

# 하동화력 발전소 온배수에 대한 Spectrum 분석

박일흠\* · 이근효\*

\*전남대학교 수산해양대학 해양기술학부

## Spectral analysis for thermal discharge of Hadong Power Plant

Il Heum PARK\*, Geun Hyo LEE\*

\*Ocean Engineering Program, School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu, Korea

**KEY WORDS:** Thermal discharge 온배수, MEM(Maximum entropy method) 최대엔트로피법, Spectral analysis 스펙트럼 분석

**ABSTRACT:** In order to understand changes of water temperature for thermal discharge of Hadong power plant in Gwangyang and Jinju Bay, it was analyzed for temperature data of representative season by MEM(Maximum entropy method) that is one of the spectral analyses. And due to understand effect of thermal discharge at each point, analyzed spectral data showed relative energy rate of reference point by calculating energy from 24 time period to height frequency zone. As a result of spectral analysis, it showed that there were 9 points which are largely effected, 7 points which will be estimated, 6 points which is difficult to estimate, 14 points which rarely effected by thermal discharge.

### 1. 서 론

하동화력발전소 1~6호기의 가동으로 인한 발전소 주변의 광양만 및 진주만 해역의 수온변동 특성을 파악하기 위해, 2003년 5월부터 2004년 5월까지의 13개월 동안 표층수온의 장기적/연속적 관측을 수행하였으며 관측된 자료를 여러 가지의 통계적 해석기법을 이용하여 분석하였다. 이 때, 사용된 수온자료는 각 정점에서 매 1분 간격으로 1년 동안 관측된 것에 대하여 내외적인 거친 잡음을 제거하기 위하여 10분 평균(mean)된 값을 산출하여 분석에 활용하였다.

준비된 자료로부터 분석에 사용된 방법에는 '각 정점별 관측결과와 월별 통계특성에 대한 기본분석' 및 '각 정점별로 배수구 정점과의 온도차에 대한 온도구간별 출현빈도' 등 여러 가지로 분석을 활용하였지만, 램덤현상에 대한 자료가 주어졌을 때 주파수(혹은 주기별) 에너지의 크기를 분석하기 위해 각 계절별 불규칙 수온량에 대한 스펙트럼분석을 실시하였다.

따라서, 본 연구는 불규칙 수온량의 주파수(혹은 주기별) 에너지의 크기를 분석하기 위하여 여러 가지 통계적 해석방법 중 스펙트럼분석을 바탕으로 하동화력발전소의 온배수의 영향범위를 알아보고자 한다.

### 2. 자료 및 방법

#### 2.1 수온측정 위치

수온센서 장기계류 정점은 Fig. 1과 같으며, 표기 및 인식의 편의성을 도모하기 위하여 남해대교를 중심으로 광양만 구역의 관측정점들을 INT(취수구) 및 OUT(배수구)를 포함하여 G03~G23개의 정점으로 표시하였고 남해대교를 지나서 진주만 영역의 관측정점들을 J01~J13까지 13개로 표기하여 총 36개 정점에서 1년 간 장기수온관측을 실시하였다. INT 및 OUT정점은 온도계 계류장치를 고정할 수 있는 구조물에 설치하였으며 관측 정점 중 G04 정점은 배수구로부터 직선거리로 1.16km 떨어져 있어 가장 가까운 정점으로서 모든 분석에 가장 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 비교대상 정점으로 활용되었다. G22 정점은 배수구로부터 직선거리 15.55km에 위치하고 있어 충분히 떨어져 있는 것으로 판단되어 비교대상 정점으로 활용되었다. 진주만의 경우도 배수구에서 18.23km 떨어진 J13정점을 고려하였으나 정점위치의 수심이 얕아 해수온이 평균적으로 진주만의 다른 정점보다 태양복사열과 대기온도에 영향을 많이 받는 것으로 나타나 J12번을 비교·분석에 활용하였다.

