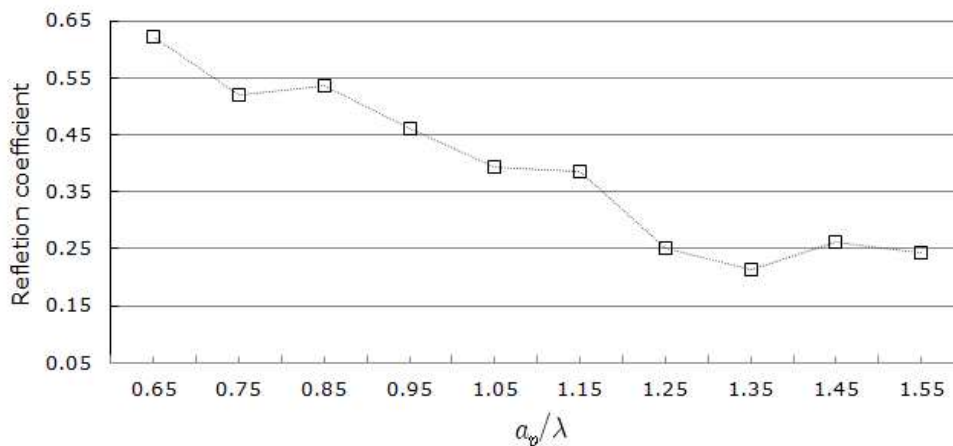


Fig. 12. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p = 0.0000$.

Fig. 13은 Table 4에서와 같이 파경사, 입사파 파고계와 반사파 파고계의 간격, 입력주기를 실험조건으로 주었을 때의 공극률 $p=0.0000$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 x축은 테우 평저선 구조모형 길이와 파장의 비인 a_p/λ 이며 반면 y축은 투과율 [$T = H_t/H_i$]이다. 그 계수는 0.5779 - 0.6365이었으며, 평균 0.6019정도로 반사율에 비해 컸고 전체적인 경향은 대부분의 영역에서 큰 변화가 없었다.

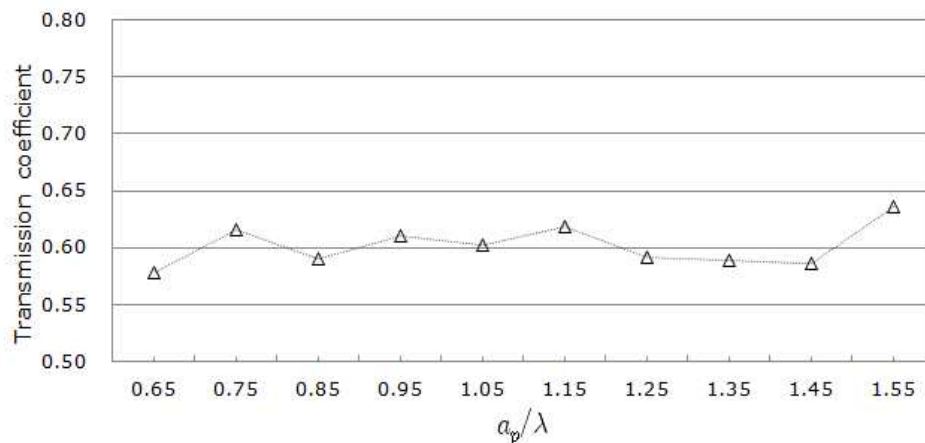


Fig. 13. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.0000$.

Fig. 14는 Table 4에서와 같이 파경사, 입사파 파고계와 반사파 파고계의 간격, 입력주기를 실험조건을 주었을 때의 공극률 $p=0.0000$ 의 에너지 손실률로 x축은 테우 평저선 구조모형의 길이와 파장의 비인 a_p/λ 이며 y축은 에너지 손실률 [$\varepsilon = 1 - (R^2 + T^2)$]이다. 에너지 손실률의 범위는 0.2783 - 0.6072이었으며, 평균 0.4679정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파 영역으로 갈수록 손실률이 증가하는 경향을 보였으며, Table 4의 주파수 범위에서 볼 때 주파수 1.14Hz 부터는 급격하게 상승 한 후 일정하게 유지하는 경향을 보였다.

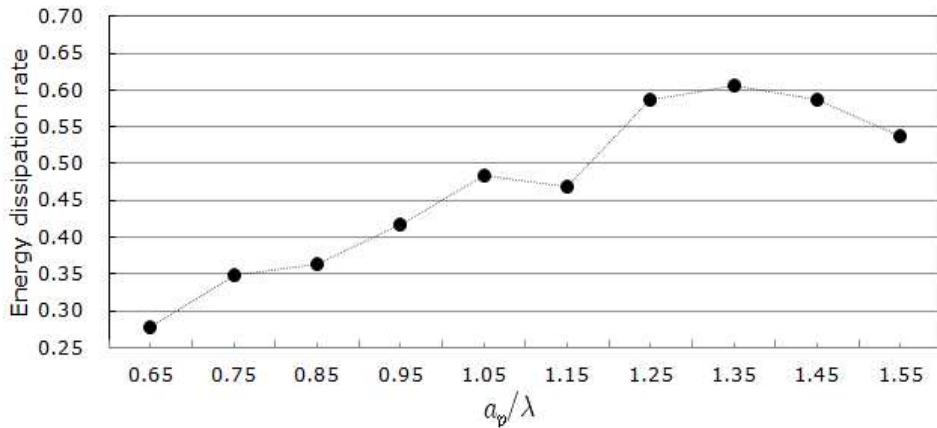


Fig. 14. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.0000$.

Table 6은 공극률이 전혀 없을 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지 손실률에 대한 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.3885, 0.6019로 보였으며, 전반적으로 반사율은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 경향을 보여 에너지손실률은 반사율과 반대되는 경향이 나타났으며, 투과율은 반사율과 에너지손실률에 비해 큰 변화가 없이 일정하게 유지되고 있었다.

Table 6. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.0000$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.2419	0.6365	0.5364
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.2607	0.5868	0.5877
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.2137	0.5892	0.6072
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.2509	0.5920	0.5866
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.3845	0.6185	0.4696
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.3926	0.6022	0.4832
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.4595	0.6103	0.4164
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.5369	0.5897	0.3640
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.5211	0.6157	0.3494
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.6227	0.5779	0.2783
Average					0.3885	0.6019	0.4679

Fig. 15는 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 했을 때의 공극률 $p=0.1066$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0915 - 0.6145이었으며, 평균 0.3093로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파 영역으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 주파수 1.02Hz부근에서는 그 변화가 급격히 증가 되는 경향을 보이고 있다.

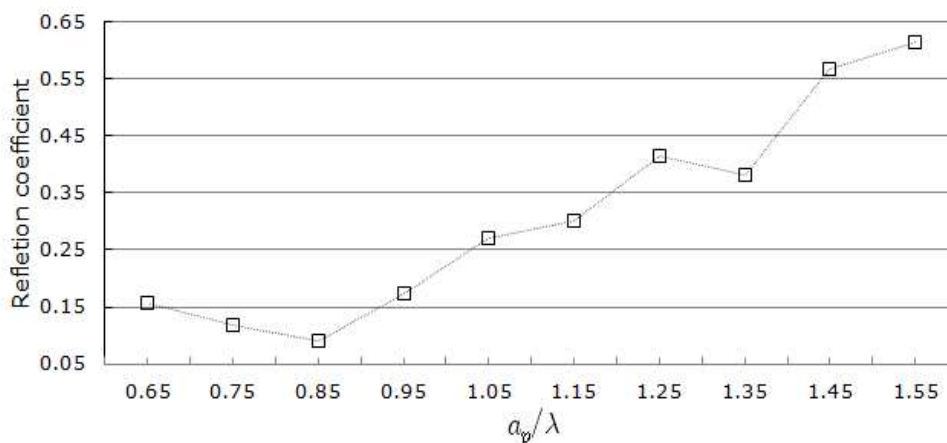


Fig. 15. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.1066$.

Fig. 16은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 했을 때의 공극률 $p=0.1066$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5375 - 0.6946이었으며, 평균 0.6164정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다.

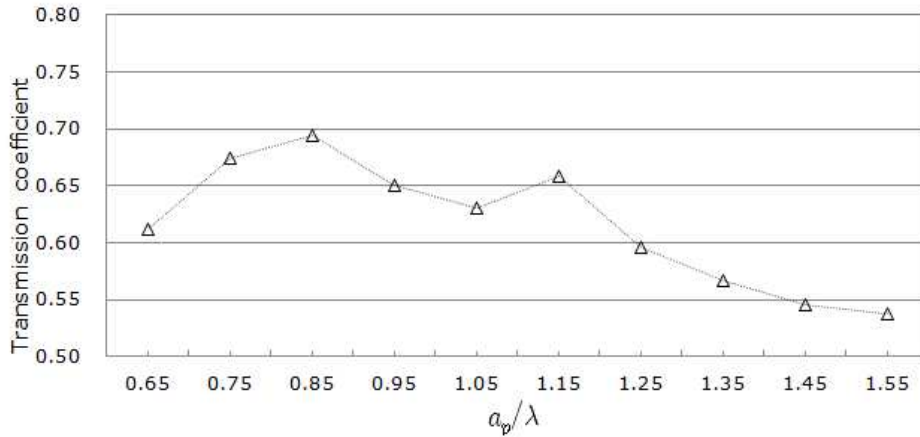


Fig. 16. Transmission coefficient for experimental Tewood pontoon frame at $p=0.1066$.

