

해양온도차에너지 개발을 위한 해수온도차 출현확률 산정 방법 비교

윤동영¹ · 최현우^{2*} · 이광수³ · 박진순³ · 김계현¹

Comparison of Two Methods for Estimating the Appearance Probability of Seawater Temperature Difference for the Development of Ocean Thermal Energy

Dong-Young YOON¹ · Hyun-Woo CHOI^{2*} · Kwang-Soo LEE³ · Jin-Soon PARK³ · Kye-Hyun KIM¹

요 약

해양온도차에너지(Ocean Thermal Energy : OTE) 개발을 위해서는 에너지 부존 자원량 파악과 개발적지 선정이 선행되어야 한다. 이를 위해 대상해역의 표층과 심층 간의 수온차이 값(ΔT)에 대한 연중출현확률의 산정이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 ΔT 의 연중출현확률을 산정하기 위해 남해 해역을 대상으로 빈도분석 방법과 조화분석 방법을 사용하였으며, 두 방법의 장단점을 비교하고자 하였다. 비교를 위한 공간적 규모는 OTE 부존량 산정과 연계된 연구지역 전체의 광역적 규모와 적지선정과 연계된 지역적 규모로 구분하였다. 광역적 규모에서는 두 방법으로 산정된 ΔT 의 연중출현확률 차이를 공간분포 지도로 제작한 후, 확률차이에 대한 면적을 비교하였다. 지역적인 규모에서는 두 방법 모두 연중 출현확률이 가장 높은 지역에서 서로 간의 확률 차이 뿐 아니라, 확률차이가 가장 큰 지역과 작은 지역에서 두 방법의 격월별 출현확률도 비교하였다. 일차적으로 두 방법의 출현확률이 강한 상관성(피어슨 상관계수 $r=0.96$, $\alpha=0.05$)을 보여 두 방법 모두 유용함을 알 수 있었다. 광역적 규모에서 두 방법의 확률차이가 10% 이상 되는 면적은 전체 면적의 5%이하로 나타났다. 따라서 OTE 부존량 산정 시 두 방법 모두 적용 가능함을 보였다. 하지만 현실적으로 다양한 수온 차 조건으로 계산 가능한 조화분석 방법이 보다 적합한 방법으로 판단되었다. 지역적 규모에서 두 방법에 의한 출현확률이 모두 높은 지역에서는 서로간의 확률차이가 약 5%이하로 두 방법의 차이가 뚜렷하지 않았다. 하지만 빈도분석으로는 탐지 가능한 10%이하의 확률을 조화분석은 탐지하지 못하는 단점을 보였다. 따라서 OTE 부존량 산정에는 조화분석 방법이, 개발 적지 선정에는 빈도분석 방법이 장점을 지닌 것으로 분석되었다.

주요어 : 해양온도차에너지(Ocean Thermal Energy), 빈도분석, 조화분석, 해수온도차, 연중출현확률

2010년 4월 27일 접수 Received on April 27, 2010 / 2010년 6월 14일 수정 Revised on June 14, 2010 / 2010년 6월 21일 심사완료 Accepted on June 21, 2010

1 인하대학교 지리정보공학과 Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

2 한국해양연구원 해양자료팀 Ocean Data Management Team, Korea Ocean Research & Development Institute

3 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 Coastal Engineering & Ocean Energy Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute

* 연락처 E-mail : hwchoi@kordi.re.kr

ABSTRACT

Understanding of the amount of energy resources and site selection are required prior to develop Ocean Thermal Energy (OTE). It is necessary to calculate the appearance probability of difference of seawater temperature(ΔT) between sea surface layer and underwater layers. This research mainly aimed to calculate the appearance probability of ΔT using frequency analysis(FA) and harmonic analysis(HA), and compare the advantages and weaknesses of those methods which has used in the South Sea of Korea. Spatial scale for comparison of two methods was divided into local and global scales related to the estimation of energy resources amount and site selection. In global scale, the Probability Differences(PD) of calculated ΔT from using both methods were created as spatial distribution maps, and compared areas of PD. In local scale, both methods were compared with not only the results of PD at the region of highest probability but also bimonthly probabilities in the regions of highest and lowest PD. Basically, the strong relationship(pearson $r=0.96$, $\alpha=0.05$) between probabilities of two methods showed the usefulness of both methods. In global scale, the area of PD more than 10% was less than 5% of the whole area, which means both methods can be applied to estimate the amount of OTE resources. However, in practice, HA method was considered as a more pragmatic method due to its capability of calculating under various ΔT conditions. In local scale, there was no significant difference between the high probability areas by both methods, showing difference under 5%. However, while FA could detect the whole range of probability, HA had a disadvantage of inability of detecting probability less than 10%. Therefore it was analyzed that the HA is more suitable to estimate the amount of energy resources, and FA is more suitable to select the site for OTE development.

KEYWORDS : OTE(Ocean Thermal Energy), Frequency Analysis, Harmonic Analysis, Seawater Temperature Difference, Appearance Probability

서론

최근 기후변화에 대응하고 저탄소 녹색성장을 달성하기 위한 해결방안으로 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 바다는 태양의 복사에너지 중 71%가 유입이 되고, 밀물과 썰물이 발생하며, 바람의 작용으로 파도를 일으키는 등 거대한 에너지 저장고로 3면이 바다인 우리나라의 특성상 중요한 신재생에너지 창고라 하겠다. 이러한 해양에너지는 그 이용 방식에 따라 조력, 파력, 온도차, 해류, 염분차 등

여러 형태로 존재하며, 고갈될 염려가 전혀 없고, 인류의 에너지 수요를 충족시키고도 남을 만큼 풍부할 뿐 아니라, 공해문제가 없는 미래의 이상적인 에너지원으로 각광받고 있다(해양수산부, 1998).

