

◎ 論 文

파력발전시스템에 관한 기초연구(II)

— 파력발전기의 흡수파력 추정 —

김 성 근* · 박 노 식**

(1990년 3월 23일 접수)

The Basic Study on Wave Energy Conversion System(II)

— Estimation on Extracted Wave Power of Wave Energy Conversion Device —

S. G. Kim and R. S. Park

Key Words : Orifice(수주내 공기출구), Wave Energy Conversion(파력발전), Extracted Wave Power(흡수파력), Source Distribution(특이점분포), Extracted Ratio(흡수율)

Abstract

The results of previous works on the wave energy conversion do not seem to be satisfactory due to irregularity, and the non-linear hydrodynamic effect which is inevitably featured due to the structural complexity of the ocean wave energy conversion device. These may cause the difficulty estimating the extracted wave power.

In this paper a study on estimating the extracted wave power and its ratio. The present authors have developed another method estimating the extracted wave power using the three dimensional source distribution method, which was turned out to be an improved one.

It has been observed that the present results may be used for the control of the wave energy conversion device and the optimal design has been derived from the several case studies.

약 어

- B : 발전기의 폭
- C_g : Group cererity
- C_o : Orifice의 측류계수
- D : 감쇄계수
- D_x : 수주의 감쇄계수

- H : 파고
- L : 발전기의 길이
- M_o : Spectral density
- S_a : 공기실의 면적
- S_o : Orifice의 면적
- ρ_a : 공기 밀도

+ 1989년도 한국해양공학회 추계 학술대회 발표(1989년 11월)

* 정회원, 울산대학교 대학원(박사과정) 조선 및 해양공학과

** 정회원, 울산대학교 공과대학 조선 및 해양공학과

- ζ : 발전기의 상하운동 진폭
- ζ_k : 수주의 진폭
- η : 파력발전기의 흡수율
- η_k : 각 수주의 흡수기여율
- λ : 파장
- ω : 파의 주파수
- β : 공기실 면적에 대한 Orifice의 면적비

2. 흡수파력 추정

좌표계와 경계조건은 Fig. 1.1에 나타내었다. 파력발전기에 미치는 유체력의 계산은 3차원 특이점 분포법을 이용하였으며, 이때 얻어진 상하방향 운동 진폭을 흡수파력 추정 계산에 적용하여 정리하면 다음과 같다.

1. 서 론

파력발전기에 관한 연구는 70년대 석유파동 이후, 대체에너지 측면에서 활발히 진행되었으나, 80년대 중반부터의 석유가 안정 등으로 인하여 주춤한 상태라 할 수 있고, 이러한 현상은 대부분의 대체에너지에 대한 연구에서 일어났다. 90년대 이후 예상되는 석유 가공제품의 증가와 한정된 석유 매장량으로는 지속적인 산업발전을 기약할 수 없을 것이다. 또한, 기존에너지의 공해문제는 심각한 상황에 이르렀고, 대체에너지는 중요한 위치를 점할 것으로 예상된다.^{1,2)} 특히, 해양에서의 대체에너지 지 태양력, 풍력, 파력, 조력, 해양온도차 등은 해양개발 차원에서도 중요한 에너지원이며, 이중 파력발전은 해양에서의 자원채취와 해양개발에 필요한 에너지 보급원으로서, 중요한 위치를 점할 것으로 예상된다. 그러나, 국내에서의 대체에너지에 관한 연구들 중에서도 파력발전에 관한 연구는 더욱 미미한 실정이다. 또한 파력발전기의 유체력(특히, 감쇄계수) 추정은 많은 비선형성을 내포하고 있으며, 현재까지 정확히 정립되어 있지 않다.^{3,4,5)}

이 논문에서는 3차원 특이점 분포법⁶⁾을 이용하여 파력발전기에 미치는 3차원적이면서 비선형적인 유체력들 즉, 입사파의 파장, 입사파의 방향, 모델의 자세변화, 각 수주의 상호간섭, 부력의 변화, 흡수의 변화, 폭의 변화, 수선면적의 변화 등이 발전기의 흡수 효율에 미치는 영향을 조사하여, 최적 설계의 기본 자료로 활용할 수 있도록 정리하였다.

