

고정식 진동수주형 파력발전기에 관한 실험적 연구

김 성 근* · 박 노 식** · 박 인 규***

(96년 11월 5일 접수)

A Study for Fixed Type Wave Energy Conversion Device with Oscillating Water Column

Seoung-gun Kim* · Ro-sik Park** · In-gyu Park***

Key Words : Oscillating Water Column(진동수주), Wave Energy Conversion(파력발전), Thermodynamics and Wave-Kinematic Method(열역파동법), Sloped Front Wall(경사전면), Orifice Ratio(오리피스 개구율)

Abstract

The theory is based on two thermodynamic equations for the air mass in the air column and hydrodynamic equation for the relation between the response of the air in the water column and the incident wave. The numerical model is experimented in a two dimensional water tank and the caisson model with sloped front wall is tested in the large towing tank.

1. 서 론

파도로부터 에너지를 얻고자 하는 연구는 해양 선진국인 일본, 영국, 스웨덴, 노르웨이, 미국 등에서 신 에너지 개념 및 대규모 집중형 에너지로 구분되어 수행되어지고 있다^{1~3)}.

신 에너지는 복합적인 견지에서 아직 구체적인 경제성 평가가 나오지 않고 있으나, 일본에서의 대규모 집중형 에너지로서 100만 kW급 발전소의 운전 비용이 석유 20 엔 /kWh, 원자력 10 엔/kWh,

의 평균은 26 엔/kWh 이다⁴⁾. 섬과 같이 고립된 지역에서의 디젤 발전단가는 60~70 엔/kWh으로 보고되고 있다[4]. 파력발전의 경제성 평가는 아직 실제 기계가 가동되지 않는 경우도 있고 충분히 신뢰할 수 있는 평가가 현재까지 나오지 않는 상태이며, 에너지의 1차 변환장치와 에너지의 2차 변환장치의 적합성이라던가 보수관리기술 등의 기술 면에서도 불명확한 점이 많은 실정이다.

파랑에너지 이용장치의 경제성을 논할 경우, 종합적인 환경에 대한 고려가 수반되어야 할 것이다.

* 부산수산대학교 해양산업개발연구센터

** 울산대학교 조선 및 해양공학과

*** 현대중공업(주) 선박해양연구소

저지형, 해안의 변형에 의한 영향, 해양 오염에 의한 영향, 해양생물에 의한 영향, 항해 선박에 의한 영향 등 여러 가지 요인이 있다⁴⁻⁶⁾.

해양 에너지 이용장치의 실용화에 가장 큰 과제는 장치의 경제성 향상에 있다. 이를 위해 비선형 요소를 갖고 있는 공기실 등 요소 장치의 성능을 향상 시키는 것과 더불어 장치의 소형화, 출력의 균일화, 간편하게 보존 정비할 수 있는 방법 등을 개발할 필요가 있다⁵⁻⁷⁾.

본 논문에서는 고정식 파력발전시스템의 초기설계 자료를 확보하기 위하여 2차원수조에서의 실험을 실시하고 이론 계산 방법을 연구하였고, 이러한 결과를 기초로 고정식 파력발전기의 실험실에서의 기초가 될 모형을 설계·제작하여 대형수조에서의 실험을 실시하였다. 비교적 양호한 실험 결과와 모형 파력발전기의 효율을 확인할 수 있었다.

이상의 연구과정을 통하여 고정식 파력발전기의 흡수파력을 추정하기 위한 "열역과동법"^{7,8)}에 따른 수치해석 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램의 검증으로는 Takahashi⁷⁾의 계산 및 실험 결과를 사용하였으며 프로그램의 유용성을 확인할 수 있다. 또한, 2차원수조에서는 수치해석 검증 및 설계 자료를 얻기 위한 모델의 실험과 수치해석 프로그램 및 2차원 수조 시험을 통하여 얻어진 해석 결과로부터 고정식 파력발전기에 대한 초기설계방법을 개발하였다. 또한, 앞에서의 결과에 대한 검증 실험을 현대중공업의 대형수조에서 수행하여 바람직한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 수치계산 검증용 수치모델

2.1 수치해석

고정식 진동수주형 파력발전기의 흡수효율 추정에도 높은 방법으로 알려진 열역과동법에 관한 이론은 Ojima, Suzumura 그리고 Goda에 의하여 제시되었으며, Takahashi는 이 방법에 통계적인 방법을 적용하여 불규칙파에 대한 이론적인 해석 및 실험을 시도하였다⁷⁾.