전 세계 잠재 부존량이 600억kW(Zener, 1973 ; Zener, 1977)인 해양온도차에너지(Ocean Thermal Energy : OTE)는 발전 방식에 따라 해양온도차발전(Ocean Thermal Energy Conversion : OTEC)과 해수온도차를 이용한 냉난방시스템으로 구분된다. OTEC는 열대해역에서 표층의 온수(22℃~29℃)와

심해 1000m의 냉수(4℃~5℃)의 온도차를 이용하여 에너지를 취득하는 기술이다. 이와 같은 표층수와 심층수의 온도차를 이용하여 작동유체를 증발시키고 이를 응축하는 방식으로 터빈을 구동하여 전력을 생산하는 기술을 OTEC라 한다(Vega, 1992). OTEC는 크게 폐순환시스템(Closed cycle)과 개방순환시스템(Open cycle)으로 구분된다. 폐순환시스템이란 암모니아와 같은 저온 비등 냉매를 가열하여 증기를 발생시켜 터빈을 구동하는 시스템이며 개방순환시스템이란 저압의 증발기를 이용하여 온수 자체를 작동 유체로 하여 터빈을 구동하는 시스템이다(Vega, 1999). 해수온도차를 이용한 냉난방시스템은 외기에 비하여 수온이 일정하여 여름철에는 외기보다 차갑고, 겨울철에는 외기보다 따뜻한 해수를 히트펌프의 열원으로 사용하여 냉수, 온수를 만들어 지역에 열 공급을 행하는 것이다. 냉난방 시스템은 해수온도와 대기온도와의 차를 이용하여 대기온도를 냉각 또는 가열하는 공기히트펌프(Air Heat Pump)와 해수를 이용하여 냉난방계통 내에 순환되는 냉온수를 냉각 또는 가열하는 해수열원히트펌프(Sea Water Heat Pump)로 구성된다(국승기, 2007).

해양온도차발전의 개념은 1881년 프랑스의 물리학자 J.A. 달손파르에 의해 제안되었고, 1930년 그의 제자 G.쿠루우드에 의해 쿠바의 마탄사스만에서 소규모의 발전실험을 수행하여 그 원리를 입증하였다. 이 처럼 초기 연구는 프랑스에서 가장 활발히 진행되었으나, 이후 1973년 에너지파동을 겪으면서 미국과 일본을 중심으로 본격적인 기술개발이 시작되었다(Takahashi, 2002). 미국은 1979년 하와이 주변에서 50kW 출력의 폐순환식 Mini-OTEC을 설치하여 실험을 수행하였으며, 1993년부터 하와이 Keahole point에 210kW 출력의 개방순환식 온도차발전장치를 운용하고 있다. 일본은 1995년 이후 해수온도차를 이용한 냉난방시스템에 대한 지속적인 연구를 시작하여

후쿠오카 및 오사카지역에 설치하여 활용 중이고 1MW급 발전시설을 개발하여 인도에 수출을 하고 있다. 또한 일찍부터 Sun-Shine 계획의 일부로 해양온도차발전 기술의 개발을 추진하여 Tokushima에 50kW급, Saga대학에 75kW급, Toyama에 3.5kW급, 국제 협력 사업으로 남태평양 Naru 섬에 100kW급 시범 발전소를 건설하여 가동하고 있다(조철희 등, 2008).

하지만 OTE 개발에 관한 국내의 연구 사례는 매우 제한적이다. 원천기술이 없고 그 부존량 또한 파악이 되지 않아 다른 해양에너지원에 비하여 상업화가 둔화되어 있는 실정이다. 국내의 OTE 개발을 위한 선행 연구로는 해양온도차 발전소의 입지선정을 위한 해수 온도차의 공간적인 분포특성을 파악(서영상 등, 1998; 서영상 등, 1999)한 바 있다. 또한 박준택 등(2002)은 OTE를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사 연구를 수행하였으며, Kim 등(2009)은 원자력발전소로부터의 온배수를 이용한 온도차발전 가능성을 제시한 바 있다. 온도차발전장치의 국내 연구사례로는 2000년 인하대학교 등이 수행한 20kW급 해양온도차발전 실증 연구가 유일하다. 해수온도차를 이용한 냉난방 기술에 관한 연구로는 2007년 한국해양연구원 해양심층수연구센터 건물, 2008년 강원대 삼척캠퍼스 해양관광레저스포츠센터 건물, 2009년 해양대학교 기숙사 등에서 100RT급(약 1,000평 냉난방 규모)이하 소규모 현장적용 실험이 수행된 바 있다. 또한 해양심층수의 개발이 활성화 되면서 심층수의 저온성을 활용한 연구도 병행하여 진행되고 있다(홍기용 등, 2010).

이러한 OTE 개발을 위해서는 에너지 부존 자원량 산정과 개발적지 선정이 선행되어야 하며, 이를 위해 대상해역의 표층과 심층의 수온 차이 값에 대한 연중출현확률의 산정이 필요하다. 서영상 등(1999)은 해수온도차 연중출현 일수(연중출현확률)를 조화분석 방법(Kang

등, 1984)을 사용하여 산정한 바 있으나, 자료에 결측구간이 있었고 조화분석 방법에 대한 타당성을 검증하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 빈도분석과 조화분석 방법을 사용하여 해수온도차 연중출현확률을 산정할 뿐 아니라, 조화분석에 대한 타당성을 빈도분석 결과로 검증하고자 하였다. 또한, 두 방법에 대한 공간적 규모를 OTE 부존량 산정과 관련된 남부해역 전체의 광역적 규모와 OTE 적지선정과 관련된 지역적 규모로 구분하여 두 방법을 비교한 다음, 이 결과를 바탕으로 두 방법의 장단점을 비교, 분석하고자 하였다.

연구지역 및 연구 자료

본 연구의 대상 해역은 포항에서부터 부산을 거쳐 서해 남부 흑산도 해역과 제주도 주변해역을 포함하는 위도 32° N~36° N, 경도 124° E~132° E 지역인 우리나라 남부해역으로 선정하였다(그림 1). 이 해역은 우리나라의 해황에 영향을 미치는 고온 고염의 대마난류수가 지나며, 포항 및 울산 부근 해역은 동해의 저층 냉수가 존재하여 해수온도차를 이용한 지역냉난방 및 해수온도차 발전시설을 설립하는데 적합한 지역으로 가정하였다.

