



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](#)

석사학위논문

제주 테우의 운동특성에 관한  
연구

제주대학교 대학원

어업학과

박 현 학

2013년 12월

# 제주 테우의 운동특성에 관한 연구

지도교수 안 장 영

박 현 학

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

2013 년 12 월

박현학의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	<u>최 찬 문</u>	㉠
위 원	<u>안 장 영</u>	㉠
위 원	<u>이 창 현</u>	㉠

제주대학교 대학원

2013 년 12 월

# A study on the motion of characteristic for Tawoo Jeju

Park Hyun Hak

(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  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2013. 12

## 목 차

List of Figures .....	ii
List of Tables .....	vi
Summary .....	vii
I. 서론 .....	1
II. 장치 및 방법 .....	3
1. 실험이론 .....	3
2. 입사파 조건 .....	4
3. 파고계의 간격 .....	6
4. 실험모형 .....	8
5. 장비 및 설비 .....	10
6. 실험방법 .....	18
III. 결과 .....	22
1. 각 주기별 공극율에 따른 반사률 .....	22
2. 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 반사률 .....	31
3. 각 주기별 공극율에 따른 투과률 .....	39
4. 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 투과률 .....	48
5. 각 주기별 공극율에 따른 에너지 손실률 .....	56
6. 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 에너지 손실률 .....	65
IV. 고찰 .....	73
V. 결론 .....	75
참고문헌 .....	76
감사의 글 .....	78

## List of Figures

Fig.1. Eddy making resistance .....	5
Fig.2. Wave probe distance .....	6
Fig.3. Tawoo design drawing .....	8
Fig.4. Experimental model of Tawoo pontoon frame .....	9
Fig.5. 2-D Wave tank .....	10
Fig.6. Wave generator puch equipment in 2-D Wave tank .....	11
Fig.7. Beach type wave absorber in 2-D wave tank .....	12
Fig.8. Wave probe .....	13
Fig.9. AMP for 2-D wave tank .....	14
Fig.10. Dedicated computer data acquisition .....	15
Fig.11. 1~4 Result of Wave probe calibration .....	16
Fig.12. Sketch of 2-D wave tank and locations of wave probe for measuring the reflection and transmission coefficient of experimental Tawoo pontoon frame .....	18
Fig.13. Typical wave signals and their spectra of 4 probes .....	20
Fig.14. Time history before filtering wave probe .....	20
Fig.15. Time history after filtering wave probe .....	21
Fig.16. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.72) .....	22
Fig.17. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.74) .....	23
Fig.18. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.77) .....	24
Fig.19. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.80) .....	24
Fig.20. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.84) .....	25
Fig.21. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.87) .....	26
Fig.22. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.92) .....	26
Fig.23. Reflection coefficient of porosity variation(period=0.98) .....	27

Fig.24. Reflection coefficient of porosity variation(period=1.04) .....	28
Fig.25. Reflection coefficient of porosity variation(period=1.13) .....	28
Fig.26. Comparisons of average and range of the reflection coefficient of each different porosities .....	29
Fig.27. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.1066 .....	31
Fig.28. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.1550 .....	32
Fig.29. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.2034 .....	32
Fig.30. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.2518 .....	33
Fig.31. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3003 .....	34
Fig.32. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3487 .....	34
Fig.33. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3971 .....	35
Fig.34. Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.4940 .....	36
Fig.35. Comparisons of reflection coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases) d=5mm, a=125cm .....	37
Fig.36. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.72) .....	39
Fig.37. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.74) .....	40
Fig.38. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.77) .....	40
Fig.39. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.80) .....	41
Fig.40. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.84) .....	42
Fig.41. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.87) .....	42
Fig.42. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.92) .....	43
Fig.43. Transmission coefficient of porosity variation(period=0.98) .....	44
Fig.44. Transmission coefficient of porosity variation(period=1.04) .....	44

Fig.45. Transmission coefficient of porosity variation(period=1.13) .....	45
Fig.46. Comparisons of average and range of the transmission coefficient of each different porosities .....	46
Fig.47. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.1066 .....	48
Fig.48. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.1550 .....	49
Fig.49. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.2034 .....	49
Fig.50. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.2518 .....	50
Fig.51. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3003 .....	51
Fig.52. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3487 .....	51
Fig.53. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.3971 .....	52
Fig.54. Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at p=0.4940 .....	53
Fig.55 Comparisons of transmission coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases) d=5mm, a=125cm .....	54
Fig.56. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.72) .....	56
Fig.57. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.74) .....	57
Fig.58. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.77) .....	57
Fig.59. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.80) .....	58
Fig.60. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.84) .....	59
Fig.61. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.87) .....	59
Fig.62. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.92) .....	60
Fig.63. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.98) .....	61
Fig.64. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=1.04) .....	61
Fig.65. Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=1.13) .....	62

Fig.66. Comparisons of average and range of the transmission coefficient of each different porosities .....	63
Fig.67. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.1066$ .....	65
Fig.68. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.1550$ .....	66
Fig.69. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.2034$ .....	66
Fig.70. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.2518$ .....	67
Fig.71. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.3003$ .....	68
Fig.72. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.3487$ .....	68
Fig.73. Energy dissipation rate for Tawoo Pontoon frame at $p=0.3971$ .....	69
Fig.74. Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at $p=0.4940$ .....	70
Fig.75. Comparisons of energy dissipation coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases) $d=5\text{mm}$ , $a=125\text{cm}$ .....	71
Fig.76. Photographies for porosity = 0.0000(a), 0.2518(b), 0.3487(c) of the tawoo pontoon frame for $d=5\text{mm}$ , $a_p = 125\text{cm}$ .....	74

## List of Tables

Table 1. Incident wave condition of Experiment Tawoo .....	5
Table 2. Specification of porous used at experiment .....	9
Table 3. Standard specification of 2-D wave tank .....	11
Table 4. Analysis of Reflection coefficient by period .....	30
Table 5. Analysis of Reflection coefficient by $a_p/\lambda$ .....	38
Table 6. Analysis of Transmission coefficient by period .....	47
Table 7. Analysis of Transmission coefficient by $a_p/\lambda$ .....	55
Table 8. Analysis of Energy dissipation coefficient by period .....	64
Table 9. Analysis of Energy dissipation coefficient by $a_p/\lambda$ .....	72

## Summary

Regarding the structure of Jeju Tawoo, the diameter of the front of log is narrow and that of the back of log has the shape of a longitudinal and the stern is 30-40cm longer than the bow, which has taken account of bow wave. If the stern and bow of a boat have the same length, the boat has the wider area that contact with the wave and the resistance to bow wave increases, which serves as an obstacle to sailing whereas Tawoo with narrow bow has less resistance to the bow wave and thus the safety and comfort during fishing activity increase. To investigate the optimal traverse gap for absorbing wave motion characteristics and the motion characteristics of Tawoo, the reflection coefficient according to the period of porous rate and wave length( $a_p/\lambda$ ), transmission coefficient, energy dissipation coefficient was analyzed conducting a hydraulic model second tank experiment. The results indicated when the wave passes by, the wave pressure increases and thereby the wave packet decreases in the gap of the model, which incurs an eddy; the eddy is absorbed through the gap, resulting in energy dissipation. The reflection coefficient and energy dissipation coefficient have same tendency. They increase as the wave length decreases and as they get near to high frequency area whereas the transmission coefficient increase as the wave length increases and it gets near low-frequency areas. With regard to reflection coefficient, the distribution range of measured data becomes narrow and the mean decreases as the porous rate increases and the distribution range and mean of data decreases particularly at  $p(\text{porous rate})=0.2518$ . In the case of transmission coefficient, the distribution range of the data measured around the mean increases and the mean gradually increase as the porous coefficient increases, which is contrary to reflection coefficient. In particular, the data range is the narrowest in the correlation equation at  $p(\text{porous rate}) = 0.2518$ , yet the mean value is the lowest at  $p(\text{porous rate})$  whereas the energy dissipation coefficient linearly increases as the porous rate increases towards the center at  $p(\text{porous rate}) = 0.2518$  and then decreases again from the center, indicating wave is absorbed stably as energy dissipation coefficient increases, which leads to better navigability. An increase of energy dissipation coefficient means more wave is absorbed by the porosity of model when waves pass by the experimental model. Thus the results of this experiment to find the best porous rate of 8 experimental models of Tawoo motion

characteristics indicated the highest energy dissipation coefficient can be obtained at 0.25 (porous rate) = 0.2518). The results of experiment proved the porous rate varies depending on the wave length of incident wave, yet short-wave results in higher energy dissipation coefficient than long-wave and the period and porous rate are in a reverse correlation. The results of Tawoo model experiment suggested the excellent motion characteristics of Tawoo based on the thoughts in marine engineering make Tawoo as an excellent marine transportation means. However these results have been derived from a model tank experiment. Thus to extract more reliable results, it is essential to conduct sea trials on the basis of these results.

## I. 서론

통나무 여럿을 연결하여 만든 배가 제주도에서는 ‘테우’, ‘떼베’, ‘태위’, ‘테’, ‘터우’ 등으로 불리운다. 배의 역사에서 볼 때 이와 같은 배는 B.C 5,000 - 6,000년 전부터 세계 여러 지역에서 사용되어 왔었던 것으로 보고되어지고 있다(고, 1985). 제주도의 경우는 사면이 둘러쌓여 있는 지리적인 여건 때문에 옛날 제주도 사람들은 제한된 지역 속에서 생활하면서 가까운 바다로 나아가 해조류의 채취 및 연안어로 작업 등을 하였다(정, 1983). 옛 제주 사람들은 이를 위해 여러 개의 통나무를 연결하여 배를 만들었는데, 옛 선조들이 제주도에서 ‘테우’를 이용하여 멸치잡이, 자리잡이, 갈치잡이, 오징어잡이 등을 하였으므로 ‘테우’가 어로 작업에 차지하는 비중이 컸음을 알 수 있다(고, 1985).

제주 테우의 만드는 과정을 살펴보면 우선은 재료로서는 한라산 700 - 800고지에서 자생하는 나무들 중 부력이 좋은 구상나무(비중 0.44)를 이용하였고(김, 2007), 물을 헤쳐 테우를 나아가게 하는 기구로는 ‘노’가 있었고, 테우가 전진하면서 일정한 방향을 유지하기 위해서는 ‘노’ 자체에서 조절하기 위한 ‘조절 못’을 부착하였다(안, 1985).

테우의 외형 상 구조는 주로 선박의 종식구조형태로 통나무를 종 방향으로 하고 이들을 견고하게 위해서 횡 방향으로 단단히 연결시키는 횡식 구조를 갖추고 있다. 테우는 앞쪽이 좁고 뒤쪽이 넓다. 이러한 형태의 종식 구조형태의 제주도 테우는 다른 지역에서 사용되어지는 횡식 구조형태의 떼배와 용도와 구조상에서 많은 차이를 보이고 있다(박, 2010).

테우는 연결하는 과정에 있어서 약간의 간격이 있다고 구전으로만 전해지고 있을 뿐 어느 정도가 최적인지는 연구한 것이 전혀 없다. 간접적인 연구로서는 Dracy의 법칙을 가정한 즉, 타공판을 통과하는 유체의 법선방향속도는 전후 압력차에 선형적으로 비례한다는 이론 해석에서 출발하여 과거 여러 해 동안 수직 기공(氣孔)판에 의한 파 흡수에 관해서 이론 및 실험을 통해서 언급되어 왔다. Chwang (1983)는 기공판이 유체력 뿐만 아니라, 파의 진폭을 감소시키는 효과를 연구하였다. Ouellet and Datta(1986)는 세계각지에 분포되어 있는 58개소의 조파

수조를 조사한 바 있는데 경사형 소파장치의 소파성능은 입사파의 파장 및 파고에 따라 크게 달라지며 경사각, 길이, 표면의 거칠기 등도 중요한 설계 인자가 되고 된다는 연구결과를 도출하였고, 이는 경사각도는 매우 완만해야 하는데, 일반적으로 높이 대 밑변의 길이비가 1:10보다 작아야 좋은 에너지 손실효과를 얻는다고 보고하였다. 이러한 방법은 파 에너지 소멸을 촉진시키는 방법이나 투과성 판을 사용하여 소파효율을 증가시키는 여러 방법으로 시도되고 있다. Twu and Lin (1991)는 여러 개의 유공판을 구성하여 파의 흡수효과를 크게 개선시킬 수 있다는 것을 연구하였다. 그리고 최근에는 파(波)가 타공판을 통과하면서 타공판의 구멍에 의한 강한 제트 흐름이 형성되면서 파 에너지가 소멸되는 특성을 가지고 있다는 연구가 있었으며(Cho (2002)), Cho et al. (2007)는 에너지 손실은 원형 방파제 간격과 파장비와 공극률, 반사율과 파력이 밀접한 관계가 있어서 공극률이 작을수록 에너지 손실이 크다는 것을 보고한 바 있다. 그러나 테우 틸을 이용하여, 파 흡수율 및 항행안전에 관해서 지금까지 구체적으로 언급된 바가 없었다.

본 연구는 파랑 중에 파가 통과하면서 생기는 단면현상의 변화로 인한 박리현상의 에너지 손실율, 반사율, 투과율과의 상관관계를 통해 테우의 최적 틸새를 찾고, 종 방향의 파장 및 주기변화에 따른 운동특성을 도출하여 모형에 의한 안정성을 고려한 테우를 제작하는데 기초자료제공과 제주 옛 선조의 우수성을 규명하고자 하는데 목적이 있다.

## II. 장치 및 방법

### 2.1. 실험이론

테우가 파랑 중에 파가 통과하면서 생기는 단면현상의 변화로 인한 박리현상으로 인해 에너지 손실율, 반사율, 투과율과의 상관관계를 통해 최적의 틈새를 찾을 수 있다. 이러한 최적을 틈새를 찾기 위해서는 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$R = \frac{H_r}{H_i} \quad (1)$$

$$T = \frac{H_t}{H_i} \quad (2)$$

$$\varepsilon = 1 - (R^2 + T^2) \quad (3)$$

여기에서  $R$  은 반사율,  $T$  는 투과율,  $H_i$ 는 입사파 파고,  $H_r$ 는 반사파 파고,  $H_t$ 는 투과파 파고,  $\varepsilon$  은 에너지 손실률을 나타낸다.

식(1)과 (2)는 반사율  $R$ 과 투과율  $T$ 를 계산하는 식이다. 실험모델 안에 소멸기구가 없는 경우  $R^2 + T^2 = 1$ 인 에너지 보존법칙이 성립한다. 식(3)에서는 입사파가 모형을 통과하면서 구조사이의 틈을 통하여 형성된 박리에 의한 와류로 에너지가 소멸되므로 에너지 손실율  $\varepsilon$ 이 존재한다.

## 2.2. 입사파 조건

Table. 1은 테우 모형 타공판 실험조건을 나타낸 것이다. 제주대학교 해양시스템 공학과에서 보유하고 있는 수조는 파장과 모형 길이의 비( $a_p/\lambda$ )가 0.650이상이어야 계측시 반사파에 대한 실험데이터의 한계치이고, 이런 특성을 반영해 0.1씩 증가시켜 1.550까지로 하였으며 파장( $\lambda$ ), 파수( $k$ ), 주파수 $[\omega(\text{rad}/\text{sec})]$ , 파경사 (steepness)는 실험 조건을 만족하는 2차원 규칙파를 이용하여 식(4)~(7)에 의해서 구하였다.

$$\text{steepness} = \frac{H}{\lambda} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (5)$$

$$\omega^2 = k \cdot g \cdot \tanh(kh) \quad (6)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (7)$$

여기에서  $\omega$ 는 주파수(rad/sec),  $g$ 는 중력가속도( $9.81 \text{ m}/\text{sec}^2$ ),  $h$ 는 수심 (0.6m),  $k$ 는 파수를 나타낸다. (4)식에서  $\text{steepness}(H/\lambda)$ 값을 구하여 일정한 간격으로 결정하였고,  $k$ 값은  $\frac{\omega^2}{g \cdot \tanh(kh)}$ 로 (6)식에 의해서 계산될 수 있고, 입사파장( $\lambda$ )은 (5)식에 의해서, 주기( $T$ )는 (7)식으로 계산될 수 있다.

본 실험모델에서는 입사파가 모형을 통과하면서 뚫린 구멍을 통하여 형성된 박리에 의한 와류로 인해 Fig. 1처럼 와류가 발생함으로써 에너지가 소멸되므로 에너지 손실을  $\varepsilon$ 이 존재한다. 에너지 손실율이 커질수록 입사파가 테우모형을 통과하면서 손실되는 에너지가 증가함을 의미한다(Cho et al.(2007)).

Table. 1 Incident wave condition of Experiment Tawoo

$a_p/\lambda$	$\lambda$	$k$	$\omega(rad/sec)$	$T$	$stp(0.02)_H$	$stp(0.025)_H$	$stp(0.03)_H$
0.650	1.923	3.267	5.550	1.13	0.038	0.048	0.058
0.750	1.667	3.770	6.016	1.04	0.033	0.042	0.050
0.850	1.471	4.273	6.436	0.98	0.029	0.037	0.044
0.950	1.316	4.775	6.822	0.92	0.026	0.033	0.039
1.050	1.190	5.278	7.183	0.87	0.024	0.030	0.036
1.150	1.087	5.781	7.523	0.84	0.022	0.027	0.033
1.250	1.000	6.283	7.847	0.80	0.020	0.025	0.030
1.350	0.926	6.786	8.157	0.77	0.019	0.023	0.028
1.450	0.862	7.288	8.454	0.74	0.017	0.022	0.026
1.550	0.806	7.791	8.742	0.72	0.016	0.020	0.024

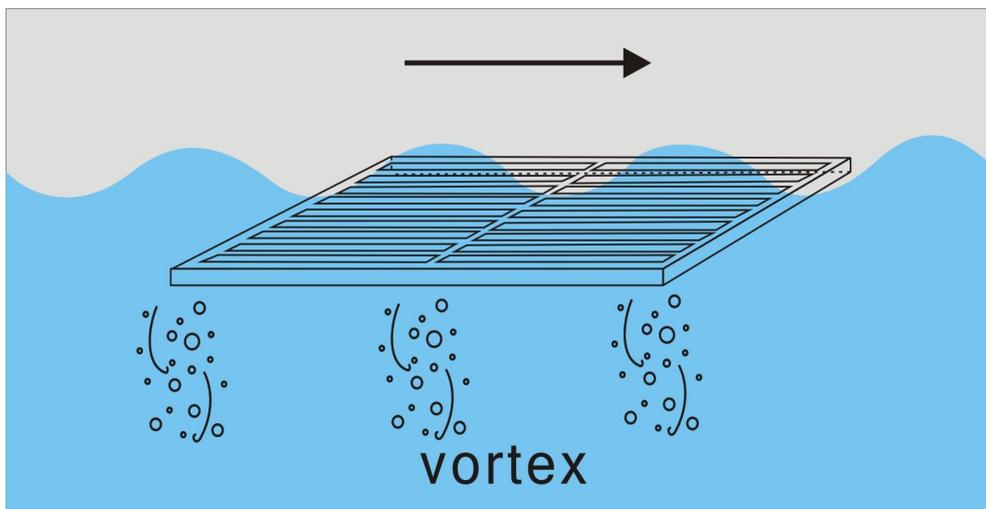


Fig. 1 Eddy making resistance

### 2.3. 파고계의 간격

Fig. 2는 파고계의 간격을 실험의 특성상 수치를 나타내는데 중요한 요소를 나타낸 그림이다. 1번(계측) 파고계를 맨 앞에 두었고, 2번(입사) 파고계와 3번(반사) 파고계를 중간에 위치시켰고, 4번(투과) 파고계를 맨 뒤에 두고 실험을 하였다.

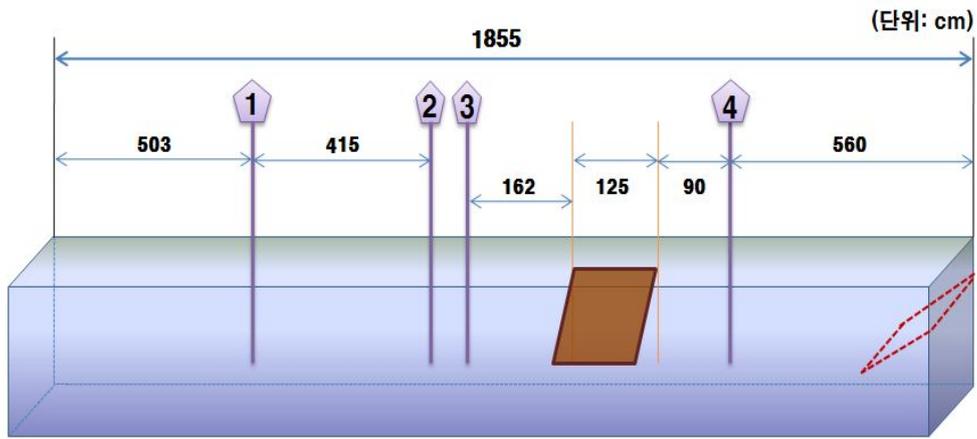


Fig. 2 Wave probe distance

특히 2번 파고계와 4번 파고계의 간격은 2개의 고정된 파고계 이용방법을 사용하여 2개의 파고와 1개의 위상차(Goda and Suzuki (1976))을 사용하였다. 그 식은 다음과 같은 결과로 인해 파고계의 간격을 결정할 수 있었다.  $k = \frac{2\pi}{L}$  ( $L = \text{파장}$ )로 파수이다.  $\sin(\frac{\Delta\ell}{L} \cdot 2\pi)$ 가 되는데  $\sin\theta$ 에서  $\theta = 0, \pi, 2\pi, 3\pi \dots$ 에서  $\sin\theta = 0$ 이 되므로,  $\Delta\ell = 0, L, 2L \dots$  이면 분모  $|\sin(k\Delta\ell)|$ 이 0이 되므로 측정이 불가능하게 된다.