열역과동법은 기체상태방정식으로부터 진동수주내의 에너지 보존식을 유도하고 수주내 공기실의 체적, 온도, 압력의 변동 등을 고려하여 각 계수들을 추정하고 있다. 특히 임의로 정한 수주내 변동

수위를 입사파, 반사파 그리고 수주내의 파(Standing Wave)의 관계를 반복적인 방법으로 재결정하는 방법을 택하고 있다. 최종적으로 잘 알려져 있는 한 주기의 파에 따른 초당 공기의 에너지 식(1)은 재결정된 계수들을 대입하여 흡수파력을 추정하고 있다^{7,8)}.

$$W_a = \frac{1}{2} \frac{\gamma P_o \omega A_w}{D_o} a_o^2 \sin(\omega\tau) \cos(\omega\tau) \quad (1)$$

여기서, γ 는 비열비

P_o 는 대기압력

ω 는 공기실 안의 유동 주파수

A_w 는 수주내 면적

D_o 는 오리피스 면적

a_o 는 입사파의 파고

τ 는 입사파와 수주내 유동간의 시간차

그리고 파장이 L_B 인 파의 초당 에너지(W_I)로부터 효율은 다음과 같이 정의하였다.

$$EFF_a = W_a / W_I \quad (2)$$

여기서, W_I 는 입사파의 파력^{7,8)}

열역과동법을 이용하여 개발된 프로그램의 검증 모델로는 Shigeo Takahashi⁷⁾에 의하여 계산 및 실험되었던 수치모델을 선정하였으며, 이 모델의 기본 사양과 개략도는 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Dimensions and Test Conditions for Takahashi's Model⁷⁾

LENGTH (L_B)	0.8 M	H/λ : 0.01, 0.02, 0.03
BREADTH (B)	0.78 M	
HEIGHT (D)	1.8(1.4)M	
DRAFT (d)	1.0 M	h/λ : 0.1, ~0.5
FRONT WALL DEPTH (D_c)	0.2 M	
WATER DEPTH(h)	1.0 M	DATA : A1
ORIFICE RATIO (ϵ)	0.01 ~ 0.005	
WAVE HEIGHT(H)	0.02 ~ 0.3 M	OUTPUT : $\epsilon=1/100$ $\epsilon=1/150$ $\epsilon=1/200$
WAVE LENGTH(λ)	2.0 ~ 10.0 M	

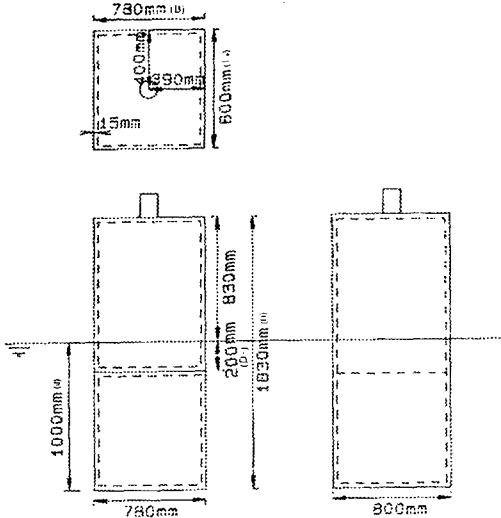


Fig. 1 Configuration of Caisson Model (by Takahashi)

Takahashi⁷⁾에 의하여 발표된 계산 및 실험 결과와 본 프로그램에 의하여 계산된 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 나타낸 것처럼 Takahashi의 계산 결과와 매우 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

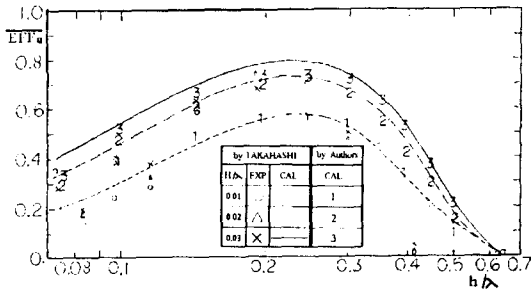


Fig. 2 Verification of Calculated Results for Caisson Model (in case of $\epsilon=1/100$)

그러나 오리피스 개구율(ϵ)이 1/150일 때를 보여주는 Fig. 3에서 챔버의 폭(B)과 파장(λ)의 비가 작은 경우에 Takahashi의 결과와 다소 차이를 보이고 있으며, 이는 Iteration 및 오차의 처리 방법에

기인한 것으로 생각되어진다.

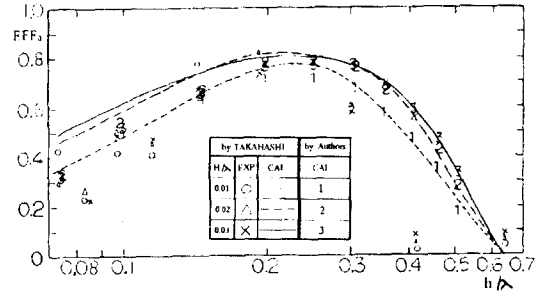


Fig. 3 Verification of Calculated Results for Caisson Model (in case of $\epsilon=1/150$)

한편, Fig. 2와 Fig. 3에서 챔버의 폭과 파장의 비가 큰 경우 실험치와 계산결과는 상당한 차이점을 보여주고 있다. 이는 수치해석 프로그램 그 자체는 물론 열역학방법이 설계과 근방만을 관심으로 하고 있음을 나타내는 것으로 생각된다. 이에 대하여는 추후 연구가 되어야 할 것으로 여겨진다.

