

해양에너지의 복합이용시스템에 관한 기초연구

김현주·홍석원

한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

A Study for Integrated Ocean Energy Utilization System

Hyeon-Ju Kim and Seok-Won Hong

Ocean Development System Laboratory, KRISO, KORDI

Key Word : Ocean Energy (해양에너지), Energy Distribution (에너지 분포), Integrated Utilization (복합이용), Conceptual Design (개념설계), Feasibility Study (타당성 평가)

Abstract

This paper aims to make a feasibility study and to propose a master plan for the development of "integrated ocean energy utilization system", which utilizes various renewable ocean energies. Fossil energy, as the most important energy resources which are inevitable for the living and industrial development, becomes exhausted and its consumption creates serious environmental problem. It is important to utilize renewable ocean energy for a sustainable and environmentally friendly development.

We survey the integrated utilization of ocean energy based on surveyed energy density distribution and propose concepts of integrated ocean energy utilization plant for both onshore and offshore system. The results of this study can support national effort for renewable energy development utilizing integrated ocean energy and refer as a guideline for the technical development of sustainable integrated ocean energy.

1. 서론

최근, 자원 보유국은 자원 무기화 추세에 있으며, 에너지 자원의 안정적 확보가 없이는 산업의 안정적 발전을 보장할 수 없으므로 이에 대한 대책이 요구되고 있다. 특히, 수입 의존도가 높은 우리나라는 가용한 자원의 개발 및 효율적인 이용을 통하여 지속 가능한 산업 개발 및 발전을 위한 에너지 개발 및 이용기술의 정립이 절실히 요구된다.

한편, 화석연료는 그 소모에 따른 고갈 심화 및 지구 온난화의 주요 원인으로 지적되고 있어, 청정한 대체에너지의 개발이 절실히 요청되고 있다.

지구 표면의 70% 이상을 차지하는 해양으로 흡수된 태양에너지는 다양한 형태로 변환되어 해양에 존재하며 이와 같은 해양에너지를 활용한 대체에너지로서 파랑에너지를 이용한 파력발전, 조석간만의 차를 이용한 조력발전 등이 대표적으로 실

용화 가능한 대상이며, 심해수와 표층수간의 온도차를 이용한 온도차 에너지를 이용한 온도차발전(OTEC) 등도 가능성 있는 대상이다. 또한, 최근에는 조류나 해류가 가지고 있는 운동에너지를 활용하는 해류발전 기술도 개발되고 있다. 한편, 해양에는 육상에서도 개발되고 있는 풍력에너지와 태양광 에너지 자원도 풍부히 존재하고 있다.

그러나, 해양에너지는 시간과 장소에 따라 변화하는 변동성과 분산성을 갖고 있다. 따라서, 여러 가지 종류의 해양에너지를 복합적으로 활용함으로써 변동적이고 분산적인 에너지를 취합하여 안정적으로 에너지를 생산할 수 있고 또 취득한 에너지를 현장 근처에서 유용하게 활용하므로써 해양의 환경개선과 연안의 생산성 증가를 추구할 수 있을 것이다.

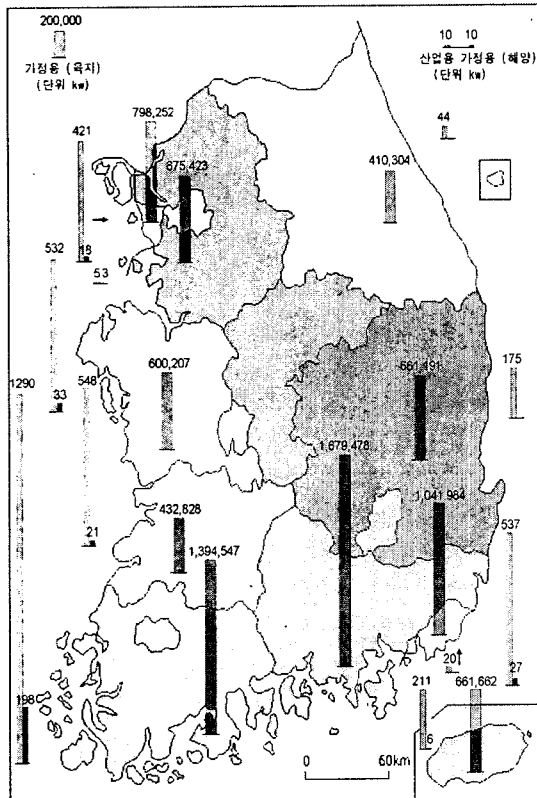
본 연구에서는 이러한 해양에너지 복합활용기술을 개발하기 위한 기획연구 결과로서 해양에 존재하는 자연에너지원을 복합적으로 활용할 수 있는 시스템의 개발방안 및 에너지의 현장 활용방안에 대해 고찰하였다.