이러한 결과는 다음과 같은 계산식으로 풀이 할 수 있다.

$$\Delta\ell = \frac{L}{2} (\Delta\ell = \text{파고계사이거리}) \text{일 경우, } \sin\left(\frac{L}{2} \cdot 2\pi\right) = \sin\left(\frac{L}{2L} \cdot 2\pi\right) = \sin(\pi) = 0$$

$$\Delta \ell = L \text{ 이면 } \sin\left(\frac{L}{L} \cdot 2\pi\right) = \sin(2\pi) = 0$$

$$\Delta \ell = \frac{3L}{2} \text{ 일 경우, } \sin\left(\frac{\frac{3L}{2}}{L} \cdot 2\pi\right) = \sin\left(\frac{3L}{2L} \cdot 2\pi\right) = \sin(3\pi) = 0$$

$$\Delta \ell = 2L \text{ 일 경우, } \sin\left(\frac{2L}{L} \cdot 2\pi\right) = \sin(4\pi) = 0$$

⋮

⋮

$\ell$  값이  $0, \pi, 2\pi, \dots$  일 경우 무한대로 파가 나가기 때문에  $\frac{\pi}{2}/k, \frac{3\pi}{2}/k, \dots$  으로 수조에 맞게 간격을 두어 사용하였다.

이러한 정리에 의해 파고계의 설치 위치는 조파기 쪽에서부터 1번(계측) 파고계, 2번(입사) 파고계, 3번(반사) 파고계, 그리고 4번(투과) 파고계를 설치하였으며, 파고계 사이의 간격은 조파기에서 1번(계측)파고계까지는 513cm, 1번(계측)파고계와 2번(입사)파고계까지는 415cm, 2번(입사)파고계와 3번(반사)파고계 사이의 간격은 Goda(1976)의 식에서 설명하였듯이 입력주기가 0.72~0.84sec 사이에서는 235cm, 0.87~1.04sec에서는 350cm, 1.13sec 입력주기에서는 480cm의 간격을 주어 입사파와 반사파를 분리하였다.

## 2.4. 실험모형

제주에서 사용된 테우의 구조는 Fig. 3과 같이 여러 개의 통나무를 횡으로 연결하여 만든 것으로 제원은 정확하지 않지만 대체적으로 길이는 400~500cm, 선수폭은 140~180cm, 선미 폭은 170~240cm, 사용된 재목의 수는 7~11개로 종방향으로 구성되고, 통나무 직경은 선미측이 20~40cm, 선수측은 15~20cm정도이다(고, 1985). 실험에 있어 테우 모형틀 만드는 과정에는 약간의 간격이 있다는 전제하에 실험모형을 제작하였다.

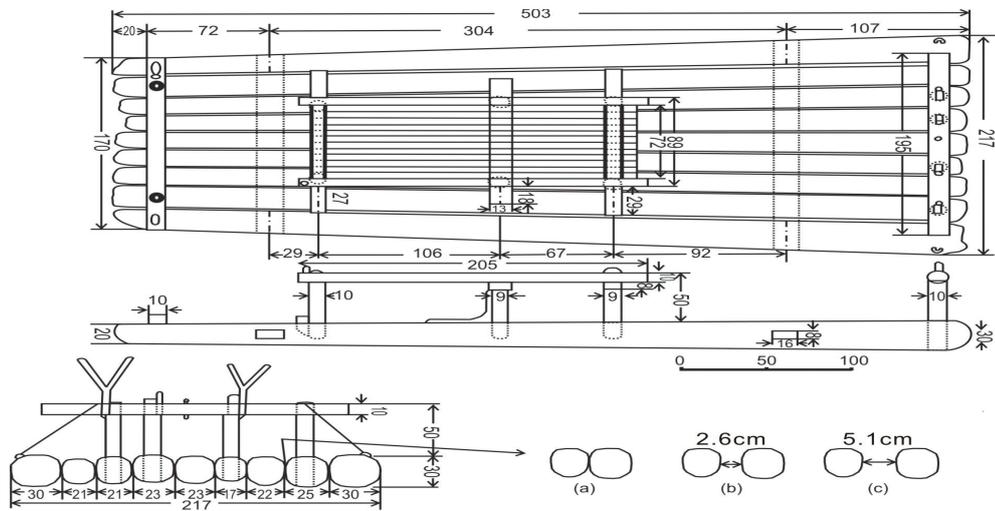


Fig. 3 Tawoo design drawing

Fig. 4의 실험모형은 전체면적 가로 1.25 × 세로, 0.74 = 0.925m<sup>2</sup>으로 제작되었고, 재질은 폼엑스(비중 0.75)로 플라스틱 압축제품이다. 부력이 좋고, 신축성이 커 실험에 최적의 재료로 제작하였다. 상사법칙으로  $\frac{1}{4}$ 로 줄일려고 했으나, 수조실험에서의 제약 때문에 가로만 상사법칙으로 적용되었고 세로는 수조에 맞게 제작되었다. 실험에 필요한 뚫린면적에 대한 공극률은 각 모형별로  $\frac{\text{뚫린면적}}{\text{전체면적}}$ 으로 계산하여 수치를 나타내었다.

실험모형의 공극률에 따른 뚫린 면적의 크기는 공극률이 “0.1”일 때 1.1cm,

“0.15”일 때 1.6cm, “0.2”일 때 2.1cm, “0.25”일 때 2.6cm, “0.3”일 때 3.1cm, “0.35”일 때 3.6cm, “0.4”일 때 4.1cm, “0.5”일 때 5.1cm로 그 크기를 일정하게 제작하였다.

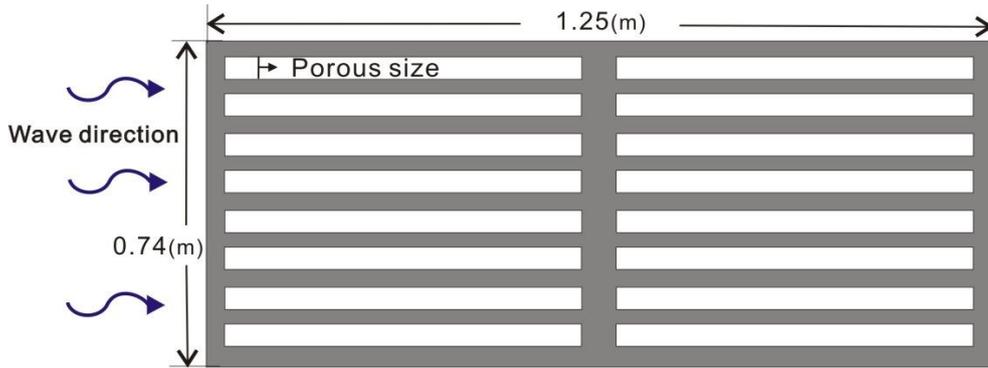


Fig. 4 Experimental model of Tawoo pontoon frame

Table. 2은 테우의 횡 방향 틈새인 공극율을 나타낸 것으로, 뚫린 부분의 면적을 전체 면적으로 나눈 값으로 나타내며, 공극률에 대한 에너지 손실율, 반사율, 투과율을 측정하기 위하여 틈새의 간격을 8개의 모형으로 제작하여 나누어 실험하였다.

Table. 2 Specification of porous used at experiment.

Porosity(p)	Square meter of porous(m <sup>2</sup> )	porous size(m)	The whole area except for the porous(m <sup>2</sup> )
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

## 2.5. 장비 및 설비

### 2.5.1. 2차원 조파수조(2-D Wave tank)와 조파장치(Wave generator)

Fig. 5는 테우를 실험하기 위해 사용된 제주대학교 해양시스템공학부에서 보유하고 있는 2차원 조파수조이다



Fig. 5 2-D Wave tank

Fig. 6은 조파설비로써, 이 장비가 제원은 모터 1.5kw, 폭 0.79m, 높이 0.85m이다. 2차원 조파수조에서는 규칙파를 생성하는 피스톤 타입(Piston type)의 조파장치가 설치되어 있으며, 규칙파 및 불규칙파를 발생시킬 수 있다. 2차원 조파 시스템은 피스톤의 스트로크로부터 파고를 조절하며 조파장치 인버터의 입력 주파수를 조절하여 파주기를 생성한다. 2차원 조파수조에 구현 가능한 주기와 파장의 조건은 조파장치 Calibration실험을 통하여 획득하였으며, 최대 2.5m, 최소 0.5m의 파장을 갖는다.

또한 조파 가능한 파주기는 0.5~5초 사이이고, 파고의 생성 범위는 0.024m~0.045m이다.

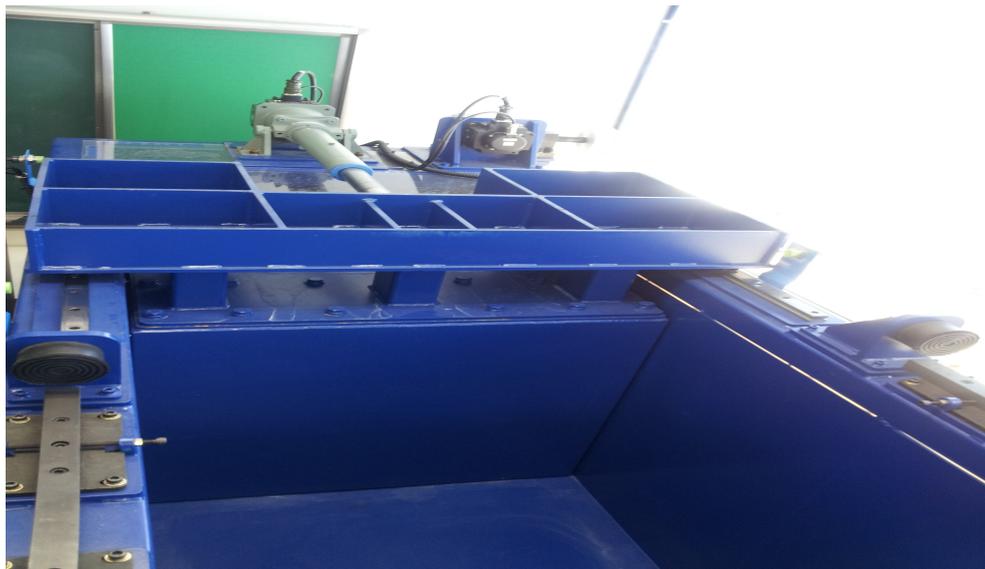


Fig. 6 Wave generator puch equipment in 2-D Wave tank

Table. 3는 2차원 조파수조의 기본사양으로써 규칙파를 생성하는 피스톤 타입의 조파장치가 설치되어 있으며, 규칙파 및 불규칙파를 발생시킬 수 있다. 2차원 조파 시스템은 피스톤의 스트로크로부터 파고를 조절하며 조파장치 인버터의 입력 주파수를 조절하여 파주기를 생성한다. 수조 본체와 분리식으로 제작되어지며, 구동모터(motor)와 최대 스트로크는 각각 1.5kW, 400mm이다.

Table. 3 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

### 2.5.2. 소파장치(Wave absorber)

2차원 조파수조 내의 소파장치는 Fig. 7와 같이 조파장치 반대편의 끝부분에 설치되어 실험 후 발생된 수면교란을 약화시키는 역할을 하는 소파장치이다. 구멍의 직경이 8mm, 공극률이 0.1인 폭 0.78m의 경사형 타공판재를 사용한 망 구조물(Stainless steel)로 벤치 타입(Beach type)으로 되어 있다.



Fig. 7 Beach type wave absorber in 2-D wave tank

### 2.5.3. 데이터 취득시스템과 계류장치

Fig. 8은 파고계를 나타낸 것으로 DT-201형 정밀 용량식 파고계이라 하며 물에 잠기는 부분의 용량 변화로 파고를 감지하는 원리이다. 계측부는 얇은 피막을 입힌, 가느다란 에나멜선이나 구리선을 사용하여 물에 접촉된 계측부의 길이에 비례하여 파고가 감지되므로 측정시 파의 비말 등에 매우 주의하여야 한다.



Fig. 8 Wave probe

Fig. 9는 앰프의 신호를 증폭 시켜주는 역할을 하며, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜주는 장비로 본 실험에서는 200Hz의 샘플링 주파수(Sampling frequency)로 데이터를 취득하였다. 데이터 저장은 전압(Voltage)값으로 저장되며 실제데이터 값을 나타내려면 보정작업(Calibration)을 통한 게인값(Gain value)을 곱해 주어야 한다. 보정작업은 세 번의 측정 평균값으로부터 기울기를 통해 게인 값을 계산한다. 첫 번째 측정은 파고계의 +방향을 중력과 반대 방향으로 파고계를 위치하여 측정하고, 두 번째는 파고계의 +,-방향을 수평하게 놓고 측정한다. 마지막은 +방향을 중력과 같은 방향으로 놓고 데이터를 측정하여 평균값을 구한다.

계측된 데이터들은 프로그램 안에서 간단한 분석이 이뤄지는데, FFT(Fast Fourier Transform)를 실행하여 얻은 주파수영역에서의 결과와 각 데이터의 평균값 등을 알 수 있다.



Fig. 9 AMP for 2-D wave tank

Fig. 10은 데이터를 분석하기 위한 설정 값들을 보여주고 있는데 모형 스케일에서 분석할지 실물 스케일에서 분석할지를 선택하고, 0점화를 적용할 것인지, 얼마만큼의 시간 영역에서 볼 것인지, 데이터를 FFT한 결과를 어떻게 필터링을 할 것인지, 주파수 영역을 어떻게 설정할 것인지에 대해 원하는 값을 정해 줄 수 있다.

실험데이터 취득프로그램(DAQ Setting)를 통하여 실험 전에 0점화를 실시하지 않을지를 선택할 수 있도록 되어있다. 여기서 0점화는 계측센서에 입력신호가 들어오지 않았을 때의 신호를 0점으로 보정해주는 작업이다. 아래 그림은 실험 전에 실시하는 0점화와 실험 시의 샘플수와 Sampling Rate, 실행시간을 설정하는 데이터 입력프로그램(Graphic User Interface)이다. 이때 실행 시간은 샘플수를 Sampling Rate로 나누어 설정되고, 실물과 모형간의 상사 법칙을 통하여 실제 시간으로 변환된다.

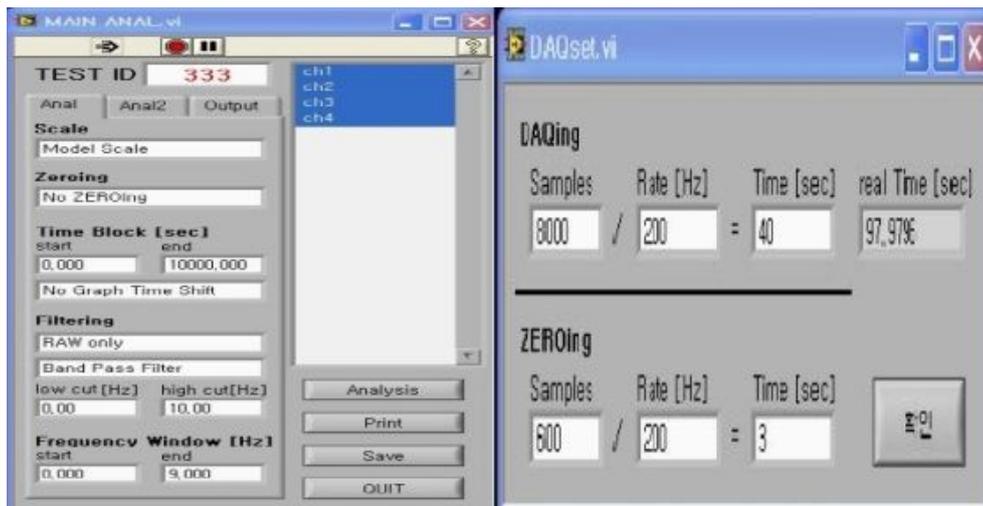


Fig. 10 Dedicated computer data acquisition

## 2.5.4. Calibration

Fig. 11은 각 파고계의 보정값을 나타낸 것이다. 파고계는 저항식으로 수위에 따른 전압 값의 변화로 파고의 변화를 추정할 수 있다. 전압 값을 파고의 변위로 환산하기 위한 Calibration 구하는 작업이 실험을 시작하기 전 각 파고계에 따라 진행되었고 그 결과는 아래와 같다.

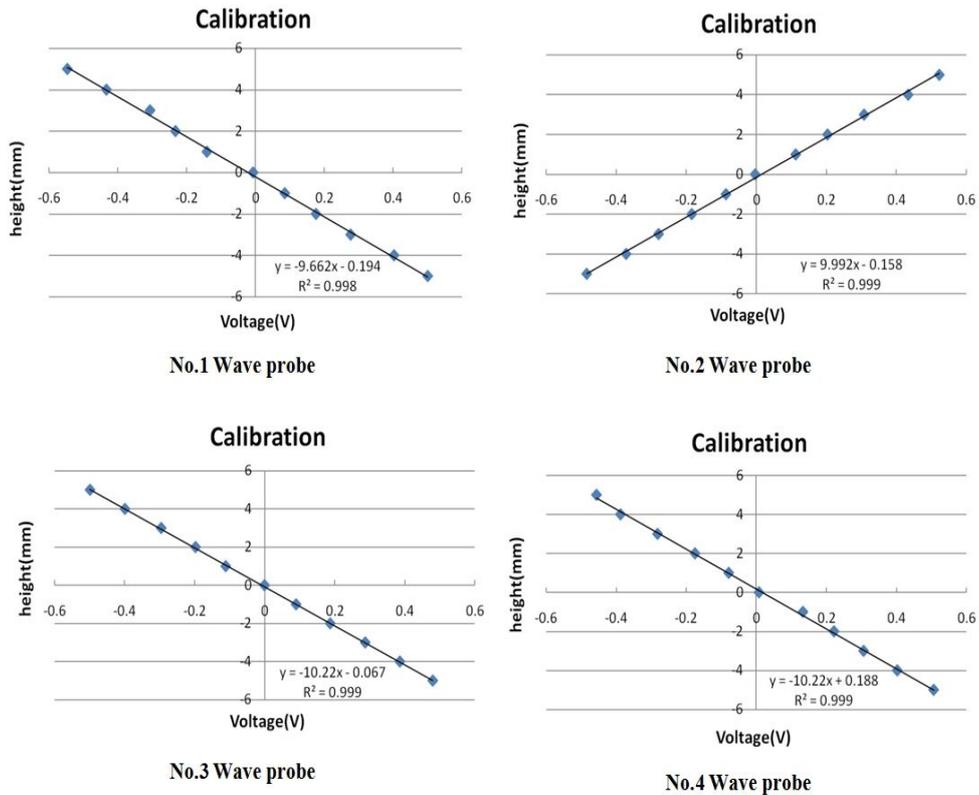


Fig. 11 1~4 Result of Wave probe calibration

위의 값을 구하는 이유는 보정값을 찾기 위해서이다. 이것은 각 파고계가 “0”점화 되어있는 상태에서 실험값을 구하기 위해서는 필수이다.

앰프(Amp)에 1번 파고계:  $y = -9.662x - 0.194$ , 2번 파고계:  $y = 9.992x - 0.158$ , 3번 파고계:  $y = -10.220x - 0.067$ , 4번 파고계:  $y = -10.220x + 0.188$  로 보정하였고, 1번 파고계는 계측파를 측정하는 파고계로 -9.662, 2번 파고계는 입사파를 측정하는 파고계로 9.992, 3번 파고계는 반사파를 측정하는 파고계로 -10.220, 4번 파고계는 투

과파를 측정한 파고계로 -10.220의 기울기를 Gain 값으로 하여 각각의 파고계에 대한 설치 높이를 보정하였다. 앰프의 기울기 값이 2번 파고계에서 (+)되는 이유는 2번 앰프의 고유한 특성 때문에 나타난 것으로 (+),(-)의 차이는 없다. 이를 계측 시스템의 Gain 값으로 입력되어 획득 데이터의 파고와 파압을 구하는데 사용되었다.

## 2.6 실험방법

Fig. 12는 2차원 조파수조에서 반사파를 고려한 소파장치를 나타내는 것으로, 흐름도를 통하여 결과치를 구하고 그러한 형상을 Lab View를 통해 1차적으로 필터링 및 모듈화 하였고, Matlab를 통하여 2차적으로 구간 구간 필요한 데이터를 선별하였다. 그림에도 불구하고 잔존하는 반사파를 고려하여 각 구간별로 파도를 여러 구간 측정하였으며, 측정된 파도를 모형의 해석에 반영하도록 하였다.