2.2 2차원 수조 실험

2차원 수조 실험의 목적은 고정식 파력발전기의 초기설계에 필요한 기본적인 설계인자들의 자료를 얻고자 하는데 있다. 2차원수조에서의 실험에 적합한 수치모델은 아래와 같은 내용에 중점을 두고 설계·제작되었다.

- 모델의 단순화
- 2차원수조의 크기를 고려
- 조파기의 성능
- 수치계산의 결과

이와 같이 설계된 고정식 파력발전기의 수치모델에 대한 기본사양은 Table 2에 나타내었으며, 실험은 다음과 같은 내용에 대하여 수행되었다.

- 2차원수조에 대한 조파계산 및 실측
- 오리피스 개구율의 변화
- 파고 및 파주기의 변화
- 입사파, 수주내의 파, 수주내의 압력,
- 오리피스를 통과하는 풍속의 계측

Table 2 Dimension and Condition of Numerical Model

LENGTH (L_B)	0.12	M	H/λ : 0.01, 0.02, 0.03
BREADTH (B)	0.28	M	
HEIGHT (D)	0.2	M	
DRAFT (d)	0.15	M	h/λ : 0.1, ~0.5
FRONT WALL DEPTH (D_c)	0.025	M	
WATER DEPTH (h)	0.15	M	DATA : B11
ORIFICE RATIO (ϵ)	0.01 ~ 0.005		
WAVE HEIGHT (H)	0.01 ~ 0.03	M	
WAVE LENGTH (λ)	0.5 ~ 1.3	M	OUTPUT : $\epsilon=1/100$ $\epsilon=1/150$ $\epsilon=1/200$

Photo. 1은 수치모델의 사진이며, 수치모델의 개략적인 도면은 Fig. 4와 같다.

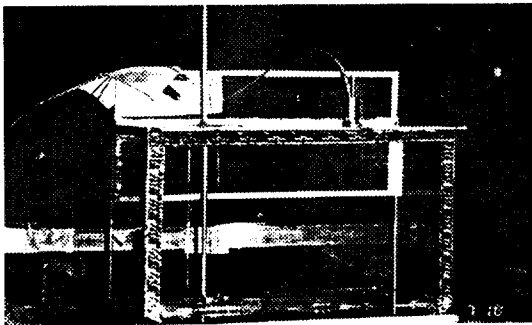


Photo. 1 Overview of Numerical Model

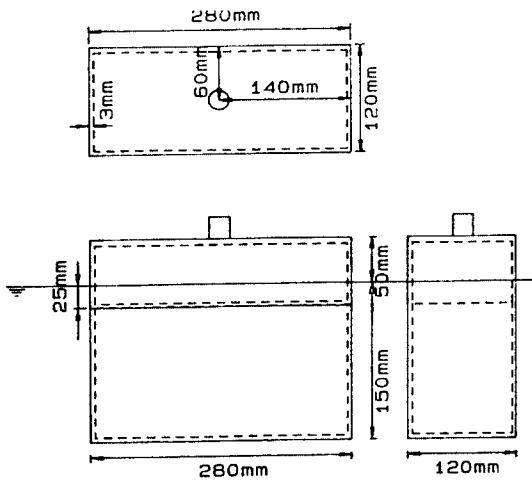


Fig. 4 Configuration of Numerical Model

오리피스스의 개구율은 $\epsilon = 1$ (완전히 열린 경우), $\epsilon = 1/100, 1/150, 1/200$, 그리고 $\epsilon = 0$ (완전히 닫힌 경우)에 대하여 실험이 수행되었으며, 본 논문에서는 입사파와 수주내부의 파와의 관계를 에너지 효율로 하여 Fig. 5($\epsilon = 1/100$), Fig. 6($\epsilon = 1/150$), Fig. 7(1/200)에 나타내었다.

파형 기울기가 0.01, 0.02, 0.03일 때, 오리피스스의 개구율이 작은 경우인 Fig. 5에서 보면, 폭과 파장의 비가 0.2보다 작은 영역에서 다소 효율이 좋게 나타나고 있으나, Fig. 6과 Fig. 7을 보면 $B/\lambda = 0.2 \sim 0.3$ 영역에서 효율이 좋게 나타나고 있음을 알 수 있다.

