

파력발전체계의 효율평가방법

최영일, 강대성

우리 나라는 세면이 바다로 둘러싸인 해양국이며 파력을 비롯한 동력자원을 적극 개발하는것은 경제강국건설에서 중요한 의의를 가진다. 우리 나라에서 파력자원은 조수력이나 조류자원에 비하여 깊이 연구되지 못하였다.[1]

파력은 파도의 운동 및 위치에너르기로 구성되어있으며 주로 바다면에서의 바람마당 분포에 의존하는 자연에너르기이다. 국제자연에너르기학회가 2016년에 발표한 통계자료에 의하면 세계적으로 파력자원량은 $3 \times 10^9 \text{kW}$ 로서 해양에너르기총량의 86%에 달하며 이것은 세계적인 연간 전력생산량의 4.6배에 이르고있다.[5] 또한 바다면에서 단위면적당 파력자원량은 바람이나 태양에너르기의 15~20배로 추산된다. 조선동해 우리 나라 북부수역의 자원량만 보아도 $26.2 \times 10^6 \text{kW}$ 로서 그 개발이용전망은 대단히 넓다.[3]

지금까지 세계적으로 파력자원량추산방법과 발전체계의 운영방식에 대한 연구는 비교적 많이 진행되었지만 발전체계의 효율평가방법에 대해서는 연구되지 못하였다.[2]

본문에서는 파력발전체계의 효율평가방법을 제기하고 그 지표들에 대한 분석을 진행하였다.

1. 파력발전체계의 효율평가지표

파력발전체계의 효율은 현장관측과 파도수치모형을 결합하여 발전체계 및 파력자원의 시공간적분포특성을 해명하여 평가하고있다.(그림 1)[1, 2, 4]

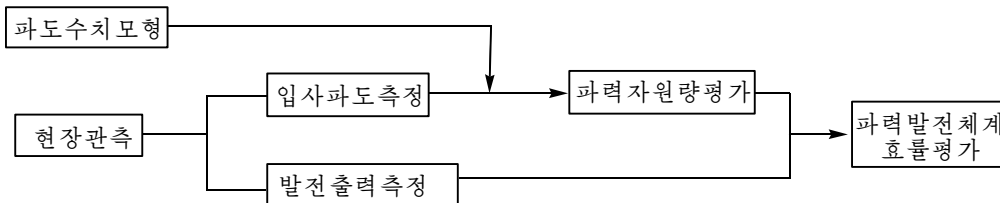


그림 1. 파력발전체계의 효율평가흐름도

파력발전체계의 효율을 평가하는 기본목적은 입사파에너르기와 출력을 비교한데 기초하여 설계의 우단점을 밝히기 위해서이다.

출력과 효율 및 경제성의 세가지 항목을 파력발전체계의 효율평가지표로 설정할수 있다.(그림 2)

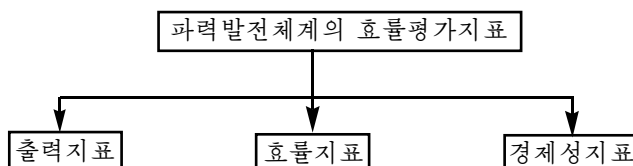


그림 2. 파력발전체계의 효율평가지표

2. 평가지표들의 계산방법

평가지표들을 계산하기 위하여 현장에서 관측한 입사파와 발전체계의 출력값을 일정한 시간간격 Δt (일반적으로 30min~3h)로 N 개의 시계열자료들을 만들수 있다.

입사파의 출력밀도 P 는 파도스펙트르통계리론을 리용하여 다음과 같이 표시할수 있다.

$$P = \rho g \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} C_g(f, d) S(f, \theta) d\theta df \quad (1)$$

여기서 ρ 는 바다물의 밀도, g 는 중력가속도, d 는 물깊이, f 는 빈도를, θ 는 파향, $C_g(f, d)$ 는 파도군속도, $S(f, \theta)$ 는 방향스펙트르밀도함수이다.

깊은 바다에서 옷식은 유의파고 H_{m_0} 과 대표파도의 에네르기주기 T_e 로 표시하면 보다 간단해질수 있다.

$$P \approx \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m_0}^2 T_e \quad (2)$$

H_{m_0} 과 T_e 는 발전체계의 출력과 효율평가의 중요지표이며 모멘트법으로 얻을수 있다.

$$\begin{cases} H_{m_0} = 4\sqrt{m_0} \\ T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $m_n (n=-1, 0)$ 는 대표적인 n 차모멘트로서 다음과 같다.

$$m_n = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} f^n S(f, \theta) d\theta df \quad (4)$$

출력지표는 출력계산과정을 통하여 서로 다른 바다환경에서 파도에네르기발전체계에 수송되는 출력크기를 반영한다. 즉 출력분포도의 세로축은 유의파고 H_{m_0} 을, 가로축은 에네르기주기 T_e (혹은 스펙트르마루주기)를 나타낸다. 실제로 조선동해인 경우 $\Delta H_{m_0} = 0.5m$, $\Delta T_e = 0.5 \sim 1.0s$ 를 취할수 있다.