또한, 이들 자료를 토대로 1차적인 모델을 계획하였으며, 이 모델에 대한 입사파의 변화에 따른 흡수력 변화를 계산을 통하여 추정하였다. 제어에 이 결과들을 적용한다면 더 높은 효율 향상을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

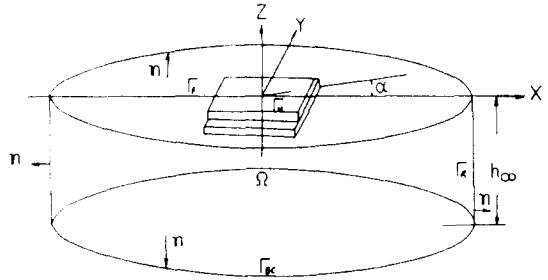


Fig. 1.1 Coordinate system and boundary of fluid

2.1 파력발전기에 미치는 파력 추정 (1), (2)

발전기에 미치는 파의 파장 변화에 따른 선형파의 파력 P_r는

$$P_r = 1/8 A \rho g H^2 C_r B / (\lambda/L) (K_w) \dots (1)$$

ITTC spectrum으로 표현할 수 있는 파의 파력 P_{ITTC}는

$$P_{ITTC} = A \rho g M_w C_r B / (\lambda/L) (K_w) \dots (2)$$

여기서 A=0.001009

2.2 파력발전기의 흡수파력 추정 (3), (4)

발전기의 흡수파력을 추정하는 기본적인 이론이 정립되어 있지 않으나, 이 장에서는 선형적인 방법을 생각하였다.

각 수주의 공기실에 유량은 공기실 면에 유입되는 파면에 비례하므로

$$Q(t) = S_a \zeta(t) \dots (3)$$

여기서 ζ(t)=ζ cos(ωt)

각 수주의 Orifice를 통과하는 단위 시간당 공기량은

$$Q(t) = C_0 S_0 \sqrt{2 P(t) / \rho_a} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 $C_0 = 0.65$
 $P(t)$: 공기실의 변동압력

(3), (4) 식으로 부터 $P(t)$ 는 다음의 형태를 가져야 할 것이다.

$$P(t) = -P | \sin(\omega t) | \sin(\omega t)$$

또한, (3), (4) 식의 관계에서 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$\omega \zeta = \beta C_0 \sqrt{2 P(t) / \rho_a} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 $\beta = S_a S_0$

공기실 내부에서 행해지는 일은

$$dW / dt = Q(t) P(t) \dots\dots\dots (6)$$

$$= S_a P(t) \zeta(t)$$

따라서, 단위시간당 일은

$$W = C_0 S_0 \sqrt{2 / \rho_a} P^{2.3} \int \sin^3(\omega t) dt \text{이며,}$$

선형파의 성질과 영향을 고려한 단위시간당 일은 다음과 같다.

$$W = 4 / 6 \rho_a S_a \zeta (\omega \zeta)^2 / (\beta C_0)^2 \dots\dots\dots (7)$$

Orifice의 감쇄력을 $D \zeta$ 라 하면 Orifice에 의하여 행하여지는 일은 다음과 같다.

$$W = 1 / 2 D (\omega \zeta)^2 \dots\dots\dots (8)$$

(7), (8) 식의 관계를 이용하면 감쇄계수 D 는 다음과 같다.

$$D = 4 / 3 \rho_a S_a \zeta / (\beta C_0)^2 \dots\dots\dots (9)$$

이상의 관계로 부터 각 수주의 흡수 Power는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_k = 1 / 2 \omega^2 D_k \zeta_k^2 A \dots\dots\dots (10)$$

여기서 $\zeta_k = 1 - \zeta$

2.3 파력발전기의 흡수율에 미치는 인자

이 장에서는 Kaimei type의 계산결과^{3,4)}와 barge type에 대한 계산 simulation으로 부터 파력발전기의 설계에 중요한 인자들에 대하여 다음과 같이 간단히 정리하였다.

발전기의 폭 : 폭이 증가에 의하여 많은 파력이 미치는 것은 물론, 파장이 짧은 경우 효율 향상에 기여한다.

발전기의 흡수 : 흡수의 증가는 파고의 증가에 따라 좋은 효율을 얻을 수 있으며, 전체적으로 발전기의 상하 운동을 억제할 수 있다.

입사파의 파장 : 발전기의 길이를 결정하는 주요 인자로서 파고에 비하여 파장이 짧은 경우가 많은 에너지를 내포하고 있다. 즉, 한반도 해역과 같은 풍파 지역에서의 파가 이에 속한다.

발전기의 수주 : 원통형의 수주가 사각단면 수주보다 25% 정도 효율이 좋으며, 수주단면의 크기는 Orifice 면적의 크기와 비례함으로써 실제 제작에 있어서 적절히 고려하여야 한다.

