

大韓造船學會論文集
 第28卷 第2號 1991年 10月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol.28, No.2, October 1991

고정식 파력발전용 OWC챔버의 성능과악을 위한 실험적 연구 현 범수*, 이 판목*, 공 도식*

An Experimental Study on Performance of the Fixed-type OWC Chamber for Wave-Energy Conversion

by

B. S. Hyun*, P. M. Lee* and D. S. Gong*

요 약

본고는 진동수주(Oscillating Water Column : OWC)와 에어터어빈으로 구성된 고정식 파력발전장치의 특성파악을 위한 실험적 연구를 다루고 있다. 실험의 단순화를 위하여 에어터어빈은 이에 등가한 압력강하를 주는 와이어메쉬 스크린으로 대체하여 챔버내 공기유동 및 파랑운동간의 상호작용을 시물레이션하였다. 실험은 예인수조에 설치된 조파기를 이용하여 주파수 범위 0.22-0.75Hz인 규칙파 중에서 실시되었다. 실험결과는 홍도천 등 [4]의 2차원 포텐셜 수치해석결과와 비교되었으며, 상호 잘 일치된 결과를 얻을 수 있었다. 와이어메쉬 스크린을 사용한 공기터어빈의 시물레이션 결과로부터 OWC챔버에 미치는 스크린의 영향은 본 연구에서 설정한 실험범위 내에서는 무시할 만한 것으로 나타났다. 정성적으로 볼때 본 형상을 갖는 약 6m정도의 시제품을 제작한다면 주파수 0.3Hz 이내의 해양파중에서 실제 사용이 가능할 것으로 여겨진다.

Abstract

The present paper describes the experimental study on the fixed-type wave-energy conversion system, consisting of the OWC-type wave-energy absorbing chamber and the duct for the air turbine. For simplicity, a screen of wire mesh was employed in place of an air turbine in order to simulate its effects on OWC chamber. Experiments were performed at the towing tank in regular waves with the frequency range of 0.22-0.75Hz. Comparison with the numerical prediction using a potential flow-based method [4] was made to validate the capability of numerical code. It was shown that the agreements between measured and calculated results are quite good, giving a confidence in prediction method. Simulation of air turbine using a wire-mesh screen was successful, at least in a qualitative sense, to investigate the inter-

발표 : 1991년도 대한조선학회 춘계연구발표회('91. 4. 13.)

접수일자 : 1991년 6월 7일, 재접수일자 : 1991년 7월 8일

* 정회원, 한국해사기술연구소

action between the OWC chamber and an air turbine. Results also showed that the effects of a wire-mesh screen on chamber efficiency are negligible, and the present model can be effectively utilized for the practical use in ocean waves with the frequency range under 0.3Hz.

1. 서 론

파력발전장치란 파랑의 에너지로부터 사용가능한 전기적 혹은 기계적 에너지를 추출해내는 장치로, 외국의 경우 이에대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 특히 일본의 경우 파력발전 및 해양공간이용 차원에서 여러 형태의 파랑에너지 흡수장치들이 개발되고 있다[1],[2]. 국내에서도 이의 실용화를 위하여 동해안에서 파랑 제측을 실시한바 있으며, 그중 경북 죽변 근해와 같이 유의파고 약 1.2m, 주기 약 6초의 실용가능한 해역이 추천 된바있다[3]. 당 연구소에서도 파랑에너지 이용에 관하여 참고문헌 [4]에 소개된바와 같이 OWC방식 (진동수주방식) 에너지 흡수장치에 관한 수치해석기법을 개발한바 있다.

본 연구는 기 개발된 수치해석기법을 이용하여 원하는 파도 응답 특성을 주는 OWC 챔버를 설계, 이에대한 파력 흡수 효율의 추정을 위한 파랑중 모형시험 결과를 다루고 있다. 실험모형은 1차 에너지 변환장치인 OWC 본체 및 공기실로 구성되었다. 파랑에너지의 2차 변환 장치인 공기터어빈이 OWC 챔버 효율에 미치는 영향을 고려하기 위하여, 가상으로 선정된 공기터어빈에 등가의 압력강하를 주는 와이어메쉬 스크린(Wire-Mesh Screen)을 사용하여 터어빈과 공기실 내부유동 및 챔버내 파랑운동간의 상호작용을 시뮬레이션하였다. 이는 또한 실험결과를 바탕으로하여 추후 터어빈을 설계하는데 기초자료를 삼고자 하는데도 목적이 있었다.

실험은 길이(FL)-폭-물수깊이가 각각 1.8m-1.9m-1.8m인 직사각형 OWC 챔버를 수조내에 고정식으로 설치한 후, 0.22Hz에서 0.75Hz 사이의 주파수 범위를 갖는 규칙파 중에서 실시

하였다. 실험결과, 와이어메쉬에 의하여 모델링된 공기터어빈의 효과는 메쉬스크린이 없는 경우에 얻어진 실험결과치들과 비교하여 챔버 성능에 거의 영향을 미치지 않으며, 공기실을 통하여 유입, 방출되는 공기의 양에도 거의 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 챔버효율은 파도의 주파수가 0.3Hz이내의 장파시에 크게 얻어졌으며, 그보다 짧은 파에서는 좋지않은 성능을 보였다. 한편 본 실험결과를 2차원 포텐셜이론에 의한 수치해석 결과와 비교할때 서로 매우 잘 일치하는 결과를 얻을수 있었다. 이는 실험에 사용된 모형이 3차원 효과를 보여 줄 것이라는 점을 고려할때 3차원 효과는 전체 성능에 큰 영향을 주지 않음을 의미하며, 실제 설계시에 간단한 2차원적 해석만으로도 비교적 좋은 결과를 얻을수 있을 것으로 여겨진다.