2. 해양에너지 수요분석

해양에너지는 아직 경제성이 부족한 것으로 알려지고 있으며, 이는 화석연료의 환경보상비용이 고려되지 않고 있기 때문이다. 한편, 전력공급 기반시설이 갖추어지지 않은 낙도나 연안역은 전력공급 비용이 높아질 수 밖에 없기 때문에 해양 에너지의 개발이 유망하다. 이러한 관점에서 연안역과 낙도를 대상으로 해양에너지 수요를 정리하여 보았다. 여기서, 에너지 수요는 가정용과 산업용으로 나누어 정리하였고, 산업용의 경우 수산양식 시설을 위한 것으로 한정하였다.

여기서, 전력수요 산정기준은 가정용은 가구당 3kW, 산업용은 수산양식별 육상식 4kW/ha, 해상식 3kW/ha, 축제식 2kW/ha가 소요되는 것으로 가정하여 산정한 것이다. 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1. Energy demand at coastal zone.



3. 해양에너지 분포특성

해양 에너지의 복합분포 특성을 조사하기 위하여 파랑, 흐름, 풍속, 태양광 등을 조사하고 에너지로 환산하여 종합하였다. 각 에너지에 대한 산정은 다음의 산정식을 준용하였다.

(1) 파력 :

$$W_w = 0.5 H_{1/3}^2 T_{1/3} \text{ (kW/m)}$$

$H_{1/3}$: 년평균 유의파고, $T_{1/3}$: 년평균 유의파주기

(2) 조류력 :

$$\frac{W_t}{A} = \rho_w g V_c H \text{ (W/m}^2\text{)} \approx 9.8 QH \text{ (kW/m}^2\text{)}$$

ρ_w : 해수밀도(1,025kg/m³), V_c : 유속(m/sec),

A: 투과면적(m²), H: 수위차(m) Q: 유량(m³)

(3) 풍력 :

$$\begin{aligned} \frac{W_g}{A} &= 0.5 \rho_a V_g^3 \text{ (W/m}^2\text{)} \\ &= 0.6125 V_g^3 \text{ (W/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ρ_a : 공기밀도 (1.225kg/m³), V_g : 풍속(m/sec),

A : 투영면적(m²)

(4) 태양광에너지 :

$$\frac{W_s}{A} = I_{\max} \cdot \sin \left(\pi \frac{\theta}{L} \right)$$

I_{\max} : 최대에너지 (~1kWh/m²), θ : 일출과의 시간차,

L : 일사시간 길이

우리나라 연안역의 복합 해양에너지 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 그림으로 부터 남해 및 동해의 일부 해역에서 높은 에너지 밀도가 분포하고 있음을 볼 수 있다.

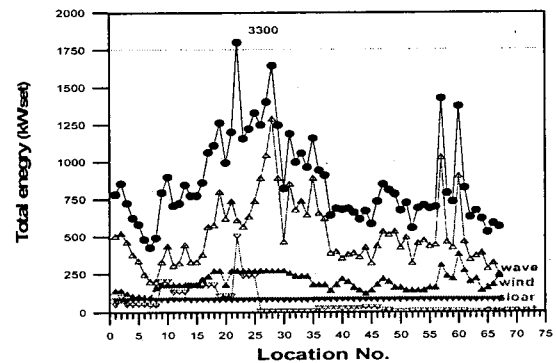


Fig. 2. Distribution of integrated ocean energy around Korea peninsular.

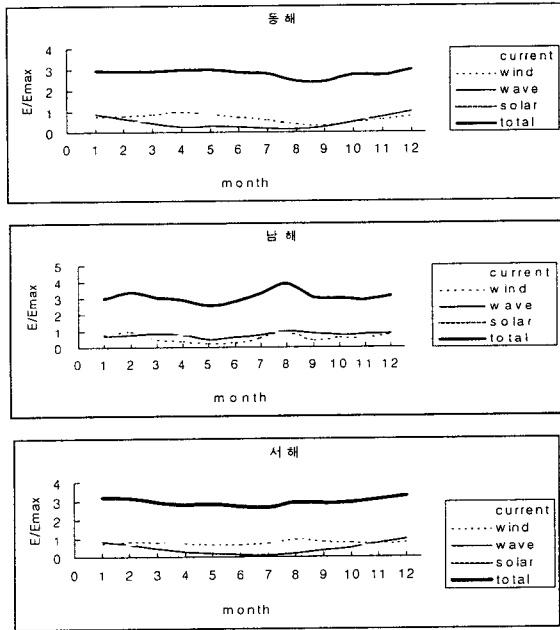


Fig. 3. Monthly variation of integrated ocean energy.