#### 2.2 스펙트럼분석

램덤현상에 대한 자료가 주어졌을 때 주파수별(혹은 주기별) 에너지의 크기를 분석하는 스펙트럼 추정법은 Blackman-Turkey-y법, FFT법, 최대엔트로피법(MEM) 혹은 자기회귀식법 등이

교신저자 박일흠: 전남 여수시 둔덕동 산 96-1

061-659-3152 Parkih@jnu.ac.kr

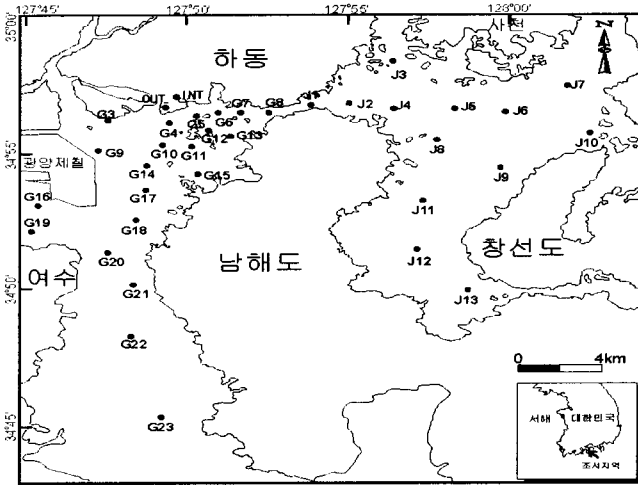


Fig. 1 Location map of sampling stations

있다. 본 조사에서는 다른 방법과 비교하여 '① 짧은 데이터에서도 스펙트럼 추정이 가능하다.' '② 스펙트럼의 분해능력이 매우 높다.' 라고 알려진 MEM(Maximum entropy method) 즉,

최대엔트로피법을 사용하였다. MEM을 소개하면 다음과 같다.

Burg(1967)는 "정보엔트로피를 최대 하도록 스펙트럼을 결정한다"라고 하는 지금까지의 스펙트럼 계산법과는 전혀 다른 사고로서 랜덤데이터의 스펙트럼을 추정하는 방법을 제안했다. 이것은 Cooley-Tukey법(1965)보다 불과 2년 후의 발표이다. 또한, 짧은 데이터로부터도 분해능이 높은 안정한 스펙트럼이 구해진다고 하는 굉장한 특징에도 불구하고 MEM이 일반의 연구자에게 파급된 것은 훨씬 늦은 1970년 이후이다. 그러나, 1970년경부터 MEM이론의 여러 가지의 유도, MEM과 자기회귀식(AR)과의 관계, 알고리즘의 개발 등 이론적인 연구가 깊어졌고, 다른 지구물리학으로의 응용(지자기 변동, 지축변동, 태양주기와 년기온의 관계 등)이 활발하게 행해지어, MEM은 다른 분야의 폭발적인 보급이 확대되고 있는 중이다. Burg(1967)에 의한 MEM 이론을 간결하게 요약하면 다음과 같다.

정규확률분포를 가진 시계열의 엔트로피 H는 시계열의 스펙트럼을 P(f), Nyquist 주파수를  $f_N=1/(2\Delta t)$ 로 할 때, 스펙

$$H \propto \int_{-f_N}^{f_N} \log P(f) df \quad (1)$$

트럼과 자기상관함수  $C_k(\equiv C(k\Delta t))$ 의 사이에는 Wiener-Khinchine의 관계식이 성립한다.

$$\int_{-f_N}^{f_N} \log P(f) z^k df \quad (-m \leq k \leq m) \quad (2)$$

혹은 우변을 좌변에 이항하고 이것을 적분 속에 넣어 고쳐쓰면,

$$\int_{-f_N}^{f_N} [P(f)z^k - \frac{1}{2f_N} C(k\Delta t)] df = 0 \quad (-m \leq k \leq m) \quad (3)$$

따라서 Wiener-Khinchine의 관계식은 식 (4)와 같이 된다.

$$P(f) = \frac{1}{2f_N} \sum_{k=-m}^m C^k z^{-k} \quad (4)$$

여기서,  $z = \exp(i2\pi f\Delta t)$  이다.

식 (2)~(4)의 조건 아래에서 엔트로피를 최대로 하는데는, Lagrange 승수  $\lambda_k$ 을 도입하여 변분연산을 행하고, 이것에 의

$$\delta \int_{-f_N}^{f_N} \log P(f) - \sum_{k=-m}^m \lambda_k [P(f)z^k - \frac{C_k}{2f_N}] df = 0 \quad (5)$$

해 다음의 관계에 다다른다.

$$P(f) = \frac{1}{\sum_{k=-m}^m \lambda_k z^k} \quad (6)$$

P(f)는 양의 실함수이기 때문에, 위의 관계식은  $\lambda_k$ 의 대신에 미지계수  $\gamma_k$ 에 의해 여기서, 계수  $\gamma_k$ 는 m점 예측

$$P(f) = \frac{P_m}{2f_N} \frac{1}{1 + \sum_{k=-m}^m \gamma_k z^k} \quad (7)$$

오차 필터(m point prediction error filter),  $P_m$ 은 이 필터로부터의 평균출력이다.

