

## 진동수주형 파력발전기의 흡수파력 추정에 관한 연구

金 成 根\* · 朴 命 圭\*\*

## The Estimation for Extracted Wave Power of an Ocean Wave Energy Conversion Device of the Oscillating Water Column Type

Seoung Gun Kim, Myung-Kyu Park

## Abstract

Due to the structural complexity and the mutual interference of "water columns", the estimations of absorption power for a large wave energy conversion devices of floating type in ocean could not achieve the desired results.

Thus, in this paper the authors will propose a new methodology based on the three dimensional source ditribution method. We distributed the source to the device and the thin & light plate in "water column", And from the behaviour of this plate, the power and the pressure in water column are calculated. But, yet method should be proved to be valid by experiment.

## 1. 서 론

파력발전에 관한 연구는 대체에너지를 개발하는 차원에서 뿐만 아니라, 해양공간의 효율적인 이용을 위해서도 시급히 연구되어야 할 과제로 여겨져 왔다<sup>1)</sup>.

70년대의 1, 2차 석유파동으로 대체에너지에 관한 관심이 고조되어 어느정도의 연구성과를 올렸으나<sup>2,3)</sup>, 그 이후의 석유가 안정등으로 연구실적이 저조하였다. 그러나, 90년대 중반에 예상되었던 석유가 양동에 앞서, 90년 8월에 이라크의 쿠웨이트 침공으로 부존자원이 없는 산업국가들은 에너지 수급에 어려움을 느끼기 시작했으며, 대체에너지 연구에 대한 관심이 다시 고조되어 있다. 1988

년 일본의 해양과학기술센터 연구진에 의한 발표 자료<sup>4)</sup>에 따르면 파력발전기의 경제성을 0.32 US dollars/kWh로 추정하고 있으며, 이는 89년도 국내에서의 석유에 의한 발전단가의 2배에 지나지 않는 수칙이다. 이러한 추정치에는 해상에서 육지로의 이송문제, 생산량의 불규칙성으로 인한 문제 등에 대하여 고쳐치 않고 있다. 이와같이 파력발전기의 효율적인 운용에는 현재까지 많은 어려움이 있으나, 가까운 장래에 효율성이 있는 대체에너지의 하나가 될 수 있을 것으로 생각된다<sup>4,5,6)</sup>.

파력발전기를 파랑 에너지의 1차적인 변환 방법에 따라 분류하여<sup>7)</sup> 볼때, 현재로서 가장 효율적인 형태는 진동수주형이라 할 수 있으며, 부유식 진동수주형 파력발전기는 2차원형태와 3차원형태로

\* 울산대학교 조선 및 해양공학과

\*\* 정희원, 한국해양대학 선박공학과 교수

분류할 수 있다. 2차원형태 중에서는 파의 불규칙한 변화를 고려하여 상하방향으로 다수의 진동수 주를 갖고 있는 복수진동수주 파력발전기가 효율적인 실험치를 얻고 있으며<sup>7)</sup>, 3차원형태 중에서는 해양공간이용 및 해양개발 차원의 대형 파력발전기로서 실패역 실험 중인 kaimei 형과 같이 자유표면에 다수의 진동수주를 갖는 형태가 비교적 효율적인 결과를 얻고 있다<sup>4),6)</sup>. 본논문에서는 후자의 형태에서 풍파지역의 해상에 알맞도록 설계되어진 UO3 Type을 모델로 하였다.

본 논문에서는 단위 폭당 입사파의 파력을 자유표면의 일정지역에 작용하는 파력으로 다루었고, 파력발전기의 유체력 추정은 3차원특이점분포법을 이용하였다. 특히, 수주안의 유체 유동을 추정하기 위하여 수주안의 유체 상부에 얇고 가벼운 박판에 존재하는 것을 가정하였다. 이러한 박판에 Source(특이점)를 분포시키고, 이로부터 이 박판의 거동을 추정하여, 이 박판의 거동과 수주안의 유체유동이 일치될 것으로 가정하였다. 이 방법은, 특히, 수주안의 유체유동과 수주, 각 수주간의 간섭효과를 고려할 수 있으며, 실제 상황에서도 수주한 유체유동의 균일화, 유체입자의 분산방지, 등의 장점을 예상할 수 있다. 또한, 수주내 변동압력을 고려하여 Source를 2가지 방법으로 분포시켜 계산을 수행하였다.