2. 파력발전장치 구성 개요

2.1 1차 에너지 변환장치

파력에너지 1차 변환장치란 파랑에너지를 기계적으로 변환 가능한 에너지 형태로 변환하는 장치로 여러 형태의 장치가 고안되어있는데 [5], 본 연구에서 사용하고 있는 진동수주형인 경우 OWC 챔버자체를 일컫는다. OWC본체 설계의 요점은 OWC본체 내부의 유체가 외부의 입사파의 영향으로 특정주파수에서 공진을 일으키게 하는데 있는데, 공진이 일어나면 수주의 상하 운동 진폭이 커지게 되어 챔버내 공기실에서 노즐(혹은 덕트)을 통하여 대기중에 유출되는 유량이 커지고, 따라서 공기터어빈에서의 에너지 흡수도 커지게 된다.

수치실험에 필요한 이론 및 기본적인 전산 프로그램은 참고 문헌 [4]에 소개된바 있으며, 자세한 설명은 생략하기로한다. 이는 2차원 포텐셜 이론에 근거를 둔 선형 연립방정식을

그 배경으로 하였으며, 공기실내에서의 공기의 압축성 및 점성 효과등은 무시하였다.

Terminator형 OWC의 형상에 대한 조사 결과, 저판이 있으며 입사파와 수직한 개구를 가지는 단면형상의 파랑 에너지 흡수효율이 다른 형상에 비하여 높은 것으로 판명되었다[6]. 홍도천 등[4]에서는 이러한 단면형상에 대하여 저판의 경사각도, 후판의 경사각도 및 개구부의 경사각도를 여러가지로 변화시키며 효율계산을 수행하였으며, 본 연구에서는 그 결과에 근거하여 Fig. 1에 보인것과 같은 최종모형을 채택하였다. 이는 파장이 긴 해양파가 실제 파력발전에 유용한 점을 감안, 저주파수에서 좋은 성능을 보이도록 조절된 것이다.

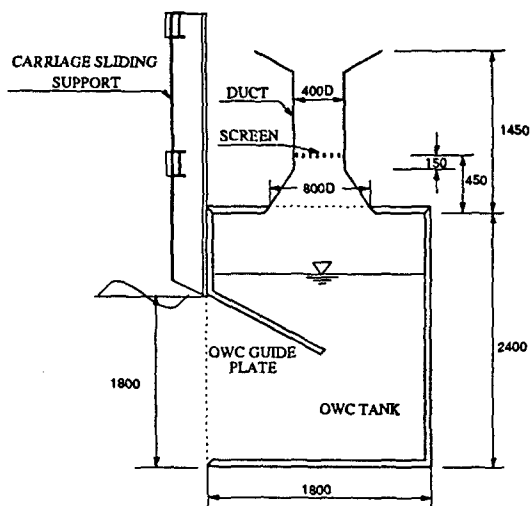


Fig. 1 OWC Chamber and Duct

2.2 2차 에너지 변환장치

본 연구의 범위는 2차 변환장치인 공기터어빈의 설계를 위한 유용한 자료를 얻는데 까지로 제한하였다. 따라서 2차 변환장치에 대한 자세한 서술은 필요치 않으나 다음장에서 보일 압력불연속면 (와이어메쉬 스크린)의 첨가에 의한 공기터어빈의 시뮬레이션을 설명하기 위하여 2차 변환장치 설계시 고려될 사항에 대한 개괄적인 내용을 담고자 한다.

파랑에너지 2차 변환장치란 앞장에 서술된 1차 변환장치로 부터 얻어진 역학적 에너지를 열이나 전기와 같은 에너지 형태로 바꾸어 주는 장치들을 일컫는다. 이장치는 1차 변환방법 및 최종적인 에너지 이용 방법에 따라 그 기능이 달라지게 되는데, 진동수주형 변환기(OWC)를 사용하는 경우 파의 상하운동으로 인하여 주기적인 특성을 갖는 공기류의 방향을 일정하게 조절해 주는 정류 기능, 정류된 공기류로부터 회전에너지를 얻는 공기 터어빈 및 회전에너지로 부터 전력을 생산하는 발전기 등 세부부분으로 대별된다. 그러나 왕복 운동을 하는 공기의 유동장내에서 그 작동이 불가능한 일반적인 공기 터어빈과는 달리, 자체 정류기능을 가진 Wells 터어빈을 사용하면 별도의 정류장치가 필요치 않기 때문에 최근 일본등지에서 많이 응용되고 있으며 당 연구소에서도 이의 사용에 초점을 맞추어 추후 계속 연구할 예정이다. 그 작동원리는 날개의 공기역학적 특성으로 부터 터어빈의 날개가 로우터 회전축에 수직한 평면에 대하여 면대칭으로 배치된 것에 의한 것으로, 이 면대칭성에 의하여 덕트내 터어빈의 회전방향 힘은 공기류의 유입방향에 무관하게 항상 일정한 방향으로 작용하여 터어빈 구동력으로 사용된다. 이때 터어빈의 회전방향 및 회전력은 입사류에 대한 날개의 기하학적 형상에 따라 결정된다.

Well 터어빈의 설계시 고려해야될 주요 파라미터는 터어빈에서의 압력강하 Δp (터어빈 전후방 사이의 압력차이)와 터어빈에서 발생된 토크 T 이다. 전자는 터어빈 상류에서의 공기압력과 터어빈 날개면 뒤의 압력 사이의 관계로서 터어빈에 제공된 유체력학적 파워 입력이며, 후자는 그 에너지를 회전 에너지로 변환시킨 파워 출력에 대응되어 터어빈의 효율을 추정케 된다. 이중 Δp 는 터어빈 로우터 형상 및 터어빈이 장착된 덕트 내부의 공기유속 등에 의하여 구해지게 되므로 결국은 파의 상하운동 특성과 관련지어 생각해야 한다.

