

제주화력발전소 주변의 수온 및 해류의 특성

이 병 길 · 최 영 찬
제주대학교 해양과학부

The characteristics of the ocean temperature and wave distributions around Jeju Power Plant in Jeju

Byung-Gul Lee and Young-Chan Choi

School of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

To find out the horizontal and the vertical temperature structures and the current characteristics of coastal ocean around Jeju Power Plant located at north part of Jeju Island, we observed the seawater temperature in March, May, September and December, in 2003 and also 15 days long times waves using a current meter respectively. The observed results show that the seasonal variations of the horizontal and vertical temperature pattern happened. However, the horizontal temperature distribution pattern was not much changed. It means that the horizontal temperature change was not so strong due to tidal mixing effects in coastal area. So that the density current was so weak by the weak stratification effects. The surface current pattern shows that the M_2 tidal current component was relatively strong compared with K_2 , K_1 , O_1 and constant flow. From the observation results, we found that the density current around Jeju Power Plant was very weak but the surface current was strong since the tidal current effects.

Key words : temperature

서 론

제주 화력발전소 주변의 온배수의 영향을 파악하기 위하여 발전소 주변의 수온 및 해류의 특성을 조사하였다. 일반적으로 온배수 영향은 통상 배수구 근처의 해역에 한정되며, 배출구에서 해양으로 나오면 곧바로 해수와 혼합되고 대기중에 열을 발산하면서 주변 해수온도와 다시 같아지게 된다. 이러한 온배수의 영향은 일반적으로 산업발전과 생활환경의 변화에 의한 해양오염, 기상, 조류 등에 따른 영향을 고려해야 하므로 온배수만의 영향을 추정하는데 어려움이 따르기도 한다. 또한 온배수 확산 범위는 계절에 따라 다소

차이가 있을 것으로 예상된다. 예를 들면, 연안역은 조석이 탁월하여 해류에 의한 온배수 이동은 계절에 따른 차이가 거의 없다. 하지만 대기의 경우, 겨울에는 대기의 온도가 하강함으로 인해서 발전소배출구 수온과 주변해양의 수온과 차이가 남으로 인해서 상대적으로 고온수가 많이 퍼져나갈 수 있는 반면에, 여름철에는 발전소의 수온과 주변 해양의 수온차이가 거의 나지 않거나 간혹 수온역전도 발생하여 겨울철에 비해서 상대적으로 온배수 확산범위가 줄어들 수도 있다.

제주조석표(Table 1.1)에 따르면, 온배수 확산에 영향을 줄수 있는 해류의 유속은 대개 50 cm/sec내외인 것으로 나타났으며, 해류방향은 연안을 따라 수평방향(동서방향)의 유동이 탁월한 것으로 나타났다.

Table 1.1. Tidal Harmonic Components in Jeju Harbor.

	Yang (1993)	Kim (1975)
Position	Jeju Harbor	Jeju Harbor
Latitude	N 33° 30' 52.7"	N 33° 30' 52.7"
Longitude	E 126° 31' 51.3"	E 126° 31' 51.3"
Period	1989.1.1 - 1991.12.31	1975
Component	Amp (cm)	Amp (cm)
M2	65.752	71.3
S2	28.413	30.1
N2	12.968	13.8
K2	5.735	8.6
Q1	0.357	-
M1	0.773	2.0
K1	23.560	23.0
O1	19.537	17.3
P1	6.593	7.6
L2	1.588	-
J1	1.608	-

그리고 제주항에서 북쪽으로 약 4마일 떨어진 측류 점에서 조사된 결과로 10 m층은 전류기에 일시적으로 남향류와 북향류가 출현하고 있지만 창조시는 서향류, 낙조시는 동향류가 주류가 된다. 평균유속은 서향류는 29.2 cm/sec, 동향류는 45 cm/sec이고 최강류는 창조시 57 cm/sec, 낙조시 62 cm/sec로 동향류가 서향류보다 강하게 나타났다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 수온 및 해류 관측자료를 통하여 온배수에 영향과의 관계를 조사하였다. 그리고 2003년 3월 13일, 5월 1일, 9월 22, 12월 4일에 발전소 주변의 수온을 관측하였다. 마지막으로 유속계를 계류시켜 장기간 해류관측을 실시하였다.