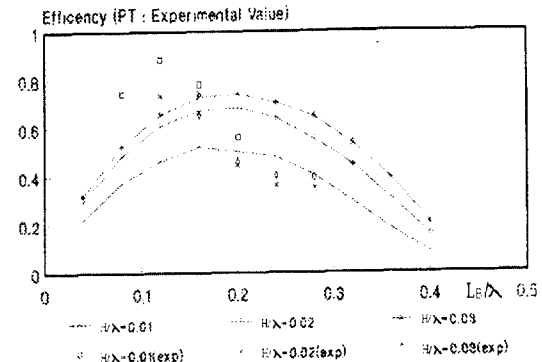


Fig. 5 Efficiency for Numerical Model ($\epsilon = 1/100$)

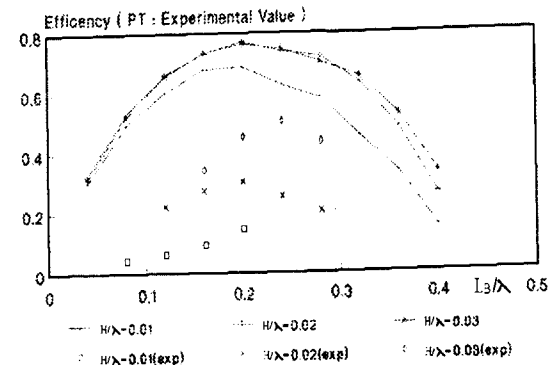


Fig. 6 Efficiency for Numerical Model ($\epsilon = 1/150$)

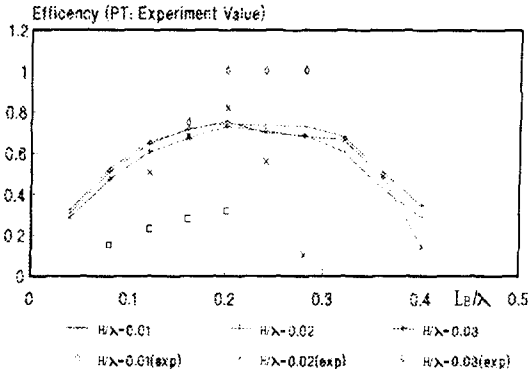


Fig. 7 Efficiency for Numerical Model
($\epsilon = 1/200$)

한편, 실제 실험에서 샘플링된 결과들을 Fig. 8 과 Fig. 9에 나타내었다. 파장이 크고 파고가 작은 경우(Fig. 8)는 수주전면의 파형과 수주내부의 파형이 뚜렷한 차이를 보이지 않고 있으나, 파장이 작고 파고가 큰 경우(Fig. 9)는 수주내부의 파고가 작아지고 있음을 보여주고 있다. 이러한 현상은 파장이 작은 경우 반사율이 증가되고, 파고는 챔버 전면의 크기에 의한 것으로 생각된다.

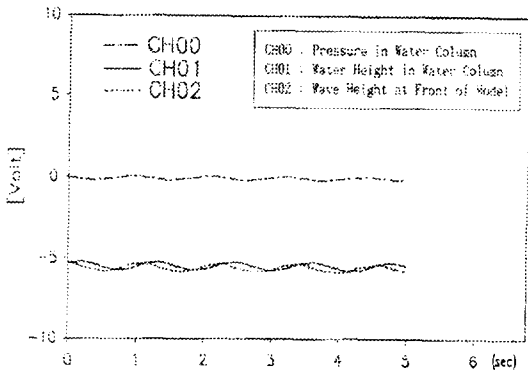


Fig. 8 Sample of Experiment Record
($\lambda = 100\text{cm}$, $H = 1\text{cm}$, $\epsilon = 1/150$)

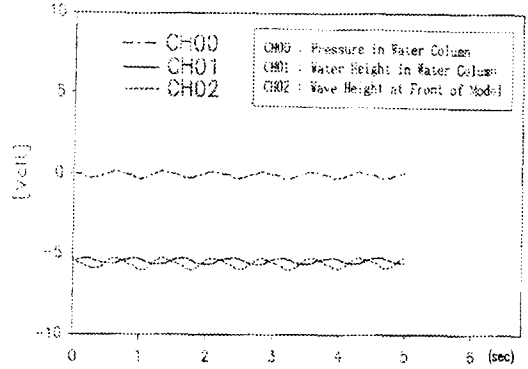


Fig. 9 Sample of Experiment Record
($\lambda = 60\text{cm}$, $H = 2\text{cm}$, $\epsilon = 1/150$)

3. 진동수주형 고정식 파력발전기의 개념설계

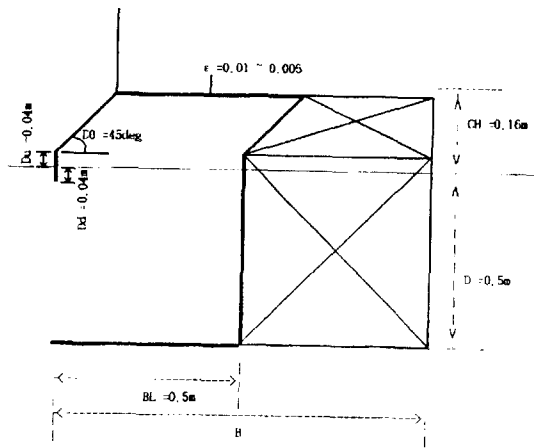


Fig. 10 Configuration of Fixed Type OWC Device

고정식 파력발전기의 기본형태는 Fig.10의 모양으로 하고, 그림에 표시된 주요 사양의 결정은 다음과 같은 순서로 수행한다.