본 연구에 사용한 수온자료는 국립수산과학원에서 1961년부터 격월 별(2, 4, 6, 8, 10, 12월)로 관측이 수행된 정선해양관측자료를 사용하였다(국립수산과학원, 2010). 연구 지역의 수온 관측자료 위치는 총 13개선 93개 정점이며, 관측 기간은 47년간(1961~2007)으로 선정하였다. 또한 각 정점에서 관측한 표준 수층 중 표층, 50m, 100m, 150m, 200m를 분석대상으로 선정하였다. 수온자료 중 1982년부터 1990년 까지는 대부분의 정점에서 표준 수층을 벗어난 수층에서 관측이 이루어졌다. 따라서 이 기간에서는 분석대상 수층으로부터 상하로 15m 범위 내에서 관측된 수온자

료를 분석 대상 수층자료에 포함시켰다. 또한, 각 정점 별, 수층별로 관측기간이 30년 미만인 되는 자료는 분석대상에서 제외시켰다.

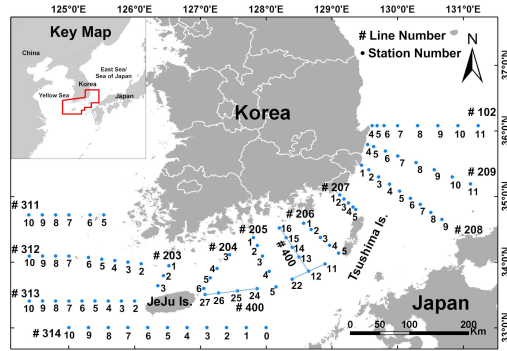


FIGURE 1. 연구 지역인 한국 남부해역

연구방법

온도차에너지(P)는 식 1과 같이 밀도(ρ), 체적(V), 비열(C), 표층과 수층의 수온 차(ΔT)에 의해 계산된다(Wick 등, 1977).

$$P = \rho V C \Delta T \quad (\text{식 1})$$

이 식에서 ΔT 항을 정량화 하고자 93개 정점에 대한 $\Delta T (>10^\circ \text{C}, >15^\circ \text{C}, >20^\circ \text{C})$ 의 연중출현확률을 빈도분석과 조화분석 방법을 사용하여 계산하였다. 우선 두 방법을 비교하기 위해 수층 조건 과 수온 차 조건을 두 방법의 결과인 해수온도차 연중출현확률에 대한 통계량을 바탕으로 재설정하였다.

각 정점에서 구한 두 방법의 연중출현확률 결과를 바탕으로 GIS 공간보간 기능(김계현, 2004)을 이용하여 관측 지점 외의 공간에 대한 해수온도차 연중출현확률을 추정하였다. 공간보간은 역거리가중(IDW) 기법을 사용하였고, 레스터 격자 규모는 $1 \times 1 \text{km}$ 로 설정하였다. 이렇게 추정된 연중출현확률 값을 바탕으로 공간분포도를 제작하여 지역별 확률 현황을

과악한 후, ΔT 와 수층별 연중출현확률이 가장 높게 나타나는 정점을 선정하여 두 방법을 비교하였다.

두 방법으로 계산된 연중출현확률 차이는 3개 등급(0~5%, 5~10%, 10~15%)으로 구분하여 수층 별(50, 100, 150m), ΔT 별 (>10°C, >15°C) 조건에 따른 6개의 공간분포도를 제작한 후, GIS를 이용하여 등급별로 공간적으로 차지하는 면적을 각각 산출하였다. 또한 두 방법에 의한 확률차이가 큰 정점과 작은 정점을 선정하여 연중출현확률 변화를 비교하였다.

아울러, 두 방법의 유용성을 진단하고자 서로 간의 출현확률에 대한 상관성을 확인하였으며, 앞서 비교한 결과를 바탕으로 두 방법의 장단점을 분석하였다. 본 연구를 위한 전반적인 작업절차는 그림 2와 같다.

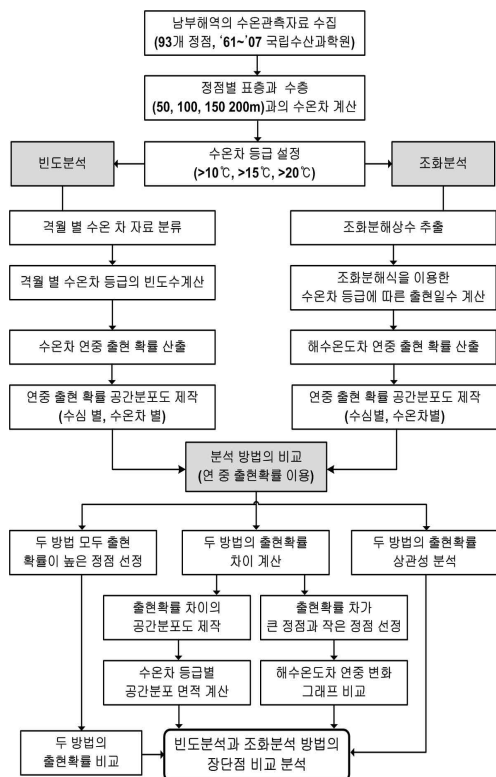


FIGURE 2. 연구 흐름

1. 빈도분석 방법

격월 별 47년간 각 정점에 대하여 관측 수층 별로 수온관측 자료를 수집하여 데이터베이스를 구축하였으며(그림 3), 이를 바탕으로 표층과 각 수층간의 ΔT 를 계산하였다. ΔT 를 >10°C, >15°C, >20°C 3가지 조건으로 구분하고, 수층별로 각 조건을 만족하는 경우의 수를 계산하여 전체 관측 횟수로 나누어 격월별 발생확률을 식 2와 같이 구하였다. 수층별로 각 정점에서 ΔT 조건을 만족하는 연중출현확률은 식 3과 같이 격월별 발생 확률의 합을 6으로 나누어 구하였다.