입사파의 방향 : 발전기에 미치는 입사파의 각도 변화는 상하운동을 억제할 수 있다.

이상의 내용을 고려하여 New 1 Type을 계획하였다.

3. 계산결과 및 고찰

barge type과 new 1 type의 주요 촌법은 Table 1에 수록하였다.

이들 모형중 new 1 type은 barge type에 대한 수치 simulation으로부터 새롭게 설계되어진 모형이다. 즉, 부력의 역할을 선체측면의 양쪽에서 담당하도록 설계하고 수주의 밑쪽에 불필요한 격벽을 제거함으로써 발전기의 운동에 대한 안정성은 물론 격벽의 간섭으로부터 오는 흡수력의 저하를 방지하기 위하여 설계되었다. 이러한 new 1 type의 3차원 형상과 3차원 특이점분포법의 mesh에 대한 그림을 Fig. 1.2에 나타내었다.

한편, Fig. 2.1, Fig. 2.2에서는 본 연구진의 계산결과와 문헌⁴⁾에 수록된 Kaimei type에 대한 실험결과를 비교하여 나타내었다. 여기서 Kaimei type의 기본 촌법은 barge type과 일치한다.

Table 1 Dimension of calculated models

	Barge type	New 1 type	비 고
Length L(m)	80.0	80.0	
Breath B(m)	12.0	36.0	
Depth D(m)	5.0	10.0	
Draft T(m)	2.0	4.0	
(사용철판 면적 m^2)	480.0	1890.75	3개
중심위치	V.C.G.(m)	2.0	4.0
	L.C.G.(m)	0.0	0.0
	T.C.G.(m)	0.0	0.0
수심(m)	∞	∞	
파고(m)	1.0	2.0	설계파고
Waterline area $A_w(m^2)$	Total number	16개	10개
	$V_a(m^3)$	96.0	1152.0
Air chamber	$A_a(m^2)$	48.0	288.0

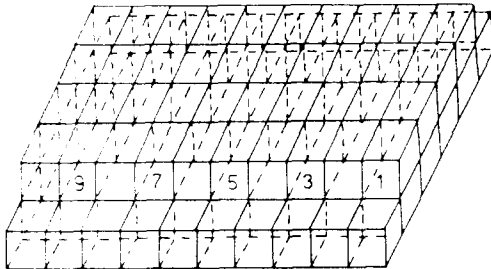


Fig. 1.2 Meshes of model

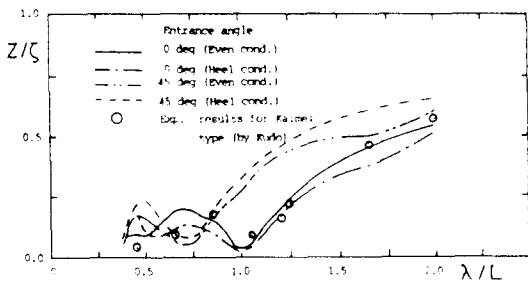


Fig. 2.1 Heave motion amplitude for barge type

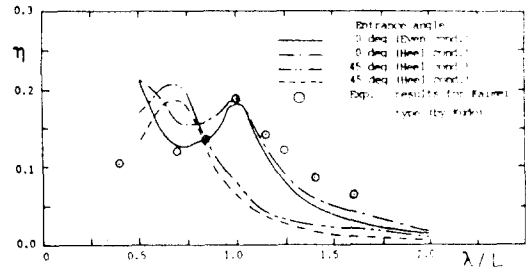


Fig. 2.2 Extracted ratio for barge type (Even condition)

계산 결과의 무차원화는 다음과 같다.

$$\eta = P / P_{ITTC}$$

$$\eta_k = P_k / P$$

파력발전기에 의한 파력 흡수는 발전기의 자체 운동에 의한 것과 파의 운동을 압력으로 변화하는 2가지 형태로 크게 나눌 수 있다.

이 논문에서 수행한 방법은 후자의 것으로 파의 운동에 의한 압력 차를 전기에너지로 변환시키는 방법이다. 따라서, 발전기의 운동은 최소화 시키는데 반하여 파의 운동은 극대화 시킴으로서, 흡수효율의 증가를 가져올 수 있다.

금번 연구에서는 파력발전기의 최적화 설계를 위하여 문헌^{3,4)}에 수록된 barge type을 기본 model로 하여 새로운 model인 new 1 type을 제시하였으며, 결과들을 정리하면 다음과 같다.