계측하거나 계산을 통하여 구한 수면 평균속도로부터 덕트 내부유속은, 연속조건으로 부터 근사적으로 추정할수있다. 추정된 덕트내 축방향 유속이 u_a 인 유동장에서 작동하는 Wells 터어빈의 성능을 정상상태에서 압력손실계수 ψ 와 토오크 계수 C_T 로 표현하면 다음과 같다.

$$\psi = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho_a(u_a^2 + u_t^2)} \quad (1)$$

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho_a(u_a^2 + u_t^2) A_d R_i} \quad (2)$$

여기서 $u_t = \omega R_i$

ω = 날개의 회전각속도

$A_d = \pi(R_i^2 - R_b^2)$

R_i, R_b = 터어빈 날개 끝 및 허브반경

터어빈의 효율은 다음 식으로 정의된다.

$$\eta_i = \frac{T\omega}{(\Delta p)Q_d} \quad (3)$$

여기서 Q_d 는 덕트단면에서의 유량을 나타낸다. 이상에서 정의된 변수들은 터어빈이 정상상태에서 작동된다는 가정을 포함하고 있다. 그러나, 실제상황에서 압력강하와 토오크 값들은 파의 상하운동에 따라 주기성을 가지고 변화할 것이므로 실제 계측시에는 이의 시간에 대한 평균값을 취하는 것도 바람직하다.

3. 와이어메쉬(Wire Mesh)를 이용한 공기터어빈 시뮬레이션

전술한 바와같이 본 논문에서는 OWC 챔버 효율에 터어빈이 미치는 영향을 터어빈없이 효과적으로 시뮬레이션하기 위하여 와이어메쉬를 사용하여 터어빈 상하부의 압력강하를 모델링하였다. 즉, 터어빈이 장착될 덕트와 챔버내 공기실 사이 연결부에 원하는 압력강하를 발생시킬 수있는 메쉬 스크린을 삽입하여 그 상하부에 압력차이를 주게된다. 물론 메쉬 스크린을 통하여 얻을 수 있는 압력강하의 크기에 한계가 있고, 터어빈 주위유동의 3차원성을 고려할 때 엄밀한 의미의 모델링은 불가하나 고려하는 파력발전장치의 특성파악에는 충분한 정도의

자료제공이 가능한것으로 판단하였다.

덕트내에 장치된 터어빈주위 유체의 운동에 너지는 모멘텀이론에 의하면 유체가 터어빈 날개면을 통과하면서 발생된 압력 강하로 표시할 수 있다. 본 모형실험의 경우 유동은 비압축성이고 덕트내에서 균일하다고 가정한다. 압축성에 대한 고려를 비롯한 자세한 사항은 Horlock [7]에 나타나있다. Fig. 1에 나타난 메쉬스크린(불연속면)의 전후방 값들을 각각 아랫첨자 1, 2로 나타내면, 연속의 정리 및 모멘텀 밸런스에 의해서 모멘텀 F는

$$F_1 = D + F_2$$

즉,

$$D = F_1 - F_2 = p_1 - p_2 = \Delta p \quad (4)$$

와 같이 표시되어 스크린에 작용하는 힘은 그 상하부에서의 압력차이 만으로 나타난다. 이때 D는 메쉬스크린에 걸리는 항력을 의미한다. 이로부터 저항계수 K를 정의하면,

$$K = D \frac{D}{\frac{1}{2}\rho_a u_1^2} = \Delta p / (1/2)\rho_a u_1^2 \quad (5)$$

로 표시된다. 여기서 K는 전 절에서 정의된 식 (1)의 ψ 에 대응한다. 한편 파력발전장치 설계시 요구되는 예상 파워 출력을 설정하면 터어빈 날개 상하부에서 필요한 압력강하는 다음과 같이 구할수 있다.

$$\Delta p = P / \eta_i u_1 A_d \quad (6)$$

여기서 η_i 는 예상 터어빈효율을, P는 예상 터어빈 출력을 나타낸다. 식 (6)으로 얻어진 Δp 에 맷칭될 수있는 와이어메쉬의 종류는 메쉬타입과 압력강하계수 K 사이에 대한 McCarthy [8]의 실험식

$$K = c s / (1-s)^2 \quad (7)$$

과 식 (5)로 부터 결정할 수 있다. 여기서 c는 McCarthy가 정의한 손실계수 (=0.78)이며, s는 전체 메쉬 스크린 면적중 망에의한 공간폐쇄율을 나타낸다.

4. 실험장치 및 방법

4.1 모형실험장치

진동수주형 챔버는 입사파의 파장, 입사파

방향의 챔버길이(특성길이), 챔버의 형상, 입사파 유도 경사측벽의 경사각, 몰수 수심 등에 의해서 그 효율이 크게 변화한다. 본 실험은 해사기술연구소가 보유한 심수 대형수조에서 실험 가능한 크기로 모형을 제작, 수행되었는데 제작된 OWC챔버의 주요치수들은 Fig. 1에 표시되어 있다. 특성길이(FL)를 1.8m, 몰수깊이(D)를 1.8m로 결정하였으며, 파도가 OWC 챔버를 넘지않도록 0.6m의 여유를 두어 높이를 2.4m로 정하였다. OWC챔버의 형상은 수치계산과의 비교목적을 위하여 직사각형으로 제작하였다. 입사파 유도 경사측벽의 경사각을 조절할 수 있는 모델은 다양한 실험결과를 줄 수 있으나, 본 연구에서는 실험의 편의성을 고려하여 대표적인 경사각을 설정하였다. 챔버의 폭은 수조내 트리밍 탱크(Trimming Tank)의 최대폭이 2.0m임을 감안, 1.9m로 정하였다. 이상적으로는 챔버폭을 약 3m 이상으로 길게하여 OWC챔버 내 파고변화에 3차원효과가 일어나서 파고가 동조되지 않는 것을 방지해야한다.

챔버 재질은 수중에 설치되는 장치이므로 스테인레스 강판으로 제작하고 보강하였으며, 챔버내부의 파고변화를 가시화할수 있도록 챔버의 좌우 및 후방 3곳의 측벽에 0.6x0.8m 크기의 관측창을 설치하였다. 또한, 챔버내 수위변화를 계측하기 위한 파고계를 챔버상단에 설치할수 있는 구조로 설계되었다.