격월별 발생 확률(%)=

$$\frac{\Delta T \text{조건을 만족하는 경우의 수}}{\text{전체 관측 횟수}} \times 100 \quad (\text{식 } 2)$$

연 중 출현 확률(%)=

$$\frac{\text{격월별 발생 확률(%)의 합}}{6} \quad (\text{식 } 3)$$

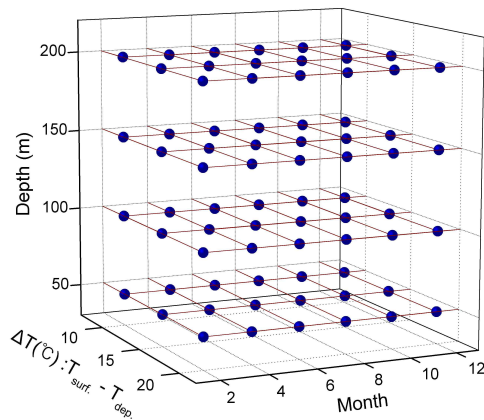


FIGURE 3. 격월 별, 수층별 ΔT 에 따른 데이터베이스 구성 항목

2. 조화분석 방법

데이터베이스에 저장된 ΔT 를 이용하여 조

화분해식을 구하고 해수온도차 연중출현일수를 계산하였다. 이 결과를 1년 주기로 나누어 해수온도차 연중출현확률을 산정하였다. ΔT 는 식 4와 같은 조화분해식으로 표현 될 수 있는데 Y_0 는 연평균 수온 차, A_1 과 A_2 는 연진폭과 반년진폭, ψ_1 과 ψ_2 는 연위상과 반년위상, ω_1 과 ω_2 는 연주파수와 반년주파수, t 는 시간을 각각 나타낸다. 여기서 t 는 Julian day로 변경하여 연속적인 값을 갖도록 하였고, 실측값과 조화분해식 계산 결과 값의 차이의 제곱을 최소화하는 조화분해 상수를 결정하기 위하여 식 4를 코사인 법칙을 활용하여 식 5와 같은 일차 다항식으로 전개 하였다. 식 5를 행렬의 형태로 표현하여 실측값과 조화분해식 계산 결과 값의 오차 E 가 최소화되는 조화상수 (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)를 식 6과 같이 결정하였다. 이를 바탕으로 식 7과 같은 연평균 Y_0 , A_1 , A_2 , ψ_1 , ψ_2 를 각각 산출하였다.

$$\hat{Y}(t) = Y_0 + A_1 \cos(\omega_1 t - \psi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t - \psi_2) \quad (\text{식 4})$$

$$\hat{Y}(t) = x_1 + x_2 \sin \omega_1 t + x_3 \cos \omega_1 t + x_4 \sin \omega_2 t + x_5 \cos \omega_2 t \quad (\text{식 5})$$

$$(x_1 = Y_0, x_2 = A_1 \sin \psi_1, x_3 = A_1 \cos \psi_1, x_4 = A_2 \sin \psi_2, x_5 = A_2 \cos \psi_2)$$

$$E = \sum_t [Y(t) - \hat{Y}(t)]^2 \quad (\text{식 6})$$

$$[Y_0 = x_1, A_1 = \sqrt{x_2^2 + x_3^2}, A_2 = \sqrt{x_4^2 + x_5^2}, \psi_1 = \tan^{-1}(\frac{x_2}{x_3}), \psi_2 = \tan^{-1}(\frac{x_4}{x_5})] \quad (\text{식 7})$$

계산결과를 식 4에 대입하여 조화분해식을 결정하였으며 93개 정점에 대하여 수층 별 (50, 100, 150, 200m), ΔT 조건(>10℃, >15℃, >20℃)에 해당하는 해수온도차 연중출

현일수를 구한 후, 연중출현일수를 1년 주기로 나누어 해수온도차 연중출현확률을 산정하였다. 계산 과정은 Visual C++ 을 이용하여 개발한 해수온도차 연중출현일수 및 출현확률 산정 프로그램으로 처리하였으며, 프로그램의 전반적인 처리과정은 그림 4와 같다.

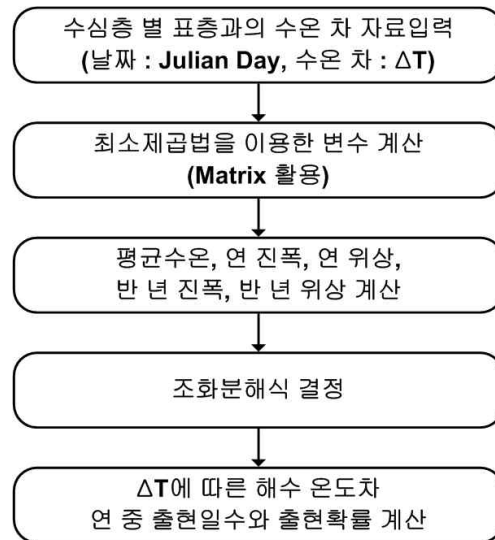


FIGURE 4. 수온관측 정점별 해수온도차 연중출현확률을 산정하기 위한 조화분석 수행절차

결과 및 고찰

빈도분석과 조화분석 방법으로 수층 별(50, 100, 150, 200m) ΔT 가 >10℃, >15℃, >20℃인 조건을 만족하는 해수온도차 연중출현확률을 계산하였다. 두 방법의 비교에 앞서 연중출현확률의 통계량을 산출한 결과 수층 200m를 만족하는 정점은 93개 가운데 11개 정점으로 관측수가 적고, ΔT 가 >20℃인 조건은 다른 ΔT 조건에 비하여 연중출현확률이 낮게 나타났다(표 1). 따라서 이 두 조건을 제외한 수층별(50, 100, 150m) ΔT 가 >10℃, >15℃를 만족하는 6가지 조건을 대상으로 빈도분석과 조화분석 방법을 비교하였다.

TABLE 1. 빈도분석과 조화분석 방법에 의해 계산된 해수온도차 연중출현확률 값의 주요 수층별 ΔT에 따른 통계량

Depth (m)	ΔT (>°C)	Frequency Analysis					Harmonic Analysis			
		n	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
50	10	93	0.5	33.6	11.3	7.4	0	31.7	7.9	10.7
	15	93	0	12.6	2.1	3.2	0	15.0	0.7	2.9
	20	93	0	3.9	0.2	0.7	0	0	0	0
100	10	63	2.9	57.2	18.8	9.1	0	56.8	21.9	10.1
	15	63	0	29.6	4.8	6.3	0	28.1	2.1	5.7
	20	63	0	5.2	0.7	1.2	0	0	0	0
150	10	20	18.3	82.9	49.5	18.2	24.6	76.7	47.9	14.9
	15	20	0.7	45.4	25.1	12.8	0	48	24.5	15.1
	20	20	0	15.8	7.6	4.9	0	8.2	0.8	2.4
200	10	11	42.6	86.9	75.0	12.3	45.1	84.4	71.0	11.0
	15	11	25.0	54.9	44.2	8.4	25.7	53.0	44.5	7.8
	20	11	9.2	24.7	17.5	4.6	0	23.2	17.2	6.7

1. 해수온도차 연중출현확률 분포 현황

두 방법의 결과인 해수온도차 연중출현확률에 대한 공간분포도를 각각 제작하여 연중 출현확률 공간분포를 비교하였다. 두 방법 모두 수층 조건이 같을 경우 ΔT가 클수록 연중출현확률은 낮게, ΔT조건이 같을 경우 수층조건이 깊을수록 연중출현확률이 높게 나타났다. 또한 각 수층에서 ΔT조건에 대한 해수온도차 연중출현확률의 공간적인 분포는 두 방법이 서로 비슷하였으며 수층별 연중출현확률 분포 현황을 다음과 같이 파악하였다.