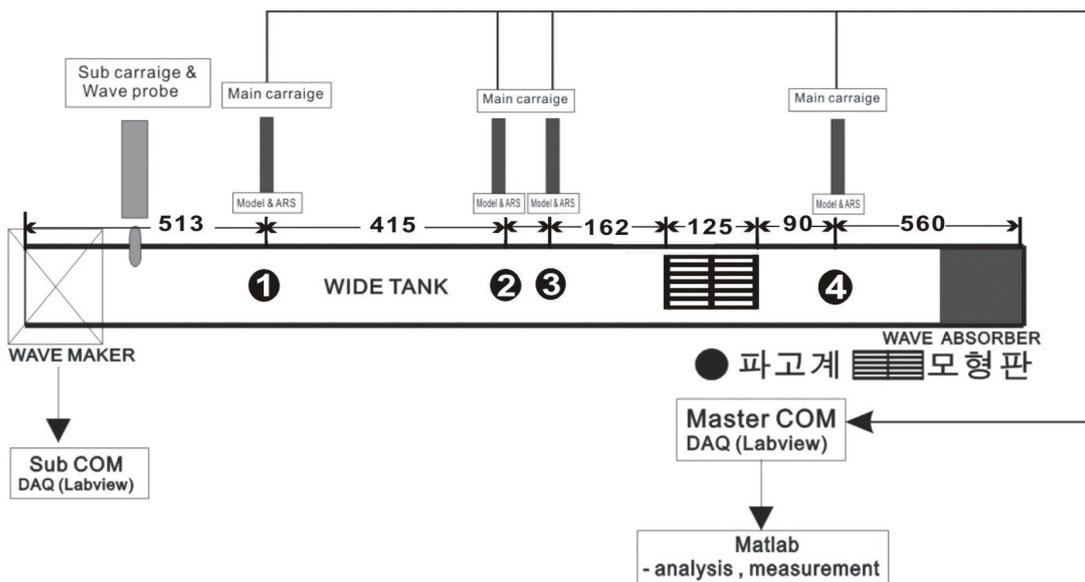
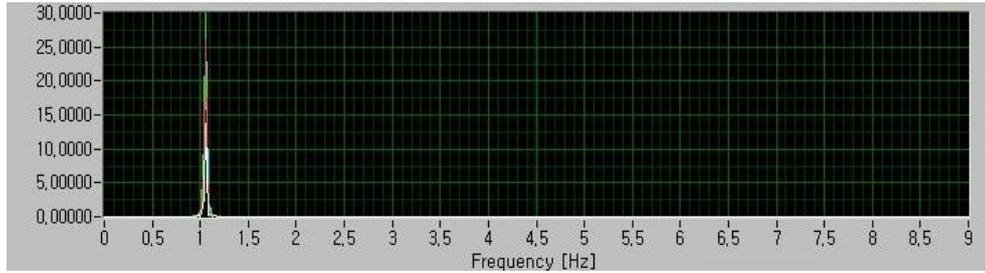


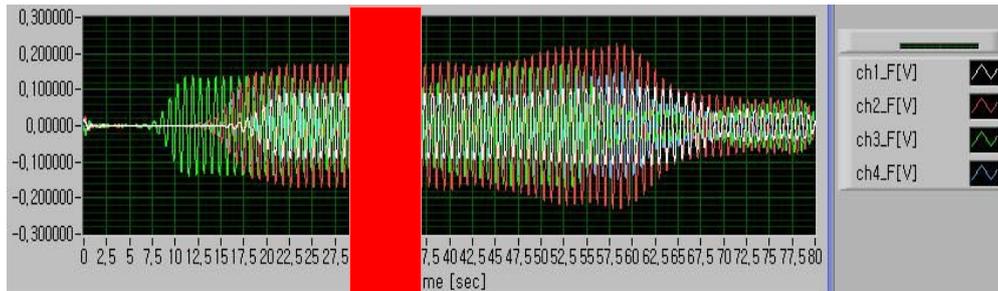
Fig. 12. Sketch of 2-D wave tank and locations of wave probe for measuring the reflection and transmission coefficient of experimental Tawoo pontoon frame.

실험은 2012.7.16 - 8.24요일 까지 진행되었으며, 해양과학대학 4호관 해양시스템 공학(4층)에서 보유하고 있는 2차원 수조로 실험하였다. 수조가 위치한 곳은 4층으로 건물자체가 흔들리거나, 엘리베이터(elevators)의 영향으로 수조가 흔들리는 것을 방지하기 위해 새벽시간에 실험을 하였다. 8개의 모형을 실험 때마다 각각 설치하여 주 컴퓨터(Master computer) 작업자가 수심, 파고, 주기, Point Rate, 생성 시간, Tapering Time을 각각 실험조건에 맞게 복창하면 부 컴퓨터(Sub computer) 작업자가 다시 복창하여 수조 내에서 조파를 하기 위해 수심, 파고, 주기, Point Rate, 생성시간, Tapering Time을 각각 실험조건에 맞게 입력하여 파를 생성하였고, 파가 1번, 2번, 3번, 4번 파고계를 지나면서 각각의 데이터를 필터링 및 모듈화하여 필요한 구간을 선택해서 자료를 취득하였고, 1회 실험이 끝나면 수면교란 현상을 제거하기 위해 2-3시간을 기다린 다음 2번(입사파)과 3번(반사파) 파고계의 위치를 다시 조정후 모형실험을 실시하였다.

이러한 방법으로 실험을 진행하였고, Fig. 13은 공극률이  $p=0.1066$ 인 테우 모형에 Table. 1과 같은 입력조건으로 실험했을 때 파고계에서 측정된 시계열 파고 데이터이다. 실험에 사용한 파고계의 측정 주파수 스펙트럼은 (a)와 같이 0.8Hz - 1.25Hz의 범위에 존재하고 있었고 파고계 각각의 측정된 파장의 분포범위는 (b)와 같이 나타났다. Ch.1[□]은 모형을 지나서 설치한 투과파를 계측할 수 있는 투과파 파고계이고 Ch.2[■]는 입사파 파고계, Ch.[■]3은 반사파 파고계, Ch.4[■]는 계측파 파고계에 기록된 데이터를 나타내고 있다. 먼저 천이(Transient) 구간을 거쳐서 일정 시간이 지나면 정상상태(Steady-state)구간이 나타남을 확인할 수 있다. 좀 더 시간이 지나면 새로운 천이 상태구간이 나타나게 되는데, 이는 수조에서 반사된 파에 의한 영향이다. 반사파가 오면서부터는 새로운 천이 구간과 정상상태를 가지게 된다.



(a)



(b)

Fig. 13 Typical wave signals and their spectra of 4 probes.

Fig. 14는 부 컴퓨터(Sub computer)에서 수조 내에서 조파를 하기 위해 수심, 파고, 주기, Point Rate, 생성 시간, Tapering Time을 각각 실험조건에 맞게 입력하여 프로그램을 구동시 Filtering을 하기 전에 잡음이 포함된 결과치를 나타낸 것이다.

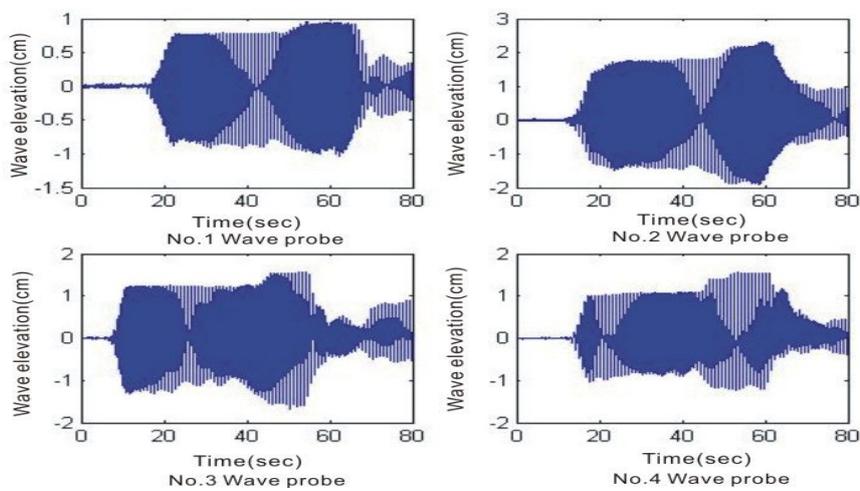


Fig. 14. Time history before filtering wave probe

Fig. 15는 원하는 주파수에서의 잡음을 제거한 신호를 얻기 위해 Band pass filter 사용한 뒤 역 푸리에 변환(IFFT)를 해주면 아래와 같은 그래프를 얻는다. 음영으로 표시된 영역은 파고계가 안정된 그래프를 나타낸 영역이다. 이러한 안정된 그래프의 데이터를 취득하여 8개의 타공판 모형에 적용하여 데이터를 취득하였다.

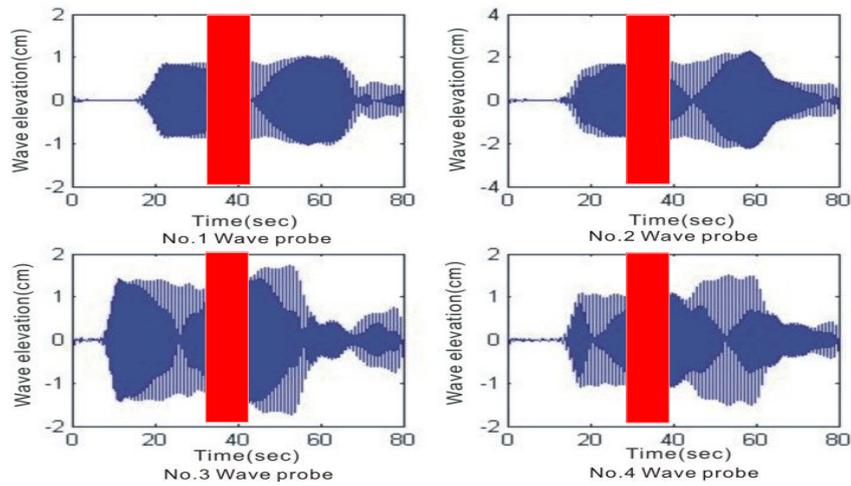


Fig. 15. Time history after filtering wave probe

### Ⅲ. 결과

#### 3.1 각 주기별 공극율에 따른 반사율

Fig. 16은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.6145로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.3003, 0.3487이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3487일 때, 평균값이 0.1492로 나타났다.

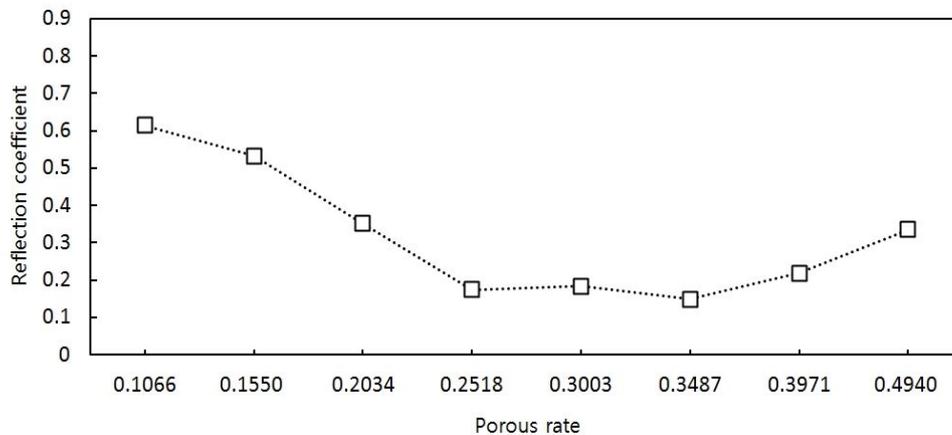


Fig. 16 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.72)

Fig. 17은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.74sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.5679로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2518일 때, 평균값이 0.2031로 나타났다.

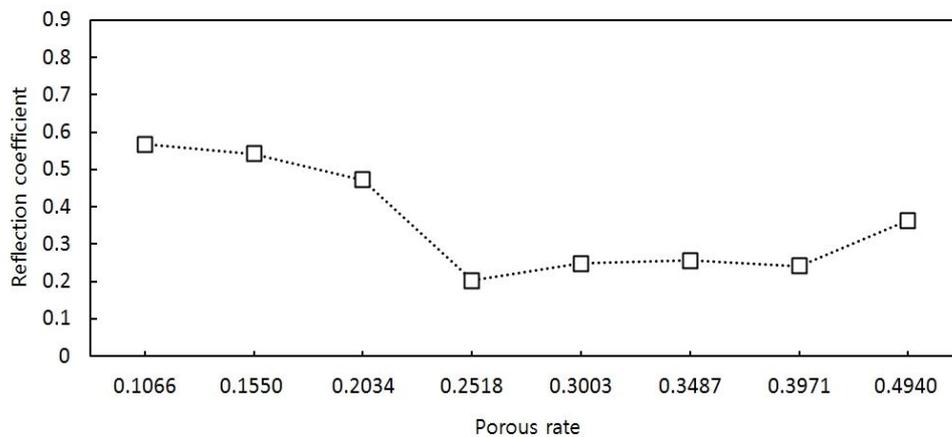


Fig. 17 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.74)

Fig. 18은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.77sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.3814로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3971일 때, 평균값이 0.1275로 나타났다.

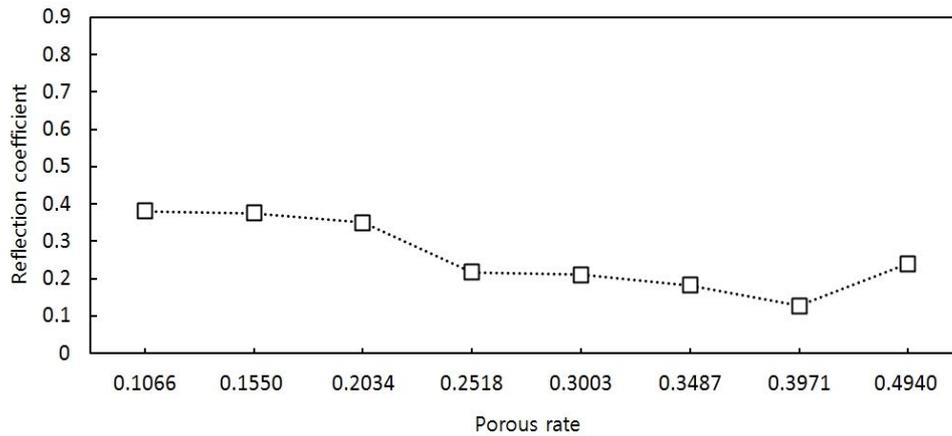


Fig. 18 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.77)

Fig. 19은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.80sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.4151로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.3487, 0.3971, 0.4940이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.4940일 때, 평균값이 0.1641로 나타났다.

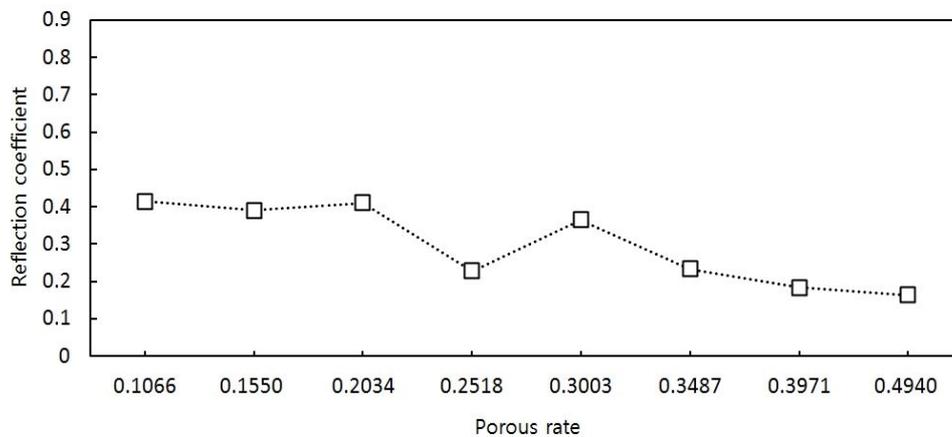


Fig. 19 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.80)

Fig. 20은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.84sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.2034이었고 평균값은 0.3649로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.4940이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.4940일 때, 평균값이 0.1406로 나타났다.

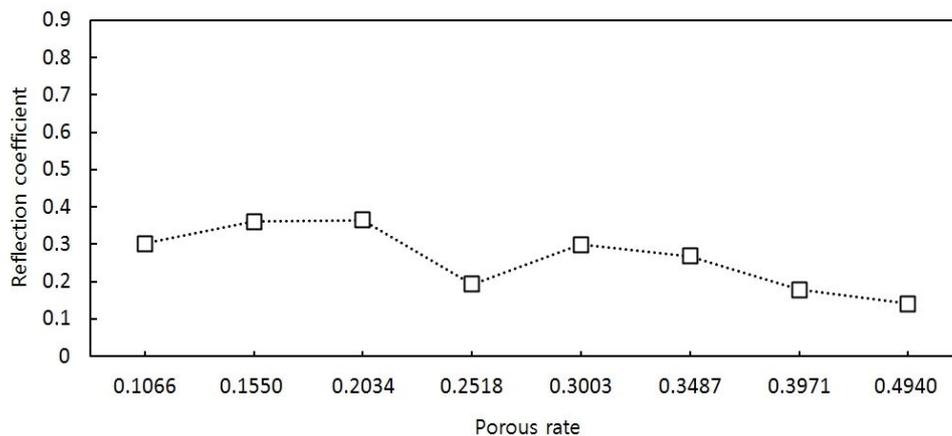


Fig. 20 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.84)

Fig. 21은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.87sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1550이었고 평균값은 0.3305로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.4940이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.4940일 때, 평균값이 0.1833로 나타났다.

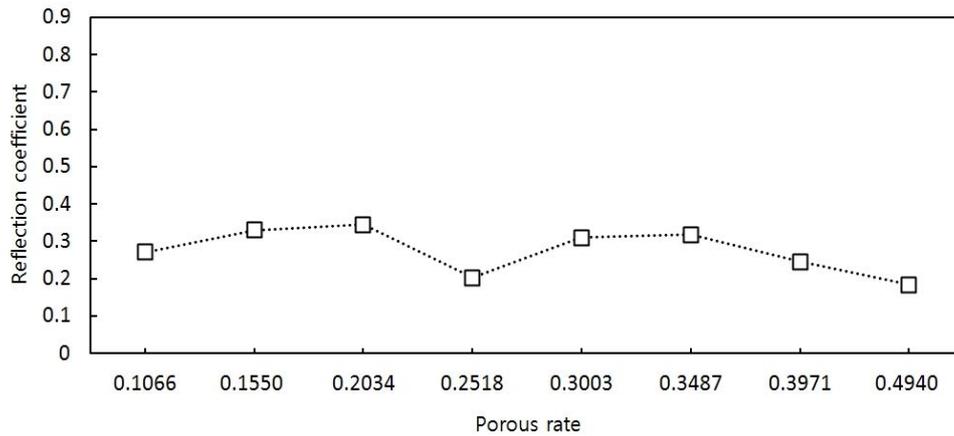


Fig. 21 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.87)

Fig. 22은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.92sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.2034이었고 평균값은 0.2329로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2518, 0.3971, 0.4940이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.4940일 때, 평균값이 0.0765로 나타났다.

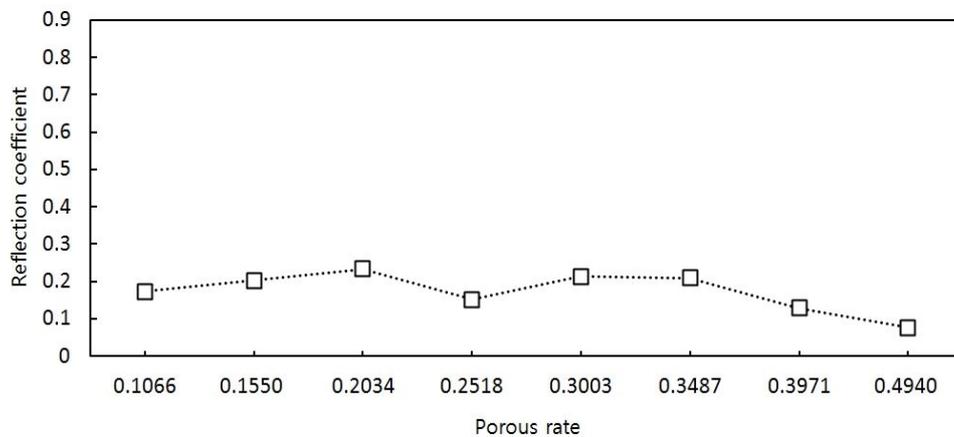


Fig. 22 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.92)

Fig. 23은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.98sec로 주어졌을 때 반사율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.3487이었고 평균값은 0.2403로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.0915로 나타났다.

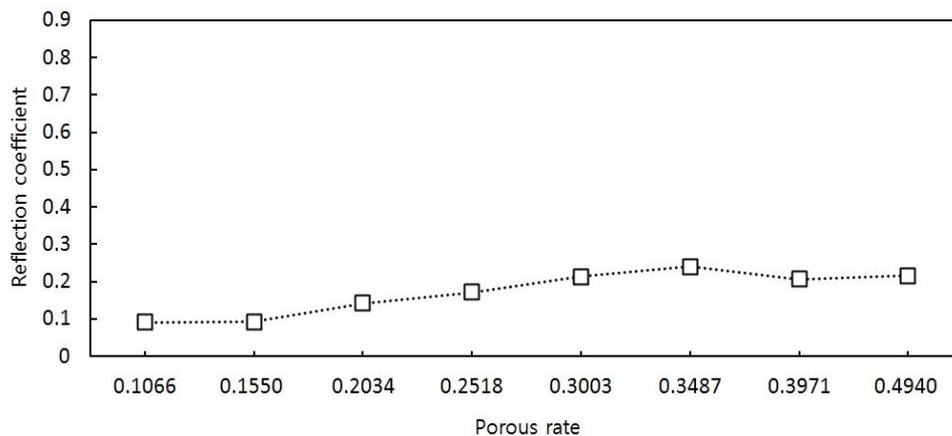


Fig. 23 Reflection coefficient of porosity variation(period=0.98)

Fig. 24은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.04sec로 주어졌을 때 반사율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.3487이었고 평균값은 0.2153로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550, 0.4940이었다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.1195로 나타났다.