3.1 Barge

Fig. 2-1에서 입사파가 0°이고 Heel(10°) 상태일때, 상하운동 성능이 전반적으로 양호하며, 0.6 <math>\lambda/L < 0.8</math> 구간에서는 입사파가 45°이고 Even 상태일때 비교적 작은 진폭을 보이고 있다. 또한, 파력흡수율에 대한 결과를 나타낸 Fig. 2-2를 보면, 흡수율이 양호한 경우는 0.5 <math>\lambda/L < 1.0</math> 일때이며, 이 결과는 설계의 중요한 자료가 될 것으로 생각된다. 그러나, 흡수율 추정이론의 문제점으로 인하여 절대적인 평가는 할 수 없을 것으로 생각되어지나, 상대적인 평가는 할 수 있을 것이다. 특히, 이 model의 설계파고가 1m인 점을 감안한다면, 설계시 파장을 고려해야 할 것이며, heel condition도 주요설계 인자가 될 것으로 생각된다.

3.2 New 1 Type

설계파고를 2m로 할때 파장은 60~80m, 폭은 설계파장의 반정도, 흡수는 설계파고의 2배, 부력 실은 spar buoy의 형상에서 착안하여 수면 밑에 설치하였다. 이 model에 대한 상하운동 계산은 barge의 simulation 결과와는 상이하게 경사시 운동진폭이 크게 나타났다.

또한, Fig. 3.2의 결과는 λ/L 이 1보다 작을 경우 상당히 좋은 흡수과력을 보여주고 있다.

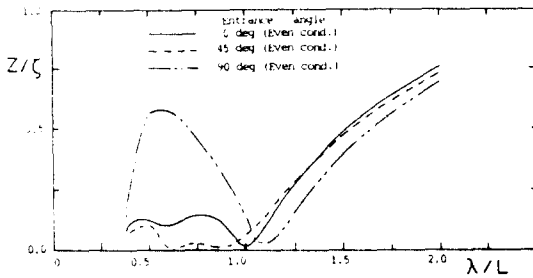


Fig. 3.1 Heave motion amplitude for new 1 type

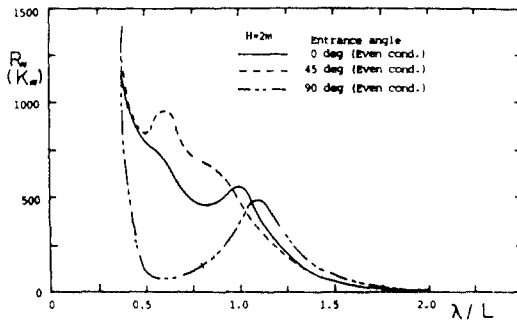


Fig. 3.2 Extracted wave power for new 1 type

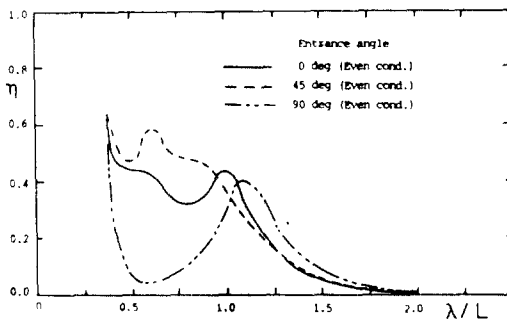


Fig. 3.3 Extracted ratio for new 1 type

3.3 각 수주의 흡수기여율

New 1 Type의 각 수주가 전체 효율에 기여하는 흡수기여율에 대하여 Fig. 4.1 ~ Fig. 4.5에 수록하였다.

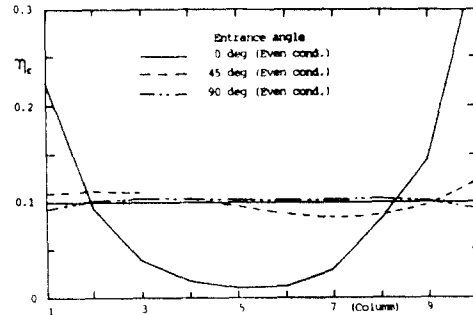


Fig. 4.1 Contribution ratio of each column for extracted ratio at $\lambda/L=1.3$

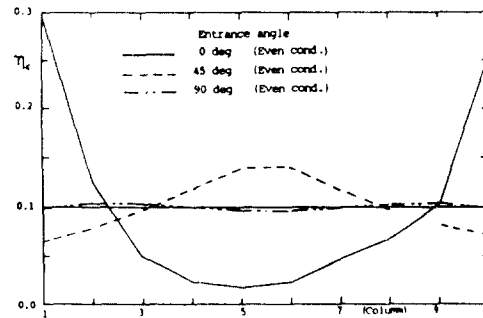


Fig. 4.2 Contribution ratio of each column for extracted ratio at $\lambda/L=1.0$