- 1) 수층 50m에서, ΔT가 >10°C인 경우 남해 서부 원해역과 남해 동부 근해에서 연중출현확률이 30%~35%의 값이 나타났고 그 외의 지역은 15%이하의 값을 보였다. ΔT가 >15°C인 경우는 대부분의 해역에서 연중출현확률이 3%이하의 값이 나타났다(그림 5).
- 2) 수층 100m에서, ΔT가 >10°C인 경우 남해 동부 근해에서 연중출현확률이 50%~60%의 값이 나타났고 그 외의 지역은 대부분 25%이하의 값을 보였다. ΔT가 >15°C인 경우는 대부분의 해역에

서 연중출현확률이 5%이하의 값이 나타났다(그림 6).

- 3) 수층 150m를 만족하는 해역은 대부분 남해 동쪽에 위치하고 있어 남해 동부해역을 중심으로 공간분포도가 제작되었다. ΔT가 >10°C인 경우 연중출현확률이 20%와 85% 사이에 다양하게 분포하고 있으며, ΔT가 >15°C인 경우는 연중출현확률이 50%이하의 값으로 분포하였다(그림 7).

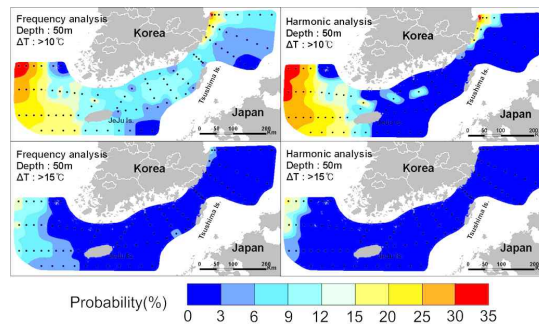


FIGURE 5. 수층 50m에서 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 해수온도차 연중출현확률 분포

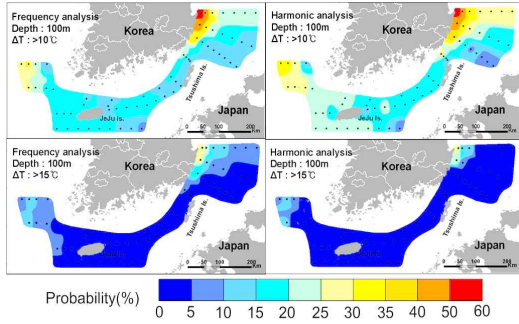


FIGURE 6. 수층 100m에서 빈도분석과 조화 분석 방법에 의한 해수온도차 연중출현확률 분포

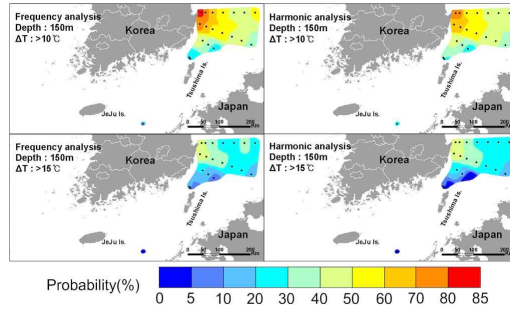


FIGURE 7. 수층 150m에서 빈도분석과 조화 분석 방법에 의한 해수온도차 연중출현확률 분포

2. 두 방법의 상관성 분석

비교에 앞서 해수온도차 연중출현확률을 산정을 위한 두 방법의 유용성을 알아보기 위하여 두 방법의 결과에 대한 상관성 분석을 수행하였다. 각 조건에 대한 피어슨 상관계수는 유의수준 0.05에서 표 2와 같이 수층 50m에서 ΔT 가 $>10^\circ\text{C}$, $>15^\circ\text{C}$ 일 경우 0.93, 0.76, 수층

100m에서 ΔT 가 $>10^\circ\text{C}$, $>15^\circ\text{C}$ 일 경우 0.97, 0.88, 수층 150m에서 ΔT 가 $>10^\circ\text{C}$, $>15^\circ\text{C}$ 일 경우 0.99, 0.98로 각각 나타났다. 또한 6가지 조건을 통합한 상관계수가 0.96(p-value <0.0001)으로 높은 상관성을 보여 연중출현확률을 산정하는데 있어 두 방법 모두 유용한 것을 알 수 있었다.

TABLE 2. 수층과 ΔT 조건에 따른 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 연중출현확률의 상관성 (p-value <0.0001)

Depth(m)	$\Delta T : >10^\circ\text{C}$	$\Delta T : >15^\circ\text{C}$	Total
50	0.93	0.76	.
100	0.97	0.88	.
150	0.99	0.98	.
Total	.	.	0.96

3. 광역적 규모의 비교

해수온도차 연중출현확률 지도(그림 5-7)에서 지역별로 두 방법의 차이가 존재함을 알 수 있었다. 이러한 두 방법의 차이를 정량적으로 비교하고자 6가지 조건에 대한 두 방법의 연중출현확률 차이를 계산하였다. 이 결과를 이용하여 두 방법의 차이에 대한 공간적인 분포를 파악하기 위해 그림 8과 같이 차이를 3개 등급(0~5%, 5~10%, 10~15%)으로 나눈 공간분포지도 제작하였다. 공간분포지도를 이용하여 두 방법의 연중출현확률 차의 등급별

면적비율을 그림 9와 같이 계산하여 수층별 특성을 파악하였다.