길이가 1.0m인 덕트는 내부 가시화가 가능하도록 아크릴로 만들었고 반경은 40cm로 하여 추후 이에 대응하는 공기터어빈을 장치할수 있도록 하였다. 터어빈 주위의 압력강하를 모델링하기 위한 와이어메쉬의 종류는 챔버내 예상유동의 최대출력점과 중간지점의 두가지 경우에 대하여 식(7)에 따라 표 1과 같이 결정하였는데, 이때 최대 터어빈 출력 설계점은 약 30Watt 정도의 전력을 생산해내는데 기준을 두었다.

메쉬스크린을 통한 압력강하를 계측하기 위하여 2개의 압력탭(Pressure Tap)을 덕트내에

Table 1 Two Mesh-screens Employed in the Present Experiment

	선경(mm)	매쉬	공간패쇄율	K	중첩시K
메쉬스크린 #1	0.3	20	0.416	0.95	0.95
메쉬스크린 #2	0.6	8	0.342	0.65	1.60
	+0.3	20	0.416	0.95	

(스크린 #2는 두장의 메쉬스크린을 중첩하여 Soldering함)

설치된 메쉬스크린 상하 각 5cm 떨어진 위치에 설치하였다. 한편 메쉬스크린의 후류 약 40cm 떨어진 위치의 덕트 중앙부에 피토크관을 설치하여 덕트내 유속을 계측하였다. 이때 피토크관은 유동의 방향이 파의 한주기 마다 주기적으로 바뀌게 되므로 오직 1/2주기에 대해서만 신빙성 있는 결과를 줄수있다.

본 연구에서는 고정식 파력발전 장치에 적용될 수 있도록 파력발전 챔버를 Fig. 2에 나타난 바와 같이 예인전차에 고정시켰다. OWC 챔버와 상부덕트는 밀폐형으로 연결하였으며, OWC챔버상단에 직각 보강재를 부착하여 예인전차 후면에 고정시켰다.

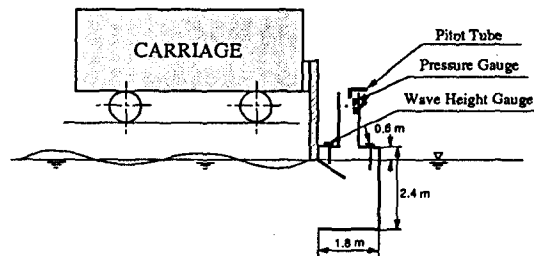


Fig. 2 Installation of OWC Chamber in Towing Tank

4.2 계측시스템 및 실험조건

OWC탱크내 수위변화를 계측하기 위하여 용량식 파고계를 설치하였다. 챔버내 파고는 수위변화가 국부적으로 차이를 보일 수 있으므로 여러 위치에서 계측하는 것이 바람직하나, 본 실험에서는 폭방향으로 유동이 2차원이라고 단 순화하여 전후방향으로 $\frac{1}{4}FL$, $\frac{1}{2}FL$, $\frac{3}{4}FL$ 되는

3위치에서 파고를 계측, 그 평균값을 이용하였다. 파고계는 챔버천장에 별도의 스트럿을 부착하여 설치하였다.

한편, 메쉬스크린 주위에서의 압력강하 및 유속을 계측하기 위한 압력계측용 센서는 Validyne사 제품인 Diaphragm 방식 압력변환기로서, 압력이 전기적인 신호로 변환되어 Validyne CD45 Carrier Demodulator를 거쳐 P/C에서 데이터 처리되도록 시스템을 구성하였다. Diaphragm의 선정은 본 실험이 수중에서가 아닌 공기중에서의 속도계측이므로 작은 수두차이에도 민감하게 반응할 수 있는 소용량인 것을 사용하였다. 최대 사용 가능한 수두는 35mm 이었다. 압력변환기 역시 낮은 압력범위에서 고정도를 갖는 차압식 (Differential Type)의 Validyne DP103 시리즈를 사용하였다. 한편, 유속계측을 위하여 사용된 피토크관은 직경이 2.38mm인 Prandtl-type 튜브였다.

Fig. 3은 실험에 사용된 계측시스템의 개략도를 나타낸다. 용량식 파고계 4채널과 Validyne 압력센서 2채널 (압력강하 계측용 및 속도계측)을 합하여 6채널의 아날로그 신호의 취득을 위하여 IBM P/C 호환기종인 16CH A/D 변환기 LabMaster를 설치하여 P/C에 데이터를 기록하였다. 데이터취득 주파수 및 취득시간은 각각 20Hz, 25초로 선정하였으며, 입사파도의 주파수가 매우 낮은 것을 고려할

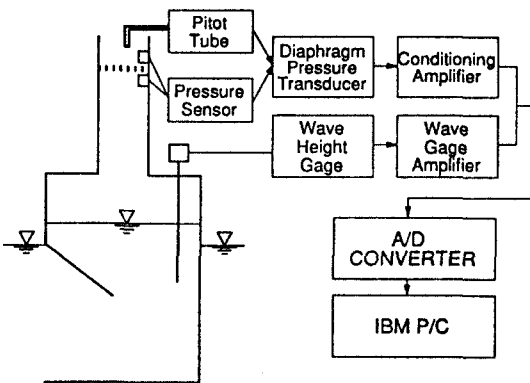


Fig. 3 Block Diagram for Measuring Instruments

때 충분한 것이었다.

파력발전장치 개개의 인자들이 발전효율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험조건을 다음과 같이 세가지로 선택하였다.