Fig. 17은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 했을 때의 공극률 $p=0.1066$ 의 에너지손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.3335 - 0.6013이었으며, 평균은 0.4915이다. 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파영역으로 갈수록 손실률이 소폭감소 하는 경향을 보였으며 주파수 1.02Hz부근에서 에너지 손실률의 감소폭이 두드러지게 나타났다.

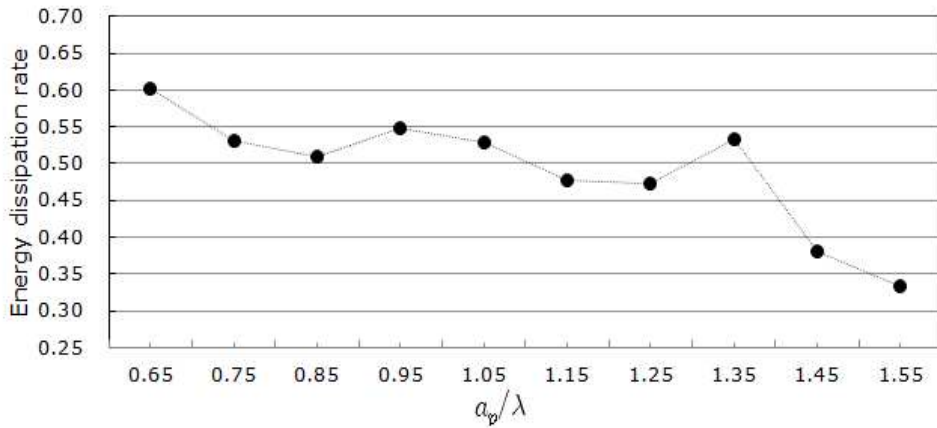


Fig. 17. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.1066$.

Table 7은 공극률 $p=0.1066$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지 손실률의 분석 결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.3093, 0.6164로 보였으며, 전반적으로 투과율과 에너지손실률은 파장이 짧을수록 고주파 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 에너지 손실률의 평균은 0.4915였다. 공극률 $p=0.0000$ 일 때 보다는 투과율 및 에너지손실률이 큰 것으로 나타나 모형의 원판에 비해 모형에 틈이 있을 때 에너지 손실이 4.8% 증가하는 것을 알 수 있었다.

Table 7. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.1066$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.6145	0.5375	0.3335
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.5679	0.5450	0.3805
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.3814	0.5669	0.5332
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.4151	0.5964	0.4720
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.3013	0.6577	0.4766
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.2709	0.6299	0.5298
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.1727	0.6501	0.5475
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.0915	0.6946	0.5092
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1195	0.6741	0.5313
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.1582	0.6113	0.6013
Average					0.3093	0.6164	0.4915

Fig. 18은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 했을 때의 공극률 $p=0.1550$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0920 - 0.5415이었으며, 평균 0.3083로 전체적인 경향은 공극률 $p=0.1066$ 과 비슷한 형태로 파장이 짧을수록 저주파수 영역에서 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 주파수 1.29Hz와 1.02Hz 부근에서는 그 변화가 급격히 증가 되는 추세를 보이고 있었다.

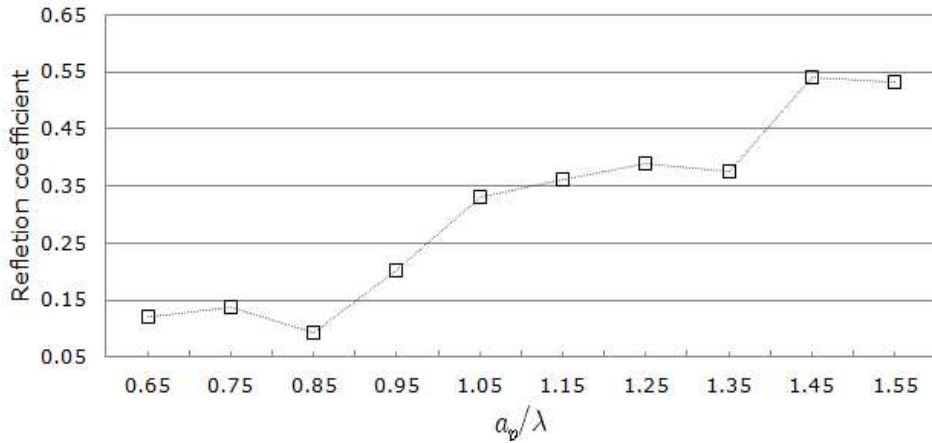


Fig. 18. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.1550$.

Fig. 19는 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 하였을 때의 공극률 $p=0.1550$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5243 - 0.7030이었으며, 평균 0.6162정도로 전체적인 경향은 공극률 $p=0.1066$ 과 비슷한 형태로 파장이 짧을 수록 저주파수 영역에서 고주파수 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 특히 주파수 1.14Hz 부근에서부터 감소의 경향이 두드러지게 나타남을 확인 할 수 있었다.

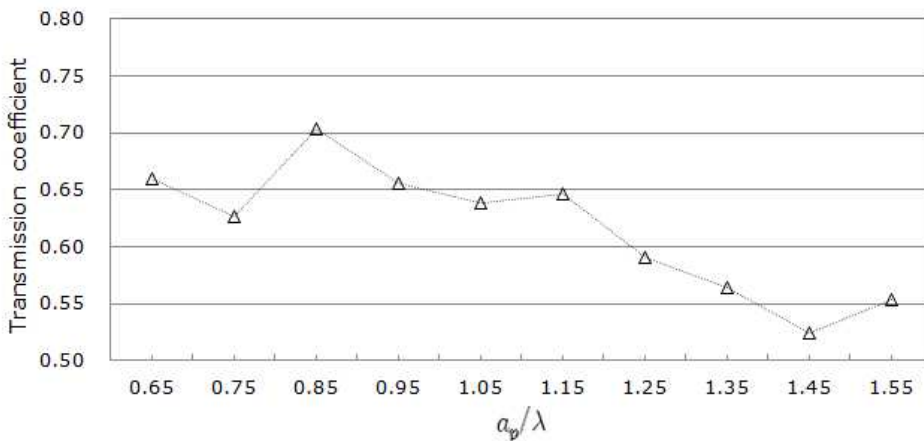


Fig. 19. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.1550$.

Fig. 20은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 했을 때의 공극률 $p=0.1550$ 의 에너지손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.4108 - 0.5893이었으며, 평균은 0.4983이다. 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파 영역으로 갈수록 손실률이 소폭 감소하는 것으로 나타났다.

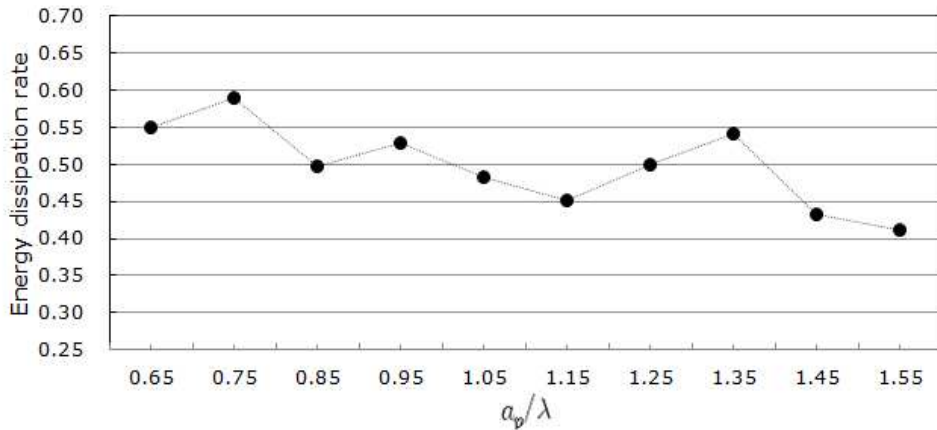


Fig. 20. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.1550$.

Table 8은 공극률 $p=0.1550$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실률의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.3808, 0.6161로 보였으며, 전반적으로 투과율과 에너지 손실률은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였고 에너지 손실률은 평균 0.4983이었다. 전반적으로 공극율의 증가로 틈의 크기가 증가됨으로써 투과율과 반사율이 감소하는 반면에 에너지손실률은 점차적으로 커져가는 것을 알 수 있었다.