- 1) 수층 50m에서 ΔT 가 $>10^\circ\text{C}$ 인 경우 두 방법의 차이가 크게 나타나는 지역은 남해 중부해역을 중심으로 10~15%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율은 0~5%, 5~10%, 10~15%일 경우 각각 55.5%, 40.2%, 4.3%로 나타났다. ΔT 가 $>15^\circ\text{C}$ 인 경우 두 방법의 차이가 크게 나타나

는 지역은 남해 서부해역에서 5~10%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율은 0~5%, 5~10%일 경우 각각 92.3%, 7.7%로 나타났다.

- 2) 수층 100m에서 ΔT 가 $>10^{\circ}\text{C}$ 인 경우 두 방법의 결과 차이가 크게 나타나는 지역은 남해 동부해역에서 5~10%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율은 0~5%, 5~10%일 경우 각각 80.4%, 19.6%로 나타났다. ΔT 가 $>15^{\circ}\text{C}$ 인 경우 두 방법의 차이가 크게 나타나는 지역은 남해 동부해역에서 10~15%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율

은 0~5%, 5~10%, 10~15%일 경우 각각 75.1%, 22.4%, 2.5%로 나타났다.

- 3) 수층 150m에서 ΔT 가 $>10^{\circ}\text{C}$ 인 경우 두 방법의 차이가 크게 나타나는 지역은 남해 동부해역에서 5~10%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율은 0~5%, 5~10%일 경우 각각 90.8%, 9.2%로 나타났다. 수층 150m이고 ΔT 가 $>15^{\circ}\text{C}$ 인 경우 두 방법의 결과 차이가 크게 나타나는 지역은 남해 동부해역에서 5~10%의 차이를 보였고 대상 지역에서 구간별 차지하는 면적에 따른 비율은 0~5%, 5~10%일 경우 각각 90.4%, 9.6%로 나타났다.

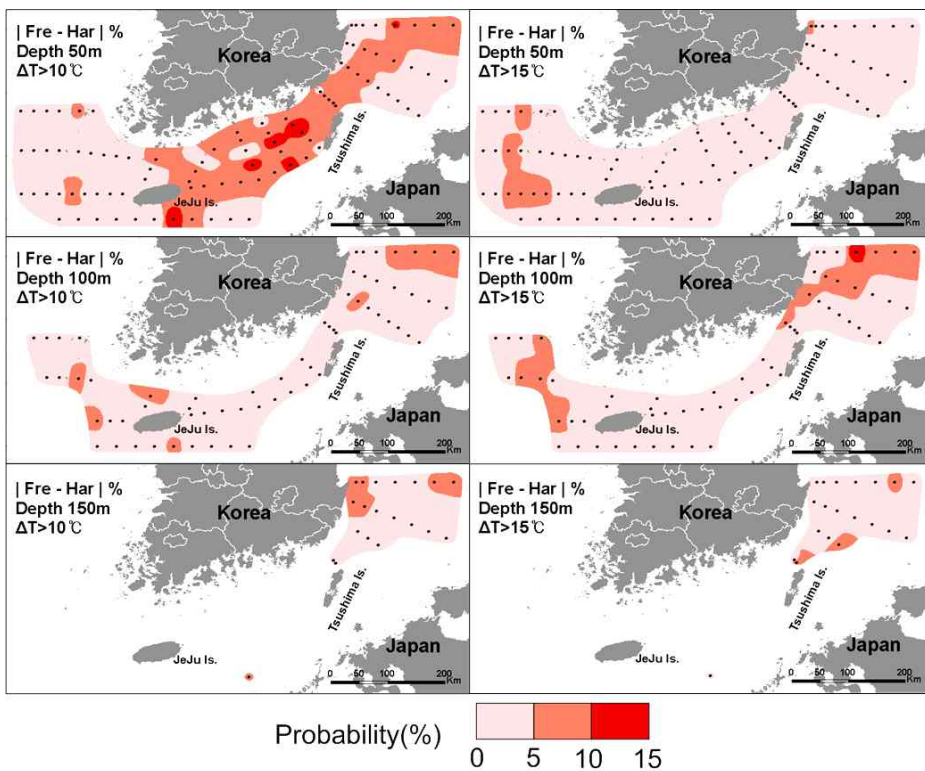


FIGURE 8. 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 해수온도차 연중출현확률 차이 분포

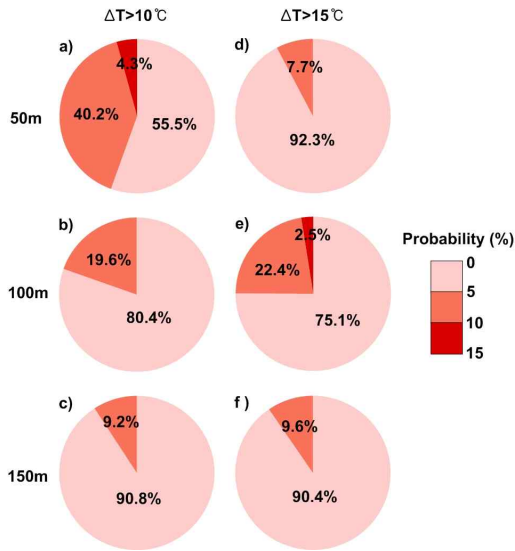


FIGURE 9. 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 해수온도차 연중출현확률 차 등 급별 면적비율 a)수층 50m, ΔT >10°C b)수층 100m, ΔT >10°C c)수층 150m, ΔT >10°C d)수층 50m, ΔT >15°C e)수층 100m, ΔT >15°C f)수층 150m, ΔT >15°C

4. 지역적 규모의 비교

해수온도차 에너지를 개발하기 위해서는 연중출현확률이 많이 나타나는 지역이 우선적으로 선정되어야 한다. 따라서 두 방법의 결과 값에 대해서도 연중출현확률이 높게 나타나는 지역에 대한 비교를 수행하였다. 두 방법에 대한 연중출현확률이 높게 나타나는 정점을 조사한 결과 표 3과 같이 6가지 조건에 대하여 두 방법이 모두 같은 정점을 나타냈다. 수층조건 50m에서 ΔT가 >10°C와 >15°C인 경우는 311기선 10번 정점이, 수층조건 100m와 150m에서 ΔT가 >10°C와 >15°C인 경우는 102기선 5번 정점이 연중출현확률이 가장 높은 정점으로 나타났다. 두 방법의 연중출현확률 차이는 수층 50m이고 ΔT가 >10°C경우 1.8%, 수층 50m이고 ΔT가 >15°C경우 2.5%, 수층 100m이고 ΔT가 >10°C경우 2.7%, 수층 100m이고 ΔT가 >15°C경우 2.0%, 수층 150m이고 ΔT가 >10°C경우 5.4%, 수층 150m이고 ΔT가 >15°C경우 0.3%의 차이로 나타났다.