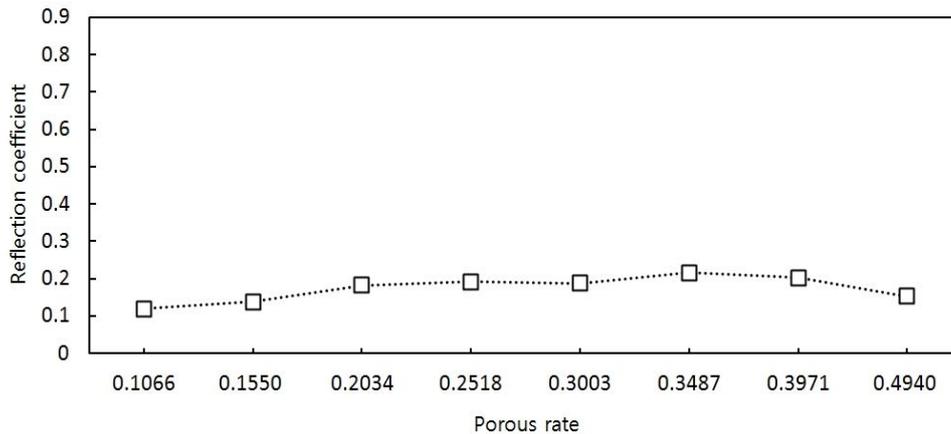


Fig. 24 Reflection coefficient of porosity variation(period=1.04)

Fig. 25은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.04sec로 주어졌을 때 반사율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 반사율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 반사율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.1582로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066를 제외하고 전반적으로 낮은 값을 보였다. 반사율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2518일 때, 평균값이 0.0630로 나타났다.

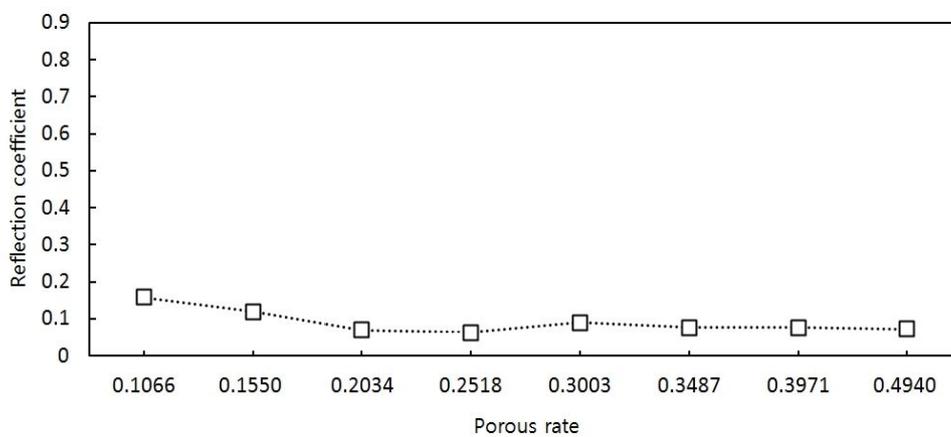


Fig. 25 Reflection coefficient of porosity variation(period=1.13)

Fig. 26와 Table. 4은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72, 0.74, 0.77, 0.80, 0.84, 0.87, 0.92, 0.98, 1.04, 1.13sec로 주어졌을 때 반사율의 범위와 전 영역에서 나타내는 값을 평균한 값과 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 전 영역에서 반사율의 범위 및 평균값을 표시하고 있다. 각각 공극율 ( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 반사율의 범위와 평균값의 결과를 살펴보면, 범위가 가장 넓은 것은 공극률  $p=0.1066$ 이고, 평균 반사율이 가장 높은 곳은  $p=0.1066$ 일 때와  $0.1550$ 일 때였으며, 반면에 전 영역에서 분포범위가 낮은 곳은 공극률  $p=0.2518$ 이고 평균 반사율이 낮게 나타난 공극률 역시  $p=0.2518$ 일 때였다.

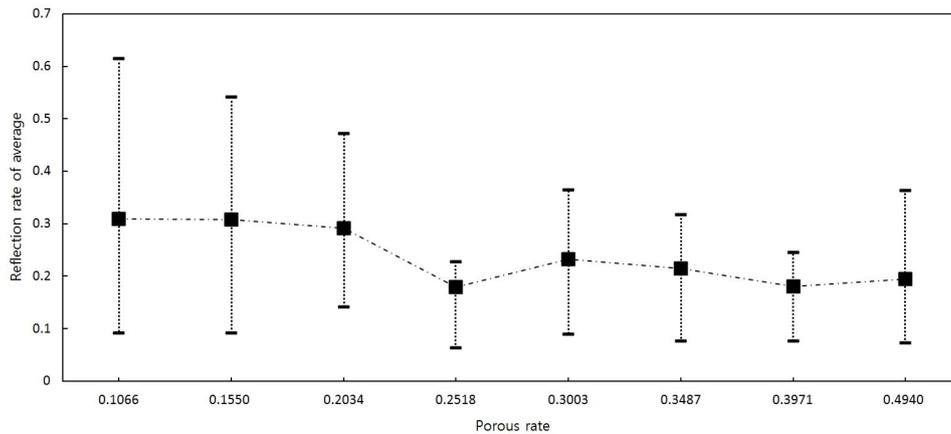


Fig. 26 Comparisons of average and range of the reflection coefficient of each different porosities

Table. 4 Analysis of Reflection coefficient by period

interal	input period	input wave	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.235	0.72	0.024	0.6145	0.5320	0.3517	0.1742	0.1838	0.1492	0.2191	0.3353
0.235	0.74	0.026	0.5679	0.5415	0.4716	0.2031	0.2483	0.2562	0.2408	0.3636
0.235	0.77	0.028	0.3814	0.3752	0.3498	0.2177	0.2103	0.1830	0.1275	0.2399
0.235	0.80	0.030	0.4151	0.3899	0.4103	0.2275	0.3644	0.2334	0.1840	0.1641
0.235	0.84	0.027	0.3013	0.3613	0.3649	0.1926	0.2991	0.2683	0.1784	0.1406
0.350	0.87	0.030	0.2709	0.3305	0.3445	0.2024	0.3104	0.3179	0.2451	0.1833
0.350	0.92	0.033	0.1727	0.2027	0.2329	0.1514	0.2136	0.2088	0.1291	0.0765
0.350	0.98	0.029	0.0915	0.0920	0.1420	0.1714	0.2131	0.2403	0.2060	0.2165
0.350	1.04	0.033	0.1195	0.1382	0.1817	0.1919	0.1883	0.2159	0.2018	0.1522
0.480	1.13	0.038	0.1582	0.1198	0.0699	0.0630	0.0891	0.0762	0.0764	0.0728
Average :			0.3093	0.3083	0.2919	0.1795	0.2320	0.2149	0.1808	0.1944

### 3.2 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 반사율

Fig. 27은 공극률  $p=0.1066$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0915~0.6145이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.55일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

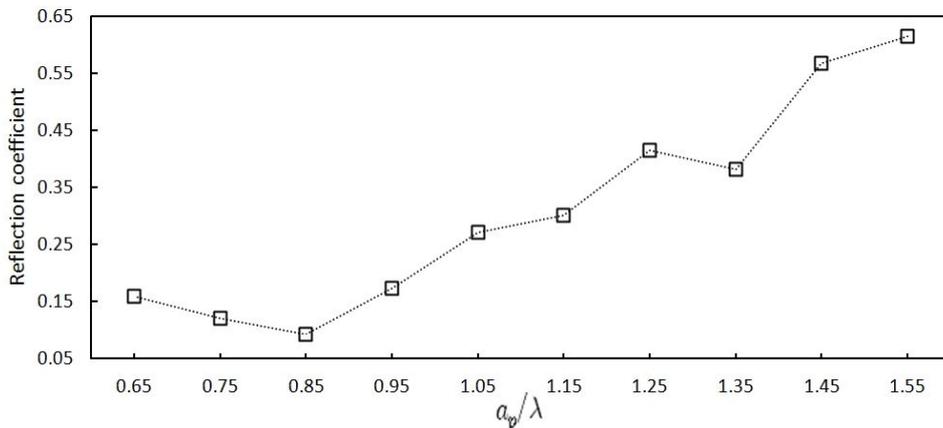


Fig. 27 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.1066$ .

Fig. 28은 공극률  $p=0.1550$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0920~0.5415이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

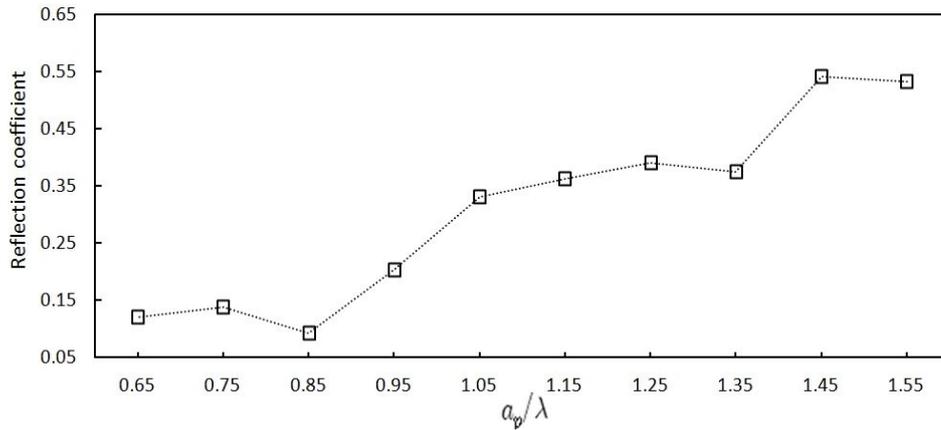


Fig. 28 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.1550$ .

Fig. 29은 공극률  $p=0.2034$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는  $0.0699 \sim 0.4716$ 이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

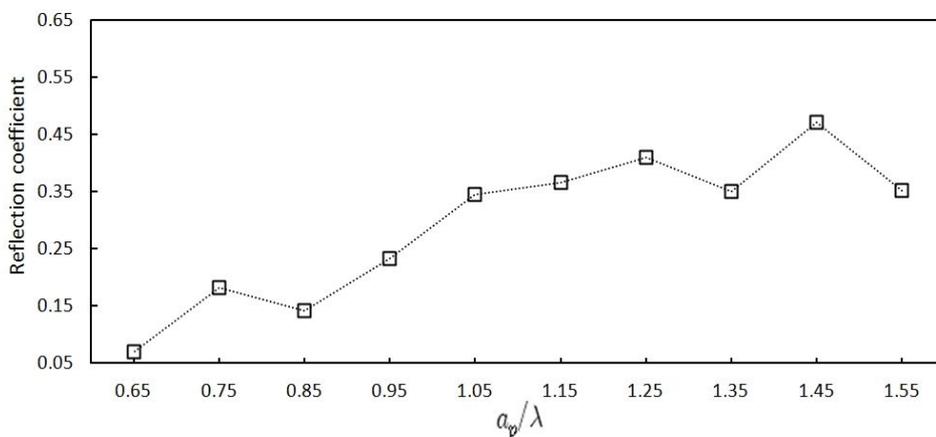


Fig. 29 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.2034$ .

Fig. 30은 공극률  $p=0.2518$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0630~0.2275이었으며, 전체적인 경향은 반사율이 일정하게 유지되고 있음을 Fig. 43을 통해 알 수 있다.

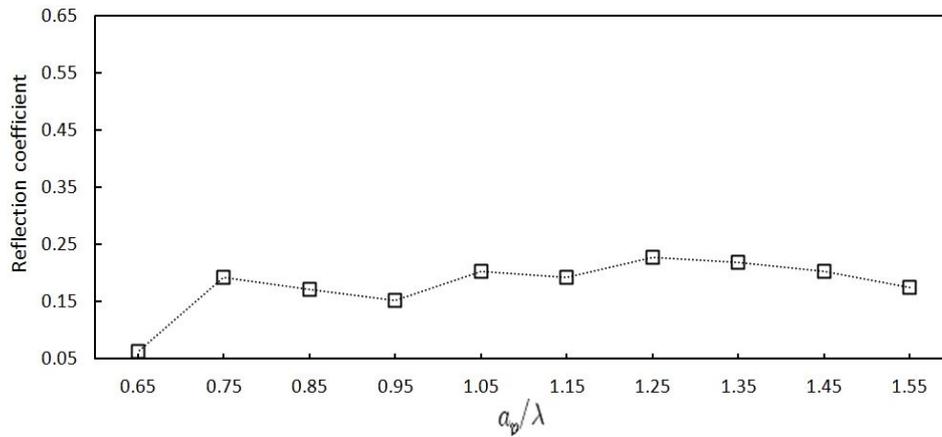


Fig. 30 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.2518$ .

Fig. 31은 공극률  $p=0.3003$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0891~0.3644이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.25일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

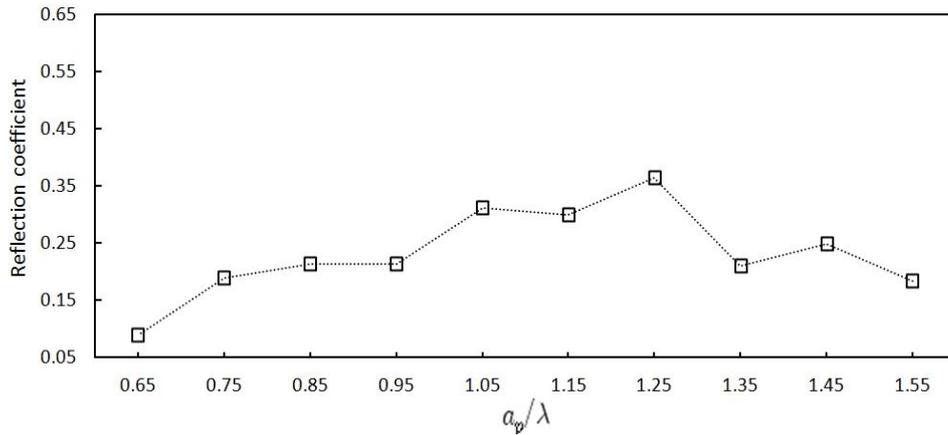


Fig. 31 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3003$ .

Fig. 32은 공극률  $p=0.3487$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는  $0.0762 \sim 0.3179$ 이었으며, 전체적인 경향은 일정한 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.05일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

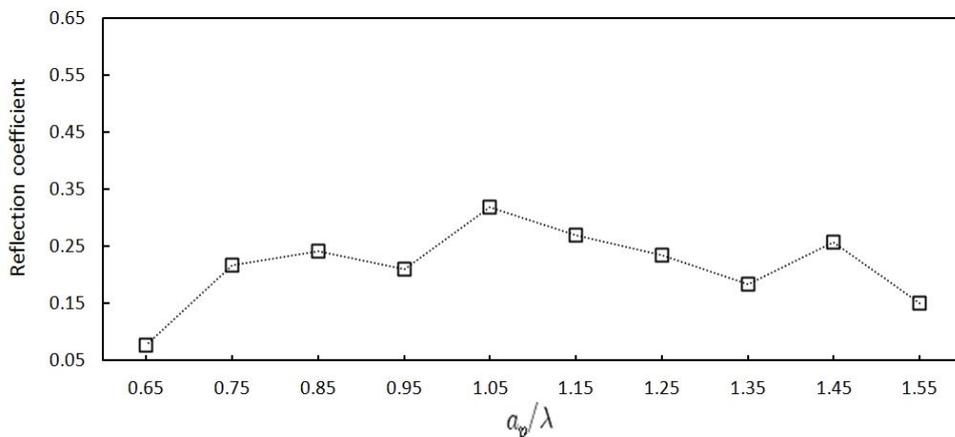


Fig. 32 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3487$ .

Fig. 33은 공극률  $p=0.3971$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0764~0.2451이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.05일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

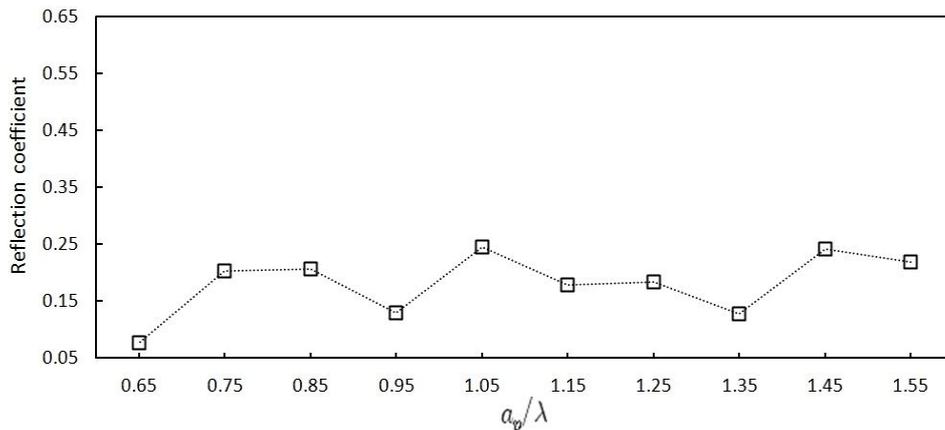


Fig. 33 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3971$ .

Fig. 34은 공극률  $p=0.4940$ 에 따른 반사율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 반사율을 나타내고 있다. 범위는 0.0728~0.3636이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

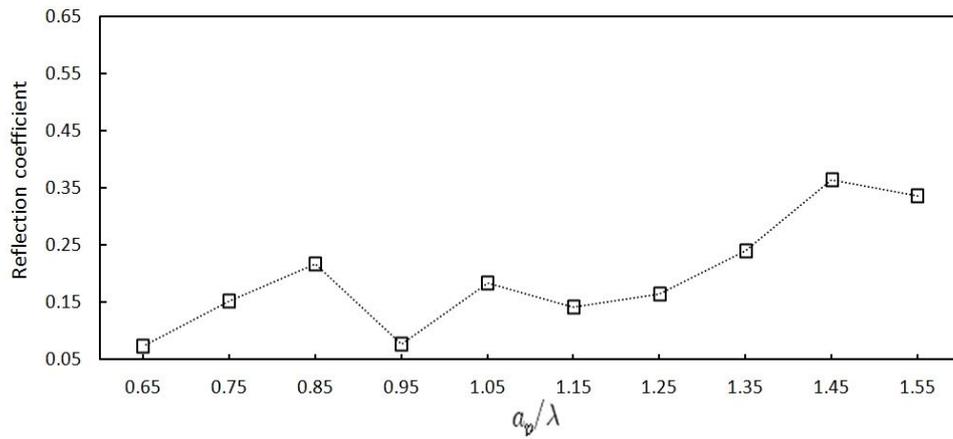


Fig. 34 Reflection coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.4940$ .

Fig. 35과 Table. 5은 실험에서 측정된 반사율은 모형의 길이를 입사파의 파장으로 나눈 값( $a_p/\lambda$ )에 대하여 나타내었다. 무차원화된 파장인  $a_p/\lambda$ 값이 클수록 단파를 나타내며,  $a_p/\lambda$ 값이 작을수록 장파를 의미한다. 각각의 공극율에 따른 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$  및 그 범위의 평균값을 나타낸 것으로 반사율은 공극률  $p=0.2518$ 에서 가장 낮은 평균값인 0.1795이 산출되었다. 그리고 공극률 0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.4940에서는 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 반사율이 증가하여 공극율이 전혀 없을 때와는 반대되는 경향을 보였으며, 반면에 공극률 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971에서는 대부분의 반사율이 일정하게 증감을 반복하고 있음으로 보아 공극율의 영향이 있는 것을 알 수 있었다. 또한 반사율은 전체적으로 파장이 길수록 저주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세를 보였다.