이로부터 얻어진 수주내 파고 분포를 이용하여 수주내 유체의 에너지를 계산한 다음 수주내 자유표면 근처의 공기가 갖을 수 있는 에너지를 계산하였다. 이러한 공기의 에너지가 Orifice단면을 통과하는 과정에서 발생하는 손실 에너지를 고려하여 에너지를 추정하였다.

또한, 수주내에서 상하방향으로 왕복 운동중인 유체 입자가 선형파의 성질을 갖는 다고 가정하면, 이때의 유체 입자의 속도로 부터 수주내 유체의 유동을 계산하고, 이 유동량이 공기가 Orifice를 통과할 때의 유동량과 일치할 것으로 보았다. 이로부터 Orifice를 통과하는 압력을 추정하였다.

## 2. 흡수파력 추정

현재까지의 파력은 단위 폭당 파력으로 표현하고 있다<sup>9)</sup>. 그러나, 파력발전기에 미치는 파력의

추정에 있어, 파장의 변화에 따라 자유표면의 일정한 면적에 작용하는 입사파의 파력을 정확히 아는 것이 발전기에 작용하는 파력의 크기를 추정하는데 선행되어야 할 것으로 생각되어 단위면적당 파력에너지를 다루었다. 또한, 파력발전기의 수주내의 유체에 Source를 분포시켜서 수주내 유체 거동<sup>10)</sup>을 알고, 이로부터 제반 여건에 맞도록 계수를 추정하여 파력발전기의 흡수파력 추정식과 Orifice단면을 통과할 때의 공기 압력 추정식을 제시하였다.

### 2.1 입사파의 파력

일정한 폭을 갖는 선형파의 한 파장당 전체 에너지는 다음과 같이 위치에너지와 운동에너지의 합으로 이루어진다.

$$E = E_p + E_k = \frac{1}{8} \rho g H^2 \lambda B \quad (1)$$

여기서,

$\rho$ 는 유체밀도 ( $\text{kgf sec}^2/\text{m}^4$ ),

$g$ 는 중력가속도 ( $\text{m/sec}^2$ ),

$H$ 는 입사파의 파고 ( $\text{m}$ ),

$\lambda$ 는 입사파의 파장 ( $\text{m}$ ),  $B$ 는 자유표면의 일정 폭 ( $\text{m}$ ).

이러한 전체 에너지는 유체 입자의 운동에 기인하는 운동에너지 ( $E_k$ )와 파의 높이에 기인하는 위치에너지의 합으로 이루어져 있으며, 평균적으로 이 두성분은 Deep Sea에서 같은 값을 갖는다. 또한, 일정 지역으로 전달되는 입사파의 파력은 단위 시간당 에너지임으로 다음과 같이 표시된다.

$$P = E_p / T = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g B \quad (2)$$

여기서,

$C_g$ 는 입사파의 군속도 ( $\text{m/sec}$ )

$T$ 는 입사파의 주기

식(2)에서의 단위 시간당 파력을 파장 변화에 따라 일정 지역의 자유표면 ( $L \times B$ )에서 얻을 수 있는 입사파의 파력으로 다루기위하여, 발전기에 미치는 입사파의 파장 변화에 따른 선형파의 파력  $P_r$ 를 다음과 같이 나타내었다.

$$P_r = \frac{1}{8} A \rho g H^2 C_g B / (\lambda / L) \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

여기서,

$A=0.00980665$ 는  $\text{kgfm/sec}$ 를  $\text{kW}$ 로 표시하기 위한 계수,

$L$ 는 자유표면의 일정 길이(m).

이러한 관계를 ITTC Spectrum으로 표현할 수 있는 파에 대하여 적용하면, 파력 발전기에 미치는 입사파의 파장 변화에 따른 파력  $P_{ITTC}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{ITTC} = A \rho g M_0 C_g B / (\lambda/L) \quad (\text{kW}) \quad (4)$$

여기서,  $M_0$ 는 입사파의 스펙트럼 밀도( $\text{m}^2$ ).

### 2.2 파력발전기의 흡수파력

3차원 특이점분포법을 이용한 기존의 흡수파력 추정법과는 달리, 수주안의 유체 상부(자유표면)에 얇은 박판이 존재하는 것을 가정하였다.