TABLE 3. 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 연중출현확률이 가장 높은 정점에서의 출현확률 차

		ΔT : >10°C			ΔT : >15°C		
		F	H	D	F	H	D
50m	Station	311_10	311_10	.	311_10	311_10	.
	Probability (%)	33.6	31.8	1.8	12.6	15.0	2.5
100m	Station	102_05	102_05	.	102_05	102_05	.
	Probability (%)	57.2	54.5	2.7	29.6	27.7	2.0
150m	Station	102_05	102_05	.	102_05	102_05	.
	Probability (%)	82.9	77.5	5.4	45.4	45.7	0.3

* F : Frequency, H : Harmonic, D : Probability difference between F and H

두 방법의 연중출현확률 차이가 큰 정점 (Case A) 과 작은 정점 (Case B) 을 선정하여 격월별 출현확률을 비교하였다. 조건은 수층 50m, ΔT가 >10°C인 경우로 두 방법 차이의 폭이 가장 크게 나타나는 조건을 선택하였다. 표 4와 같이 Case A인 경우 빈도분석은 8월에 60.8%, 10월에 6.2%의 격월별 출현확률을

보였으며, 조화분석은 모든 시기에 0%의 값을 보여 연중출현확률 차이는 10%이상으로 나타났다. 반면 Case B의 경우 빈도분석은 6월에 2.1%, 8월에 63.2%, 10월에 4.2%의 격월별 출현확률을 보였으며, 조화분석은 8월에 100%의 출현확률 값을 보여 연중출현확률 차이는 5% 이하로 나타났다. 이를 그림 10과 같이

Case A, B의 경우에 대한 연중 ΔT 분포도로 비교한 결과 Case A의 경우 ΔT 가 10°C 이상을 빈도분석은 탐지한 반면 조화분석은 탐지하지 못하였다. 하지만 Case B의 경우 ΔT 가 10°C 이상을 두 방법 모두 탐지 가능함을 알 수 있었다. 또한 빈도분석과 조화분석 방법의

연중출현확률 탐지 구간을 대조하여 두 방법의 탐지가능 구간을 파악하였다. 이 결과 그림 11과 같이 연중출현확률이 약 10%이하인 경우에 빈도분석 방법은 탐지가능하나 조화분석 방법은 탐지 불가능한 것으로 나타났다.

TABLE 4. 수층 50m, $\Delta T > 10^\circ\text{C}$ 인 조건에서 빈도분석과 조화분석 방법에 의한 연중출현확률 차이가 큰 정점(Case A)과 작은 정점(Case B)의 격월별 출현확률

Month	Case A : Station(206_02)		Case B : Station(313_02)	
	Frequency (%)	Harmonic (%)	Frequency (%)	Harmonic (%)
2	0	0	0	0
4	0	0	0	0
6	0	0	2.1	0
8	60.8	0	63.2	100
10	6.2	0	4.2	0
12	0	0	0	0
Mean	11.1	0	11.6	16.6

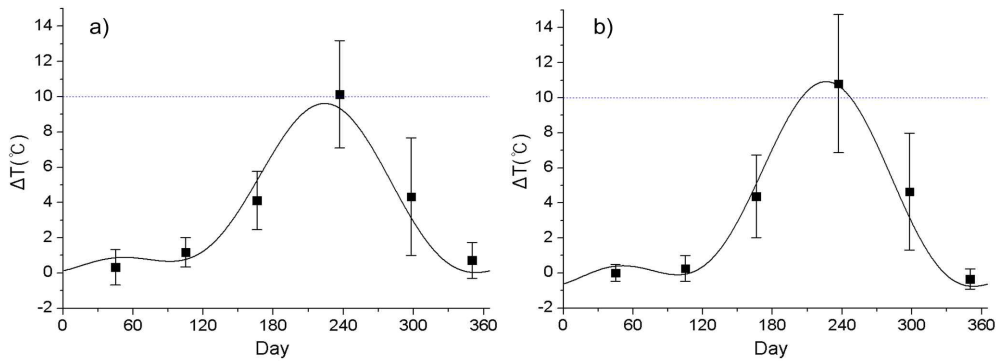


FIGURE 10. 수층 50m에서 빈도분석과 조화분석 방법의 ΔT 분포도 (Bar: 빈도분석, Curve: 조화분석) a)Case A b)Case B

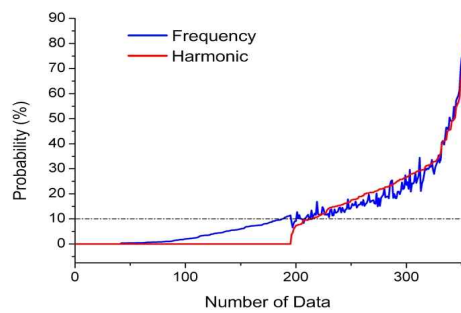


FIGURE 11. 빈도분석과 조화분석 방법의 연중출현확률 탐지 그래프

5. 두 방법의 장단점 비교 분석

해수온도차 연중출현확률을 산정하는데 있어서 빈도분석은 식 3과 같이 격월별 발생확률의 평균을 계산함으로써 구할 수 있다. 따라서 계산과정에 격월별 발생확률이 포함이 되어 계절 변화에 따른 연중출현확률의 특성을 파악할 수 있었다. 조화분석 또한 일년주기와 반년주기를 사용한 조화분해식을 바탕으로 연중출현확률을 산정하기 때문에 계절변화에 따른 연중출현확률의 특성을 파악할 수 있었다. 빈도분석을 사용하여 해수온도차 연중출현확률을 산정하는데 있어서는 원시 데이터의 변형 없이 사용하였기 때문에 특정 ΔT 조건에 출현확률이 낮은(10% 이하) 경우에 대해서 탐지가 가능했다. 하지만 조화분석 방법을 사용하여 해수온도차 연중출현확률을 산정하는데 있어서는 원시자료를 최소제곱법을 사용하여 가공하였기 때문에 Case A와 같은 경우처럼 특정 ΔT 조건($>10^\circ\text{C}$)에 대해서는 탐지를 못하는 경우가 발생하였다.