$$P_m = E[x_i - (-\gamma_1 x_{i-1} - \gamma_2 x_{i-2} - \dots - \gamma_m x_{i-m})^2] = C_0 + \gamma_1 C_1 + \gamma_1 \gamma_1 C_2 + \dots + \gamma_m C_m \quad (8)$$

식 (4)과 (7)은 서로 같기 때문에, 양식의 z의 등력의 계수를 같다고 놓고, 또한  $C_{-m} = C_m$ 의 관계에서, (m+1)차원 연립1차방정식이 유도된다.

$$\begin{bmatrix} C_0 & C_1 & \cdots & C_m \\ C_1 & C_0 & \cdots & C_{m-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_m & C_{m-1} & \cdots & C_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \gamma_1 \\ \vdots \\ \gamma_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_m \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

윗식에 있어서 미지수는  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m; C_m; P_m$ 의  $(m+2)$ 개다. 그러나 방정식은  $(m+1)$ 개이기 때문에, 새로운 조건이 하나 필요 하게 된다. 이 조건으로서 “예측오차필터에 양 및 반대방향으로 신호를 통과할 때 평균출력을 최소로 한다.”을 채용한다.

계수  $\gamma_1, \dots, \gamma_m$  및  $P_m$ 이 구해지며 MEM스펙트럼은, 식 (7) 즉 다음 식으로 계산된다.

$$P(f) = \frac{P_m \Delta t}{\left| 1 + \sum_{k=1}^m \gamma_k e^{i2\pi f k \Delta t} \right|^2} \quad (10)$$

### 2.3 MEM(Maximum entropy method)의 특성

종래의 방법에서는 데이터 길이가 해석과장에 가까우면 분해능이 저하하고, 또 스펙트럼 피크주파수가 이동(spectral shift)한다고 하는 결점이 있지만, MEM에서는 이것으로부터 벗어날 수 있다. 지구물리학적 현상에는 지진·지자기변화·기후 등 수년 혹은 수십 년이라고 하는 주기가 매우 긴 것이 많지만, 그것에 비해 우리가 사용되는 데이터 길이는 상당히 짧다. 이와 같은 경우에 MEM의 유효성이 발휘된다.

MEM의 분해능은 Burg법이 Yule-Walker법 보다 훨씬 뛰어나다.

MEM의 약점은 스펙트럼의 분산을 추정할 수 없는 것이다. 길이가 짧은 랜덤데이터에 대해서 Ulrych(1972)의 수치실험에 의하면, 자기상관함수의 Bias는 Burg법이 Yule-Walker보다 작다. 그러나 자기상관함수 추정의 분산은 Burg법이 Yule-Walker법 보다 크다. 특히 실제보다도 차수가 과도한 필터에 의할 때에 현저하다. Burg법의 분산이 Yule-Walker법의 그것보다 큰 것은, 항상 따라 다니는 분해능과 분산이 상반하는 특성 때문으로 설명할 수 있다.

MEM의 약점은 예측오차필터의 Cut Off 항의 수  $m$ 을 결정하는 합리적인 기준이 없는 것이다. 그러나, MEM과 AR(자기회귀식)과의 관계가 분명하게 된 것으로부터, AR에 관해서는 Akaike의 Final Prediction Error(혹은 AIC)에  $m$  결정의 근거를 둘 수 있다. Akaike의 FPE에 의한 판정은 많은 경우에 유효