수주내의 유체가 자유표면 경계 조건을 만족한다면, 이 경계조건을 만족하는 Laplace 방정식의 해인 Green 함수  $G(x, y, z; x', y', z')$ 를 이용하면 속도 Potential  $\phi(P)$ 는 다음과 같다.

$$\phi(P) = \iint_S \sigma(Q) \cdot G(P, Q) \cdot dS(Q) \quad (5)$$

여기서,

$P(x, y, z)$ 는 유체중의 임의의 점,

$Q(x', y', z')$ 는 물체표면의 일정 면적(S)에 Source를 분포 시킨 점이며,

$\sigma(Q)$ 는 물체표면 S에서의 Source Strength이다.

식(5)에서 Source Strength를 구하기 위하여 양변을 법선 방향으로 미분하고, 점 P를 점 Q에 접근시키면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$-2\pi\sigma(Q) + \iint_S \sigma(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) \cdot dS(Q) = f_n(P) \quad (6)$$

여기서,

$$f_n(P) = \partial\phi(P) / \partial n$$

자유표면 경계조건인 Hull boundary condition 과 식(6)으로부터  $\sigma(Q)$ 를 구할수 있고, 이  $\sigma(Q)$ 를 식(5)에 대입하면 속도 Potential  $\phi(P)$ 를 구할 수 있다.

이러한 속도 Potential  $\phi(P)$ 로 부터 부가질량

과 감쇄계수를 구하고, 이들 계수를 선형운동방정식에 적용하여 수주내 박판의 상하운동 변위를 구할 수 있다.

먼저, 수주내 변동압력에 따라 예상되는 수주내 수위 감소를 고려하여 박판에 Source를 분포시키 고자 하였다. 따라서, 다음의 수주내 수위 감소 계산 방법을 이용하여 박판의 Z방향 위치를 얻었다<sup>12)</sup>.

$$\xi_i = \frac{P_a}{\rho g} Z \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho}\right) \quad (7)$$

여기서,

$P_a$ 는 수주내 공기 압력.

$\rho$ 는 수주밖의 유체 밀도.

$Z$ 는 밀도가 다른 유체의 수주내 높이(m),

$\rho_i$ 는 수주내 유체의 밀도이다.

이러한 수주내 박판의 상하운동 변위( $\xi$ )가 갖을 수 있는 파력( $P_c$ )는 식(3)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_c = \frac{\xi^2}{H^2} \times \frac{1 \times b}{(L \times B)} \times P_r \\ = \frac{\xi^2}{H^2} \times P_{rc} \quad (\text{kW}), \quad (8)$$

여기서,

$l$ 는 수주의 길이,

$b$ 는 수주의 폭,

$L$ 는 발전기의 길이,

$B$ 는 발전기의 폭이다.

식(7)로 부터 얻어지는 수주내 박판의 행하는 압력의 량은 박판내의 유체가 행하는 압력의 량과 같을 수 있다. 또한, 수주내 유체에 의한 파력이 수주안의 자유표면 근처에 있는 공기에 전해주는 관계에 대하여 다음과 같이 각각의 밀도에 비례하는 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_c / \rho_w = P_{cs} / \rho_a \quad (9)$$

여기서,

$\rho_a$ 는 공기의 밀도

$\rho_w$ 는 유체의 밀도,

$P_{cs}$ 는 수주안 공기가 갖고 있는 동력

식(8)에서 얻어지는 수주안의 공기가 갖고 있는 Power는 수주의 단면적과 Orifices의 단면적에

다른 연속방정식에 대입하면 다음과 같이 Orifice를 통과하는 공기의 Power( $P_{co}$ )에 대한 비례식을 얻을 수 있다.

$$P_{co} \cong 1_c/A_o \times P_{cs} \quad (10)$$

비례식(9)에 수주의 단면적 형상과 Orifice측류계수 등을 고려하여 다음과 같이 제안되는 흡수파력 추정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{co} &= A_c/A_o \times C_m \times C_o \times P_{cs} \\ &= \beta \times C_m \times C_o \times \rho_a/\rho_w \times \xi^2/H^2 \times P_{rc} \\ &= \eta \times P_{rc} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,

$C_m$ 는 기체가 왕복운동함에 있어 통과하는 단면이 사각형 임으로 0.8,

$C_o$ 는 Orifice 측류계수로서 0.65,

$\beta = A_o/A_c$ 는 실험치로서 1/167~1/310범위의 값<sup>4)</sup>,

$\eta$ 는 Orifice단면을 통과했을 때의 파력흡수율.