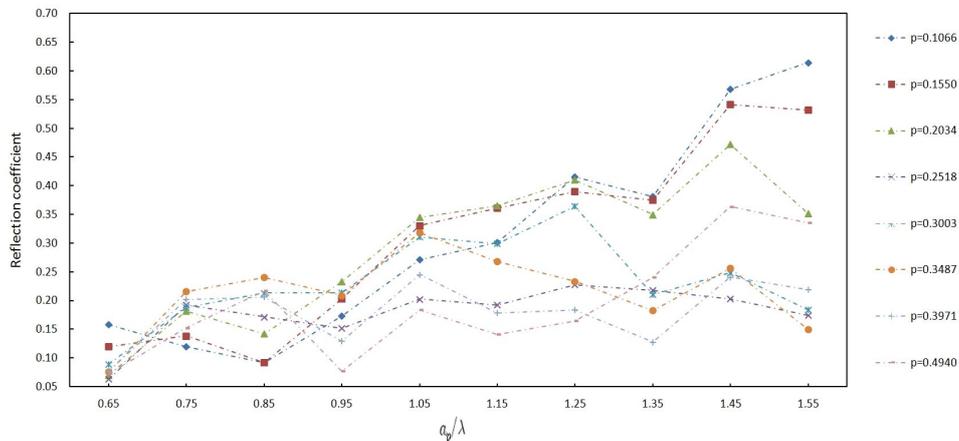


Fig. 35 Comparisons of reflection coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases)  $d=5\text{mm}$ ,  $a=125\text{cm}$

Table. 5 Analysis of Reflection coefficient by  $a_p/\lambda$

interal	input wave	$a_p/\lambda$	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.480	0.038	0.65	0.1582	0.1198	0.0699	0.0630	0.0891	0.0762	0.0764	0.0728
0.350	0.033	0.75	0.1195	0.1382	0.1817	0.1919	0.1883	0.2159	0.2018	0.1522
0.350	0.029	0.85	0.0915	0.0920	0.1420	0.1714	0.2131	0.2403	0.2060	0.2165
0.350	0.033	0.95	0.1727	0.2027	0.2329	0.1514	0.2136	0.2088	0.1291	0.0765
0.350	0.030	1.05	0.2709	0.3305	0.3445	0.2024	0.3104	0.3179	0.2451	0.1833
0.235	0.027	1.15	0.3013	0.3613	0.3649	0.1926	0.2991	0.2683	0.1784	0.1406
0.235	0.030	1.25	0.4151	0.3899	0.4103	0.2275	0.3644	0.2334	0.1840	0.1641
0.235	0.028	1.35	0.3814	0.3752	0.3498	0.2177	0.2103	0.1830	0.1275	0.2399
0.235	0.026	1.45	0.5679	0.5415	0.4716	0.2031	0.2483	0.2562	0.2408	0.3636
0.235	0.024	1.55	0.6145	0.5320	0.3517	0.1742	0.1838	0.1492	0.2191	0.3353
Average :			0.3093	0.3083	0.2919	0.1795	0.2320	0.2149	0.1808	0.1944

### 3.3 각 주기별 공극율에 따른 투과율

Fig. 36은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 투과율 값을 보인 공극율은 0.3003이었고 평균값은 0.6713로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.4940이었다. 투과율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.5375로 나타났다.

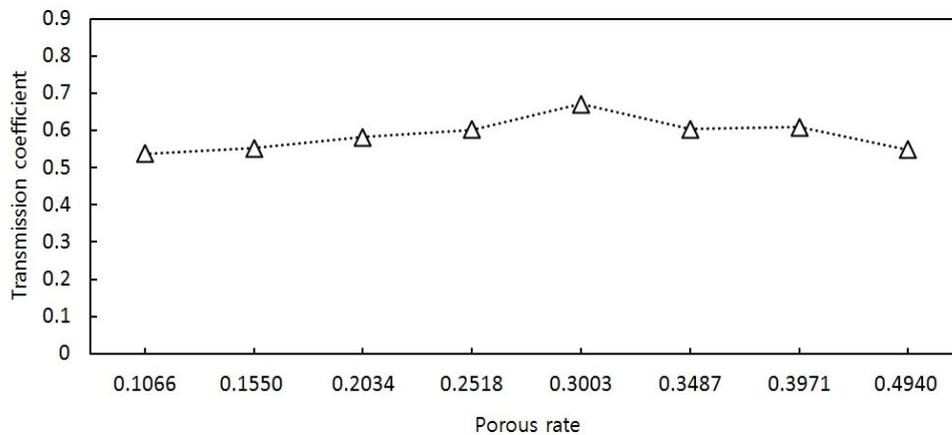


Fig. 36 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.72)

Fig. 37은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.74sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 투과율 값을 보인 공극율은 0.3971이었고 평균값은 0.5480로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2034, 0.4940이었다. 투과율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.4940일 때, 평균값이 0.5152로 나타났다.

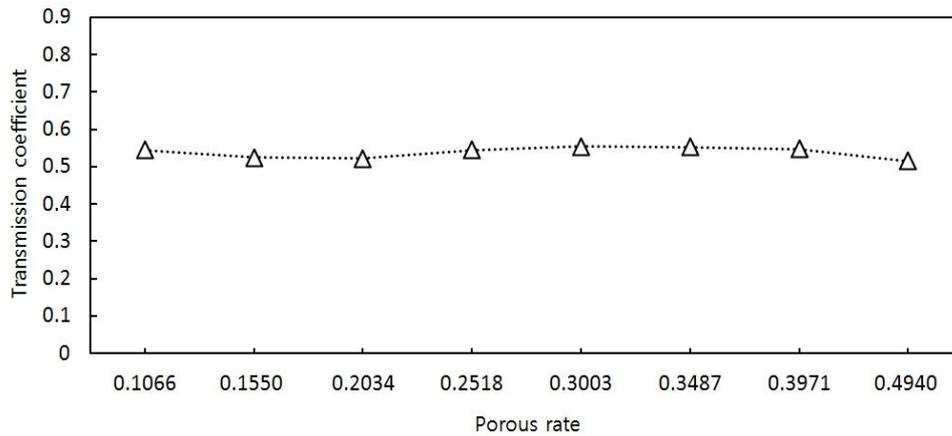


Fig. 37 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.74)

Fig. 38은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.77sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 전반적으로 변화가 일정하게 나타났다. 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3003이었고, 평균값은 0.5325이었다.

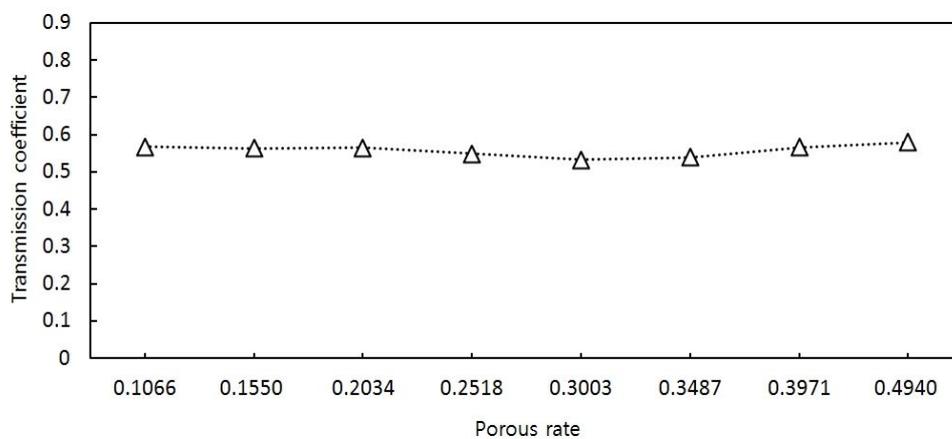


Fig. 38 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.77)

Fig. 39은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.80sec로 주어졌을 때 투과율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 전반적으로 변화가 일정하게 나타났다. 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3003이었고, 평균값은 0.5468이었다.

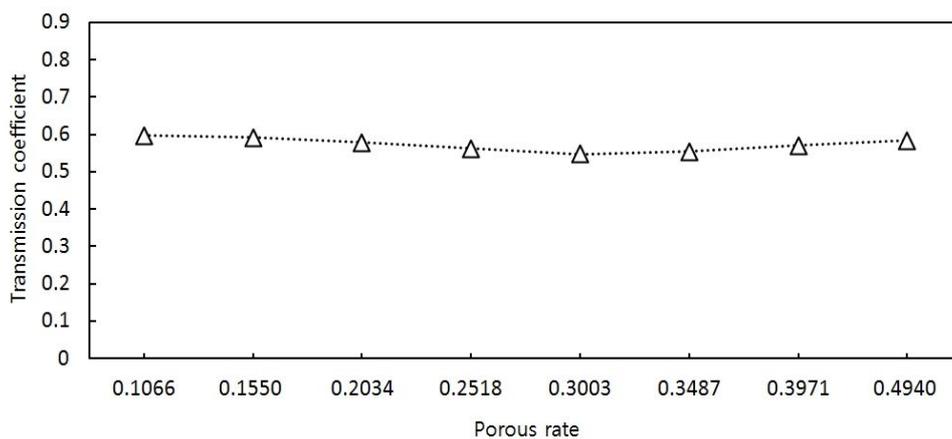


Fig. 39 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.80)

Fig. 40은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.84sec로 주어졌을 때 투과율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 전반적으로 변화가 일정하게 나타났다. 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2518이었고, 평균값은 0.6163이었다.

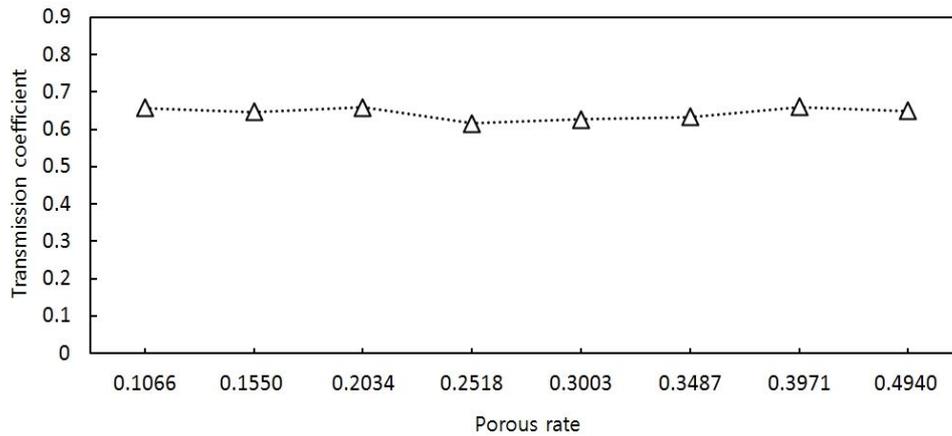


Fig. 40 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.84)

Fig. 41은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.87sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 전반적으로 변화가 일정하게 나타났다. 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2518이었고, 평균값은 0.5920이었다.

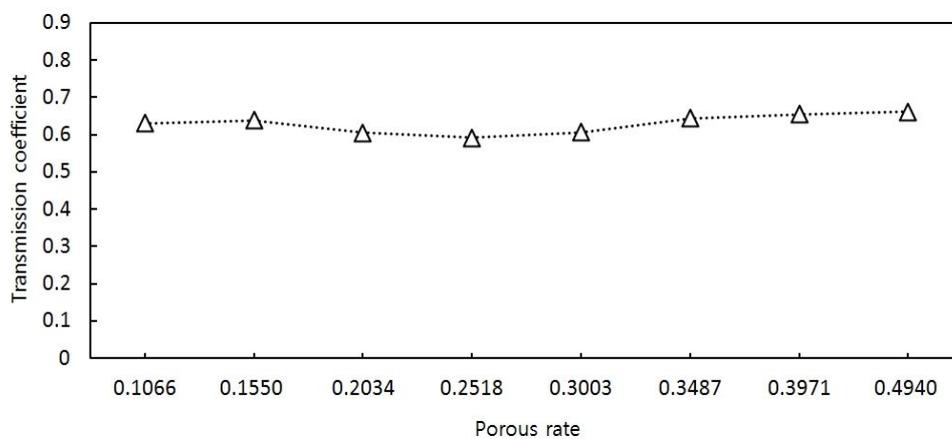


Fig. 41 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.87)

Fig. 42은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.92sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 전반적으로 변화가 일정하게 나타났다. 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2518이었고, 평균값은 0.5891이었다.

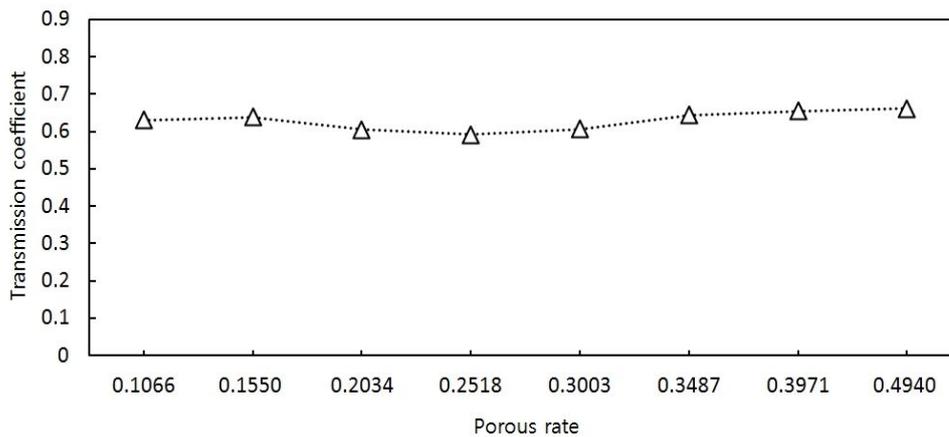


Fig. 42 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.92)

Fig. 43은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.98sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 투과율 값을 보인 공극율은 0.3483이었고 평균값은 0.7793로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2034, 0.2518이었다. 투과율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2034일 때, 평균값이 0.6445로 나타났다.

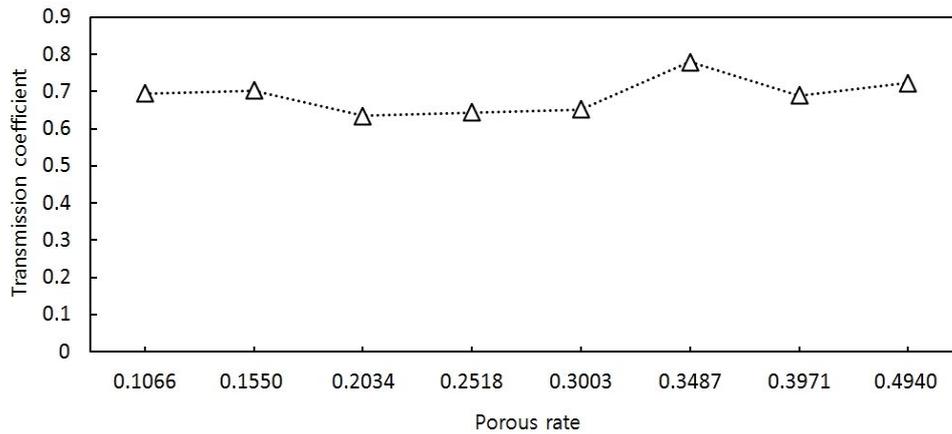


Fig. 43 Transmission coefficient of porosity variation(period=0.98)

Fig. 44은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.04sec로 주어졌을 때 투과율의 평균값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 투과율 값을 보인 공극율은 0.3971이었고 평균값은 0.7948로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.2034, 0.2518이었다. 투과율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2034일 때, 평균값이 0.5759로 나타났다.

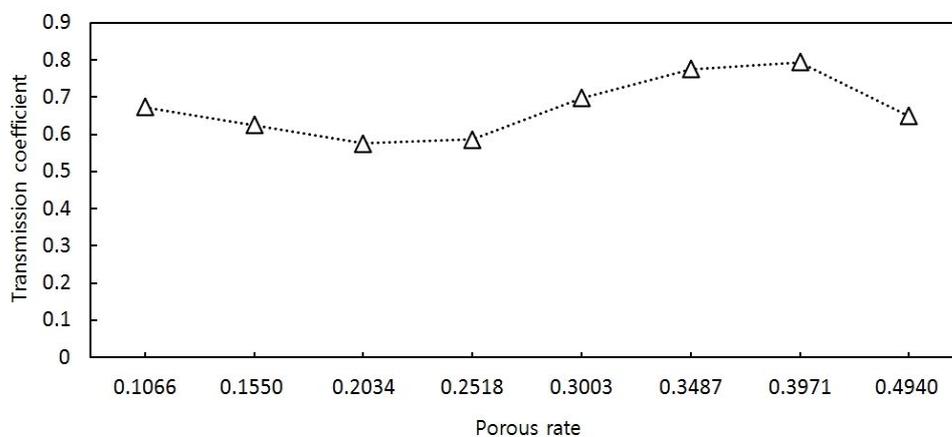


Fig. 44 Transmission coefficient of porosity variation(period=1.04)

Fig. 45은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.13sec로 주어졌을 때 투과율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 투과율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 투과율 값을 보인 공극율은 0.3971이었고 평균값은 0.7392로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.2518이었다. 투과율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.6113로 나타났다.

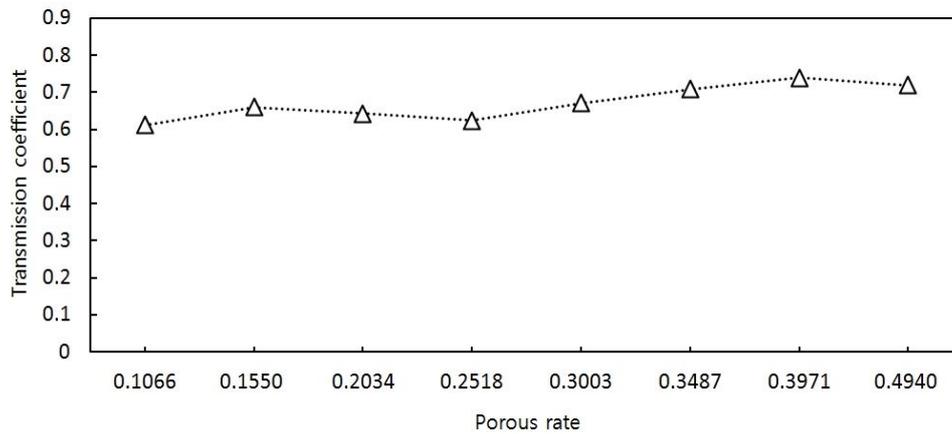


Fig. 45 Transmission coefficient of porosity variation(period=1.13)

Fig. 46와 Table. 6는 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72, 0.74, 0.77, 0.80, 0.84, 0.87, 0.92, 0.98, 1.04, 1.13sec로 주어졌을 때 투과율의 범위와 전 영역에서 나타내는 값을 평균한 값과 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 전 영역에서 투과율의 범위 및 평균값을 표시하고 있다. 각각 공극율 ( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 투과율의 범위와 평균값의 결과를 살펴보면, 분포 범위는 투과율에서  $p=0.3971$ 일 때 넓게 나타났고, 평균값은 0.6503일 때 가장 높은 값을 보였다. 가장 낮은 투과율을 나타낸 타공판은 공극률  $p=0.2518$ 일 때 0.5909였으므로, 반사율과 비슷한 경향을 보였다.

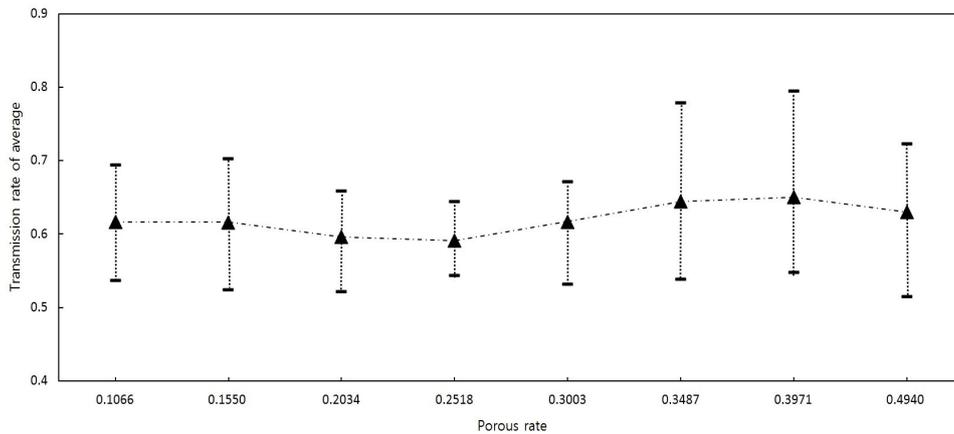


Fig. 46 Comparisons of average and range of the transmission coefficient of each different porosities

Table. 6 Analysis of Transmission coefficient by period

interal	input period	input wave	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.235	0.72	0.024	0.5375	0.5533	0.5824	0.6020	0.6713	0.6044	0.6089	0.5483
0.235	0.74	0.026	0.5450	0.5243	0.5218	0.5440	0.5536	0.5528	0.5480	0.5152
0.235	0.77	0.028	0.5669	0.564	0.5642	0.5491	0.5325	0.5391	0.5663	0.5799
0.235	0.80	0.030	0.5964	0.5911	0.5781	0.5618	0.5468	0.5535	0.5707	0.5831
0.235	0.84	0.027	0.6577	0.6467	0.6586	0.6163	0.627	0.6327	0.6601	0.6493
0.350	0.87	0.030	0.6299	0.638	0.6057	0.592	0.6063	0.6441	0.6551	0.6613
0.350	0.92	0.033	0.6501	0.656	0.5986	0.5891	0.6115	0.6556	0.6708	0.6702
0.350	0.98	0.029	0.6946	0.703	0.6348	0.6445	0.6516	0.7793	0.6899	0.7231
0.350	1.04	0.033	0.6741	0.6258	0.5759	0.5865	0.697	0.7755	0.7948	0.6493
0.480	1.13	0.038	0.6113	0.6595	0.643	0.6242	0.6704	0.7083	0.7392	0.7187
Average :			0.6163	0.6161	0.5963	0.5909	0.6168	0.6445	0.6503	0.6298

### 3.4 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 투과율

Fig. 47은 공극률  $p=0.1066$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5375~0.6946이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.55일 때 가장 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

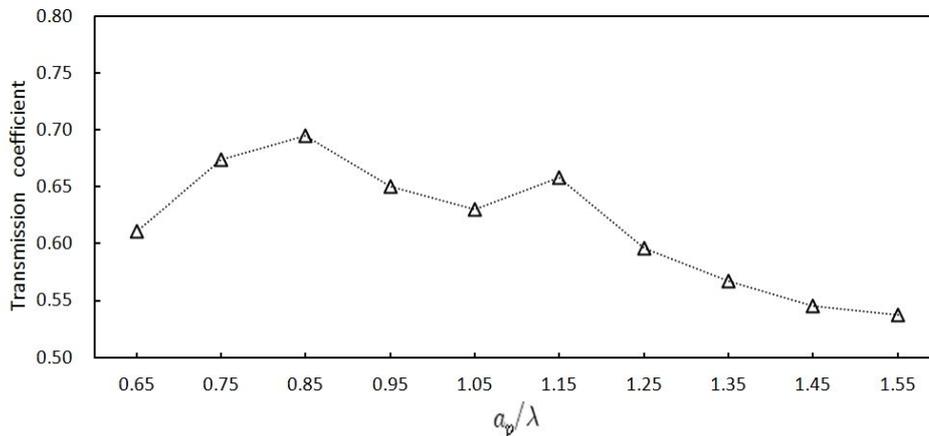


Fig. 47 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.1066$ .