복합 해양에너지는 일간 및 계절별 변동을 하게 되며, 월간 변동특성을 Fig. 3에 나타내었다. 그림으로 부터 동해 및 서해는 동계에, 남해는 하계에 높음을 알 수 있다. 이로부터, 해양에너지의 분산성 및 변동성을 완화하기 위해서는 복합이용이 필요함을 알 수 있고, 해역별로 Fig. 4와 같은 복합화를 대상으로 하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

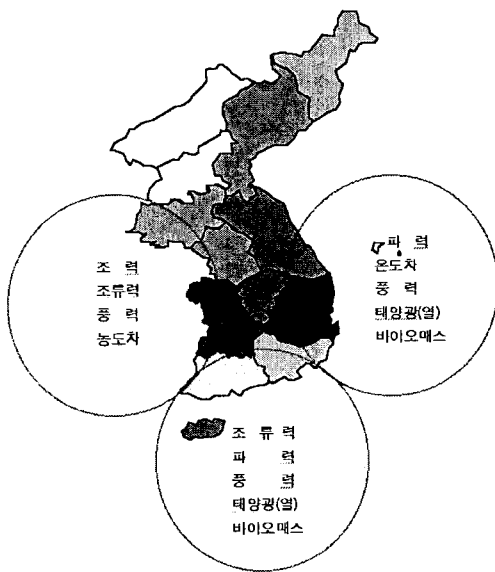


Fig. 4. Categorization of individual ocean energy for integrated system.

4. 해양에너지의 복합이용 시스템 개념설계

해양에너지의 복합화는 에너지 취득의 복합화 뿐 아니라 활용기능의 복합화를 병용하여 효율을 극대화 할 수 있다. 복합에너지 취득방안은 해양구조물을 기반으로 해양에너지를 취득할 때, 대상 적지에서 취득 및 이용 가능한 여러 가지 에너지 자원을 흡수할 수 있도록 조합하는 방안이며, 활용기능의 복합화 방안은 해양에너지 취득 및 이용시설을 에너지 흡수 및 저장 기능뿐 아니라 해역정온화, 해역정화, 해상생산-교육-관광 등을 위한 기반시설로서 활용하는 방안이다. 여기서는 전자를 중심으로 검토하면서 기반구조물의 다목적 활용을 도입하였다.

4.1 해양형 Pilot plant 개념설계

해양형 복합 해양에너지 이용시스템은 해양에 대한 육전 공급의 비용 및 위험성을 회피하고, 해양구조물의 가동성에 부응하는 자체 보급형 에너지원으로서 개발하고자 하는 것이다. 이는 Fig. 5와 같은 모듈로 구성하여 용도에 따라 적절히 배열 및 활용이 가능하며, 해역정온화를 위한 부유식 방파제 등에 부가 설치 및 활용함으로써 경제성을 제고시킬 수 있을 것이다.

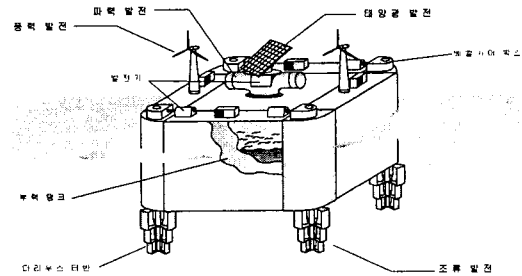


Fig. 5. Conceptual design of offshore integrated ocean energy utilization system.

5.2 해안(항만)형 Pilot plant 개념설계

해안(항만)형 복합 해양에너지 이용시스템은 낙도 등에 대한 육전 공급의 비용 및 위험성 회피하고, 친수성 연안역 개발을 위한 전천후 해안공간 이용기반을 제공할 수 있도록 함으로써 방파제 겸용에 의한 기반구조물에 대한 시설비를 최소화할 수 있도록 Fig. 6과 같이 개념설계되었다.