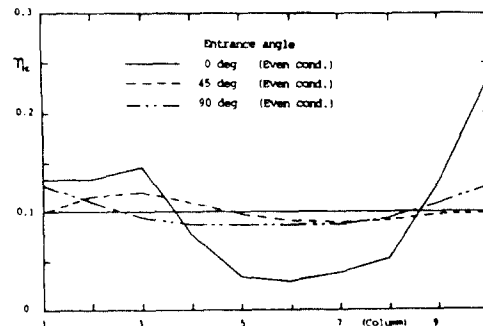


Fig. 4.3 Contribution ratio of each column for extracted ratio at $\lambda/L=0.7$

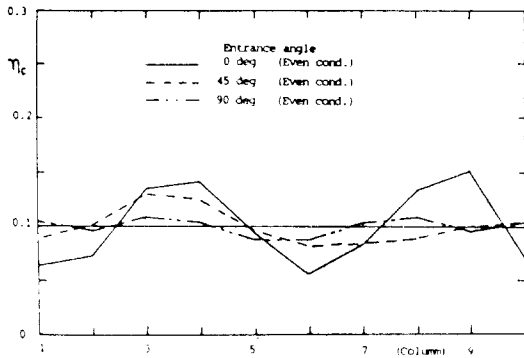


Fig. 4.4 Contribution ratio of each column for extracted ratio at $\lambda/L=0.5$

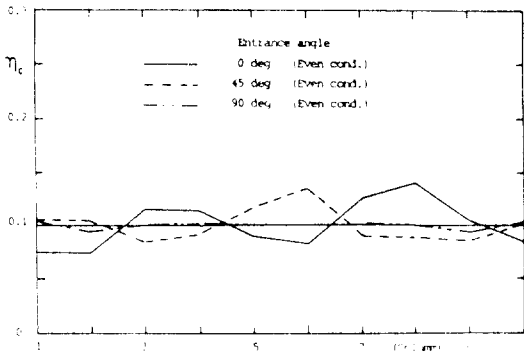


Fig. 4.5 Contribution ratio of each column for extracted ratio at $\lambda/L=0.4$

$\lambda/L > 1$ 인 Fig. 4.1, Fig. 4.2에서 보듯이 각 수주간의 흡수기여율이 어느 정도 대칭성을 유지하고 있으며, 이 결과는 선형적인 흡수율 계산방법이 유용할 수 있음을 예측할 수 있다. 또한 $\lambda/L < 1$ 인 경우에서 입사파의 방향 변화에도 불구하고 각 수주의 흡수기여율은 위치에 따른 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이상의 연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3차원 특이점 분포법에 바탕을 둔 전산 program으로부터 barge type에 대한 계산 simulation을 수행하여, 폭, 흡수, 공기실면적 등, 파력발전기 설계에 필요한 기초 자료를 얻었다.

2. $\lambda/L < 1$ 인 경우의 흡수력이 $\lambda/L > 1$ 인 경우의 흡수력보다 더욱 중요하다는 것을 알 수 있었다.

3. λ/L 의 변화에 따른 각 수주의 흡수율 분포로부터 각 수주의 크기를 결정할 수 있는 자료를 얻었다.

4. 선형적인 흡수파력추정 이론의 여러 문제점으로부터 비선형적인 흡수파력추정 이론이나, 실험식을 계속적으로 연구할 필요성이 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 1) 김성근, 박노식, "파력발전 System에 관한 기초연구(I)" 한국해양공학회 89년도 춘계강연 논문집
- 2) 김성근, 박노식, "해양에서의 파력에 관한 고찰", 대한조선학회 89년도 춘계강연 논문집
- 3) Kimiaki Kudo, Michio Nakato, Akihiro Miyazaki, "海明形波浪發電における負荷條件の最適設計", 일본조선학회 논문집 Vol. 153, 1983
- 4) Kimiaki Kudo, "海明形波浪發電裝置の最適設計", 일본조선학회 논문집 Vol. 156, 1984
- 5) Norimasa Takagi, Yoshinoro Suennaga, Masaaki Sakuta, "復數の振動水柱を有する波浪エネルギー吸收裝置に關する研究", 관서조선학회지 제209호, 1988
- 6) 김성근, 박노식, 김중현, "순상상태에서의 반잠수식해양구조물의 운동 응답 및 표류력에 관한 연구", 한국해양공학회 제2권 2호, 1988