Fig. 48은 공극률  $p=0.1550$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5243~0.7030이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

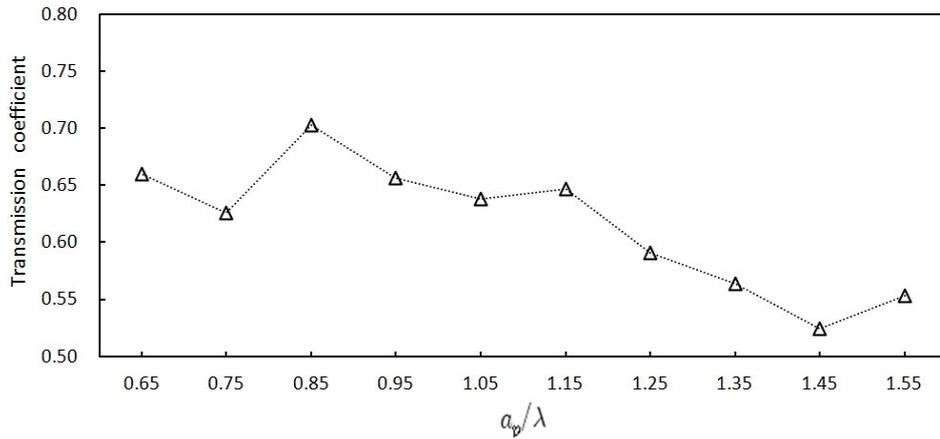


Fig. 48 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.1550$ .

Fig. 49은 공극률  $p=0.2034$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는  $0.5218 \sim 0.6586$ 이었으며, 전체적인 경향은 전 영역에 걸쳐 증가와 감소를 반복하는 경향을 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

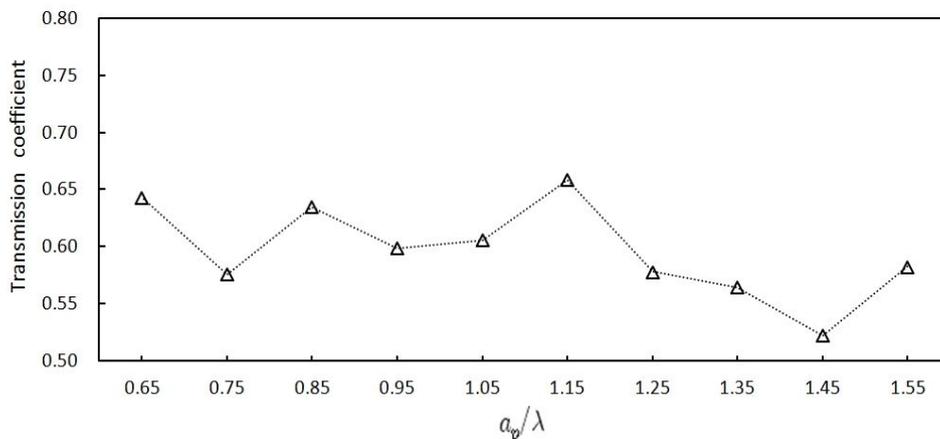


Fig. 49 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.2034$ .

Fig. 50은 공극률  $p=0.2518$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5440~0.6445이었으며, 전체적인 경향은 전 영역에 걸쳐 증가와 감소를 반복하는 경향을 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

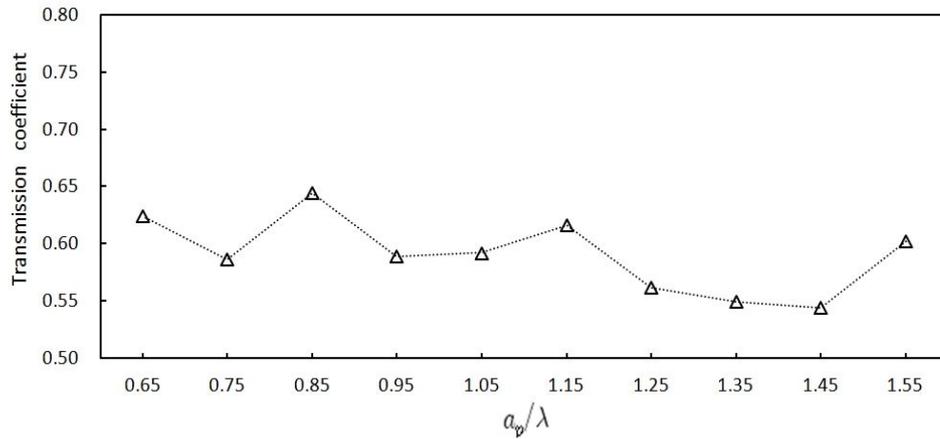


Fig. 50 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.2518$ .

Fig. 51은 공극률  $p=0.3003$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5325~0.6970이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 고주파 영역으로 갈수록 감소추세를 보이다가  $a_p/\lambda$ 가 1.35일 때 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

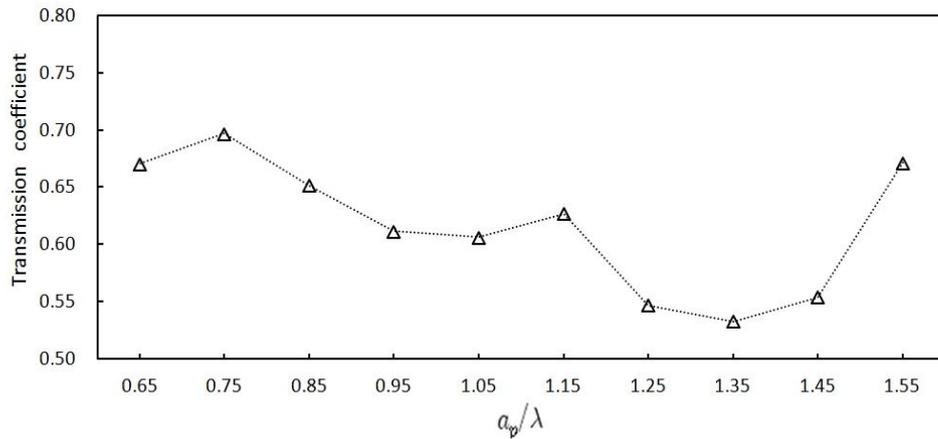


Fig. 51 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3003$ .

Fig. 52은 공극률  $p=0.3487$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5391~0.7793이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소의 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.35일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

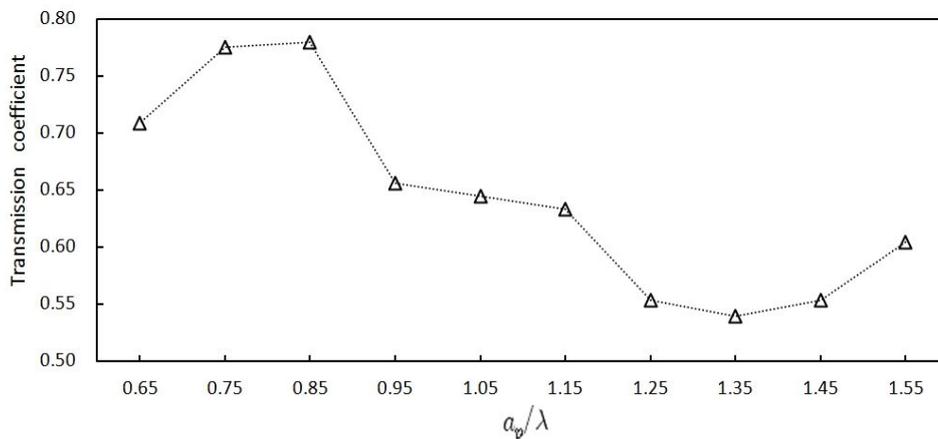


Fig. 52 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3487$ .

Fig. 53은 공극률  $p=0.3971$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5480~0.7948이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소의 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

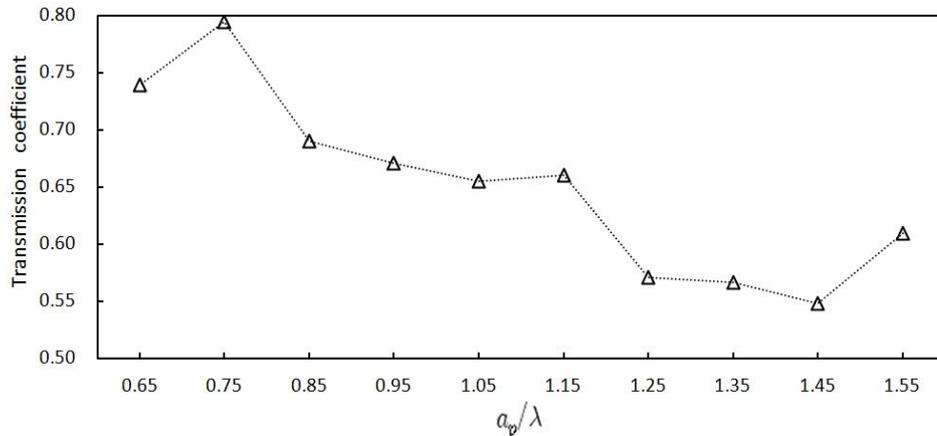


Fig. 53 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.3971$ .

Fig. 54은 공극률  $p=0.4940$ 에 따른 투과율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 투과율을 나타내고 있다. 범위는 0.5152~0.7231이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소의 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.45일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

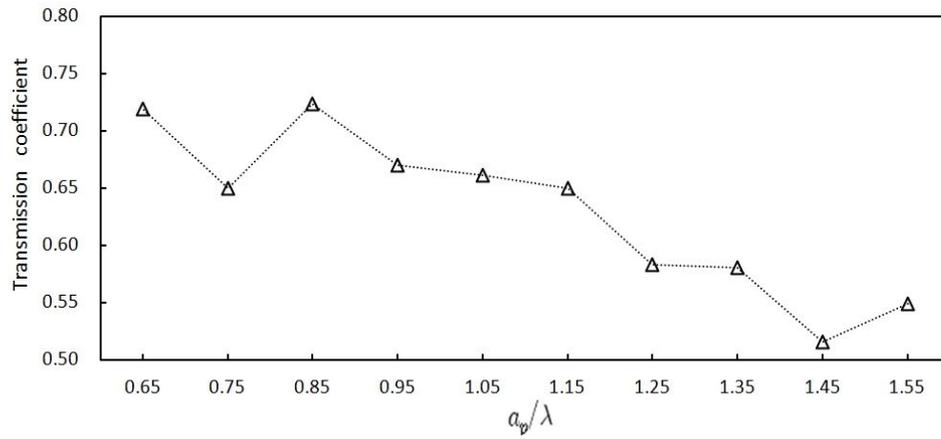


Fig. 54 Transmission coefficient for experimental Tawoo pontoon frame at  $p=0.4940$ .

Fig. 55과 Table. 7은 각각의 공극률에 따른 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$  및 그 범위의 평균값을 나타낸 것으로 투과율은 공극률  $p=0.2518$ 에서 가장 낮은 평균값인 0.5909이 산출되었다. 그리고 공극률 0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.3003에서는 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 파수영역에서 투과율이 조금씩 감소 추세를 보였고, 반면에 공극률 0.3487, 0.3971, 0.4940에서는 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 투과율이 감소하는 현상을 보이고 있다. 또한 투과율은 전체적으로 파장이 길수록 저주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세를 보였다.

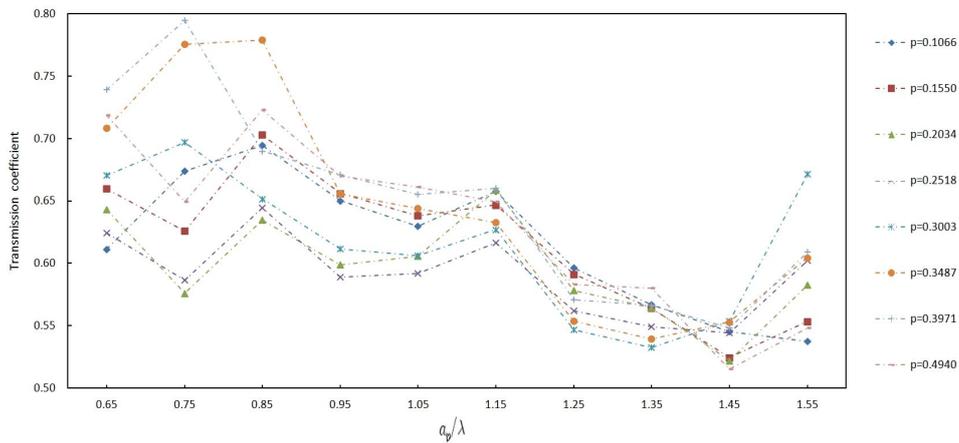


Fig. 55 Comparisons of transmission coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases)  $d=5\text{mm}$ ,  $a=125\text{cm}$

Table. 7 Analysis of Transmission coefficient by  $a_p/\lambda$

interal	input wave	$a_p/\lambda$	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.480	0.038	0.65	0.6113	0.6595	0.643	0.6242	0.6704	0.7083	0.7392	0.7187
0.350	0.033	0.75	0.6741	0.6258	0.5759	0.5865	0.697	0.7755	0.7948	0.6493
0.350	0.029	0.85	0.6946	0.703	0.6348	0.6445	0.6516	0.7793	0.6899	0.7231
0.350	0.033	0.95	0.6501	0.656	0.5986	0.5891	0.6115	0.6556	0.6708	0.6702
0.350	0.030	1.05	0.6299	0.638	0.6057	0.592	0.6063	0.6441	0.6551	0.6613
0.235	0.027	1.15	0.6577	0.6467	0.6586	0.6163	0.627	0.6327	0.6601	0.6493
0.235	0.030	1.25	0.5964	0.5911	0.5781	0.5618	0.5468	0.5535	0.5707	0.5831
0.235	0.028	1.35	0.5669	0.564	0.5642	0.5491	0.5325	0.5391	0.5663	0.5799
0.235	0.026	1.45	0.5450	0.5243	0.5218	0.5440	0.5536	0.5528	0.5480	0.5152
0.235	0.024	1.55	0.5375	0.5533	0.5824	0.6020	0.6713	0.6044	0.6089	0.5483
Average :			0.6163	0.6161	0.5963	0.5909	0.6168	0.6445	0.6503	0.6298

### 3.5 각 주기별 공극율에 따른 에너지 손실률

Fig. 56은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.3487이었고 평균값은 0.6124로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.3335로 나타났다.

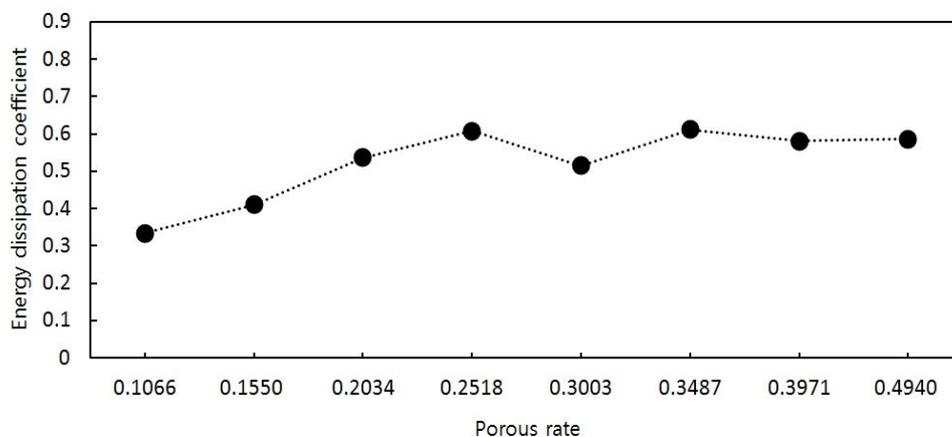


Fig. 56 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.72)

Fig. 57은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.74sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2518이었고 평균값은 0.6628로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.3805로 나타났다.

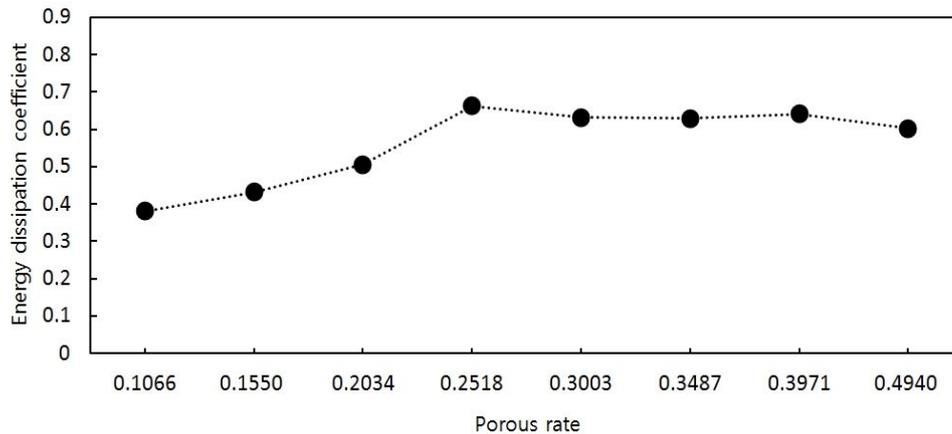


Fig. 57 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.74)

Fig. 58은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.77sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.3487이었고 평균값은 0.6759로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550, 0.2034이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.5332로 나타났다.

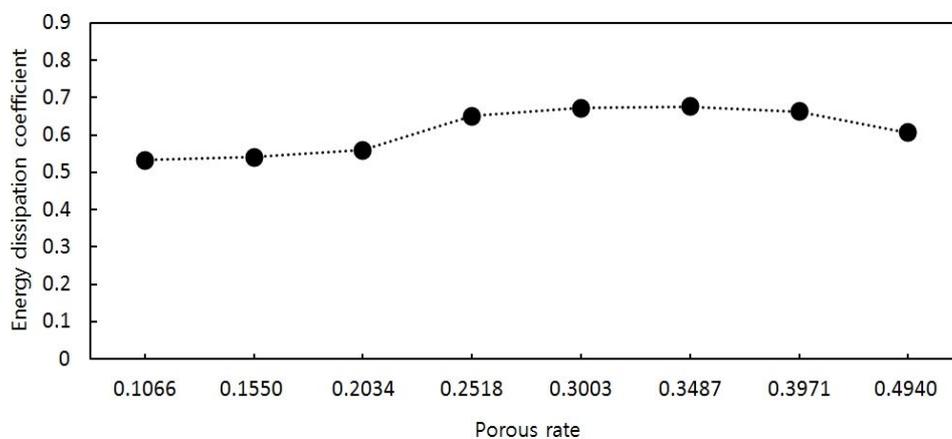


Fig. 58 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.77)

Fig. 59은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.80sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2518이었고 평균값은 0.6326로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550, 0.2034이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1066일 때, 평균값이 0.4720로 나타났다.

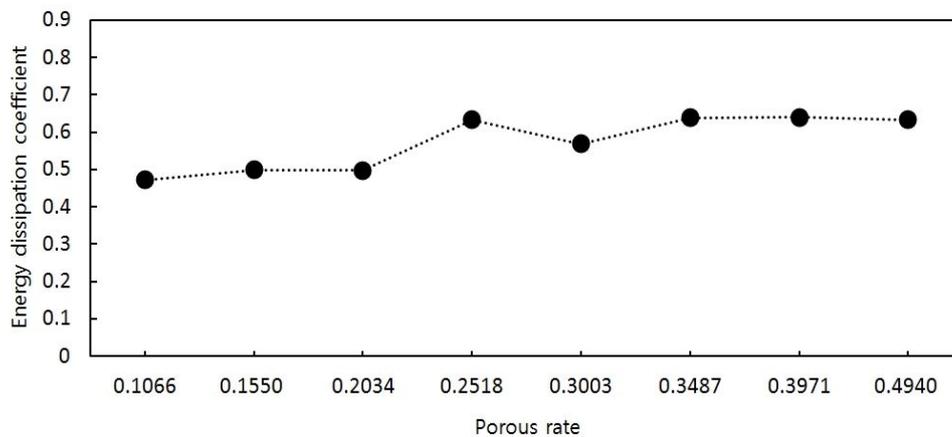


Fig. 59 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.80)

Fig. 60은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.84sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2518이었고 평균값은 0.5831로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1066, 0.1550, 0.2034이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.2034일 때, 평균값이 0.4331로 나타났다.