- 1) 고정식 파력발전기의 설계목적이 무엇인지를 결정한다.
- 2) 설계해역의 해상자료에 따른 설계조건 및 사양을 결정한다.

- 3) 고정식 파력발전기의 형식을 결정한다.
- 4) 물리적인 법칙, 자료, 경험, 창의성 등을 바탕으로 Table 1에 표시된 사양에 대하여 다음과 같이 결정한다.

$$BL / \lambda = 0.2 \sim 0.3$$

$$L \cong 2 * B$$

$$Dd = Du > 4.0/2.5 * (H/2)$$

$$CH \cong 4 * Dd$$

$$D\theta = 45\text{deg}$$

$$\epsilon = 0.01, 0.0075, 0.005$$

- 5) 통상의 설계과정을 따른다.
(수치해석, 모델실험, 실험역 실험 등)

4. 대형 수조에서의 모형실험

현대중공업 선박해양연구소의 예인수조에서 수행된 실험의 목적은 2차원수조 실험의 검증은 물론, 파도로부터 에너지를 추출하는 기술 개발의 가능성을 확인하는데 있다. 대형 예인수조에서의 효과적인 실험 수행을 위한 모델의 선정은 개념설계 방법에 따라 각 사양이 결정되었으며, Table 3에 나타내었다.

Table 3 Dimension of Test Model in Towing Tank

Design Wave Height = 0.05m
Design Wave Length = 2m
H / λ = 0.025
Dimension of Model
Bl = 0.5 m
L = 0.5 m
D = 0.5 m
Dd = 0.04m
CH = 0.16m
ε = 1/100일 때 Ao=0.0025m ² (직경 do=0.0564 m)
ε = 1/150일 때 Ao=0.00167m ² (직경 do=0.0461 m)
ε = 1/100일 때 Ao=0.00125m ² (직경 do=0.0399 m)
여기서 Ao 는 오리피스면적
계측항목 Hb (파력발전기 전면의 파고)
Hi (파력발전기 수주내 파고)
Vw (오리피스 단면을 통과하는 풍속)
Pi (파력발전기 수주내 압력)

예인수조에서의 고정식 파력발전기를 실험하기 위한 별도의 설치대가 Photo. 2에 보이는 것처럼 제작되었다.

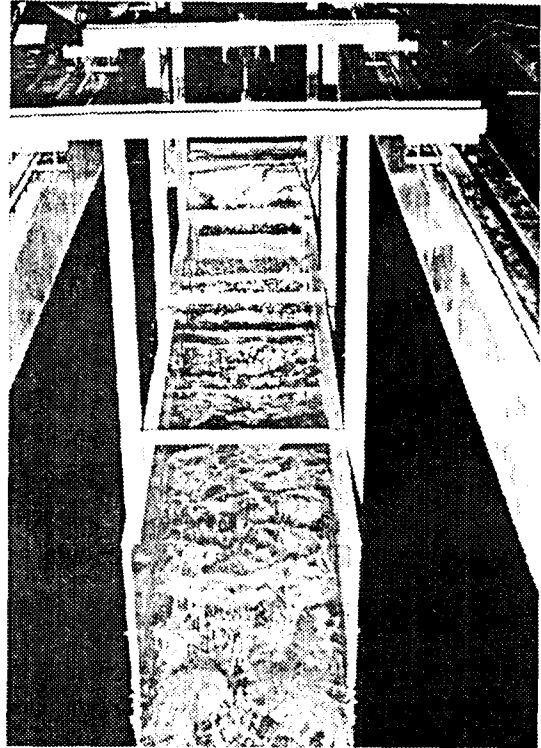


Photo. 2 Overview of Test Model in Towing Tank

실험의 내용은 2차원수조에서와 동일하게 다음과 같이 수행되었다.

- 예인수조에서의 조파 계측
- 오리피스의 개구율 변화
- 파형 변화에 따른 실험
- 입사파, 수주내의 파, 수주내의 압력, 오리피스를 통과하는 압력의 계측

각각의 오리피스에 대한 실험은 Table 4, 5, 6에서 보이는 것처럼 3개의 파장을 고정하고 이에 맞는 파형 기울기 3가지에 대하여 실시되었다. 설정치와 계측치간의 오차는 조파기의 조파 영역중 다

소 작은 영역의 파로 인한 결과로 생각된다.