계절별 수온 관측자료

북제주 화력 발전처에서 배출되는 계절별 온배수의 확산범위를 실제관측을 통하여 조사하기 위하여 2002년 3월 13일, 5월 1일, 9월 22일, 12월 4일에 배출구부근 해역의 약 2 km×1 km 범위에 대해 CTD(SBE19) 및

표층수온계를 이용하여 총 22개 정점의 수온과 염분을 관측하였다(Fig. 2.1). Fig. 2.1은 수온과 염분을 관측한 정점들의 위치도이다. 배출구 주변의 온배수 분포를 정밀하게 파악하기 위해 배출구 가까이에서는 영향이 예상되는 삼양어장부근을 중심으로 방사형과 사각형의 형태를 조합하여 어장부근은 비교적 좁게 설정하였고, 바깥은 넓게 정하였다. 관측범위는 관측시 수온·염분의 분포와 조류의 방향에 의해 현장에서 결정하였다.

특히 이번 수온조사에서 중점을 둔 것은 수온관측 지점의 정확한 위치를 지도에 표시하는 것이었는데, 이를 위하여 수치지도와 GPS를 이용하여 그 수온관측지점의 위치를 경위도 좌표의 초단위값의 정도를 이용하여 위치를 정하였다.

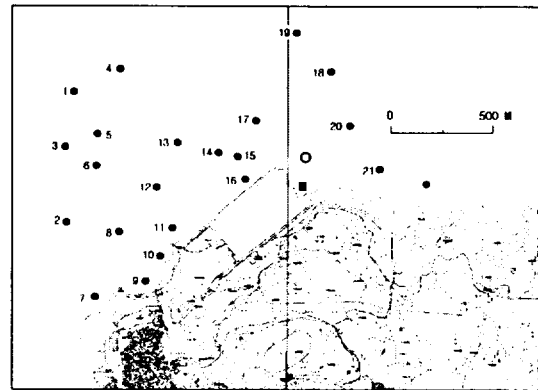


Fig. 2.1. The observation stations(Black points are water temperature. White one is current meter).

3월의 수온의 온배수 확산 분포도

Fig. 2.2는 3월의 표층 수온의 수평분포 및 연직구조를 나타내고 있다. 이때 확산형태는 배출구 부근에서 배출된 온배수가 퍼져 나가 원의 모양을 이루며 분포하는 것을 보여준다. 온배수의 영향을 받는 부분의 수온을 14~14.5℃라고 보여진다. 이러한 확산범위의 검증은 다른 계절의 온배수 조사와 온배수모델로서 검증해야 될 것으로 판단된다. 그리고 수온의 연직구조에서 수평축은 관측점을 나타내며, 연직축은 수심을 나타내고 있다. 그림을 보면 발전소배출구부근에서 약한 성층구조를 보이고 있으나 이러한 성층구조는 수평방향으로 퍼져가고 있으나, 연직적인 변화는 수평적인 변화에 비하여 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다.

5월 수온의 온배수 확산 분포도

Fig. 2.3는 5월에 관측된 수온의 수평분포도야 연직 구조를 나타내고 있다. Fig. 2.3를 보면 16.5℃를 기준으로 보면 3월에 비해 동쪽으로 약간 치우친 형태를 보여주고 있으나 전반적으로 원형의 형태로 동쪽으로 16.5℃를 기준으로 확산분포형태 및 범위를 결정할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 2.3의 연직구조를 보면, 3월에 비하여 성층이 온배수 배출구에서 상대적으로 외양으로 확산되어 있으나 표층과 저층의 수온차가 거의 수심 5m내외에서 1℃정도로 나타나 성층이 표층에 국한됨을 알 수 있다. 그리고 온배수의 확산범위로 여겨지는 16.5℃는 배출구부근까지만 확산되어 연직으로의 확산은 거의 이루어지지 않는 것으로 사료된다.