Table 8. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.1550$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.5320	0.5533	0.4108
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.5415	0.5243	0.4319
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.3752	0.5640	0.5411
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.3899	0.5911	0.4986
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.3613	0.6467	0.4512
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.3305	0.6380	0.4837
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.2027	0.6560	0.5286
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.0920	0.7030	0.4973
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1382	0.6258	0.5893
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.1198	0.6595	0.5507
Average					0.3083	0.6162	0.4983

Fig. 21은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.2034$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0699 - 0.4716이었으며, 평균 0.2919로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파수에서 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세를 보였다.

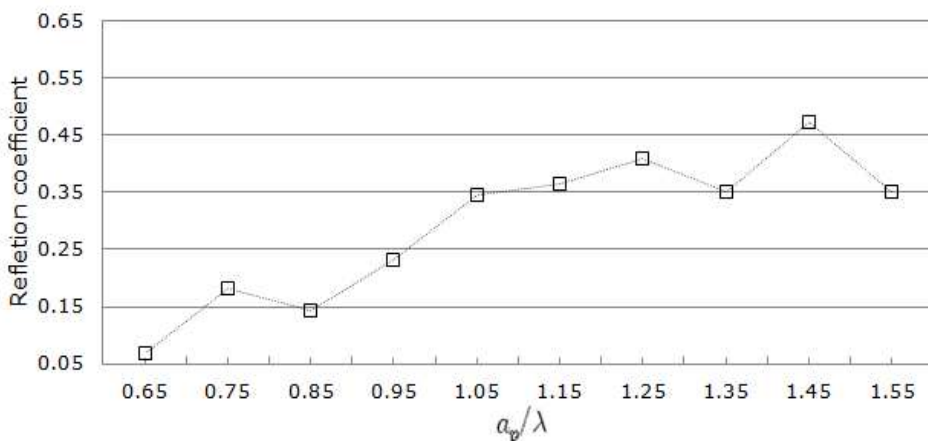


Fig. 21. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.2034$.

Fig. 22는 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.2034$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5218 - 0.6586이었으며, 평균 0.5963정도로 전체적인 경향은 저주파의 영역에서는 반복적으로 증·감의 추세를 보이다가 1.14Hz 부근에서부터 감소의 경향이 두드러지게 나타났다.

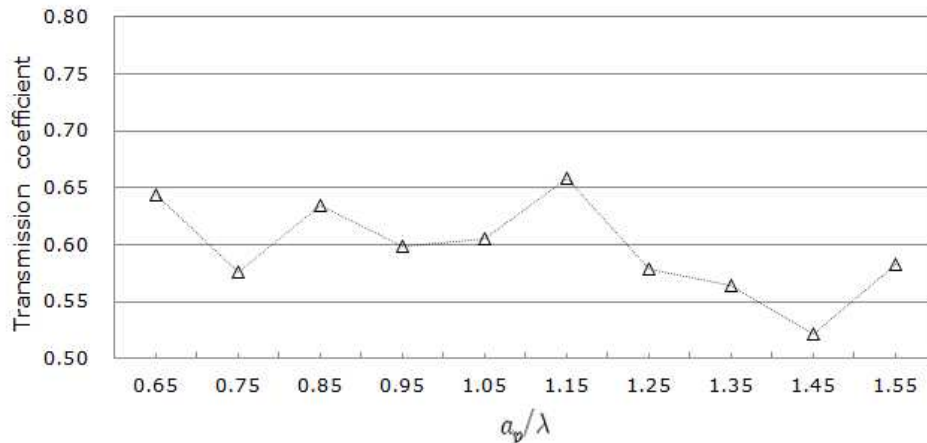


Fig. 22. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.2034$.

Fig. 23은 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.2034$ 의 에너지손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.4331 - 0.6353이었으며, 평균은 0.5428이다. 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파 영역으로 갈수록 손실률이 소폭감소 하는 경향을 보이거나 주파수 1.14Hz부근에서 그 손실률이 최저로 떨어지고 있음을 알 수 있었다.

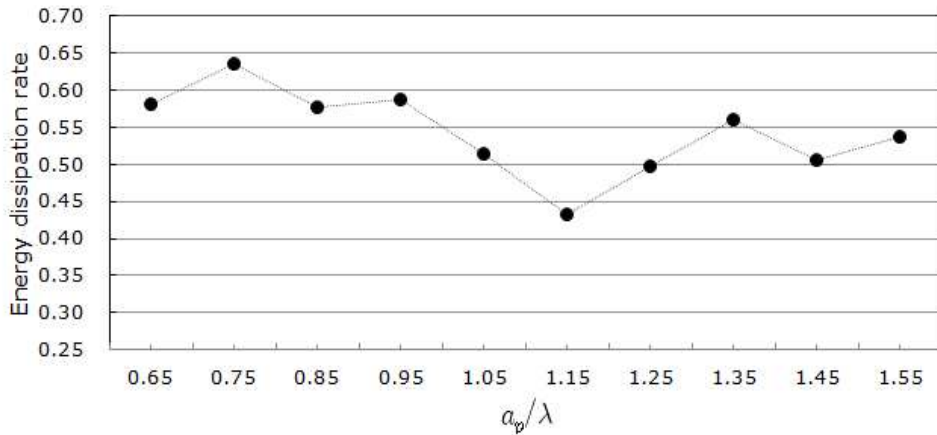


Fig. 23. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.2034$

Table 9는 공극률 $p=0.2034$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실율의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.2919, 0.5963로 보였으며, 전반적으로 에너지손실률은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였고 평균 0.5428로 공극률 0.0000와 비교해 보면 에너지손실률이 13.8%정도 커졌음을 분석 할 수 있었다.

Table 9. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.2034$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.3517	0.5824	0.5371
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.4716	0.5218	0.5053
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.3498	0.5642	0.5593
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.4103	0.5781	0.4975
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.3649	0.6586	0.4331
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.3445	0.6057	0.5144
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.2329	0.5986	0.5874
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.1420	0.6348	0.5769
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1817	0.5759	0.6353
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0699	0.6430	0.5817
Average					0.2919	0.5963	0.5428

Fig. 24는 Table 4에서와 같이 파경사, 입사파 파고계와 반사파 파고계의 간격, 입력주기를 실험조건으로 주었을 때의 공극률 $p=0.2518$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0630 - 0.2275이었으며, 평균 0.1795이다. 전반적으로 평균 값 주위에서 파장 및 주파수에 관계없이 반사율이 일정하게 유지되는 경향을 보이고 있었다.

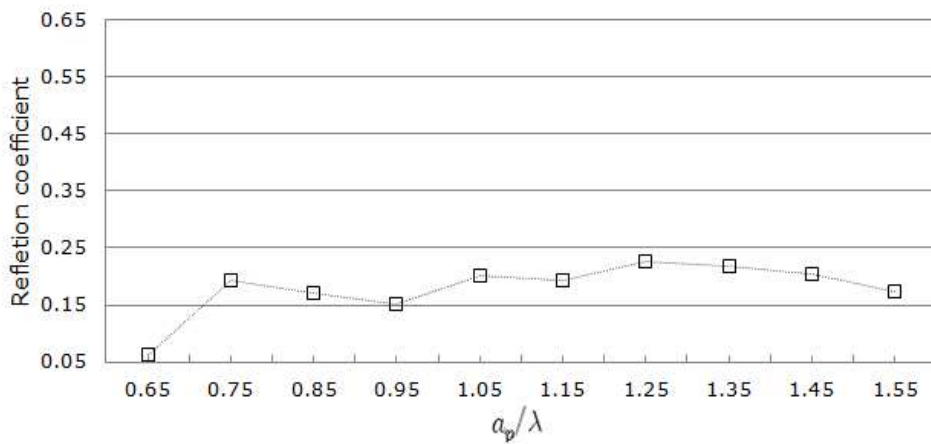


Fig. 24. Reflection coefficient for experimental Tewood pontoon frame at $p=0.2518$.

Fig. 25는 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.2518$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5440 - 0.6445이었으며, 평균 0.5910정도로 전체적인 경향은 반사율에서 나타난 현상처럼 전 파장 및 주파수 영역에서 그 결과가 비교적 일정하게 유지되는 경향을 보였다.

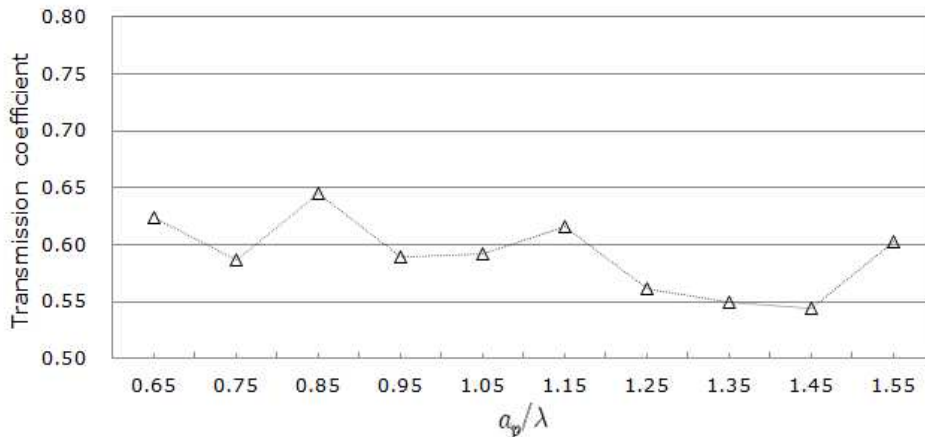


Fig. 25. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.2518$.