1. 스크린이 없는 상태에서 파고 및 속도계측
2. 덕트 내에 $K = 0.95$ 인 스크린을 설치하고 파고, 속도 및 압력강하계측
3. 덕트 내에 $K = 1.6$ 인 스크린을 설치하고 파고, 속도 및 압력강하계측

실험조건 1은 챔버의 특성길이, 입사파 유동경사벽, 물수심등 챔버의 설계에 따른 챔버내의 파고증가 효율만을 관찰할 목적으로 선택된 것이다. 실험조건 1은 2차 변환장치인 터어빈에 의한 영향, 즉 터어빈 주위의 압력강하가 고려되지 않은 단순화된 조건이므로, 실험조건 2와 3을 선정하여 압력강하가 존재할 때의 챔버효율을 관찰하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 메쉬스크린이 장착되지 않은 경우

실험은 당 연구소 수조내 조파기의 용량을 고려하고, 각 파장 조건에 대해서 쇄파가 발생하지 않으면서 충분히 큰 파도를 생성시킬 수 있는 범위로 하여, 파장 7m 이상의 장파시 파고 3-23cm, 그보다 짧은 단파시 2-7cm의 파고 범위 내에서 실시하였다. 그중 주된 실험은 챔버로부터 덕트로 배출되는 유동이 발전에 가능한 최소한의 유량이 유지되도록 하기 위하여 장파시 파고 12-18cm 범위에 중점을 두었다.

Fig. 4에는 한 주어진 실험조건에서 시간에 따른 챔버내 3위치에서의 파고, 덕트 입구에서의 유속 및 압력강하의 예가 도시되어 있는데, 이 그림으로부터 실험의 전반적인 경향 및 정성적인 특성을 알 수 있다. 그림 a)는 입사파를, 그림 b)-d)는 챔버내 세위치에서의 파도응답을 보여주며, 그림 e) 및 f)는 각각 덕트내 공기 유속과 압력강하를 나타낸다. 그중 공기유속계측은 피토크관이 한 방향으로만 위치해 있는 관

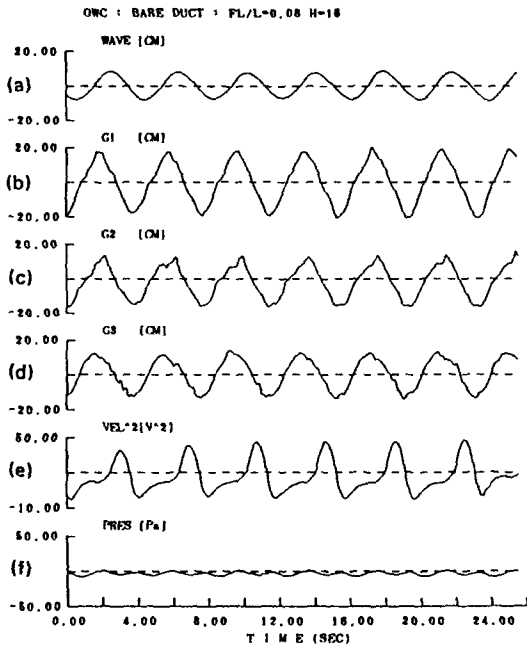


Fig. 4 Example of Measured Wave Heights and Air velocity ($FL/\lambda=0.08$)

계로 오직 반주기에 대하여만 신뢰할수 있는 결과를 줌에 유의해야 한다. 챔버내 파도응답은 입사된 규칙파와는 달리 거의 삼각파의 형태를 하고 있으며, 입사파와 약간의 위상차를 보이고 있다. 파고치들과 공기유속 사이의 위상차는 공기의 최대유속이 수면상속도의 최대치가 되는 파고의 두 정점 중간의 최대경사점 근처에서 얻어지는데 기인한다. 배쉬스크린을 부착하지 않았으므로 압력 강하값은 거의 존재하지 않았다.

Fig. 4의 경우에는 챔버내 계측파고들 사이에 주기의 변화가 거의 보이지 않고 있으나, 만일 위상의 차이가 나타나는 경우 챔버성능에 악영향을 주게되며 챔버내 평균수면 변동을 구하는 데에도 문제가 있게된다. 이에대한 예가 Fig. 5에 나타나있다. 그림 a)-d)는 각각 입사파 및 챔버내 파도응답을 보여주며, 그림 e)는 그림 b)-d)의 평균치로 위상차를 고려하여 구한 결과이다. 챔버내 자유표면의 상하운동은 비교적 활발하나 덕트를 통하여 유출되는 공기

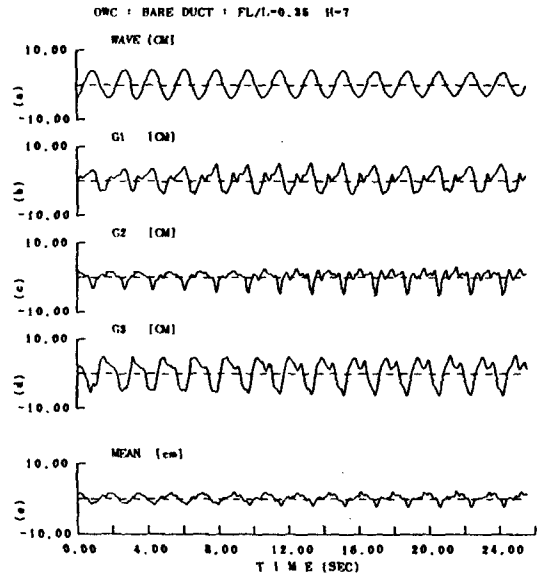


Fig. 5 Example of Measured Wave Heights ($FL/\lambda=0.35$)

유속은 거의 존재하지 않음을 알수있다. 즉, 당연한 사실이지만 챔버의 설계시 파의 2차 공진 모우드가 챔버내에서 발생하지 않도록 주의하는 것이 중요함을 의미한다.