연직구조를 나타낸 것이다. 이표의 값을 근거로 등수온도를 나타내었다. 등수온도를 보면 3월과 5월에 비하여 비슷한 양상을 가지고 있으며 22℃도가 확산의 기준온도가 될 것으로 판단된다. 이러한 수온구조는 3월과 5월과 비슷한 양상을 나타내고 있다. 연직구조를 관측점 B와 C점을 택하여 연직등온선을 작성한 것이다. 그림에서 보면 연직혼합이 잘 발생된 형태를 보이며 수심 10m까지 21.5℃에서 22.5℃까지 연직혼합된 형태를 잘 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 양상은 온배수에 의한 성층효과가 잘 발생되지 않으며, 또한 연안역에서는 조석혼합의 현상에 의하여 연직혼합이 강하게 발생되어 수심 10m내외에서는 하계에 발생하는 성층에 의한 효과가 거의 나타나지 않은 것으로 판단된다.

9월의 수온의 온배수 확산 분포도

Fig. 2.4는 9월 22일 관측된 수온의 수평분포도와

12월의 수온의 온배수 확산 분포도

Fig. 2.5는 12월에 관측된 수온수평분포 및 연직구

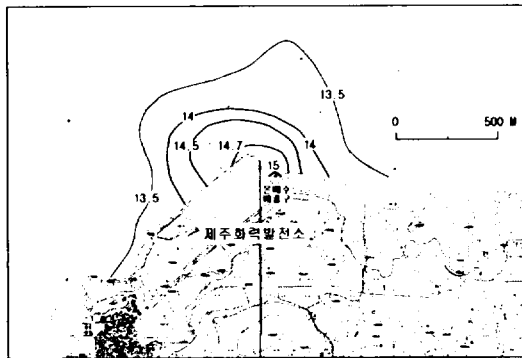


Fig. 2.2. The horizontal and the vertical temperature distributions in March, 2003.

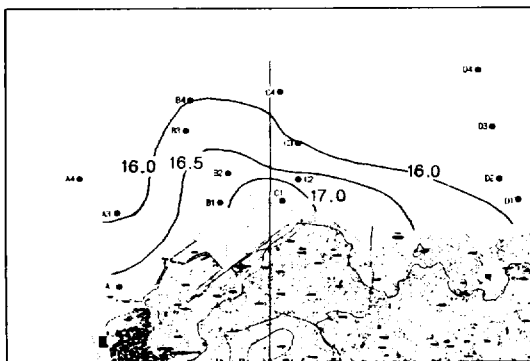


Fig. 2.3. The horizontal and the vertical temperature distributions in May, 2003.

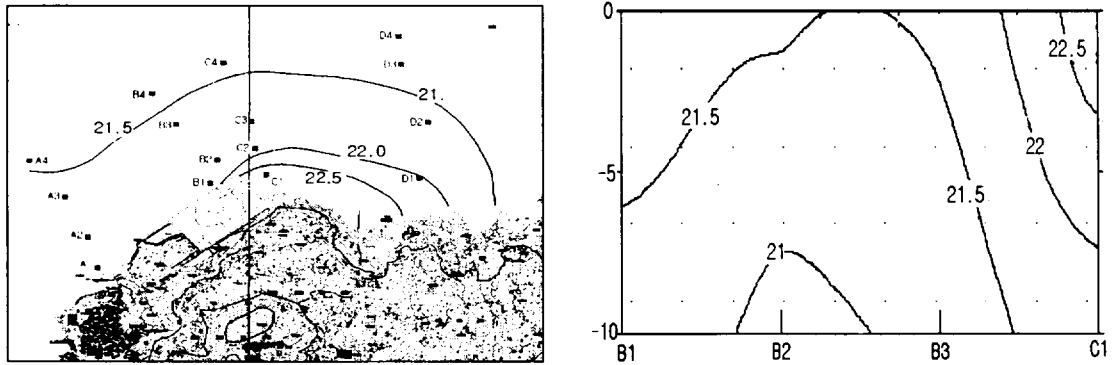


Fig. 24. The horizontal and the vertical temperature distributions in September, 2003.