또한 본 연구에서는 수층별(50, 100, 150m), ΔT 가 $>10^\circ\text{C}$, $>15^\circ\text{C}$, $>20^\circ\text{C}$ 인 조건에 대하여 연구를 진행하였으나 차 후 ΔT 조건을 다르게 하여 해수온도차 연중출현확률을 구할 경우 조화분석은 다양한 ΔT 조건으로 연중출현확률 계산이 가능하나 빈도분석은 매번 ΔT 조건에 따른 연중출현확률 계산을 해야 하는 단점을 보였다.

결론

OTE 개발을 위한 선행연구로서 우리나라 남부해역을 대상으로 해양의 표층과 주요 수층과의 수온 차에 대한 연중출현확률을 빈도분석과 조화분석 두 가지 방법으로 산정하고, 두 방법의 장단점을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 빈도분석은 격월별 발생빈도수의 평균을 계산하고 조화분석은 일년주기와 반년주기를 사용함에 따라 두 방법 모두 해수온도차 연중출

현확률 산정시 계절에 따른 수온 차 변화의 특성이 포함되게 된다. 따라서 ΔT 변화의 계절성을 고려하여 OTE 부존량 산정과 적지 선정시 두 방법 모두 적합하였다.

둘째, 광역적인 규모에서 두 방법에 의한 확률 차가 10%이상인 면적은 전체 면적의 5%이하로 OTE 부존량 산정시 두 방법 모두 적용 가능함을 보였다. 하지만 조화분석은 조화분해식이 결정되어 다양한 수온 차 조건으로 연중출현확률 계산이 가능하나, 빈도분석은 수온 차 조건에 따라 수온 차와 확률계산을 반복해야하는 단점이 있다. 따라서 OTE 부존량을 산정하는데 있어서는 조화분석이 더 적합한 것으로 판단되었다.

셋째, 지역적 규모에서 두 방법에 의한 출현확률이 모두 높은 지역에서는 확률차이가 약 5%이하로 두 방법의 차이를 보이지 않아 OTE 적지 선정에 두 방법 모두 적용 가능함을 보였다. 하지만 빈도분석은 계산과정에 있어서 원시자료(ΔT 자료)의 변형 없이 자료를 사용하기 때문에 연중출현확률 10%이하의 값도 탐지가 가능했으나, 조화분석은 최소제곱법을 사용한 원시자료의 변형으로 탐지가 불가능한 경우가 발생하는 단점을 보였다. 따라서 지역적인 규모로 OTE를 위한 적지선정을 하기 위해서는 빈도분석이 필요함을 알 수 있었다.

따라서 OTE 부존량을 산정함에 있어서는 다양한 수온차 조건으로 계산 가능한 조화분석이 적합하고, OTE를 위한 적지를 선정하는데 있어서는 낮은 출현빈도도 탐지가 가능한 빈도분석이 적합하다고 분석되었다. 이렇게 산정한 해수온도차의 출현확률은 OTE 개발의 실용화 단계에서 주요 입지 조건인 태풍의 경로, 해안의 기초성분, 환경보전구역, 양식업, 사회기반시설 등 (Richard, 1997)의 다양한 제약조건들을 고려하여 OTE의 부존량 산정과 개발 적지 선정 시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. **KAGIS**

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원의 “한국 남부해역의 해양에너지 자원분포 및 가용발전량 조사연구(PN64690)” 사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 논문을 검토해 주신 심사위원님께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립수산과학원. 해양자료센터. <http://kocdc.nfrdi.re.kr>.
- 국승기. 2007. Introduction of Air Cooling and Heating System by Using Ocean Thermal Energy in KMU. 한국마린엔지니어링학회지 31(8):19-23.
- 김계현. 2004. 공간분석. 두양사. 178-194쪽.
- 박준택, 장기창. 2002. 온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구. 한국에너지공학회지 11(2):106-113.
- 서영상, 장이현, 조명희. 1998. 한국근해 해양 온도차 발전소의 입지선정에 관한 기초연구 (I). 한국지리정보학회지 1(2):44-55.
- 서영상, 장이현, 조명희. 1999. 해양온도차 발전소의 입지선정을 위한 해수 온도차의 공간적 분포특성 분석. 한국에너지공학회지 8(4):567-575.
- 조철희, 이영호. 2008. 국내외 해양에너지 기술 현황. 대한설비공학회 설비저널 37(10):14-37.
- 해양수산부. 1998. 바다는 왜 파란가요?. 삼신인쇄. 9쪽.
- 홍기용, 현범수. 2010. 해양에너지 기술현황과 전망. 대한설비공학회 설비저널 39(1):13-19.
- Kang, Y.Q. and M.S. Jin. 1984. Seasonal variation of surface temperatures in the neighbouring Seas of Korea. The Journal of the Oceanological Society of Korea 19(1):31-35.
- Kim, N.J., C.N. Kim and W. Chun. 2009. Using the condenser effluent from a nuclear power plant for Ocean Thermal Energy Conversion(OTEC). International Communications in Heat and Mass Transfer 36:1008-1013.
- Richard, C. 1997. OTEC Sites. <http://www.trellis.demon.co.uk>.
- Takahashi, M. 2002. 미래자원 바다에서 건진다. 아카데미서적. 28-60쪽.
- Vega, L.A. 1992. Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Ocean Energy Recovery -The State of the Art-, Chapter 7, ASCE, pp.152-181.
- Vega, L.A. 1999. Ocean Thermal Energy Conversion. Hawaii, USA, December, pp. 1-23.
- Wick, G.L. and W.R. Schmitt. 1977. Prospects for renewable energy from the sea. Mar. Technol. Soc. J. 11:16-21.
- WIKIPEDIA. <http://en.wikipedia.org>.
- Zener, C. 1973. Solar Sea Power. Physics Today 26(1):48-53.
- Zener, C. 1977. The OTEC answer to OPEC -Solar Sea Power-. Mechanical Engineering 99:26-29. **KAGIS**