### 2.3 Orifice에서의 공기압력

수주내 유체 입자의 운동이 선형파의 성질을 갖는다고 가정하여, 수주내 유체의 수직방향 속도( $V_z$ )를 다음의 식으로 부터 구하였다.

$$V_z = \pi \times \xi / T_w \times e^{kx} \times \sin(\theta) \quad (12)$$

여기서,

T: 입사파의 주기(sec)

k: 입사파의 파수

Z: 파정 (=  $\xi/2$ )

$\theta$ : 입사파의 X방향 위치

수주내 유체의 수직방향 속도와 수주의 내부 단면적( $A_c$ )으로 부터 수주내에서 변동되어지는 유량을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_w = A_c \times V_z \quad (13)$$

또한, Orifice단면을 통과할 때의 공기의 변동 유량은 다음의 식으로 부터 구할 수 있다.

$$Q_o = C_o \times A_o \times \sqrt{2P(t)/\rho_a} \quad (14)$$

여기서, P(t): Orifice를 통과하는 공기의 변동 압력 ( $kgf/m^2$ )

수주내 유체의 변동 유량( $Q_w$ )과 Orifice단면을 통과할 때에 공기의 변동 유량( $Q_o$ )이 일치한다면, Orifice단면을 통과하는 공기의 변동 압력은 다음의 식으로 부터 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(t) &= \rho_a \times \left(\frac{A_c}{C_o A_o}\right)^2 \times \left(\frac{\pi \xi}{T_w} \times e^{kx}\right)^2 \\ &\times \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 \theta d\theta \quad (kgf/m^2) \end{aligned} \quad (15)$$

### 3. 계산 결과 및 고찰

파력발전기의 유체력추정방법은 3차원 특이점 분포법을 이용하였으며, 이러한 추정 방법은 수주안의 유체유동과 수주, 각 수주간의 간섭효과를 고려할 수 있다. 계산에 있어서는 파력발전기의 수주 격벽의 폭을 무시하여 격벽의 양쪽에 특이점을 분포시켰다. 모델에 분포된 Mesh의 수는 254개 이다. 발전기에 이러한 방법으로 특이점을 분포시킨 이유는 격벽의 폭이 상대적으로 다른 촌법보다 작아서 무시할 수 있고, Computer의 CPU 시간과 계산 용량의 문제에 있었다.

Table 1.에는 Barge Type 모델과 UO3 모델에 대한 기본 촌법을 나타내었다.

Fig. 1에서는 Barge Type의 흡수율에 대한 실험치와 이론치의 비교로 부터 제시하는 이론식의 타당성을 검토하였다. 그러나, 입사파의 파장과 모델의 길이방향 변화에 따른 파력에 대하여 고려하지 않은 실험치와 이론치이다.<sup>3),6)</sup>

UO3 Type의 Heave Motion Amplitued와 Path에 대한 결과는 Fig. 2에 나타내었으며, 자세 변화에 따른 운동변위의 급격한 변화를 볼 수 있다. 진동수주형 파력발전기의 효율향상을 위하여는 운동변위가 작을 수록 좋다고 여겨져 왔으나, 입사파의 방향 변화에 따른 각 Orifice들의 평균흡수율을 나타낸 Fig. 3와 Fig. 2을 비교하여 보면, 파력발전기의 최적 설계방향은 파력발전기의 흡수 효율에 미치는 촌법들에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다.<sup>3),6)</sup>

수주안의 자유표면에 특이점을 분포시키전에 수주안의 공기압력에 의한 수주내 수위 감소는

Table 1. Dimension of UO3 Type Wave Energy Conversion Device

Dimension		Barge Type (M)	UO3 Type (cm)	Comp.
Length(L)		80.0	100.0	
Breath(B)		12.0	45.0	
Depth(D)		5.0	25.0	
Draft(T)		2.0	15.0	
Center of Gravity	V. C. G.	2.0	5.0	
	L. C. G.	0.0	0.0	
	T. C. G.	0.0	0.0	
Water Depth		$\infty$	$\infty$	
Design Wave Height		1.0	5.0	
Design Wave Length		80.0	100.0	
Waterline Area $A_w$		240.0	32.75	$M^2$ & $cm^2$
Air Chamber	Total Num	16개	30개	UO3=26
	$V_a(m^3)$	96.0	1500.0	1354.0
	$A_c(m^2)$	48.0	150.0	135.4
	$\beta(A_o/A_c)$	1/240	1/240	1/200