Table 4 Water Height, Pressure and Air Velocity in Air Column($\epsilon = 0.01$)

$\epsilon = 1/100$ (직경 do=0.0564 m)		계측항목					
Run No.	$\lambda(m)$ (BL/ λ)	H(m) (H/ λ)	Hb(m)	Hi(m)	Pi(mHg)	Vw(m/s)	MAX. V
11.	1.667(0.3)	0.05 (0.03)	0.0485	0.0240	0.014	4.2*4.4	7.25
12.		0.033 (0.02)	0.0282	0.0157	0.008	2.9*3.0	4.75
13.		0.0167(0.01)	0.016	0.0088	0.0019	1.8*1.9	2.65
14.	2.5 (0.2)	0.075 (0.03)	0.0662	0.0430	0.032	6.5*7.5	10.65
15.		0.05 (0.02)	0.046	0.0320	0.018	4.9*5.4	7.95
16.		0.025 (0.01)	0.023	0.0180	0.0049	2.8*3.1	4.45
17.	5.0 (0.1)	0.15 (0.03)	0.157	0.0119	0.1087	측정 X	20.9
18.		0.1 (0.02)	0.108	0.0870	0.067	8.0*12	11.75
19.		0.05 (0.01)	0.055	0.0470	0.019	4.9*6.5	8.25

Table 5 Water Height, Pressure and Air Velocity in Air Column($\epsilon = 0.0075$)

$\epsilon = 1/150$ (직경 do=0.0461 m)		계측항목					
Run No.	$\lambda(m)$ (BL/ λ)	H(m) (H/ λ)	Hb(m)	Hi(m)	Pi(mHg)	Vw(m/s)	MAX. V
21.	1.667(0.3)	0.05 (0.03)	0.0560	0.0265	0.033	6.0*7.0	12.1
22.		0.033 (0.02)	0.0414	0.0198	0.0174	4.9*5.0	9.05
23.		0.0167(0.01)	0.0175	0.0094	0.0020	2.1*2.3	4.3
24.	2.5 (0.2)	0.075 (0.03)	0.0712	0.0391	0.050	7.2*8.2	14.55
25.		0.05 (0.02)	0.0572	0.0315	0.0328	5.9*6.9	11.7
26.		0.025 (0.01)	0.0215	0.0170	0.0023	3.3*3.6	6.35
27.	5.0 (0.1)	0.15 (0.03)	0.1533	0.1095	0.1311	측정 X	23.8
28.		0.1 (0.02)	0.1108	0.0810	0.0932	8.5*14	21.35
29.		0.05 (0.01)	0.0539	0.0439	0.031	5.1*7.3	11.55

Table 6 Water Height, Pressure and Air Velocity in Air Column($\epsilon = 0.005$)

$\epsilon = 1/200$ (직경 do=0.0399 m)		계측항목					
Run No.	$\lambda(m)$ (BL/ λ)	H(m) (H/ λ)	Hb(m)	Hi(m)	Pi(mHg)	Vw(m/s)	MAX. V
31.	1.667(0.3)	0.05 (0.03)	0.0441	0.0188	0.0333	5.9*6.6	11.45
32.		0.033 (0.02)	0.0375	0.0150	0.02	4.8*5.1	9.1
33.		0.0167(0.01)	0.0154	0.0079	0.0029	2.6*2.8	4.8
34.	2.5 (0.2)	0.075 (0.03)	0.0794	0.0374	0.0763	9.0*11.	18.55
35.		0.05 (0.02)	0.0537	0.0252	0.0448	7.0*8.2	6.25
36.		0.025 (0.01)	0.0256	0.016	0.017	4.4*4.9	7.95
37.	5.0 (0.1)	0.15 (0.03)	0.1754	0.1221	0.2	측정 X	42.85
38.		0.1 (0.02)	0.1136	0.0811	0.0964	8.0*17.	28.45
39.		0.05 (0.01)	0.0574	0.0460	0.0552	6.9*11.	16.15

흡수효율의 이론치와 실험치를 비교하는 Fig.11, 12에서 보듯이 파장 및 파형 기울기의 변화에 따른 정상적인 경향은 만족할 만한 결과를 보이고 있으나, 정량적인 절대치는 상당한 차이를 보이고 있다. 이에 대하여는 다음 절에서 고찰하였다.

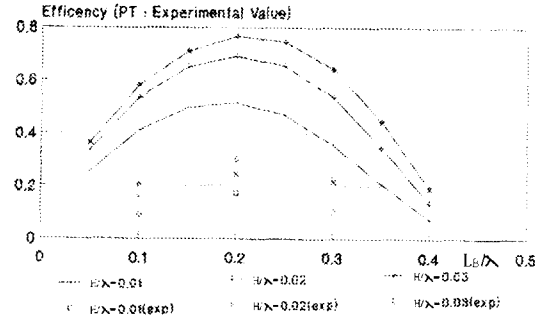


Fig. 11 Efficiency of Test Model in Towing Tank ($\epsilon = 1/100$)

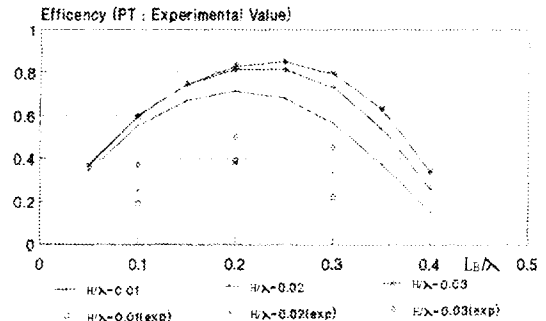


Fig. 12 Efficiency of Test Model in Towing Tank ($\epsilon = 1/150$)