Fig. 26은 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.2518$ 의 에너지손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5552 - 0.6628이었으며, 평균은 0.6156이고 전 영역에서 에너지손실률이 높았다.

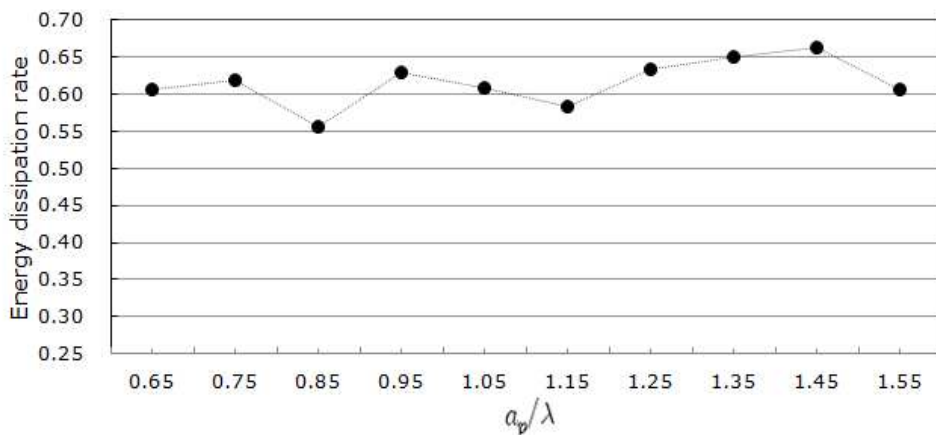


Fig. 26. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.2518$.

Table 10은 공극률 $p=0.2518$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실율의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.1795, 0.5910로 보였으며, 전반적으로 반사율과 투과율 그리고 에너지손실률은 전 영역에서 큰 편차 없이 나타나는 현상을 보였다. 특히 공극률

P=0.0000의 에너지손실률 평균인 0.4679와 비교하였을 때 에너지손실률이 약 24%증가된 것으로 나타났다.

Table 10. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at p=0.2518.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.1742	0.6020	0.6073
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.2031	0.5440	0.6628
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.2177	0.5491	0.6511
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.2275	0.5618	0.6326
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.1926	0.6163	0.5831
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.2024	0.5920	0.6086
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.1514	0.5891	0.6300
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.1714	0.6445	0.5552
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1919	0.5865	0.6192
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0630	0.6242	0.6064
Average					0.1795	0.5910	0.6156

Fig. 27은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 p=0.3003의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0891 - 0.3644이었으며, 평균 0.2320로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 증가하다가 주파수 1.08Hz부터 반사율이 감소하는 추세를 보였다.

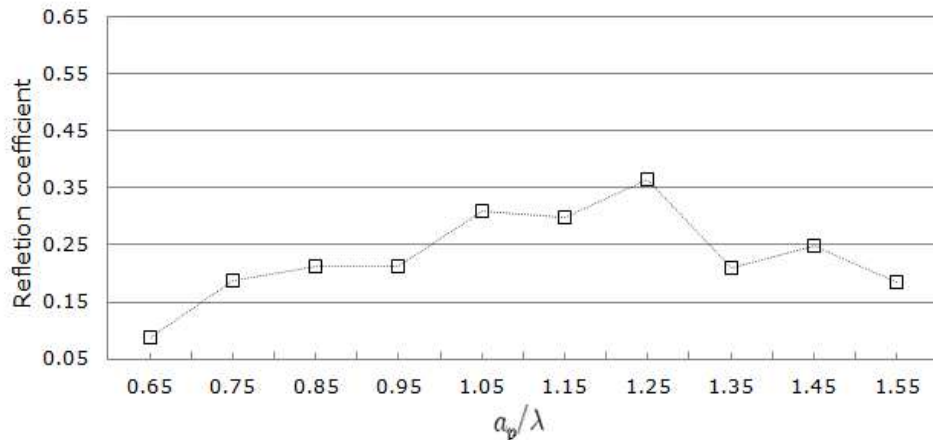


Fig. 27. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3003$.

Fig. 28은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험했을 때의 공극률 $p=0.3003$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5325 - 0.6970이었으며, 평균 0.6168정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 감소의 추세를 보이다가 주파수 1.35Hz부근에서 갑작스런 증가 되어 편차가 큰 것으로 나타났다.

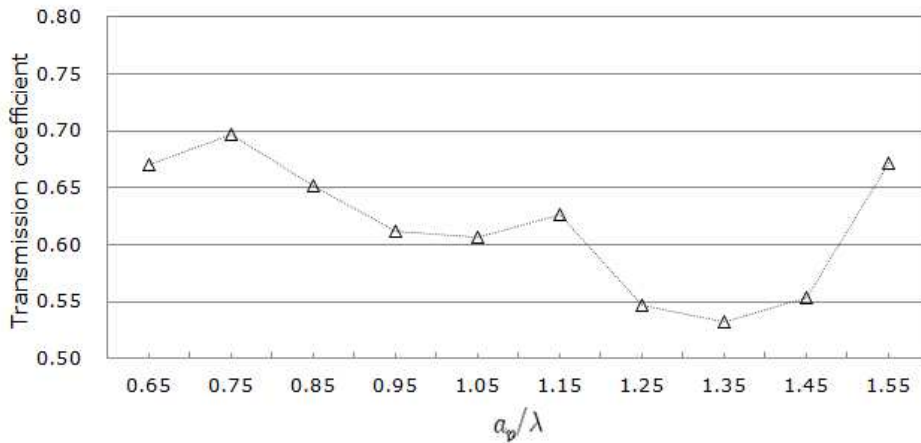


Fig. 28. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3003$.

Fig. 29는 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3003$ 의 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 $0.4787 - 0.6722$ 이었으며, 평균은 0.5573 이다.

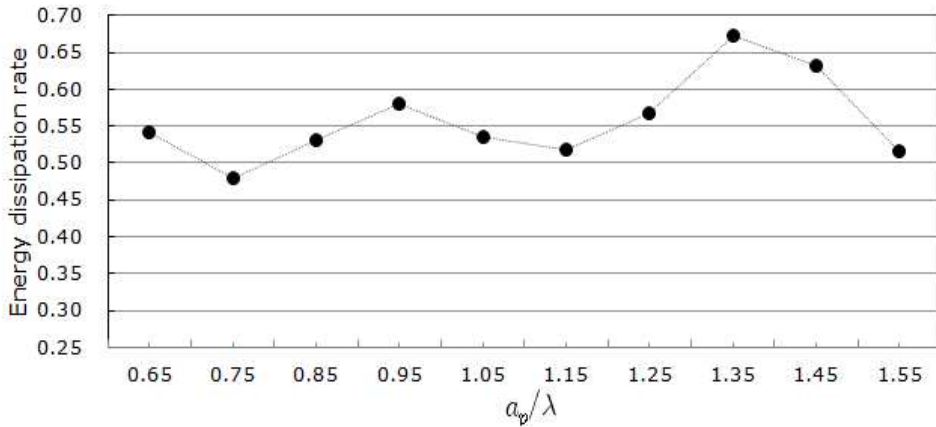


Fig. 29. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.3003$.

Table 11은 공극률 $p=0.3003$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실율의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.2320 , 0.6168 로 보였으며, 에너지 손실율의 평균은 0.5573 으로 공극률 $p=0.2518$ 보다 낮아지는 추세였다.

Table 11. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3003$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.1838	0.6713	0.5156
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.2483	0.5536	0.6319
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.2103	0.5325	0.6722
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.3644	0.5468	0.5682
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.2991	0.6270	0.5174
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.3104	0.6063	0.5361
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.2136	0.6115	0.5804
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.2131	0.6516	0.5300
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1883	0.6970	0.4787
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0891	0.6704	0.5426
Average					0.2320	0.6168	0.5573

Fig. 30은 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3487$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0762 - 0.3179이었으며, 평균 0.2149로 전체적인 경향은 비교적 일정한 반사율의 변화를 나타내고 있으나 1.19Hz부근에서 가장 높은 반사율을 보이고 있다.