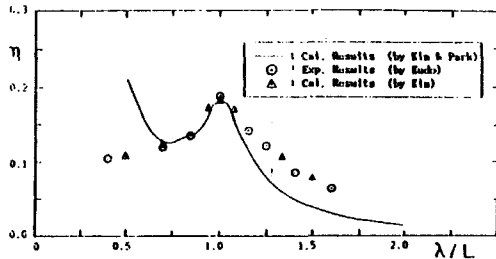


Fig. 1 Extracted Ratios of Wave Power for Barge Type

Orifice단면의 크기에 따라 변화할 수 있으며, 수위 감소치의 계산은 식(7)에 간략히 나타내었다. 수주내 파고의 분포를 추정하기 위하여, 수주내 자유표면에 가벼운 박판이 존재하는 것을 가정하였다. 이러한 수주내 박판을 6등분하여 한 수주내에 6개의 Source, 즉, 발전기 전체에 걸쳐 180개의 Source를 분포시켰다. 그리고, Source을 분포시킴에 있어 수주내 공기압력을 무시한 경우인 Method 1과 고려한 경우인 Method 2에 대하여 계산을 수행하였다. 이박판의 거동을 유체의 거동과 일치할 것으로 보았으며, 실제 상황에서도 박판으로 인하여 수주내 유체유동의 균일화, 유체입자의 분산방지, 등에 장점을 갖을 수 있다.

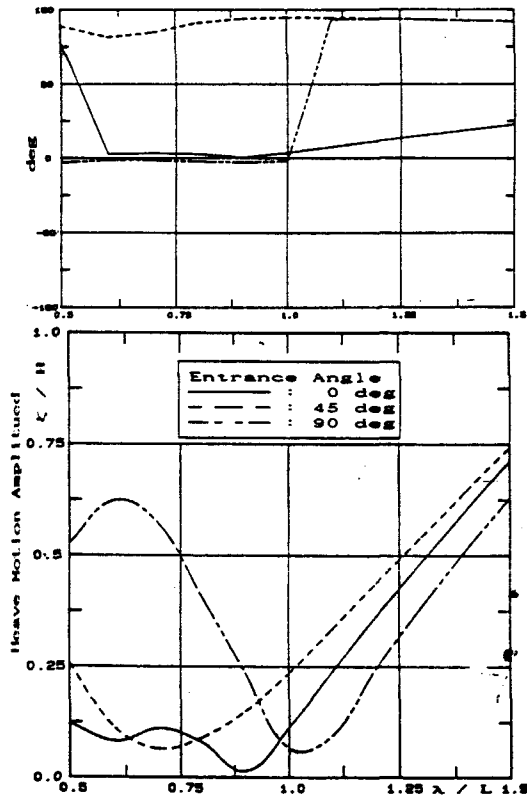


Fig. 2 Amplitude & Path of Heave Motion for UO3

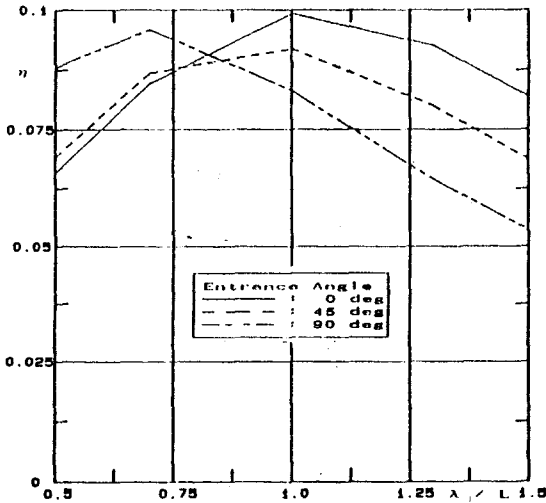


Fig. 3 Average Absorption Ratios for Wave Power

Method 1과 Method 2를 비교하기 위하여 Fig. 4와 Fig. 5에 같은 조건( $\lambda/L=1.0$ , 입사파의 각도=45deg)인 경우 파고 분포를 나타내었으며, 수주내 공기 압력을 고려한 경우가 다소 작은 효율을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6, Fig. 7 & Fig. 8에서는 파장과 자세 변화에 따른 각 수주에서의 파력 흡수율을 분포와 파력 흡수량(kW)로 나타내었다. 단파인 경우에 있어서 흡수율은 적지만 흡수량은 상대적으로 큰 양임을 알 수 있다.