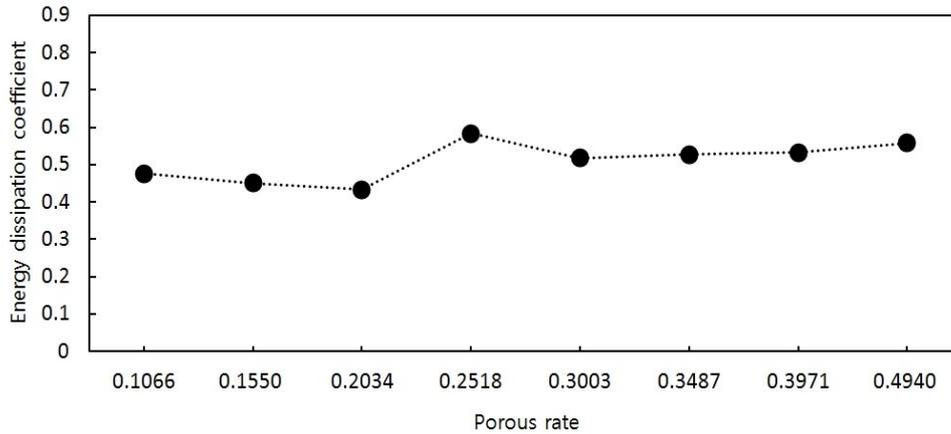


Fig. 60 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.84)

Fig. 61은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.87sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2518이였고 평균값은 0.6086로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1550, 0.3487이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.1550일 때, 평균값이 0.4837로 나타났다.

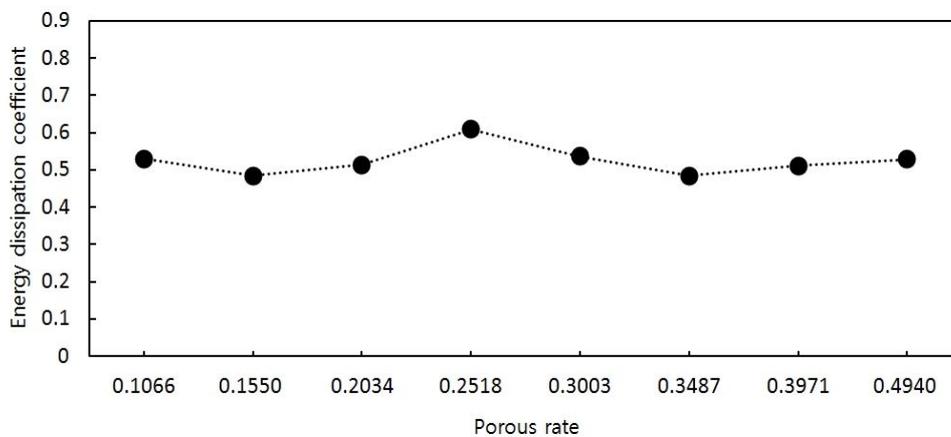


Fig. 61 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.87)

Fig. 62은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.92sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2518이었고 평균값은 0.6300로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.1550, 0.3487이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3487일 때, 평균값이 0.5266로 나타났다.

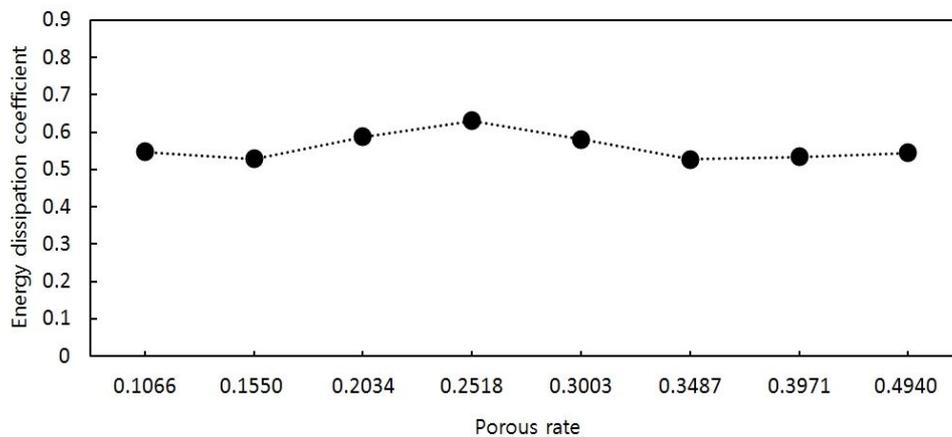


Fig. 62 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.92)

Fig. 63은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.98sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2034이었고 평균값은 0.5769로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.3487이었고, 평균값이 0.3349로 나타났다.

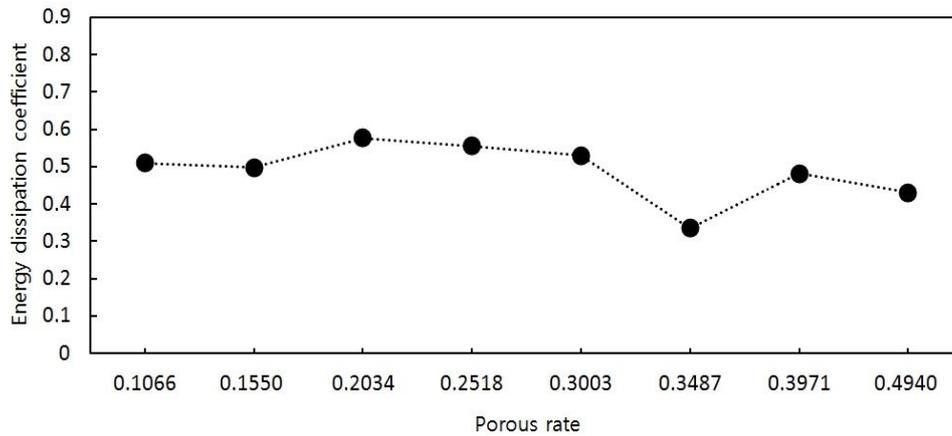


Fig. 63 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=0.98)

Fig. 64은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.04sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.2034이었고 평균값은 0.6353로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.3487, 0.3971이었다. 에너지 손실율의 변화에 있어 그 중 가장 낮은 공극율은 0.3971일 때, 평균값이 0.3276로 나타났다.

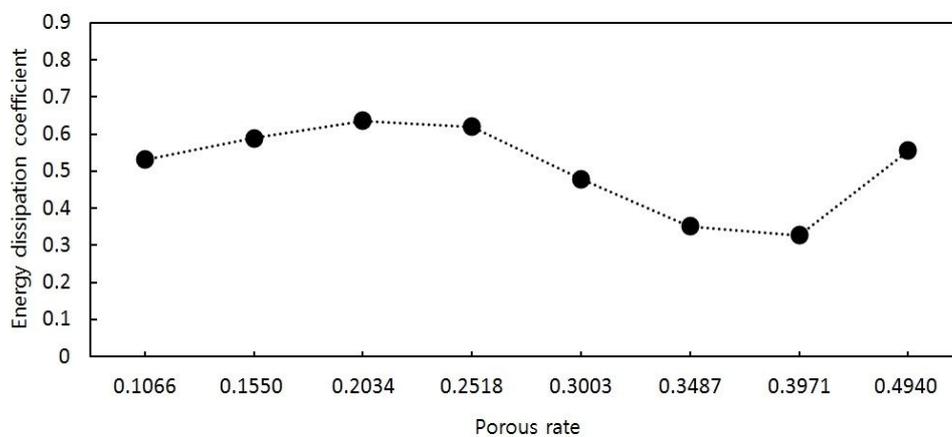


Fig. 64 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=1.04)

Fig. 65은 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 1.13sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 평균한 값을 비교한 것으로 x축은 공극율 8개별을 나타내고, y축은 에너지 손실율의 평균값을 표시하고 있다. 각각의 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 높은 에너지 손실율 값을 보인 공극율은 0.1066이었고 평균값은 0.6013로 나타났다. 반면에 낮은 평균값을 보인 공극율은 0.3971이었고, 평균값이 0.4477로 나타났다.

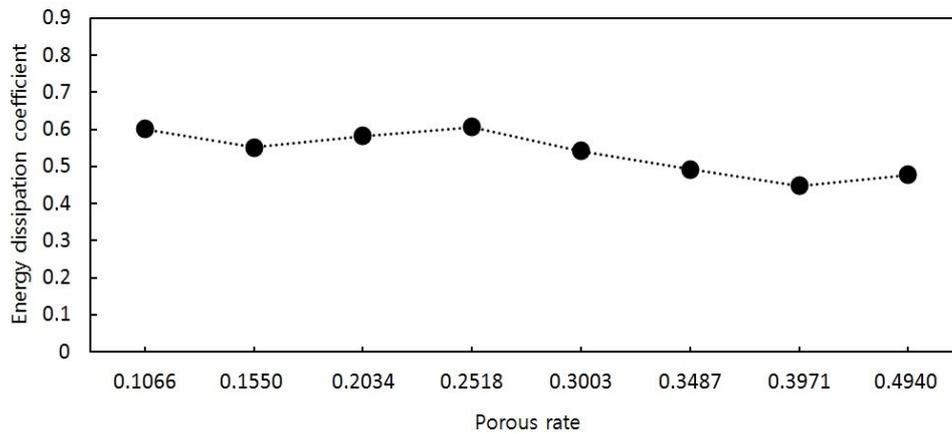


Fig. 65 Energy dissipation coefficient of porosity variation(period=1.13)

Fig. 66과 Table. 8에 나타난 각각의 공극율에 따른 8개별 주기변화를 0.72, 0.74, 0.77, 0.80, 0.84, 0.87, 0.92, 0.98, 1.04, 1.13sec로 주어졌을 때 에너지 손실율의 범위와 전 영역에서 나타내는 값을 평균한 값과 비교한 것으로 x축은 공극률 8개별을 나타내고, y축은 전 영역에서 에너지 손실율의 범위 및 평균값을 표시하고 있다. 각각 공극율( $p=0.1066, 0.1550, 0.2034, 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940$ )에 따른 에너지 손실율의 범위와 평균값의 결과를 살펴보면, 가장 넓은 분포를 나타낸 공극율은 0.1066, 0.3487, 0.3971로 이 때 가장 낮은 평균값인 0.4915이었고, 그리고 에너지 손실율이 가장 높은 공극률  $p=0.2518$ 의 평균값은 약 0.6156이었다.

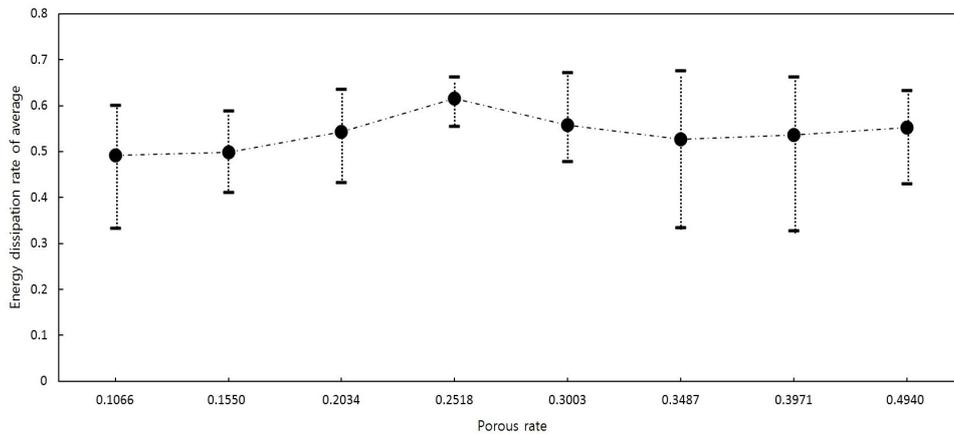


Fig. 66 Comparisons of average and range of the transmission coefficient of each different porosities

Table. 8 Analysis of Energy dissipation coefficient by period

interal	input period	input wave	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.235	0.72	0.024	0.3335	0.4108	0.5371	0.6073	0.5156	0.6124	0.5812	0.5869
0.235	0.74	0.026	0.3805	0.4319	0.5053	0.6628	0.6319	0.6288	0.6417	0.6024
0.235	0.77	0.028	0.5332	0.5411	0.5593	0.6511	0.6722	0.6759	0.6630	0.6062
0.235	0.80	0.030	0.4720	0.4986	0.4975	0.6326	0.5682	0.6392	0.6404	0.6331
0.235	0.84	0.027	0.4766	0.4512	0.4331	0.5831	0.5174	0.5277	0.5324	0.5586
0.350	0.87	0.030	0.5298	0.4837	0.5144	0.6086	0.5361	0.4841	0.5108	0.5291
0.350	0.92	0.033	0.5475	0.5286	0.5874	0.6300	0.5804	0.5266	0.5334	0.5450
0.350	0.98	0.029	0.5092	0.4973	0.5769	0.5552	0.5300	0.3349	0.4816	0.4303
0.350	1.04	0.033	0.5313	0.5893	0.6353	0.6192	0.4787	0.3520	0.3276	0.5552
0.480	1.13	0.038	0.6013	0.5507	0.5817	0.6064	0.5426	0.4925	0.4477	0.4782
Average :			0.4915	0.4983	0.5428	0.6156	0.5573	0.5274	0.5360	0.5525

### 3.6 각 주기별 파장( $a_p/\lambda$ )에 따른 에너지 손실률

Fig. 67은 공극률  $p=0.1066$ 에 따른 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실률을 나타내고 있다. 범위는 0.3335~0.6013이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.55일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

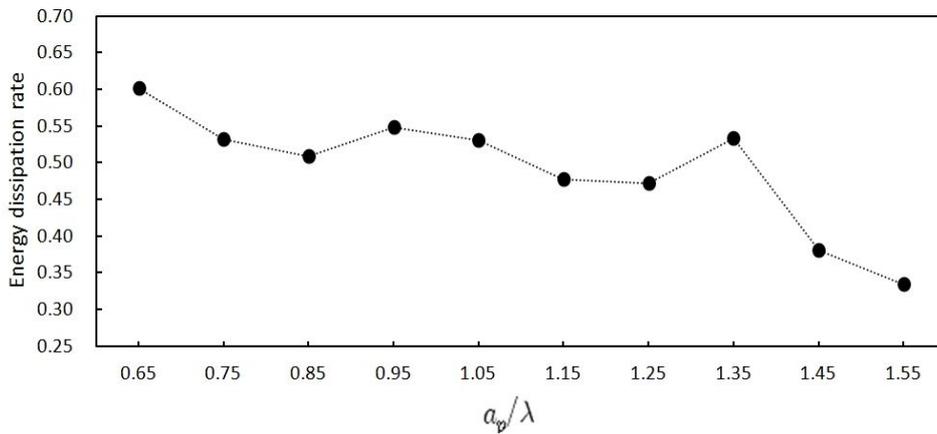


Fig. 67 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.1066$ .

Fig. 68은 공극률  $p=0.1550$ 에 따른 에너지 손실률 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실률을 나타내고 있다. 범위는 0.4108~0.5893이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.55일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

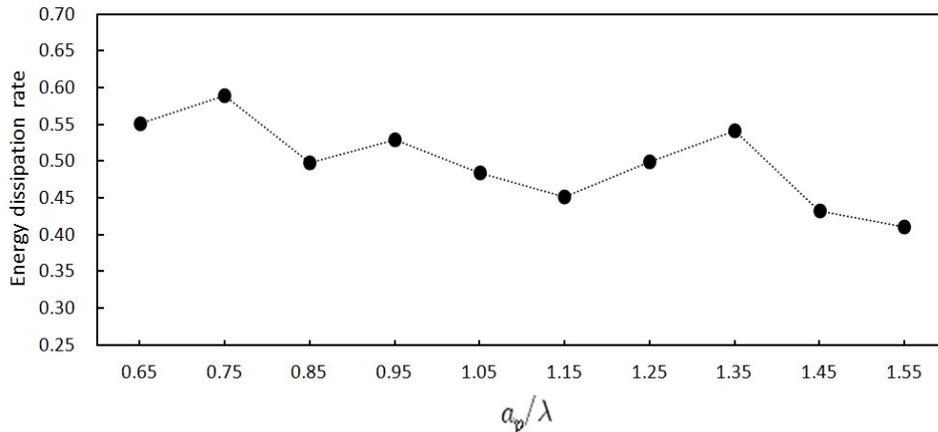


Fig. 68 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.1550$ .

Fig. 69은 공극률  $p=0.2034$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.4331~0.6353이였으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.15일 때 가장 감소의 추세가 컸다.

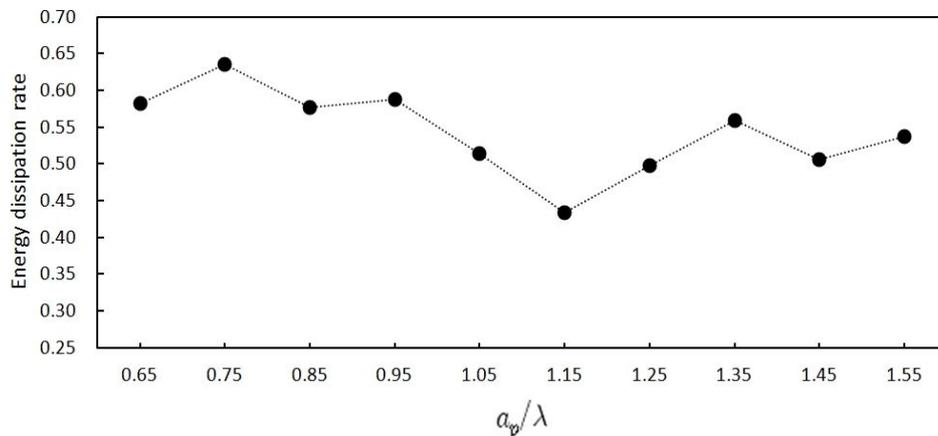


Fig. 69 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.2034$ .

Fig. 70은 공극률  $p=0.2518$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.5552~0.6628이었으며, 전체적인 경향은 전 영역에서 에너지 손실율이 높게 나왔음을 알 수 있다.

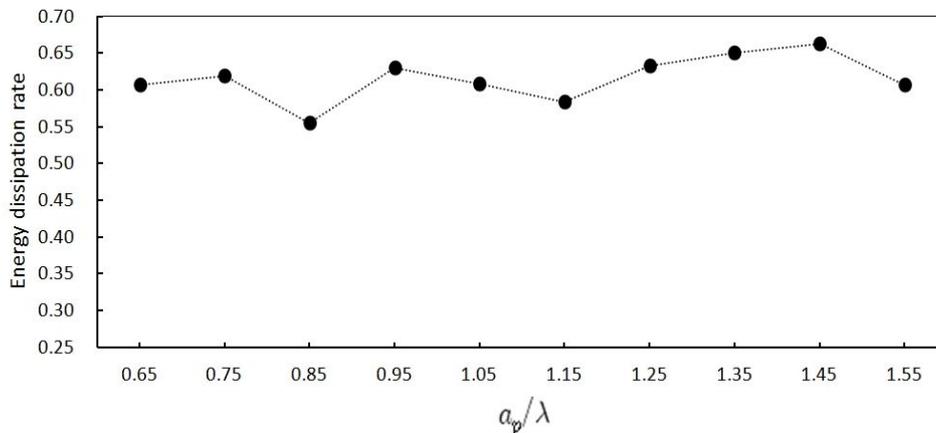


Fig. 70 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.2518$ .

Fig. 71은 공극률  $p=0.3003$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.4787~0.6722이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.35일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

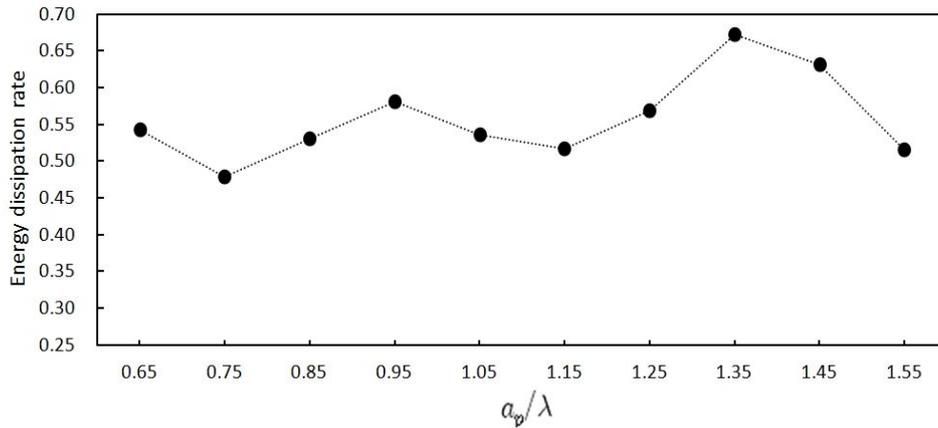


Fig. 71 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.3003$ .