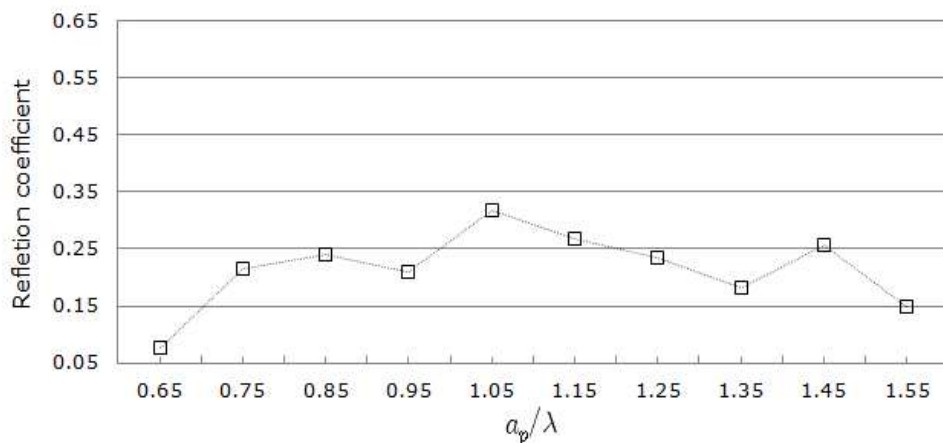


Fig. 30. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3487$.

Fig. 31은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3487$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5391 - 0.7793이었으며, 평균 0.6445정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소의 추세를 보인다. 특히 1.29Hz 부근과 1.14Hz부근에서 감소의 추세가 두드러지게 나타났다.

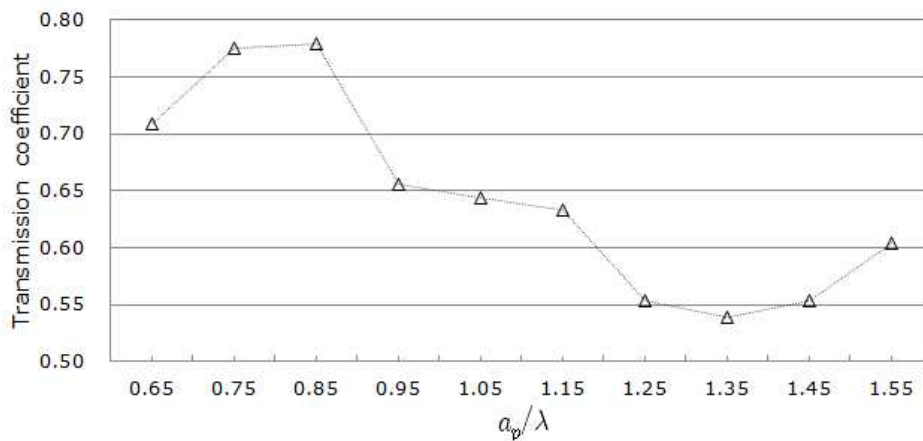


Fig. 31. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3487$.

Fig. 32는 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3487$ 의 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.3349 - 0.6759이었으며, 평균은 0.5274이다.

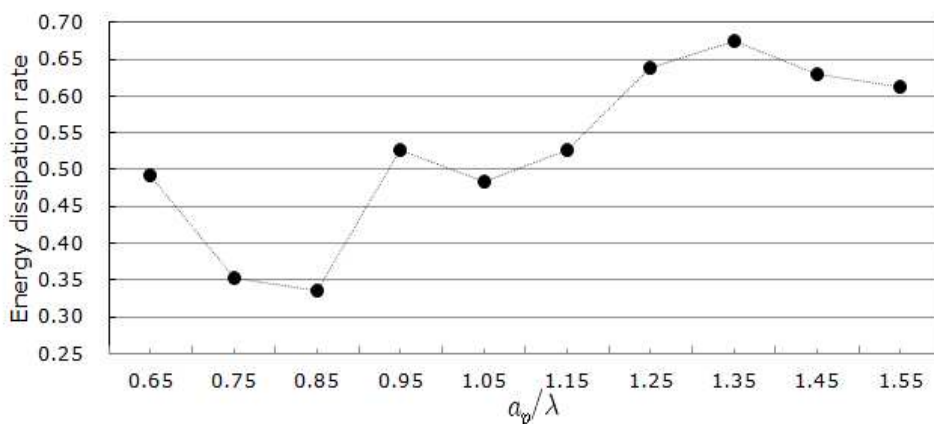


Fig. 32. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.3487$.

Table 12는 공극률 $p=0.3487$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실율의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.2149, 0.6445로 보였으며, 전반적으로 반사율과 에너지 손실률은 파장이 짧을수록 저주파수 영역에서 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 에너지 손실율의 평균은 0.5274이었고 공극률이 전혀 없을 때 보다 에너지 손실률은 높았지만 공극률 $p=0.2518$ 보다 낮아지는 추세였다.

Table 12. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3487$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.1492	0.6044	0.6124
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.2562	0.5528	0.6288
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.1830	0.5391	0.6759
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.2334	0.5535	0.6392
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.2683	0.6327	0.5277
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.3179	0.6441	0.4841
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.2088	0.6556	0.5266
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.2403	0.7793	0.3349
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.2159	0.7755	0.3520
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0762	0.7083	0.4925
Average					0.2149	0.6445	0.5274

Fig. 33은 Table 4에서와 같이 파경사, 입사파 파고계와 반사파 파고계의 간격, 입력주기를 실험조건으로 주었을 때의 공극률 $p=0.3971$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0764 - 0.2451이었으며, 평균 0.1808로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파수 영역에서 고주파수 영역으로 갈수록 소폭 증가하는 추세를 보이나 그 변화가 크지 않으며 비교적 일정한 증가와 감소의 변화를 확인할 수 있었다.

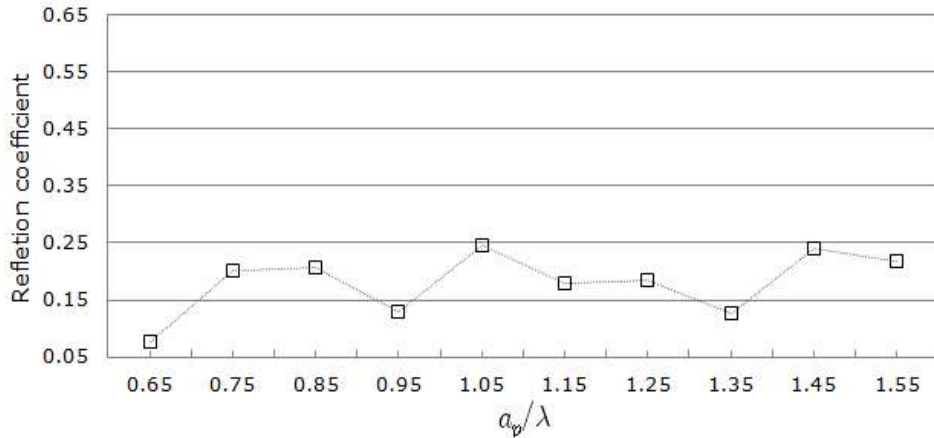


Fig. 33. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3971$.

Fig. 34는 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3971$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5480 - 0.79480이었으며, 평균 0.6504정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파 영역으로 갈수록 감소의 추세를 보인다. 특히 주파수 1.35Hz부근과 1.14Hz부근에서 감소의 추세가 두드러지게 나타났다.

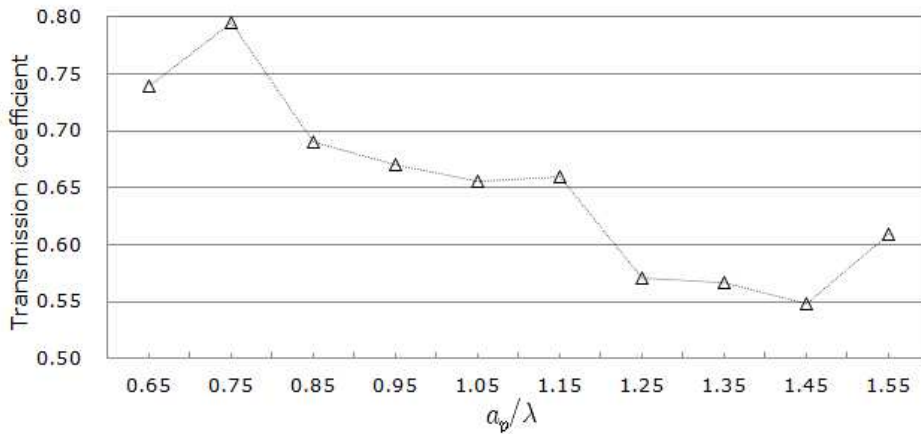


Fig. 34. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.3971$.

Fig. 35는 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.3971$ 의 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.3276 - 0.6630이었으며, 평균은 0.5360이다. 전체적인 경향은 비교적 파장이 길고 저주파인 1.35Hz까지 감소되는 경향을 보였으나 이후부터 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 형태를 보였다.