파장과 자세 변화에 따라 Orifice 단면을 통과할 때의 공기 압력을 Table 2, Table 3 & Table 4에 표시하였다. 이러한 정성적인 양은 Orifice의 단면적에 따라 많은 차이를 나타낼 것이며, 수주의 기본 설계에도 고려되어야 할 사항일 것이다. 압력계산에 있어 수주의 단면적과 Orifice의 단면적에 대한 비 즉,  $\beta$ 는 1/200으로 계산하였다.

끝으로, 본 논문에서 다루고 있는 모델은 대형 파력발전기에 속하며, 이러한 대형 파력발전기가 해양중합발전시스템의 기초가 되기 위하여는 기본 설계에 있어 안전성에 대한 문제를 점검하여야 할 것으로 생각된다. 또한, 제시된 추정식들의 정량적인 타당성을 실험 결과치와의 정확한 비교로부터 입증되어야 할 것이다.

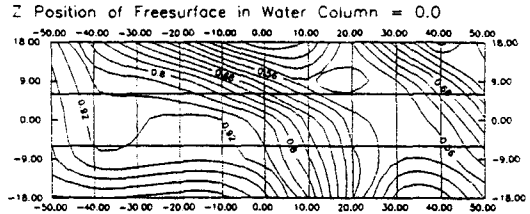


Fig. 4 Distribution of a Fluid Amplitued in Columns by Method1 ( $\lambda/L=1.0$  incident wave direction=45°)

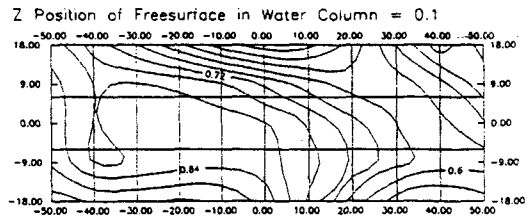


Fig. 5 Distribution of a Fluid Amplitued in Columns by Method2 ( $\lambda/L=1.0$  incident wave direction=45°)

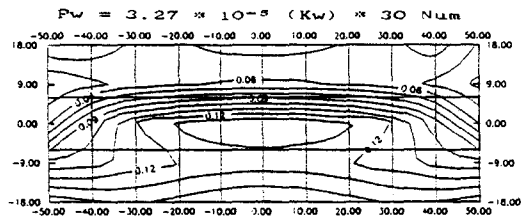


Fig. 6 Distribution of an Air Power through out Orifice areas by Method1 ( $\lambda/L=0.7$  incident wave direction=90°)

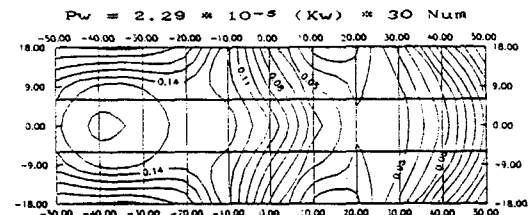


Fig. 7 Distribution of an Air Power through out Orifice areas by Method1 ( $\lambda/L=1.0$  incident wave direction=0°)

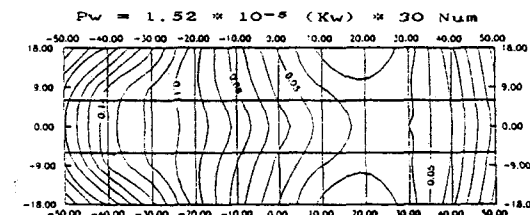


Fig. 8 Distribution of an Air Power through out Orifice areas by Method1 ( $\lambda/L=1.5$  incident wave direction=0°)