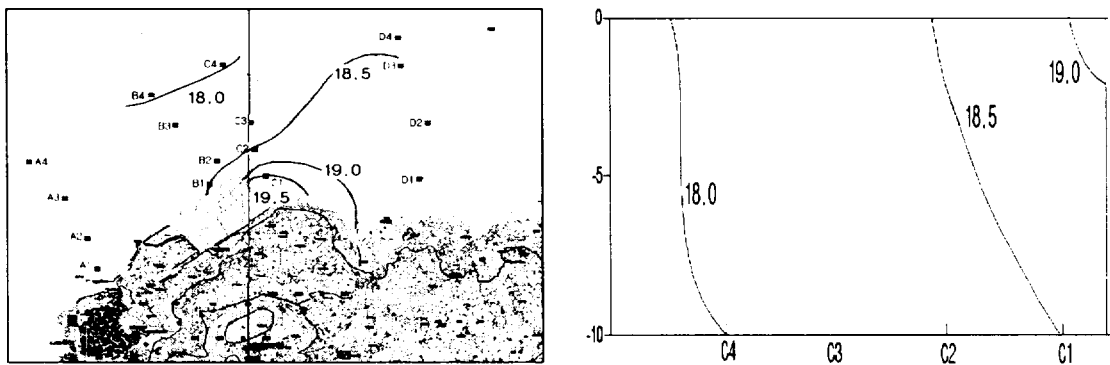


Fig. 25. The horizontal and the vertical temperature distributions in December, 2003.

조를 나타낸 것이다. 이표의 값을 근거로 등수온도를 나타내었다. 등수온도를 보면 다른 계절에 비하여 온배수 확산범위가 19℃를 기준으로 할 때 확산범위가 좁아짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 차가운 대기온도에 의하여 급격히 온배수의 수온이 하강하기 때문인 것으로 판단된다. 연직구조를 관측점 C 선을 중심으로 연직등온선을 작성한 것이다. 그림에서 보면 연직혼합이 잘 발생된 형태를 보이며 수심 10m까지 18℃, 18.5℃, 19℃까지 모두 연직적으로 잘 혼합된 형태를 보여 성층의 현상은 나타나지 않는 것으로 나타났다.

해류관측

15일 장기 해류관측

Fig. 3.1은 2003년 12월 4일부터 12월 21일까지 약 17일

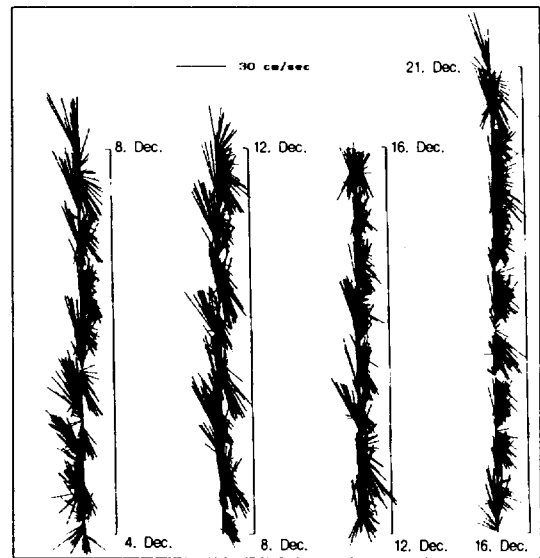


Fig. 3.1. Long time current observation from December 4 to 21, 2003.

간 제주화력발전소 앞바다에서 장기간 해류계(RCM current meter)를 계류시켜서 관측된 해류값을 나타낸 것이다. 유속의 크기는 최대 50 cm에서 최소 3 cm까지 변동되며, 관측자료를 보면 반일주조에 의한 주기적인 유동변동의 특성을 파악할 수 있다. 이 관측자료로부터 조류성분과 해류성분을 구분하기 위하여 최소자승법을 이용한 다음의 조석의 조화분해식을 이용하였다.

최소자승법에 의한 조석 조화분해

관측치 $y(t)$ 를 이론식 $y(t) = a \cos(t - \theta)$ 에 it 시키는 경우, 진폭 a 와 위상을 계산하고자 한다. 여기서는 우리가 이미 아는 조석의 분조값이다.