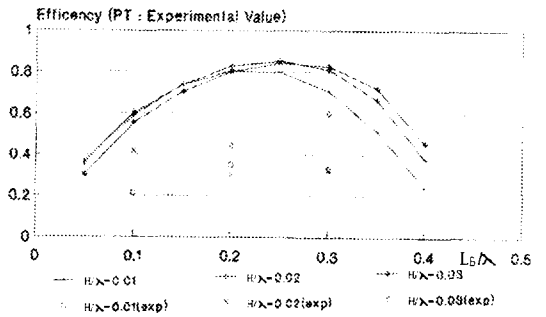


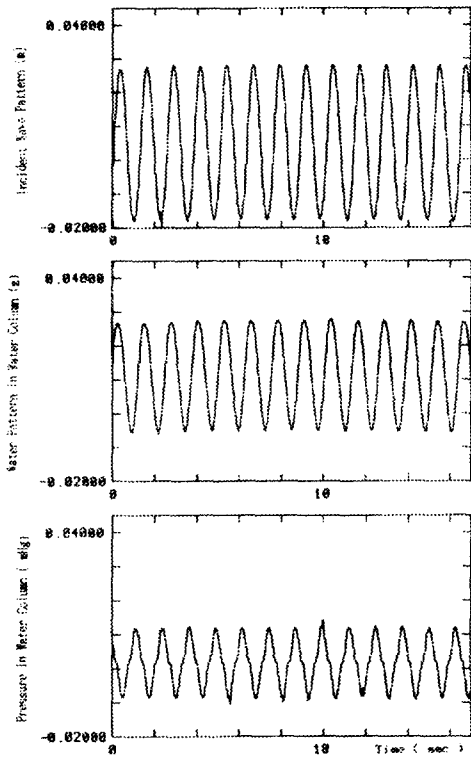
Fig. 13 Efficiency of Test Model in Towing Tank ($\epsilon = 1/200$)

오리피스의 변화와 파장의 변화에 따른 그림들의 고찰을 통하여 설계파장 및 설계파고가 Table 3과 같을 때 오리피스의 개구율은 1/150인 경우에 상대적으로 효율이 좋게 나타나고 있다.

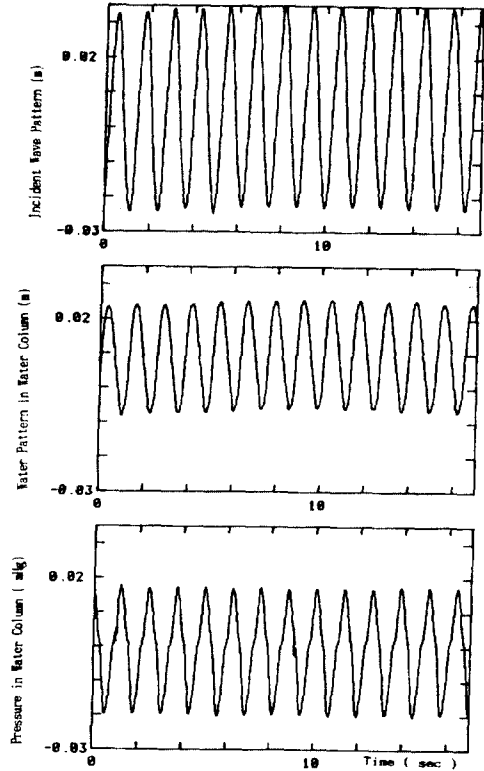
동일한 입사파(실측은 다소 차이가 있음.)에 대하여 오리피스의 개구율 변화에 따른 계측 결과에 대한 그림인 Fig. 14의 비교를 보면, 오리피스의 변화에 따라 수주내 압력의 변화를 확실히 볼 수 있다.

5. 고찰

2차원수조의 조파기 성능 및 모델의 크기가 상대적으로 문제 점을 갖고 있었으며, 대형수조(예인수조)에서 연안역에 설치되어지는 고정식 파력발전기의 실험 결과 해석에 있어서 다소의 문제점으로 지적될 수 있었다.



(1) Run No.= 15, $\epsilon = 0.01$



(2) Run No.= 25, $\epsilon = 0.075$

Fig. 14 Comparison of Measured Time Signal

파력발전에 관한 공동연구의 수행 과정은 울산 대학교측에서 수치해석프로그램의 개발과 2차원수조 실험을 수행하였으며, 현대중공업 선박해양연구소에서는 대형수조에서의 실험을 수행하였다.