**Table 2. Distribution of Pressure through out orifices**  
 $(\lambda/L=0.7 \text{ Incident Wave Direction}=90^\circ)$

$T_w=0.66992E+00(\text{sec}) \quad K=0.89760E+01$

$(10^{-3} \text{ N/cm}^2)$

(134)	(142)	(141)	(139)	(137)	(137)	(139)	(141)	(142)	(134)
(204)	(314)	(376)	(407)	(420)	(420)	(407)	(376)	(314)	(204)
(365)	(365)	(384)	(401)	(411)	(411)	(401)	(384)	(365)	(365)

**Table 3. Distribution of Pressure through out orifices**  
 $(\lambda/L=1.0 \text{ Incident Wave Direction}=0^\circ)$

$T_w=0.80071E+00 \quad K=0.62832E+01$

$(10^{-3} \text{ N/cm}^2)$

(299)	(287)	(293)	(272)	(193)	( 99)	( 58)	( 70)	(128)	(208)
(239)	(228)	(253)	(269)	(240)	(155)	( 86)	( 70)	( 99)	(186)
(299)	(287)	(293)	(272)	(193)	( 99)	( 58)	( 70)	(128)	(208)

**Table 4. Distribution of Pressure through out orifices**  
 $(\lambda/L=1.5 \text{ Incident Wave Direction}=0^\circ)$

$T_w=0.98067E+00 \quad K=0.4188E+01$

$(10^{-3} \text{ N/cm}^2)$

(211)	(165)	(134)	(102)	( 73)	( 47)	( 31)	( 32)	( 52)	( 96)
(183)	(146)	(130)	(111)	( 84)	( 60)	( 43)	( 39)	( 52)	( 88)
(211)	(165)	(134)	(102)	( 73)	( 47)	( 31)	( 32)	( 52)	( 96)

#### 4. 결 론

이상의 연구 결과로부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 파력발전기의 운동변위와 흡수파력이 선형적

으로 반비례하지 않음을 알 수 있었다.

2) 입사파의 파장 변화에 따른 파력발전기의 자세 변화는 흡수파력의 증가를 얻을 수 있음을 확인하였다.

3)  $\lambda/L$ 이 1.0이하에서의 파력 흡수량이 파력받

전기의 효율에 중요한 부분임을 알 수 있다.

### 참고문헌

- 1) 前田久明, 山下誠也, “波浪エネルギー—一次變換裝置” 일본조선학회지 제637호, 1982.
- 2) K. Kudo, M. Nakato, A Miyazaki : “海明形波浪發電にあける負荷條件の最適設計” 일본조선학회 논문집 VOL. 153, 1983.
- 3) Kimiaki Kudo : “海明形波浪發電裝置の最適設計” 일본조선학회 논문집 VOL. 156, 1984.
- 4) H. Hotta, T. Miyazaki, Y. Washio & S-I. Ishii : “On the Performance of the Wave Power Device KAIMEI—the Results on the Sea Test” 7th International Conference on OMAE, 1988.
- 5) 김 성근, 박 노식 : “해양에서의 파력에 관한 고찰” 대한조선학회 89년 춘계강연 논문집, 1989.
- 6) 김 성근, 박 노식 : “파력발전System에 관한 기초연구(II)” 한국해양공학회 제4권 1호, 1990.
- 7) N. Takagi, Y. Suennaga, M. Sakuta : “複數の振動水柱あ有する波浪エネルギー—吸收裝置に關する研究” 관서조선학회지 제209호, 1988.
- 8) 김성근, 박노식, 김종현 : “손상상태에서의 반잠수식 해양구조물의 운동 응답 및 표류력에 관한 연구” 한국해양공학회 제2권 2호, 1988.
- 9) Michal E. McCormik : Ocean Wave Energy Conversion, Willey Interscience, 1981.
- 10) S.G. Kim & R.S. Park : “A Study on the Control of Hydrodynamic Forces for Wave Energy Conversion Device” the 1st PACOMS, 1990.
- 11) S.K Charkrabarti : Hydrodynamics of Offshore Structure, Computational Mechanics Publications, 1987.
- 12) J.P. Hooft : Advanced Dynamics of Marine Structures, Willey Interscience, 1982.
- 13) 朴命圭·金成根 : “파력 발전기에 미치는 유체력의 제어에 관한 연구” 한국항해학회지 제14권 4호, 1990.