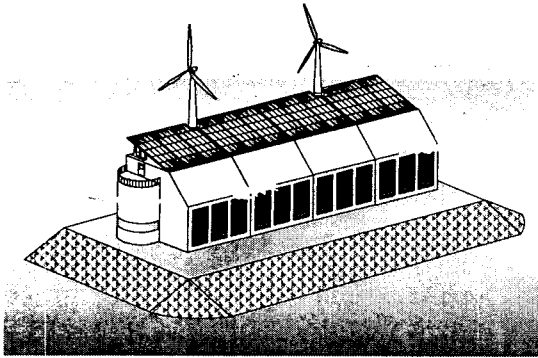


Fig. 6. Conceptual design of onshore integrated ocean energy utilization system.

5. 해양에너지의 복합이용 시스템의 타당성 검토

해양에너지의 복합이용 시스템은 해양에너지의 분산성 및 변동성을 해소함으로써 청정에너지를 실용화시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 이러한 해양자원의 개발 및 해양공간의 이용도 경제성이 보장되지 않으면 실용화가 늦어질 수 밖에 없다. 물론, 현재도 전력단가에 환경복구 및 보상비용이 포함되지 않았으며, 해양에너지의 청정성에 의한 직간접적 효과가 계량되지 않았기 때문에 해양에너지는 화석연료 전력에 비해 생산단가가 높은 실정이다.

이러한 문제를 완화할 수 있다고 판단되는 복합화 방안에 의한 경제성을 종합적으로 비교하여 Table 1에 정리하였다. 여기서, 복합이용시스템의 발전단가는 pilot plant의 제작비 및 출력을 고려하여 산정한 것이며, 상용화 규모를 대상으로 하면 경제성은 훨씬 향상될 것으로 판단된다.

Table 1. Economical feasibility of integrated ocean energy utilization system

형 식	발전단가		
	미국 (\$/kW)	일본 (¥/kWh)	한국 (₩/kWh)
원 자 력	2,500		34
화력발전(석탄)	1,500		38
화력발전(석유)	1,300	24.1(12)	60
수 력 발 전	1,500-2,500		
태양광발전	5,000-8,000		360
풍 력 발 전	900	20-25	92-103
해류 발전	Ocean Power Farm	2,140	
	일 반 형		33.3(33)
파력발전(고정식)		22.8(17.2)	
조 력 발 전		77.7(73)	
복합 이용시스템		원자력 동일	109~126
비 고	()는 환경복구비용 제외시의 비용		

6. 결 론

해양에너지는 분산성과 변동성이 있으며, 이러한 특징을 감안하고 효율적으로 활용하기 위하여 다양한 해양에너지를 복합적으로 이용하는 “복합 해양에너지 활용시스템”에 대한 조사·분석 및 시스템 개념설계를 실시하였다.

이를 위해 복합 해양에너지의 활용시스템 기술개발을 위해 (1) 해양에너지의 수요를 분석하고, (2) 해양에너지 자원의 분포 및 변동성을 조사 및 분석하고, (3) 이에 기초한 복합화 방안 정리하였으며, (4) 해양에너지의 복합이용을 실현하기 위한 해양 및 해안(항만)에서의 활용시스템 제안하고, 경제적 타당성을 고찰하였다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 연구기획사업 “복합 해양에너지 활용시스템 기술개발 기획연구” 결과의 일부이며, 복합 해양에너지의 해석을 위해 해양연구원 박광순, 홍기용박사, 전력연구원 임희천박사, 한국에너지연구원 정명웅, 김건훈박사의 도움을 받았으며, 깊은 감사를 표한다.

참고문헌

1. 김현주, 강윤구 (1997): 파랑에너지 실용화를 위한 고찰. 어항지 제40호, 46-54.
2. 김현주, 양찬규, 최학선 (1997): 파랑에너지를 이용한 해역환경개선시스템, '97 한국수산학회 추계학술발표 논문초록집.
3. 김현주, 최학선, 김선경 (1998): 파랑에너지 해석 및 가용량 평가 연구. 한국해양공학회지 제12권 제1호, 107-112.
4. 홍석원 등 (2001): 복합 해양에너지 이용시스템 연구
5. 홍석원, 김현주, 강윤구 (1998): 해양에너지이용공학. 신기술, p.200.
6. Maeda, H, H. Takashi and H. Tajeshi (1996): Development of renewable energy park on oceans.