주된 실험에 앞서 먼저 동일 파장에서 입사파의 파고변화에 따른 챔버내 파도응답의 선형성을 보기위하여 몇개의 파장에 대하여 파고를 변화시켜 보았다. Fig. 6에 예로보인 $FL/\lambda=0.11$ ($\lambda=16.36m$)의 경우 입사파로 무차원화된 챔버내 공간 평균 파고를 보면, 입사파고 변화에 따라서 결과에 어떤 특이한 경향을 보이지 않고 거의 선형적으로 나타났다. 선형성으로 부터의 차이는 뒤에서 보이겠지만 이 구간이 파장의 변화에 따라 챔버내 수면변동 응답이 크게 나타나는 영역으로 실험조건의 작은 변화에 따라 유발되어진 실험오차라 생각 할수 있다. 물론 챔버내 유동의 3차원성도 그 영향의 일부라 여겨지며, 전반적인 실험의 정도로 보아 무시할만하다 하겠다.

파장의 변화에 따른 챔버내 파도응답 특성은 Fig. 7에 이론 계산 결과와 함께 나타나 있다. 챔버내 공간평균 파고치 및 파장은 각각 입사파고와 챔버 특성길이 FL로 무차원화 되었다.

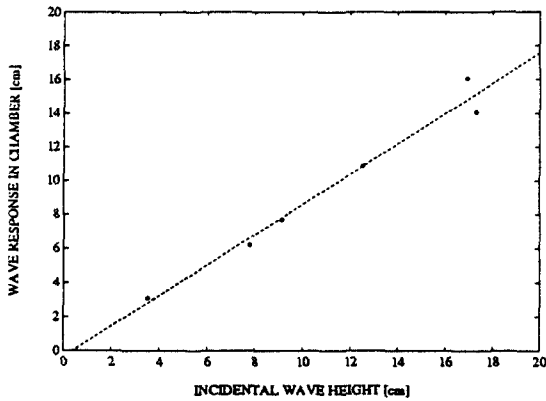


Fig. 6 Linearity of Wave Response inside OWC Chamber with Respect to the Variation of Incident Wave Height ($FL/\lambda=0.11$)

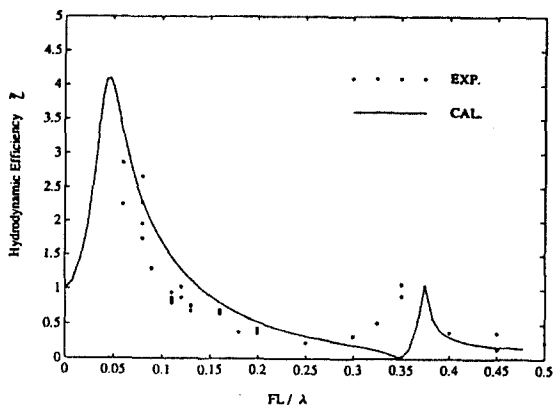


Fig. 7 Comparison of Chamber Efficiency between Experimental Results and Calculation

실험결과로 볼때 본 챔버는 파장이 18m 이상 ($FL/\lambda < 0.1$), 주기가 2.8초 이상의 장파시에 효율적으로 사용될수 있음을 알수 있으며, 최대 효율은 $FL/\lambda = 0.06$ 에서 $A/A_i = 2.7$ 정도로 얻어졌다. 더이상 긴 파에대한 실험은 조파기의 특성 및 수조의 유한수심 효과등으로 인하여 수행할 수 없는 아쉬움이 있었다. $FL/\lambda = 0.1$ 이상의 구간에서의 챔버성능은 좋지 못한 것으로 나타났는데, 특히 파의 2차 공진주파수 근처인 $0.3 < FL/\lambda < 0.4$ 에서는 챔버내에서 3차원성 유동이 보였으며 계측지점 상에서 각 점의 파도응답은 비교적 크나, Fig. 5에 예로 든것과 같은 상호간의 위상차에 의한 상쇄

효과로 인하여 덕트출구에서의 공기유량은 거의 없는 것으로 나타났다. $FL/\lambda > 0.5$ 인 단파구간은 실제 발전에 도움이 안되는 영역이고 또한 계측치가 작고 챔버 내·외부에 부착된 각종 구조물 보강재의 영향등으로 인하여 신빙성 있는 자료취득이 어려운 관계로 자세히 고려치 않았다.

끝으로 본 실험결과를 참고문헌[4]의 2차원 포텐셜유동 수치계산 결과와 비교하여볼때 상호간에 잘 일치하는 결과를 주는 것으로 밝혀 졌다. 이는 계산시 고려하지 않은 댐핑의 영향으로 인하여 실험치가 계산치보다 상당히 작게 나타나는 통상적인 결과를 감안하고, 제작된 챔버의 3차원성 및 챔버에 부착된 각종 부가물의 영향등을 고려할때 미처 기대치 못했던 좋은 결과 였다. 이는 OWC챔버 측벽으로 인한 3차원 효과는 전체 성능에 그리 큰 영향을 주지 않음을 의미하며, 실제 파력 발전용 챔버의 설계시에 간단한 2차원적 해석만으로도 비교적 좋은 결과를 얻을수 있을 것으로 여겨진다.

5.2 메쉬스크린이 장착된 경우

본 실험은 챔버효율에 터빈이 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었으며 실험조건은 4.2 절에서와 같다. 실험파장의 범위는 $0.06 < FL/\lambda < 0.2$ 이고 입사파고는 16cm였다.