이것을 최소자승법에 적용해보면

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (y(t) - a \cos(t - \theta))^2}{n} \quad (3.1)$$

여기서 a 는 실측치와 계산치와의 차이가 된다. $y(t)$ 는 관측된 값. 여기서 \cos 함수값은 원하는 분조값이 된다. 이식을 전개하고 미분을 하여 풀면 원하는 분조의 값을 유도할 수 있다.

본 연구에서는 유속의 U성분과 V성분으로 각각 분리하여 주태음반일주조, 주태음일주조, 주태양일주조, 주태양반일주조 4개성분으로 나누어서 계산하였다. 그 이유는 조석의 성분에너지의 90% 이상이 이성분에 의하여 결정되기 때문이다.

그리고 조석외의 해류성분을 구하기 위하여 다음의 시간적분식을 이용하여 각각의 유속(U, V)의 성분을 계산하였다.

$$\text{Residual current } U = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u(t) dt \quad (3.2)$$

t_1 은 관측을 시작한 시간이고 t_2 는 관측이 끝난 시간이다. 관측된 유속값을 u 성분과 v 성분으로 분리하여 시간에 적분하여 평균하면 조석성분이 제거된 해류성분을 구할 수 있다. 이 값을 Table 2.1과 Table 2.2에 각각 나타내었다.

표 2.1과 2.2의 결과를 분석해 보면 반일주조인 주태음반일주조인 M_2 의 크기가 가장 강하게 나타났고, 그 다음으로 주태양반일주조인 S_2 의 값이 크게 나타났다. 그리고 조석의 성분외에 해류의 성분을 나타내

주는 잔차류의 크기는 약 7 cm/sec로 반일주조보다 약하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 이 해역은 조석의 성분이 탁월한 해역임을 알 수 있었다.

Table 2.1 U-component from harmonic analysis (Unit: cm/sec)

	K1	M2	S2	O1
Amplitude	1.89255	10.9019	6.44402	0.999194
Phase	300.420	152.357	24.4647	161.538
Residual current	6.625			

Table 2.2 V-component from harmonic analysis (Unit: cm/sec)

	K1	M2	S2	O1
Amplitude	0.619421	1.93245	1.60334	0.069290
Phase	50.5228	147.637	37.7258	315.943
Residual current	-2.8495			

밀도류의 효과

관측자료에 의하면 제주화력발전소 주변의 외양과 달리 연안역에서 발생하는 조석혼합현상에 의하여 앞의 계절별 수온조사에 따르면 성층이 매우 약하게 발생하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 약한성층도 온배수확산과 관련이 있으므로 이러한 성층효과에 의하여 발생될 수 있는 밀도류를 계산하고자 한다. 이 밀도류를 계산하여 온배수확산과의 관계를 추리하고자 한다. 만일 온배수에 의한 성층이 강하게 발생된다면 이로 인해 밀도류가 발생되며 이 밀도류에 의하여 온배수확산의 범위가 달라질 수가 있다. 따라서 온배수에 의한 밀도류의 크기를 계산하여, 성층의 정도를 판단하고자 하여 다음의 방정식을 도입하여 밀도류를 계산하여 보았다(Lee, 1994).

$$U_d = - \frac{gh^3}{48 \langle N_z \rangle} \frac{d\rho}{\rho dx} (8Z^3 + 9Z^2 - 1) \quad (3.3)$$

$$N_z(t) = 0.074 U(t), \quad Z = \frac{z}{h}$$

여기서 N_z 는 연직확산계수, ρ 는 물의 밀도를 나타낸다. h 는 수심을 나타낸다. 이 경우 물의 밀도를 1.0268 gm/cm³, g 는 중력가속도 980 cm/sec², N_z 는 해류의

세기로서 제주연안역의 최대유속 60 cm/sec를 삽입하면 밀도류를 계산할 수 있다. 본 조사에서는 온배수가 발생하는 제주화력발전소 주변의 평균수심을 10 m로 주고 수온차가 1℃라고 가정하여 수심별로 계산하면 다음의 결과가 나온다.