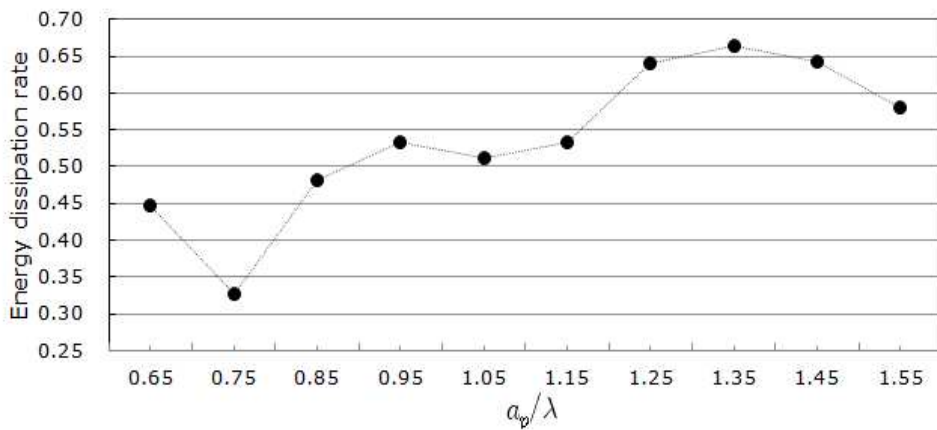


Fig. 35. Energy dissipation rate for Tewoo Pontoon frame at $p=0.3971$.

Table. 13은 공극률 $p=0.3971$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실율의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.1808, 0.6504로 보였으며, 에너지 손실율의 평균은 0.5360으로 공극률 $p=0.2518$ 과 비교하였을 때 상대적으로 낮아졌다.

Table 13. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.3971$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.2191	0.6089	0.5812
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.2408	0.5480	0.6417
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.1275	0.5663	0.6630
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.1840	0.5707	0.6404
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.1784	0.6601	0.5324
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.2451	0.6551	0.5108
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.1291	0.6708	0.5334
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.2060	0.6899	0.4816
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.2018	0.7948	0.3276
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0764	0.7392	0.4477
Average					0.1808	0.6504	0.5360

Fig. 36은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.4940$ 의 반사율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.0728 - 0.3636이었으며, 평균 0.1945로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세를 보인다.

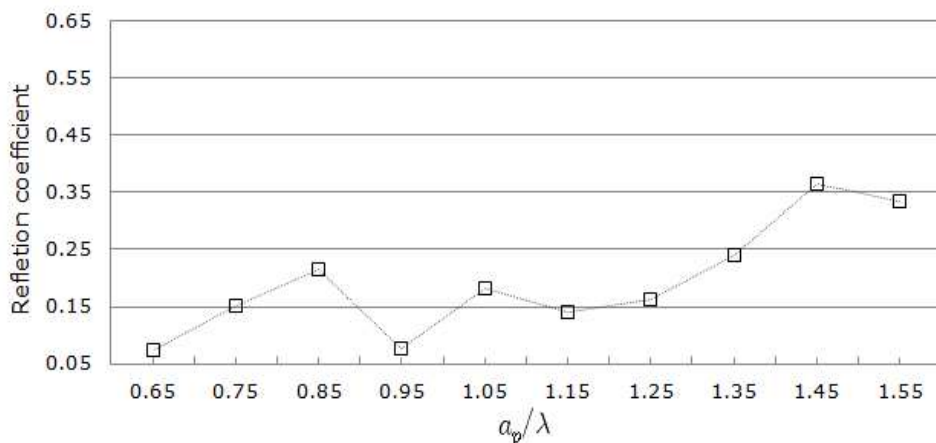


Fig. 36. Reflection coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.4940$.

Fig. 37은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.4940$ 의 투과율 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.5152 - 0.7231이었으며, 평균 0.6298정도로 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 감소의 추세를 보인다.

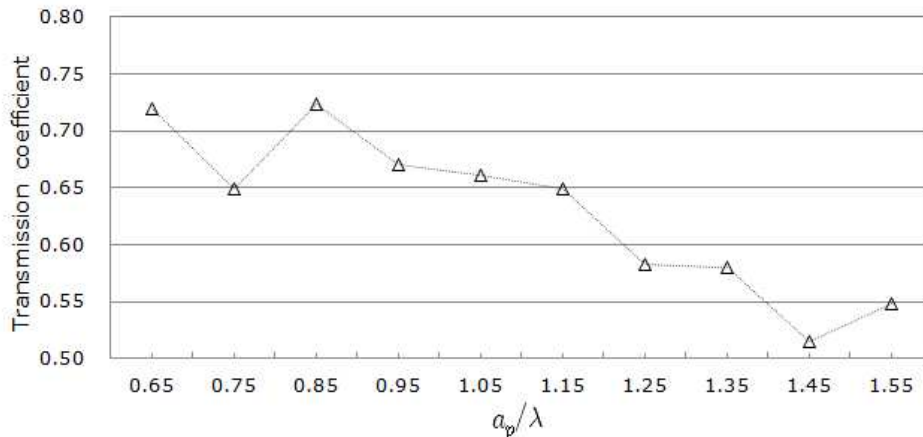


Fig. 37. Transmission coefficient for experimental Tewoo pontoon frame at $p=0.4940$.

Fig. 38은 공극률이 전혀 없을 때와 동일한 방법으로 실험 했을 때의 공극률 $p=0.4940$ 의 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로 그 범위는 0.4303 - 0.6331이었으며, 평균은 0.5525이다. 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 경향을 보이나 그 변화는 크지 않았다.

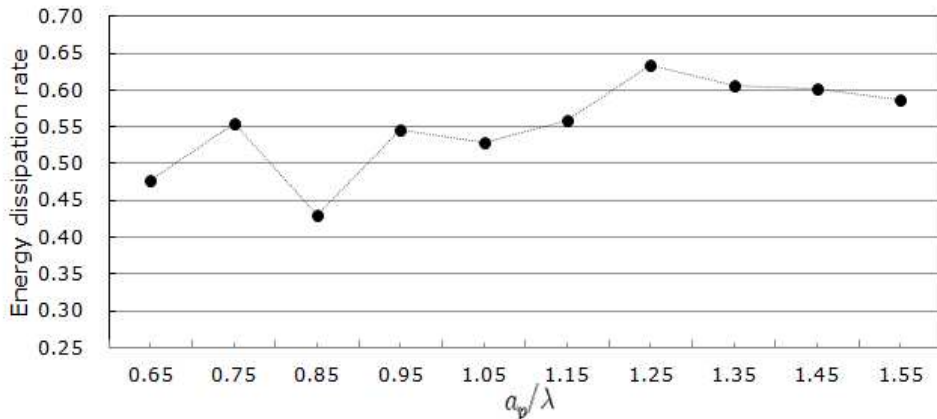


Fig. 38. Energy dissipation rate for Tewoo pontoon frame at $p=0.4940$.

Table 14는 공극률 $p=0.4940$ 일 때의 파장과 주파수에 의한 반사율, 투과율, 에너지손실률의 분석결과를 나타낸 것으로 반사율과 투과율의 합이 거의 1에 가까운 평균 0.1945, 0.6298로 보였으며, 에너지손실률의 평균은 0.5525로 공극률이 전혀 없을 때 보다는 에너지손실률이 높지만 공극률 $p=0.2518$ 의 에너지 손실률 평균인 0.6156보다 낮았다.

Table 14. Analysis of reflection, transmission coefficient and energy dissipation rate by wave condition at $p=0.4940$.

Observed wave height (m)	Incident wave amplitude (m)	Reflection wave amplitude (m)	Transmission wave height (m)	a_p/λ	Reflection coefficient	Transmission coefficient	Energy dissipation rate
0.0247	0.0113	0.0070	0.0133	1.5500	0.3353	0.5483	0.5869
0.0272	0.0121	0.0069	0.0148	1.4500	0.3636	0.5152	0.6024
0.0291	0.0190	0.0057	0.0165	1.3500	0.2399	0.5799	0.6062
0.0303	0.0138	0.0057	0.0181	1.2500	0.1641	0.5831	0.6331
0.0273	0.0131	0.0039	0.0180	1.1500	0.1406	0.6493	0.5586
0.0302	0.0144	0.0039	0.0190	1.0500	0.1833	0.6613	0.5291
0.0333	0.0159	0.0027	0.0216	0.9500	0.0765	0.6702	0.5450
0.0293	0.0139	0.0013	0.0204	0.8500	0.2165	0.7231	0.4303
0.0335	0.0165	0.0020	0.0226	0.7500	0.1522	0.6493	0.5552
0.0342	0.0152	0.0024	0.0209	0.6500	0.0728	0.7187	0.4782
Average					0.1945	0.6298	0.5525

Fig. 39는 각각의 공극률에 따른 반사율의 범위 및 그 범위의 평균값을 나타낸 것으로 반사율의 경우 공극률 0.2518에서 가장 낮은 평균값인 0.1795가 나타났다. 또한 공극률의 변화에 따라 반사율이 변함을 알 수 있었다.