Fig. 72은 공극률  $p=0.3487$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.3349~0.6759이였으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.35일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

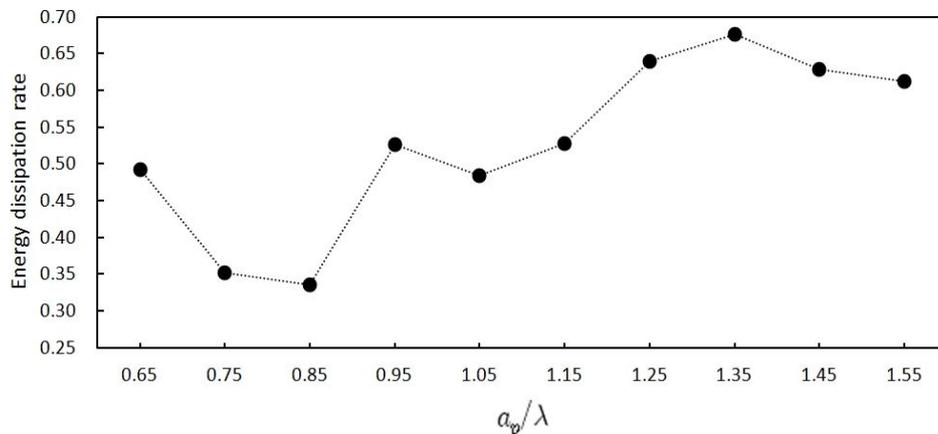


Fig. 72 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.3487$ .

Fig. 73은 공극률  $p=0.3971$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.3276~0.6630이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.35일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

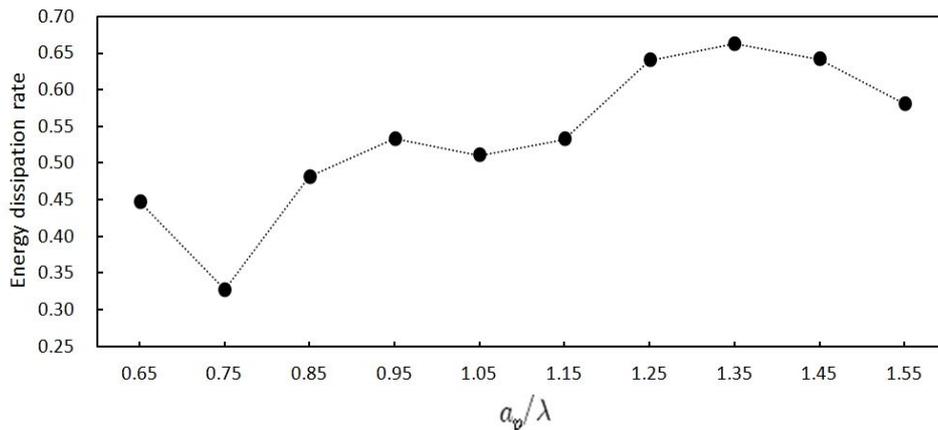


Fig. 73 Energy dissipation rate for Tawoo Pontoon frame at  $p=0.3971$ .

Fig. 74은 공극률  $p=0.4940$ 에 따른 에너지 손실율 변화를 나타낸 것으로, x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를 y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 범위는 0.4303~0.6331이었으며, 전체적인 경향은 파장이 짧을수록 저주파에서 고주파로 갈수록 감소하는 추세를 보이고 있다.  $a_p/\lambda$ 가 1.25일 때 가장 증가의 추세가 컸다.

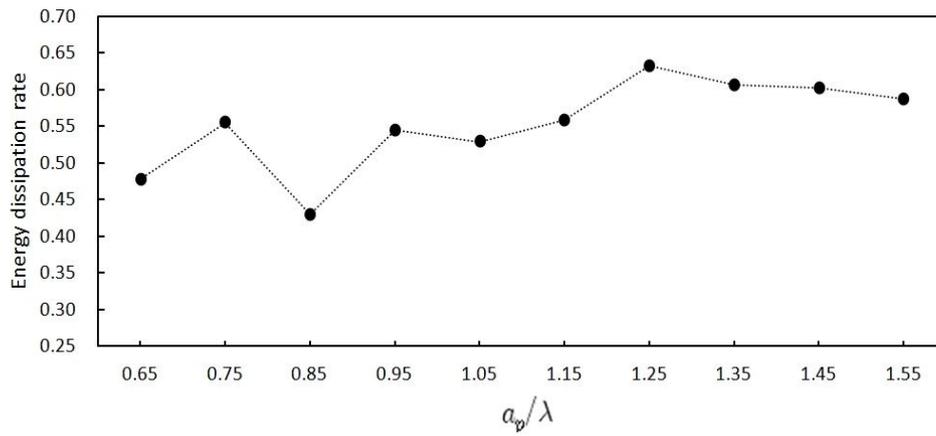


Fig. 74 Energy dissipation rate for Tawoo pontoon frame at  $p=0.4940$ .

Fig. 75과 Table. 9은 나타난 8개별 공극율에 따른 에너지 손실율의 변화를 나타낸 것으로 x축은 테우 모형 타공 판의 길이와 파장의 비인  $a_p/\lambda$ 를, y축은 에너지 손실율을 나타내고 있다. 공극률 0.1066, 0.1556, 0.2034에서는 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 약간의 차이는 있었으나, 점차적으로 에너지 손실율이 감소됨을 알 수 있었고, 반면에 공극률 0.2518, 0.3003, 0.3487, 0.3971, 0.4940에서는 반대되는 경향을 나타내어 저주파수영역에서 고주파수 영역으로 갈수록 증가하였다.

전반적으로 에너지 손실율은 파장이 짧을수록 고주파수 영역으로 갈수록 증가하는 추세를 보였다.

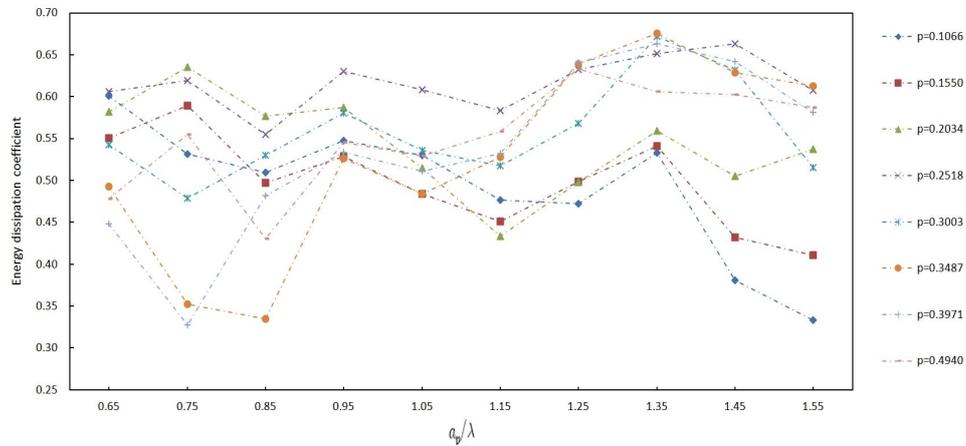


Fig. 75 Comparisons of energy dissipation coefficients for horizontal porous plates with different porosities (8cases)  $d=5\text{mm}$ ,  $a=125\text{cm}$

Table. 9 Analysis of Energy dissipation coefficient by  $a_p/\lambda$

interal	input wave	$a_p/\lambda$	p= 0.1066	p= 0.1550	p= 0.2034	p= 0.2518	p= 0.3003	p= 0.3487	p= 0.3971	p= 0.4940
0.480	0.038	0.65	0.6013	0.5507	0.5817	0.6064	0.5426	0.4925	0.4477	0.4782
0.350	0.033	0.75	0.5313	0.5893	0.6353	0.6192	0.4787	0.3520	0.3276	0.5552
0.350	0.029	0.85	0.5092	0.4973	0.5769	0.5552	0.5300	0.3349	0.4816	0.4303
0.350	0.033	0.95	0.5475	0.5286	0.5874	0.6300	0.5804	0.5266	0.5334	0.5450
0.350	0.030	1.05	0.5298	0.4837	0.5144	0.6086	0.5361	0.4841	0.5108	0.5291
0.235	0.027	1.15	0.4766	0.4512	0.4331	0.5831	0.5174	0.5277	0.5324	0.5586
0.235	0.030	1.25	0.4720	0.4986	0.4975	0.6326	0.5682	0.6392	0.6404	0.6331
0.235	0.028	1.35	0.5332	0.5411	0.5593	0.6511	0.6722	0.6759	0.6630	0.6062
0.235	0.026	1.45	0.3805	0.4319	0.5053	0.6628	0.6319	0.6288	0.6417	0.6024
0.235	0.024	1.55	0.3335	0.4108	0.5371	0.6073	0.5156	0.6124	0.5812	0.5869
Average :			0.4915	0.4983	0.5428	0.6156	0.5573	0.5274	0.5360	0.5525

#### IV. 고찰

제주 테우 구조는 통나무의 직경이 앞쪽은 좁고 뒤쪽이 넓은 종 방향으로 구성 되어 선미 폭은 선수 폭에 비해 30 - 40cm 정도 길어서, 선수과에 대해 고려한 형태라 할 수 있다. 이러한 테우의 형태는 다른 지역에서 제작되는 것과 많은 차이를 보이고 있다. 특히 섬진강 유역에서 사용되어지는 때에는 그 용도와 구조가 제주에서 이용되는 것과 매우 달라 대부분은 운반을 목적으로 제작되었으며, 그 구조가 횡식 구조(박, 2010)인 반면에 제주 테우는 종식구조로 만들어져 어로작업 및 항행의 안전을 위해 중동요를 감소시킬 목적으로 형성된 것으로 생각된다. 그리고 제주 테우의 형태 중 가장 특이한 점은 종 방향으로 연결하는 과정에 일정한 틈을 유지하고 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 테우의 2차 수조실험을 통해 횡 방향의 틈새가 파를 흡수하기 위한 최적의 간격은 어느 정도인지와 운동특성을 규명하기 위하여 각각의 공극률의 변화에 따른 주기와 파장에 의한 반사율, 투과율, 에너지 손실율의 수리모형실험을 통해 분석한 결과에 있어 파가 모형에 지나갈 때 파압이 높아지면서 모형의 틈에서 파속이 느려져 와류가 발생하여 틈에 흡수되는 현상으로 인해 에너지 손실율이 있었고, 반사율과 에너지 손실율은 같은 경향으로 파장이 짧을수록, 고주파수영역으로 갈수록 증가하나, 투과율은 반대로 파장이 길수록 저수파수 영역으로 갈수록 증가하는 실험결과를 도출하였다. 반사율은 공극률이 클수록 측정된 데이터의 분포범위가 좁고, 평균값이 감소하는 추세였고, 공극률  $p=0.2518$ 에서 특정하게 데이터의 분포범위와 평균값이 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다. 투과율은 반사율과 반대현상으로 공극률이 클수록 평균값을 중심으로 측정된 데이터의 범위가 넓고, 평균값이 점차적으로 증가하는 형태로 나타났다.

특히, 공극률  $p=0.2518$ 에서는 편차범위가 좁게 나타났고, 평균값은  $p=0.2518$ 에서 가장 낮았다. 반면에 에너지 손실율은 공극률  $p=0.2518$ 에서 중심으로 공극율이 클수록 선형적으로 증가하였으나, 그 중심을 기점으로 다시 낮아지는 형태를 보였다. 이러한 결과로 볼 때 투과율, 반사율은 낮을수록 선박의 항행성과 안정도가 높아지고, 에너지 손실율은 높을수록 안정적으로 파를 흡수하여 운항하기 좋은 특성을 가진다고 판단되어진다. 에너지 손실율이 높다는 것은 파가 실험모형

을 지나감에 따라 모형의 공극에 많이 흡수되었다는 뜻이다.

Fig. 76의 그림을 통해 실험한 결과 테우 모형에 대한 실험은 모든 영역에 걸쳐 낮은 투과율과 낮은 반사율 그리고 높은 에너지 손실율을 보인 0.25( $p=0.2518$ )에서 전혀 물결이 튀는 것을 보이지 않는 우수한 성능을 보여주고 있다.

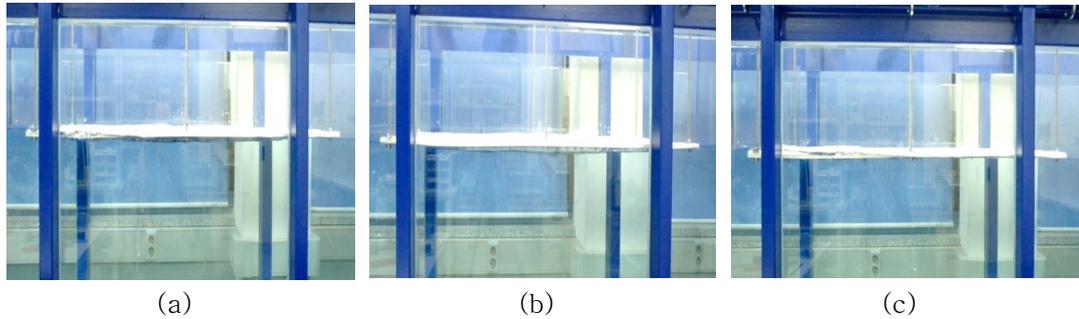


Fig. 76 Photographies for porosity = 0.0000(a), 0.2518(b), 0.3487(c) of the tawoo pontoon frame for  $d=5\text{mm}$ ,  $a_p = 125\text{cm}$ .

따라서 이번 실험에 있어서 테우의 운동특성 중 8개의 실험모형 중 최적의 공극율을 찾는 데에는  $p=0.2518$ 에서 가장 높은 에너지 손실율의 결과를 보였으며, 이러한 경향은 입사파 파장에 대한 각각의 공극율은 다르나 장파에서보다 단파에서 에너지 손실율이 높게 나오는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었고, 주기와 공극율의 관계에서는 최적 공극율은  $p=0.2518$ 일 때는 전 주기를 통해서 안정화된 변화를 나타내었으며, 더불어 틈새가 파 흡수효과를 얻을 수 있었고, 최적 틈의 크기를 규명할 수 있었다. 그러나 이상의 결과는 모형 수조 실험을 통해서 도출된 것이므로 향후 이를 기초로 해서 해상실험을 수행하여 보다 현장성 있는 연구가 이루어져야 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어진다.

## V. 결론

제주의 테우는 부력이 큰 구상나무로 만들어 졌으며, 선수의 폭이 선미의 폭 보다 좁은 방향으로 틈새를 유지한 종식 구조로 제작되었다. 테우의 2차 수조실험을 통해 횡 방향의 틈새가 파를 흡수하기 위한 최적의 간격은 어느 정도인지와 운동특성을 규명하기 위하여 각각의 공극률의 변화에 따른 주기와 파장에 의한 반사율, 투과율, 에너지 손실율의 수리모형실험을 통해 분석한 결과에 있어 파가 모형에 지나갈 때 파압이 높아지면서 모형의 틈에서 파속이 느려져 와류가 발생하여 틈에 흡수되는 현상으로 인해 에너지 손실율이 있었고, 반사율과 에너지 손실율은 같은 경향으로 파장이 짧을수록, 고주파수영역으로 갈수록 증가하나, 투과율은 반대로 파장이 길수록 저주파수 영역으로 갈수록 증가하는 실험결과를 도출하였다. 반사율은 공극률이 클수록 측정된 데이터의 분포범위가 좁고, 평균값이 감소하는 추세였고, 공극률  $p=0.2518$ 에서 특정하게 데이터의 분포범위와 평균값이 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다. 투과율은 반사율과 반대현상으로 공극률이 클수록 평균값을 중심으로 측정된 데이터의 범위가 넓고, 평균값이 점차적으로 증가하는 형태로 나타났다. 특히, 공극률  $p=0.2518$ 에서는 편차범위가 좁게 나타났고, 평균값은  $p=0.2518$ 에서 가장 낮았다. 반면에 에너지 손실율은 공극률  $p=0.2518$ 에서 중심으로 공극율이 클수록 선형적으로 증가하였으나, 그 중심을 기점으로 다시 낮아지는 형태를 보였다. 이번 실험에 있어서 테우의 운동특성 중 8개의 실험모형 중 최적의 공극율을 찾는 데에는  $p=0.2518$ 에서 가장 높은 에너지 손실율의 결과를 보였으며, 이러한 경향은 입사파 파장에 대한 각각의 공극율은 다르나 장파에서보다 단파에서 에너지 손실율이 높게 나오는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었고, 주기와 공극율의 관계에서는 최적 공극율은  $p=0.2518$ 일 때는 전 주기를 통해서 안정화된 변화를 나타내었으며, 더불어 틈새가 파 흡수효과를 얻을 수 있었고, 최적 틈의 크기를 규명할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 정공훈, 1983, 제주도주변의 벌선조사, 제주대학교 논문집 15집, pp. 89-94.
- 안장영, 1985, 고대항해술과 筏船, 고대제주항로 테우 탐사종합보고서, pp. 108-118.
- 김종진, 조해경, Takahashi kunihide, 2007, 한라산 구상나무림의 입지환경 특성, 한국자연보호학회지 Vol. 1, No. 1, pp. 5-9.
- 고광민, 1985, 제주도 떼배와 그 어로행위들, 제주대학교 탐라문화 연구소, 제주도민구(2), pp. 231-270.
- 채바다, 1997, 한국 해양문화의 시원과 떼배(桴)의 역사적 고찰 vol. 3, 海洋韓國, pp. 128-133.
- 박중오, 이정록, 2010 섬진강 떼배의 제작과 운용, 국토지리학회지 제 44권, pp, 13-24.
- 조일형, 고희준, 2007, 원형파일 방파제에 의한 반사율과 투과율, 한국해안 · 해양 공학회지 제19권, 제1호, pp. 38-44.
- 김효철, 2009, 선박의 저항과 추진, 대한조선학회 선박유체역학연구회 지음, 선형 수면파의 응용, 40-46
- CHWANG, A. T, 1983, A porous wave maker, J. Fluid Mech. vol. 132, pp. 395 - 406.
- CHWANG, A. T. & Wu J, 1994, Wave scattering by submerge porous disk, J. Waterway port coastal Ocean EngIng 120, pp. 2575 - 2587.
- 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.
- Goda Y, 1995, Random Seas and Design of Maritime Structures, University of Tokyo Press. Tokyo, Japan, 600 pp.
- Ouellet, Y. and Datta, I.(1996). "A Survey of Wave Absorbers", J. Hydraulic Research, Vol 24, pp265-280.
- Twu, S.W. and Lin, D.T. (1990). "Wave Reflection by a Number of Thin Porous Plates Fixed in a Semi-infinity Long Flume", Proc. 22nd Coastal Engrg, Vol 15, Elsevier, pp 389-405.
- Gada Y and Suzuki Y. 1976. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiment. Proc 15th Coastal Eng Conf ASCE Honolulu, 828-845
- Cho IH and Koh HJ. 2007. Reflection and transmission coefficients by a circular pile breakwater . J Kor Soc Coastal Ocean Eng 19, 38-44
- Cho IH and Koh HJ. 2007. Analysis on wave absorbing performance of a pile breakwater. J Kor Soc Mar Envir Eng 21, 1-4.
- Cho IH and Kim MH. 2008. Wave absorbing system using inclined perforated plate. J Fluid Mech 608, 1-20

## 감사의 글

어느덧 짧지 않은 대학원 생활을 마무리하며 지난 시간들을 돌이켜보니 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 학업적 성취에 있어서의 아쉬움만이 아닌, 고마운 많은 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못했기에 더욱 그러한 것 같습니다. 제가 이렇게 성장하기까지 오랜 시간이 걸렸지만 그 세월 속에서 직·간접적으로 힘이 되고 방향을 잡아주셨던 많은 분들께 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 많은 격려로 이끌어 주신 안장영 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 제 삶과 인생에서 아낌없는 지도로 많은 가르침을 주신 최찬문 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 격려과 학문의 길을 다듬어 주신 김석중 교수님께도 감사드리며, 매 학기 마다 항상 열심히 하라고 자상하게 격려해주신 문일주 교수님과 김경락 교수님께도 감사드립니다. 또한 바쁘신 가운데서도 논리적이지만 못한 문장들을 세심하게 다듬어 주신 이창현 교수님께 감사드리며, 힘들 때나 어려울 때 항상 힘을 주신 김병엽 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

실험 과정에서 마치 자신의 일처럼 도와주신 조주희 학우님과 학교생활 중에 많은 추억과 보람을 함께 나누었던 김상범 형님, 강석 2항사 에게도 고마움을 전합니다. 앞으로 하고자 하는 일에서 최고가 될 수 있도록 기원하겠습니다.

마지막으로 항상 사랑으로 키워주시고 부족한 자식을 믿어주신 부모님께 감사의 말씀을 드립니다. 언제나 제 편이 되어 힘을 주시고 바르게 생각하고 행동할 수 있도록 가르쳐주신 부모님께 누가 되지 않는 아들이 되기 위해 더욱 성장하도록 노력하겠습니다. 어려운 생활 속에서도 항상 저를 믿고 지켜 주었던 포방방 에게도 진심어린 고마움을 전합니다.

그리고 감사의 글을 쓰고 있는 동안 미처 생각나지 않아 거론하지 못한 분들께도 죄송하다는 말씀과 함께 감사의 인사를 전합니다.

대학원 과정을 마치고 새로운 생활을 목전에 둔 상황에서 많은 걱정과 불안이 앞서지만 지금까지 저에게 많은 도움과 가르침을 주신 분들의 기대를 저버리지 않기 위해 새로운 각오를 다져봅니다.

이 짧은 글로 저에게 도움을 주신 모든 분들께 감사를 표시하기에는 부족하지

만 사회에 나가서 항상 성실한 모습으로 보답해드리겠습니다. 감사합니다.

2013년 12월

정들었던 제주대학교 교정에서