Table 2.3 Strength of density current (cm/sec)

Depth (m)	1	3	5	7
Strength (cm/sec)	-0.32	0.00	0.81	2.2

Table 2.3을 보면 수온변화에 따른 밀도류의 세기는 본 제주화력발전소의 경우 거의 2 cm/sec로 매우 미약하여 조석 및 바람에 의한 유속의 변동만으로 온배수확산을 예측하는데 어려움이 없으며, 따라서 Barotropic한 모델을 고려한 온배수 확산문제에 어려움이 없을 것으로 판단된다.

요약 및 결론

수온관측과 해류조사에 근거한 제주화력발전소 주변의 수평수온 분포 및 연직분포를 파악하였다. 이를 위하여 우선 해도상에 정확한 위치를 파악하여 GPS를 이용한 위치를 선점하여 정확한 수온분포범위를 설정하였다. 그 결과 3월의 수온의 확산 분포도는 배출구 부근에서 배출된 온배수가 퍼져 나가 원의 모양을 이루며 분포하는 것을 보여준다. 온배수의 영향을 받는 부분의 수온을 14~14.5℃라고 보여진다. 그리고 수온의 연직구조에서 약한 성층구조를 보이고 있으나 이러한 성층구조는 수평방향으로 퍼져가고 있으나, 연직적인 변화는 수평적인 변화에 비하여 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다. 5월의 수온의 수평분포도는 16.5℃를 기준으로 보면 3월에 비해 동쪽으로 약간 치우친 형태를 보여주고 있으나 전반적으로 원형의 형태로 동쪽으로 16.5℃를 기준으로 확산분포형태 및 범위를 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 수온의 연직구조는 3월에 비하여 성층이 온배수 배출구에서 상대적으로 외양으로 확산되어 있으나 표층과 저층의 수온차가 거의 수심 5m내외에서 1℃정도로 나타나

성층이 표층에 국한됨을 알 수 있다. 9월의 수온의 수평분포도는 등수온도를 보면 3월과 5월에 비하여 비슷한 양상을 가지고 있으며 22℃도가 확산의 기준온도가 될 것으로 판단된다. 수온구조는 3월과 5월과 비슷한 양상을 나타내고 있으나, 연직혼합이 잘 발생된 형태를 보이며 수심 10m까지 21.5℃에서 22.5℃까지 연직혼합된 형태를 잘 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 양상은 온배수에 의한 성층효과가 잘 발생되지 않으며, 또한 연안역에서는 조석혼합의 현상에 의하여 연직혼합이 강하게 발생되어 수심 10m내 외에서는 하계에 발생하는 성층에 의한 효과가 거의 나타나지 않은 것으로 판단된다. 12월의 수온수평분포는 등수온도를 보면 다른 계절에 비하여 온배수 확산범위가 19℃를 기준으로 할 때 확산범위가 좁아짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 차가운 대기온도에 의하여 급격히 온배수의 수온이 하강하기 때문인 것으로 판단된다. 연직구조는 연직혼합이 잘 발생된 형태를 보이며 수심 10m까지 18℃, 18.5℃, 19℃까지 모두 연직적으로 잘 혼합된 형태를 보여 성층의 현상은 나타나지 않는 것으로 나타났다.

해류의 경우 15일 장기해류관측을 실시하였을 경우, M₂조가 가장 탁월하였으며, S₂, K₁, O₁ 순으로 조류의 크기가 나타났으며, 잔차류는 M₂를 제외한 다른 조석성분보다는 크게 나타났다. 그리고 밀도변화에 의한 밀도류의 세기는 미미한 것으로 나타났다.

참고문헌

Bentamy, A., K. B. Katsaros, A. M. Mestas-Nunez, W. M. Drennan, E. B. Forde, and H. Roquet. 2003. Satellite estimates of wind speed and latent heat flux over the Global Oceans. *J. Clim.*, 16: 637-656.
 Byung-Gul Lee. 1994. A physical characteristics of Deukryang bay using numerical and analytical models in summer. Ph.D. thesis. Pukyung National University. 198pp.
 한국해양조사원. 2003. 조석표. 132pp.