메쉬스크린 #1, #2를 각각 장착한 경우에 얻어진 챔버내 파고, 덕트내 공기유속 및 스크린 전후면에서의 압력강하치들을 스크린 없이 얻어진 결과와 함께 정리하였다. 여기서 공기유속은 챔버내 파고의 평균치와 주기 T를 사용하여 무차원화 하였다. 사용된 유속의 값은 계측된 유속의 극대치들의 평균값이었다. 이는 챔버내 파의 운동이 얼마만한 효율을 가지고 덕트내 공기유량으로 변환되었는 지를 나타내 주는 값으로 결국 챔버내 공기실과 덕트의 형상 설계와 관련지어 생각할수 있다. 스크린 주위의 압력강하는 동압력으로 무차원화 하여 압

력강하계수 (혹은 저항계수) K 로 표시하였다. 즉, 계측된 K 값은 덕트입구에 부과된 압력으로 챔버내 수면변동량과 직접 상관관계가 있다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 Fig.4에 주어진 실험조건에 대응하는 것으로 시간에 따른 챔버내 3위치에서의 파고, 덕트 입구에서의 유속 및 압력강하치의 변화를 보여준다. 전반적인 경향은 세 경우 거의 유사하며 오직 압력강하치만이 메쉬스크린의 K 에 따라 크고 작게 나타나 있다. 압력강하치의 시간에 따른 분포는 공기유속의 분포형상과 같은 위상차를 주고 있으며 이는 타당한 결과로 여겨진다. 이로부터 메쉬스크린에 의하여 챔버내 변동하는 압력에 주는 뎀핑 효과는 무시할만 하겠다.

파장의 변화에 따른 계측치들의 특성을 파악키 위하여 Fig. 10을 보면 챔버내 파도응답은 세 경우 공히 비슷하게 얻어졌다. 이는 부과된 메쉬스크린이 챔버내 수면변화에 차이를 주지 않았음을 나타내는데 이로부터 추후 설계될 공기터빈은 격벽효과에 큰 관계없이 충분히 큰

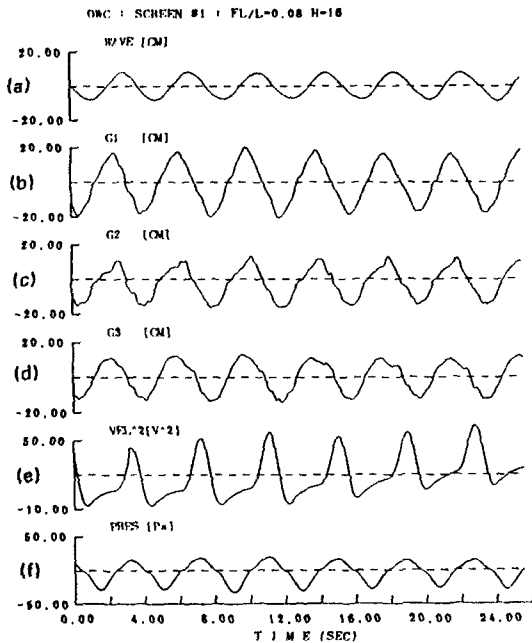


Fig. 8 Example of Measured Flow Quantities in OWC Chamber with Mesh-Screen #1 ($FL/\lambda=0.08$)

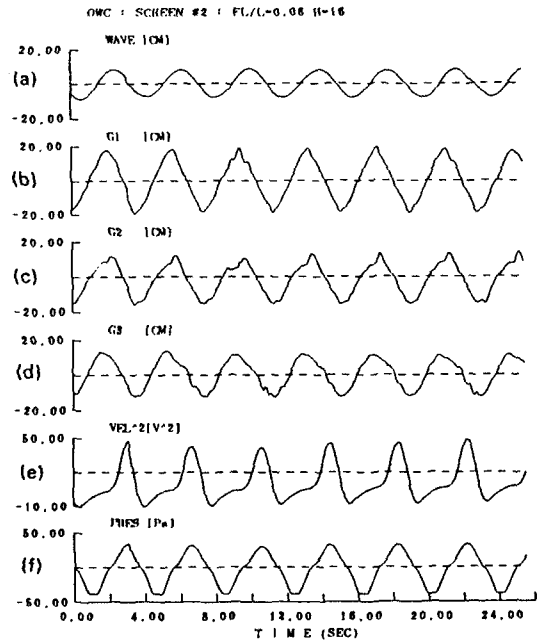


Fig. 9 Example of Measured Flow Quantities in OWC Chamber with Mesh-Screen #2 ($FL/\lambda=0.08$)

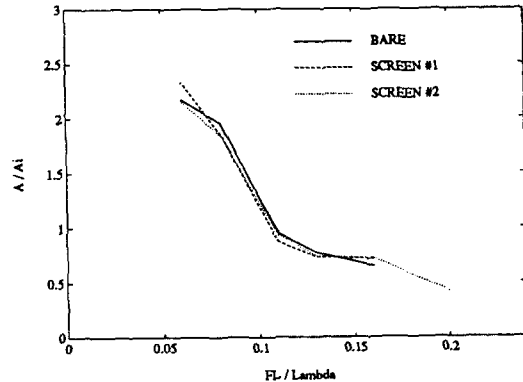


Fig. 10 Comparison of Chamber Efficiency

허브 및 날개들을 가져도 무방하다 하겠다. 챔버내 파고와 그 주기로 무차원화된 덕트 내 유속 ($V_{max} T/H$)은 Fig. 11에 비교되어 있으며 이 역시 세 경우 거의 같은 결과를 얻을 수 있는데, 파장의 변화에 따라서도 불변하는 값으로 나타났다. 이는 챔버와 덕트 형상이 유속에 따라서 Reynolds 수의 영향을 거의 받지 않고 있음을 의미하며, 본 실험에서의 공기 유속 계측의 신빙성을 간접적으로 보여주고 있다.