신 에너지의 하나인 파력발전은 에너지원으로서 뿐만 아니라 해양개발, 해양공간이용 등에 필수적으로 개발되어야 할 미래의 자원이라고 할 수 있다. 이 에너지에 대한 근래의 세계적인 연구 추세는 신행방파제로서의 적극적인 활용 계획의 수립과 추진 그리고 해양목장, 레저 등의 해양이용에 필수적인 구조물로 인식되고 있다.

열역과동법에 기초한 수치해석 프로그램은 Takahashi의 결과와 비교,검토하여 타당성이 입증됨으

로서 고정식진동수주형 파력발전기의 초기설계에 바람직한 소프트웨어가 될 것이다.

이러한 수치해석을 통하여서는 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 공기실 높이 및 발전기 길이의 증가에 따라 큰 효율의 변화는 볼 수 없었으며, 이는 추후 계속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

- $\epsilon = 1/200$ 일 때는 파의 에너지가 큰 경우(파형 기울기가 큰 경우)에 효율이 급격히 떨어지는 현상을 보임으로서 오리피스 개구율의 중요성을 확인할 수 있었다.

실험에 이용된 2차원수조의 조파 능력이 한계로 인하여 파장의 적절한 영역에서 실험이 수행되지는 못하였으나, 수치모델의 실험으로부터 수치해석 프로그램이 정성적으로는 타당하다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 전면이 경사된 모델의 2차원수조 실험을 통하여 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 오리피스 개구율이 작아질 경우 수주내 변위는 작아지고 있음을 확인하였다.

- 오리피스 개구율의 크기는 수주내 변위에 큰 영향을 미치지 않는 범위까지 축소함으로써 흡수 효율을 증대시킬 수 있음을 확인하였다.

- 실험 및 수치계산 결과로부터 입사파에 따라 오리피스 단면의 변화 혹은 다른 변수를 제어할 수 있을 경우 효율 향상에 기여할 것으로 생각된다.

폭이 수치모델의 2/3인 전면이 경사된 모델의 실험 결과는 효율은 다소 떨어지지만 수치해석 결과들과 비교하여 다른 경향을 보여 주고 있다. 즉 폭과 파장의 비가 0.2~0.3근방이 아닌 0.1~0.2근방에서 최대효율을 보이고 있다. 이는 열역파동법에 대한 계속적인 연구가 요구되어 진다고 생각된다.

현대중공업의 대형수조에서 실시된 실험에서의 모델은 초기설계 방법의 과정을 거치고, 정도 높은

계측으로 인하여 계산 결과 및 실험 결과가 정성적으로 상당히 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 정량적인 내용에 대하여는 추후 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

수치해석프로그램의 개발, 2차원수조에서의 실험, 대형수조에서의 실험으로부터 다소의 실험 과정에 어려움이 있었으나, 고정식 파력발전기의 초기설계를 위한 방법론을 확립할 수 있었다.

5. 결 론

수치해석프로그램의 개발, 2차원수조에서의 실험, 대형수조에서의 실험으로부터 다소의 실험 과정에 어려움이 있었으나, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고정식 진동수주형 파력발전기의 흡수파력을 추정하는 열역파동법에 의한 수치계산 프로그램을 작성하였으며, Takahashi의 계산 결과와 비교·검토하여 본 프로그램의 유효성을 확인할 수 있었다.
- 2) 고정식 진동수주형 파력발전기의 주요 설계 인자들의 최적화 특성을 파악할 수 있었다.

후 기

본 연구는 1992년 4월부터 1993년 4월까지 현대중공업 선박해양연구소와 울산대학교 산업기술연구소가 공동연구를 수행한 결과의 일부임을 밝혀 두며, 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표한다.

참고문헌

- 1) 本間琢也, "海洋エネルギー利用の展望", 第 1回 波浪エネルギー 利用 シンポジウム, S-1, pp.1~18, 1984. 11
- 2) 前田久明, "波浪エネルギー利用技術", 第 1回 波浪エネルギー 利用 シンポジウム, G-3, pp.49~61, 1984. 11

- 3) 高野健三, “海のエネルギー”, 共立科學ブックス, 1984
- 4) 信濃毎日新聞社編, “エネルギー複合時代がやってくる — 多様化, 分散化お深る”, ダイヤモンド社, 1989
- 5) J.R.Vadus, “Global Environment and Engineering (特別講演)”, 第10回海洋工学シンポジウム, 日本造船學會, pp.1~15, 1991. 1
- 6) 김성근, “부유식 진동수주형 파력발전 시스템의 성능해석 및 제어에 관한 연구”, 울산대학교 대학원 조선 및 해양공학과 박사학위논문, 1991. 8
- 7) Shigeo Takahahi, “A STURDY ON DESIGN OF A WAVE POWER EXTRACTING CAISSON BREAKWATER”, JAPAN, Wave Power Laboratory, Port and Harbour Research Institute, Feb. 1988
- 8) 박노식의, “파력발전시스템 개발에 관한 연구”, 울산대학교·현대중공업 공동연구수행 최종보고서, 1993. 4