따라서 본 실험에서는 테우 평저선구조 모형의 공극률 변화가 반사율에 영향을 주고 있으며, 반사율 측정결과에 대한 평균값의 변화 추이와 각각의 공극률에 따라 측정된 데이터의 범위를 살펴 볼 때 최저의 반사율을 보이고 반사율의 측정 범위 또한 적은 가장 적절한 공극률이 존재함을 알 수 있었다.

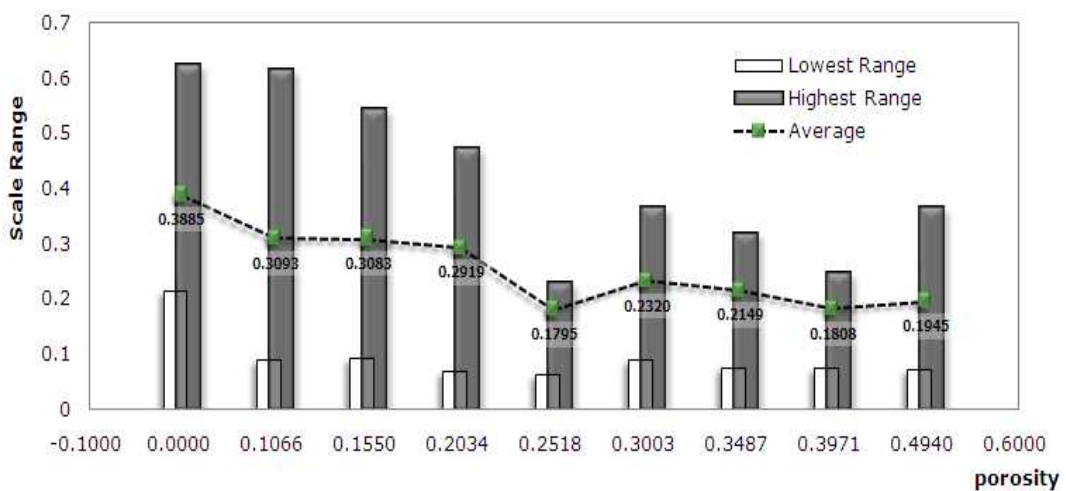


Fig. 39. Comparison of average and range of the reflection coefficient of each porosity.

Fig. 40은 각각의 공극률에 따른 투과율의 범위와 그 범위의 평균값을 나타낸 것으로 투과율의 경우도 공극률 0.2518에서 가장 낮은 평균값인 0.5910이 산출되었다. 또한 공극률의 변화가 투과율 변화에도 영향을 주고 있음을 알 수 있으며 측정된 투과율의 평균값 변화추이를 살펴볼 때 투과율이 가장 낮은 값을 나타내는 공극률이 존재함을 알 수 있었다.

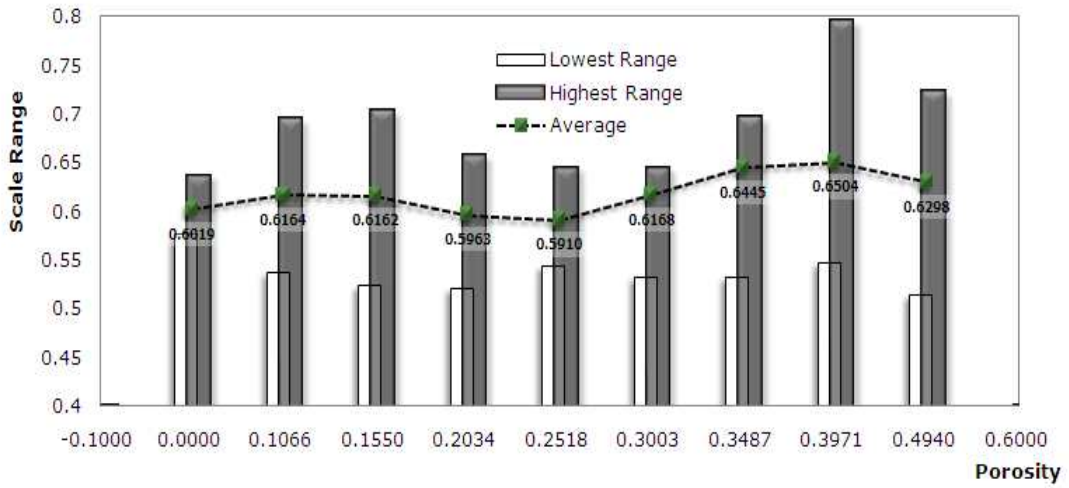


Fig. 40. Comparison of average and range of the transmission coefficient of each porosity.

Fig. 41는 각각의 공극률에 따른 에너지손실률의 계측 범위 및 평균값을 나타낸 것으로 최저평균값은 0.4679로 공극률이 전혀 없는 테우 평저선 구조 모형에서 산출되었으며 최고값은 공극률 $p=0.2518$ 일 때 0.6156로 나타났다. 또한 에너지 손실률 역시 공극률의 변화에 따라 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있었으며 에너지손실률의 계측 범위와 공극률에 따른 에너지손실률의 평균값 변화를 볼 때 에너지손실률이 가장 높은 공극률이 존재함을 알 수 있었다.

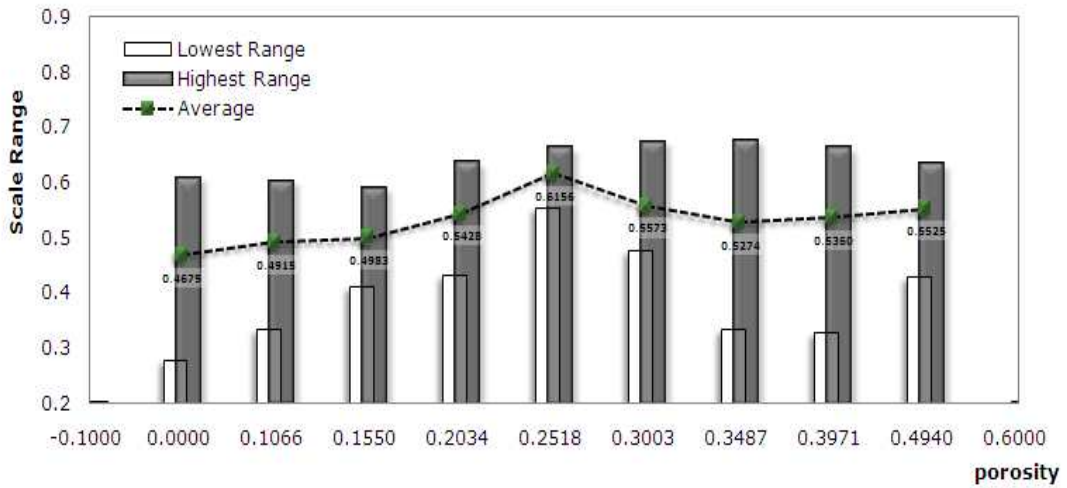


Fig. 41. Comparison of average and range of the energy dissipation rate of each porosity.

Fig. 42는 연속적으로 카메라를 통해서 분석한 결과이다. 입사파가 틈 사이로 투과하는 파(波)의 형태가 각 각의 공극률을 가지고 있는 테우 평저선 구조모형에 따라 달랐으며 가장 높은 에너지 손실률을 보인 공극률 $p=0.2518$ 과 모형 중 에너지 손실률이 가장 낮았던 $p=0.0000$ 와 $p=0.3487$ 의 비교 결과이며 $p=0.0000$, 0.3487 인 경우에는 파가 모형의 틈을 통과하면서 파가 튀는 것을 볼 수 있었다.

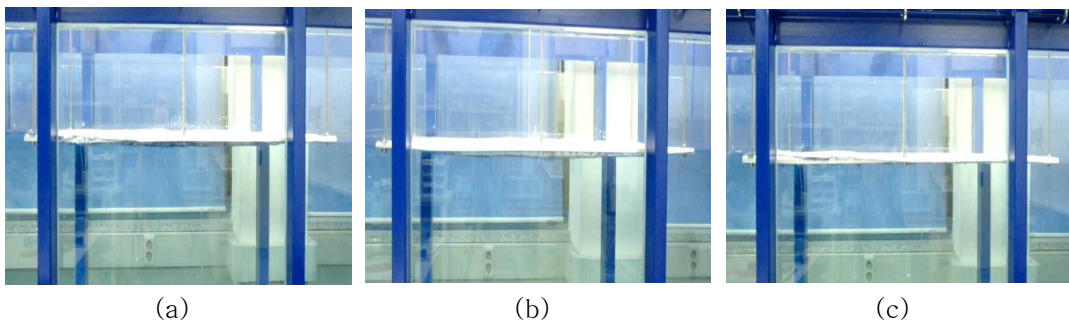


Fig. 42. Photographies for porosity = 0.0000(a), 0.2518(b) and 0.3487(c) of the Tewoo pontoon frame for $d=5\text{mm}$, $a_p = 125\text{cm}$.