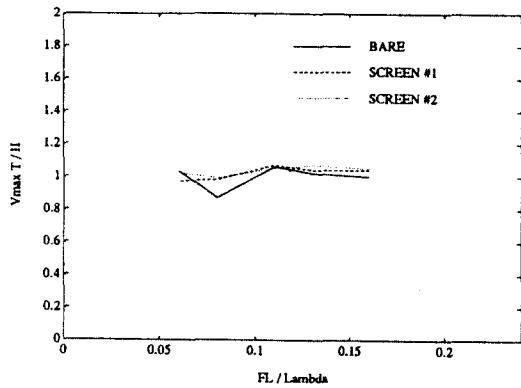


Fig. 11 Comparison of Air Velocity Measured inside Duct

마지막으로 Fig. 12에 나타난 압력강하계수 K 를 보면 메쉬스크린 #1의 경우 0.62–0.82의 값으로, #2 스크린의 경우 0.97–1.25 사이의 값으로 구해졌다. 초기 설계시 예측한 값들보다 다소 작게 얻어졌으나, 스크린 #2의 경우 메쉬 두장을 중첩한 영향을 무시하였고 또한 무차원화시 사용한 유속이 계측치의 최대값들로부터 구해졌음을 감안할때 터빈에 의한 압력강하는 비교적 잘 시뮬레이션 된것으로 여겨진다. 한편, 파장의 변화에 따른 K 의 경향은 챔버내 유속이 크게 되는 장파시보다 단파시에 크게 됨을 얻어지고 있는데, 그 이유에 대하여는 좀 더 연구해볼 필요가 있다. 끝으로 언급할 점은 위에 보여진 무차원화된 공기유속 및 압력강하는 그 계측이 오직 한 점에서만 수행되었기 때문에, 보다 정량적인 챔버 특성연구

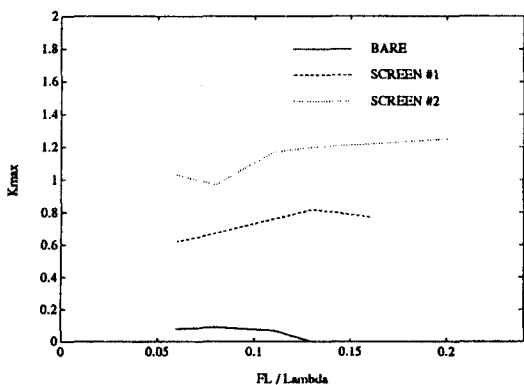


Fig. 12 Comparison of Pressure Drop Coefficient

를 위하여는 추후 이에대한 광범위한 계측이 실시되어야 할것이다.

6. 결 언

본 연구를 통하여 진동수주형 파력발전장치를 설계·제작하였고, 챔버의 유체역학적 성능파악을 위한 실험을 실시하였다. 연구결과 요약 및 주요 결론은 다음과 같다.

1. 파력발전용 1차 변환기를 홍도천 등 [4]에 따라 고정식 진동수주형 변환기 (OWC)로 설계·제작하여, 규칙파중 실험을 실시하였다. OWC 챔버 효율에 파랑에너지의 2차 변환장치인 공기터어빈이 미치는 영향을 고려하기 위하여 가상으로 선정된 공기터어빈에 등가한 압력강하를 주는 와이어메쉬 스크린을 사용하여 터어빈과 공기실 내부유동 및 챔버내 파랑운동간의 상호작용을 시뮬레이션하였다.

2. 실험결과 와이어메쉬에 의하여 모델링된 공기터어빈의 효과는 메쉬스크린이 없는 경우에 얻어진 실험결과치들과 비교하여 챔버 성능에 거의 영향을 미치지 않으며, 공기실을 통하여 유입, 방출되는 공기의 양에도 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 챔버효율은 파도의 주파수가 0.3Hz이내의 장파시($FL/\lambda < 0.1$)에 크게 얻어졌으며, 그보다 짧은 파에서는 좋지 않은 성능을 보였다.

3. 본 실험결과를 2차원 포텐셜이론에 의한 수치계산 결과와 비교할때 서로 잘 일치하는 결과를 주었다. 이로부터 고정식 진동수주형 파력발전장치 설계 프로그램의 신빙성이 증명되었고, 따라서 실제 해상상태에 맞추어 챔버를 설계하는 최적 1차변환기 설계가 가능하다 하겠다.

4. 사용한 챔버내 수면응답이 $FL/\lambda > 0.1$ 인 경우 입사파의 파고에 비하여 작아지는 좋지 않은 성능을 보였으나, 장파시에는 실제 국내 해상조건에 효율적으로 응용이 가능한 정도의 결과를 보여 주었다.

5. 본 실험이 OWC 챔버의 정상적인 특성과 약을 위하여 비교적 적은 양의 데이터만을 얻은 관계로, 보다 정량적인 챔버 특성연구를 위하여는 추후 이에대한 광범위한 계측이 실시될 필요가 있다. 한편 본 실험에서 다룬 고정식 구조물과 더불어 부유식인 경우에 대한 이론적, 실험적 연구로의 확장도 계속되어야 할 것이며, 실험역의 과도한 파랑중에서 발생할수 있는 공기실 덕트내 유동의 압축성도 추후 고려할 필요가 있겠다.

참 고 문 헌

- [1] Masuda,K., et al., "Research on Hydrodynamic Characteristics of OWC Type Floating Wave Power Absorber", 1'st Symp. on Wave Energy Utilization in Japan, 1984.
- [2] Takahashi,S., "A Study on Design of a Wave Power Extracting Caisson Breakwater", Wave Power Lab., Port and Harbour Research Inst., Japan, 1988.
- [3] 한국전력공사, "해양에너지이용 복합시스템 개발에 관한 연구 (2)", KRC-89G-T10, 1990.
- [4] Hong, D.C. and Gong, D.S., "Numerical Study on the Resonance of a Terminator Type OWC Device," 3rd symp. on Ocean Wave Energy Utilization, Japan Marine Science and Technology Center, Japan, 1991.
- [5] 한국전력공사, "해양에너지이용 복합시스템 개발에 관한 연구(1)", KRC-89G-T10, 1989.
- [6] Hotta,H., et al. "A Study on the Floating Terminator Type Power Device", 2'nd Symp. on Wave Energy Utilization in Japan, 1987.
- [7] Horlock,J.H., "Actuator Disc Theory", McGraw-Hill Inc., 1978.
- [8] McCarthy,J.H., "Steady Flow Past Non-uniform Wire Grids", *J. of Fluid Mechanics*, Vol. 19, Part 4, 1964.