관측된 유의파고자료의 우아래한계값이 각각 HH , HL , 에네르기주기의 한계값이 TH 및 TL 이면 자리표축들의 한계를 설정할수 있다. 관측된 입사파자료들이 $HL < H_{m_0} \leq HH$, $TL < T_e \leq TH$ 관계를 만족시킨다면 그에 따르는 파력발전체계의 평균출력값을 추산해낼수 있다. 이런 방법으로 N 개의 파도자료에 대응하는 요소별출력값을 평균하면 출력계산표가 얻어지게 된다.

표 1에 ㄷ 앞바다에서 계산된 파력발전체계의 평균출력값들을 보여주었다.

표 1. 파력발전체계의 평균출력계산결과(kW)

H_{m_0}	T_e								
	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
1	2	7	13	19	26	34	41	48	58
1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121
2	8	26	49	73	100	127	150	172	210
2.5	15	43	78	113	159	205	234	263	320

물론 평균출력은 유의파고와 에네르기주기외의 파도파라미터들(레컨대 스펙트르형태 또는 방향 등)은 반영하지는 못하지만 파력발전체계의 효율평가에는 매우 유효하다.

평균출력외에 최대출력, 최소출력 및 출력표준차계산을 통하여 파도방향과 스펙트르 형태에 따르는 출력변화정도를 알수 있다.

효율은 에네르기전환률 η (%)로 나타내는데 그것은 관측기간 파력발전체계의 평균출력 E_{OUT} 와 리용가능한 파력자원총량 E_A 의 비로서 다음과 같이 표시된다.

$$\eta = \frac{E_{OUT}}{E_A} \times 100 \quad (5)$$

여기서 E_A 는 N 개 관측자료에 해당하는 입사파에네르기총량으로서 다음과 같다.

$$E_A = \sum_{i=1}^N (P_S L_m)_i \quad (6)$$

여기서 P_S 는 Δt 시간동안의 입사파의 출력밀도, L_m 은 입사파흡수너비이다.

서로 다른 파력발전장치에 따라 에네르기흡수장치의 동작원리도 서로 다르므로 대응되는 한계흡수너비도 차이난다.(표 2. 여기서 λ 는 입사파장)

표 2. 여러가지 형태의 파력발전장치의 한계흡수너비

발전장치형태	한계흡수너비
수직진동식	$\lambda / 2\pi \approx 0.46\lambda$
가로진동식	$\lambda / \pi \approx 0.32\lambda$
수직진동 및 가로진동식	$3\lambda / 2\pi \approx 0.48\lambda$
선흡수식(길이= λ)	0.5λ
선흡수식(길이= 2λ)	0.73λ

흡수율 γ 는 관측기간 파력발전체계의 평균흡수너비 \bar{L} 와 한계흡수너비 L_m 의 비로서 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{\bar{L}}{L_m} \quad (7)$$

여기서 \bar{L} 는 관측기간 N 개 자료렬에 대응하는 흡수너비 L 의 평균값이다.

흡수너비를 다음과 같이 표시할수 있는데 그 물리적의미는 파력이 입사파의 파면너비 L 범위내에서만 자원량으로서의 가치가 있다는것이다. 즉

$$L = \frac{P_W}{P_S} \quad (8)$$

여기서 P_S 는 식 (1)로부터 얻을수 있고 P_W 는 Δt 시간동안 전체 파력발전체계의 평균출력으로서 주어진 흡수율에 해당하는 출력이다.

경제성지표들인 발전원가와 리용률은 파력발전체계가 운영기간에 일정한 효율로 연속가동하는 특성을 나타내며 제작원가와 정상운영리득비로 결정짓는데 이것은 발전체계의 우단점을 평가하는 주요경제성지표로 된다.

특히 리용률은 먼바다파도의 연안입사과정에 일어나는 파도의 굴절과 회절, 반사 및 쇄파의 영향으로 집중 또는 발산과정을 거쳐 발전체계의 설치위치에서의 실제파도상태를 반영하는 중요한자이다.

맺 는 말

론문에서는 파력자원개발을 위한 발전체계의 효율평가지표로서 출력과 효율, 경제성 등 세가지 지표를 리용할수 있다는것을 밝혔다. 현장에서 관측한 입사파와 발전체계의 출력값을 파도스펙트럼계리론과 모멘트법에 기초하여 계산하고 발전체계의 효율과 경제성을 평가하였다.

그러나 실지 바다환경에서 유의파고와 에네르기주기외에도 발전체계의 효율에 영향을 주는 인자들이 매우 다양하므로 발전기형태에 따르는 정확한 효율은 제작과 운영설계에 기초하여 보다 더 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Stephen Barstow et al.; Wave Energy Resource, Heriot-Watt University, 106~117, 2003.
- [2] Joao Cruz; Ocean Wave Energy, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3~9, 2008.
- [3] Ayumi Saruwatari ; Ocean Engineering, 73, 106, 2013.
- [4] A.Hayir et al.; Coastal Engineering, 56, 982, 2009.
- [5] George Mellor et al.; Journal of Physical Oceanography, 34, 693, 2004.

주체108(2019)년 1월 5일 원고접수

Meritrating Methods of the Wave Power Generating System

Choe Yong Il, Kang Thae Song

In this paper, one method of meritrating for the wave power generating system was newly presented, and three indexes of output, efficiency and economic gains were selected for appraisal point of generating system.

Key words: generating of wave power, index of output, efficient of generating