본 실험에 사용된 테우의 평저선 구조 모형은 수조에 대한 제약 때문에 Fig 1의 테우 일반배치도상의 규격에 대하여 정확한 상사법칙이 적용되지 않는다. 하지만 선수 전면에서 오는 파에 대해 테우의 종방향 틸의 영향으로 형성된 소파 성능 및 파 에너지 흡수의 면에 대한 최적의 효율을 보이는 공극률을 찾는 데 본 실험의 초점을 맞추었다.

Fig. 39, Fig. 40, Fig. 41에서 보듯이 공극률 0.2518에서 에너지 손실률, 투과율, 반사율이 최적의 효율을 보이는 것을 알 수 있었다.

이(1991)에 의하면 항주하는 선박은 자유표면을 교란함으로써 파를 발생시키며, 파가 발생하고 전파되어 나가는 과정에서 중력장(Gravitational field)의 존재가 전제 조건이 되어야 하고 에너지가 지속적으로 공급되어야 한다. 이와 같이 파를 발생시키기 위해 공급되어야 하는 에너지를 조파저항 이라고 하는데, 테우의 종방향 틸을 통하여 형성된 박리에 의한 와류로 인해 파의 에너지가 소멸되는 에너지손실이 존재함으로써 조파저항 감소와 관련이 있다고 판단되며 이러한 실험 결과는 향후 보다 정밀한 모형실험 및 해상실험을 통해 입증되어야 한다고 생각한다.

그리고 옛 우리의 선조들이 테우를 제작하고 운용하면서 생긴 수많은 경험을 통해 설계되어진 테우의 구조 중 선수파에 대한 소파성능 및 파 에너지 흡수율 면에서 구전으로만 전해지던 적절한 틸의 간격이 존재하였음을 확인 할 수 있었으며 이러한 우리 옛 선조들의 조선기술의 우수성이 널리 알려질 필요가 있다고 생각된다.

IV. 결론

평저선 구조의 효율성을 규명하기 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 해양공학에 관련된 문제를 접근하는 방법 중 2차원 수조 수리모형실험을 통하여 테우 평저선 구조의 최적 틈새를 얻을 수 있도록 테우 평저선 구조모형의 제작 하여, 모형의 공극률에 따라 9개로 나누어 분석한 결과는 다음과 같았다.

파(波)가 테우 평저선 구조모형의 공극(틈새)을 통과하면서 박리현상에 의한 와류로 인하여 파 에너지 손실이 존재함을 규명할 수 있었다.

과고계 데이터에 의한 전체적인 경향을 보면 반사율은 파장이 짧을수록 고주파 영역으로 갈수록 증가, 그러나 투과율은 반대로 파장이 길수록 저주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세였다. 반면에 에너지 손실률은 반사율과 동일한 영향으로 나타났다.

반사율은 공극률이 클수록 측정된 데이터의 분포범위가 좁고, 평균값이 감소하는 추세였고 공극률 $p=0.2518$ 에서 특징하게 데이터의 분포범위와 평균값이 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다. 투과율은 반사율과 반대현상으로 공극률이 클수록 평균값을 중심으로 측정된 데이터의 범위가 넓고, 평균값이 점차적으로 증가하는 형태로 나타났으며, 특히 공극률 $p=0.0000$ 와 $p=0.2518$ 에서 데이터의 범위가 좁게 나타났으나 평균값은 $p=0.2518$ 에서 가장 낮았다. 반면에 에너지 손실률은 공극률 $p=0.2518$ 중심으로 공극률이 클수록 선형적으로 증가하였으나, 그 중심을 기점으로 다시 낮아지는 형태를 보였다.

이상의 결과를 통해서 각기 다른 공극률을 가지고 있는 테우 평저선구조 모형의 투과율, 반사율, 에너지손실률을 비교 분석한 결과 투과율 및 반사율이 가장 낮은 모형의 공극률은 0.2518, 에너지 손실률이 가장 높은 모형의 공극률 또한 0.2518이므로 테우 평저선구조 모형의 선수 전면으로 오는 파에 대한 소파성능 및 파 에너지 흡수의 면에서 최적의 효율을 보이는 공극률은 0.2518 (Square meter of porous=0.23m², porous size=0.0260m)라고 할 수 있었다.

참고 문헌

- 정공훈, 1983, 제주도주변의 벌선조사, 제주대학교 논문집 15집, pp. 89 - 94.
- CHWANG, A. T, 1983, A porous wave maker, J. Fluid Mech. vol. 132, pp. 395 - 406.
- 안장영, 1985, 고대항해술과 筏船, 고대제주항로 테우 탐사종합보고서, pp. 108 - 118.
- CHWANG, A. T. & Wu J, 1994, Wave scattering by submerge porous disk, J. Waterway port coastal Ocean EngIng 120, pp. 2575 - 2587.
- 조일형, 고희준, 2007, 원형파일 방파제에 의한 반사율과 투과율, 한국해안 · 해양 공학회지 제19권, 제1호, pp. 38 - 44.
- Jong-O Park, Jeong -Rock Lee, 2010, Process and Sailing of the Sum-jin River,s Tebae(raft), The Korean Association of Professional Geographers, Vol. 44, No. 1, pp. 13 - 24.
- H. J. Jung and I. H. Cho, 1999, Experimental Study of Wave -Absorbing Performance by Horizontal Punching Plates, Journal of Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 2, No.1, pp. 40 - 48.
- IL-Hyoung Cho and Hyeok-Jun Koh, 2007, Analysis on Wave Absorbing Performance of a Pile Breakwater, Journal of Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 21, No. 4, pp. 1 - 4.
- Won-Tae Park, 2004, The Evaluation of Wave Absorbing Efficiency using the Horizontal & Inclined Porous Plate. M.S. Thesis, Seoul National University of Technology, pp. 1 - 46.
- 김종진, 조해경, Takahashi kunihide, 2007, 한라산 구상나무림의 입지환경 특성, 한국자연보호학회지 Vol. 1, No. 1, pp. 5 - 9.
- Goda Y, 1995, Random Seas and Design of Martime Structures, University of Tokyo Press. Tokyo, Japan, 600 pp.

- 채바다, 1997, 한국 해양문화의 시원과 떼배(桴)의 역사적 고찰 vol. 3, 海洋韓國, pp. 128-133.
- 조일영, 홍석원, 2004, 경사형 타공판을 이용한 소파장치 개발, 한국해양공학회지 제18권, 제1호, pp. 1 - 6.
- 고광민, 1985, 제주도 떼배와 그 어로행위들, 제주대학교 탐라문화 연구소, 제주도민구(2), pp. 231 - 270.
- 이승희, 1991, 선박저항에 관한 최근연구동향(1), 대한조선학회지 제 28권, 제3호, pp. 9 - 19.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 혼자만의 힘으로 불가능한 부분을 도와주시고, 지도해 주신 모든 분들에게 적은 지면을 빌려 감사의 마음을 전하고자 합니다.

잘하는 것보다 부족한 면이 많은 저를 항상 같은 마음으로 지도와 편달을 아낌 없이 보내주시고 따뜻한 격려와 조언으로 이 시간까지 저를 이끌어주신 안장영 교수님 최찬문 교수님의 은혜에 깊이 머리 숙여 감사드립니다. 그리고 바쁘신 가운데서도 인생과 학문의 길을 늘 가르쳐 주시고 논리적이지 못한 문장들을 세세히 읽으시고 정성스럽게 다듬어 주신 이창헌 교수님께 감사드리며, 학위 과정 내내 지도해주신 김석중 교수님, 문일주 교수님, 김경락 교수님께도 감사드립니다. 아울러 항상 열심히 하라고 자상하게 격려해 주시는 김병엽 교수님께도 심심한 감사를 드립니다.

언제나 많은 조언과 관심을 가져주신 강승완 선배님, 강성국 선배님, 김상범 선배님 그리고 바쁜 업무에도 많은 조언을 주신 고혁준 박사님과 실험 때마다 고생하시고 자료정리를 도와주신 박현학 후배님 그리고 조주희 후배님과 친구 변승우 에게도 깊은 고마움을 전합니다.

또한 물심양면으로 도와주시고 격려를 아끼지 않으신 아라호 직원 분들께 진심 어린 감사를 드립니다.

끝으로 정성과 헌신으로 사랑을 베풀어 주신 아버님과 어머니님 각별한 사랑으로 보살펴 주신 장인어른과 장모님의 은덕에 감사드리며, 어려운 생활 속에서도 항상 저를 믿고 내조를 아끼지 않는 사랑스런 아내이자 인생의 영원한 동반자인 김경은.

그녀에게 그리고 두 아들 강윤권과 강문권에게 진심어린 고마움을 전합니다.