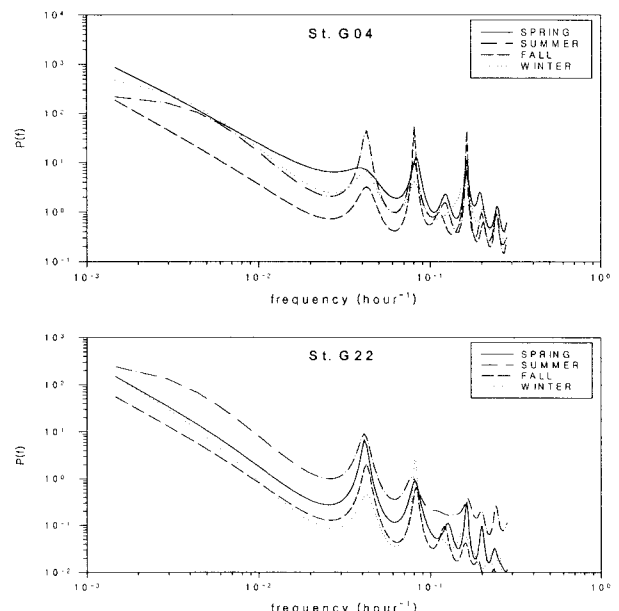
하다. 뾰족한 스펙트럼 라인을 가진 랜덤변동에서는, FPE가 분명한 극소값을 나타내지 않기 때문에,  $m$ 을 전데이터 수의 반이하로 중단할 필요가 있다( $m < N/2$ ). 최적 lag  $m$ 의 예상은 다음의 범위내로 한다. 즉  $m < (2 \sim 3 \sqrt{N})$ ,  $m$ 을 최적수보다 크게 잡으면, MEM은 쌍봉을 가진 스펙트럼의 형을 준다.

MEM에 의한 스펙트럼 추정법은 비선형추정법이다. 즉, 2개의 랜덤데이터를 중첩시킬 때 선형변환인 Fourier 변환에 의한 FFT법으로 구해지는 스펙트럼은 각각의 변동스펙트럼의 합이지만, MEM 스펙트럼은 2개의 다른 스펙트럼의 합으로 되지 않는다.

스펙트럼이 뾰족한 피크를 가진 경우, MEM 스펙트럼의 극값은 이 주파수의 파워의 상승에 비례하고, MEM 스펙트럼의 밴드폭은 파워에 역비례한다. 따라서, 스펙트럼은 MEM 스펙트럼의 적분으로 주어진다. 그러나, 스펙트럼이 완만한 경우는 MEM은 보통의 방법과 같은 결과로 된다(Lacoss, 1971, Ulrych, 1972).

### 3. 결과 및 고찰

2003년 5월부터 2004년 5월까지 총 1년에 걸친 조사기간 동안 1분 간격으로 얻어진 표층 수온자료를 계절별로 정리하여 각 계절의 대표적인 시기(하계; 2003년 8월, 추계; 2003년 10월, 동계; 2004년 1월, 춘계; 2004년 4월)에 대하여, 불규칙한 변량에 대한 대표적인 분석법인 스펙트럼 분석을 실시하였다. 그리고 분석된 자료의 특성을 알아보기 위하여, 장기관측 36개 정점 중에서 온배수의 영향을 가장 많이 받을 것으로 판단되는 G04 정점, 여수해만 입구 및 강진만 남쪽에 위치하여 온배수의 영향을 받지 않고 그 해역의 수온특성을 잘 보여줄 것으로 기대되는 G22 정점 및 J12 정점을 선택하여, 이들의 각 계절별 스펙트럼 분석결과를 그림 Fig. 2에 대표적으로 나타내었다.



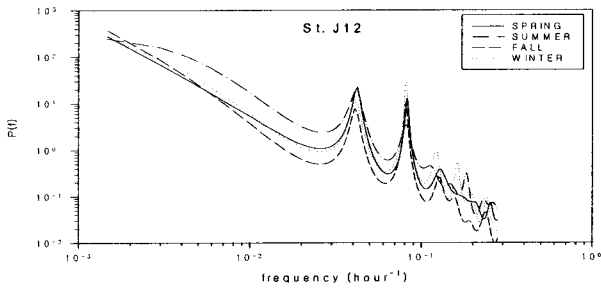


Fig. 2 Each season spectrum at G04, G22, J12

이들 그림을 살펴보면, 공통적으로 스펙트럼의 피크가 6개 나타난다. 이들 피크치에 해당하는 주파수는 좌측에서 우측으로 순서대로 주기 24시간, 주기 12시간, 주기 8시간, 주기 6시간, 주기 5시간 및 주기 4시간에 해당하는 주파수의 피크치로서 이들 중 주기 24시간의 일주기 성분은 태양 복사량에 의한 수온의 일변화와 조류의 일주조류 성분이 복합적으로 나타난 것(정종률 등, 1998)으로 사료되며 주기 12시간 정도의 반일주기 성분은 주로 조석에 의한 조류의 왕복운동에 의해 발생하는 수온의 수평적인 변동으로 판단된다. 그리고 주기 6시간의 1/4일 주기 성분은 천해에서 발달하는 조석의 배조 성분에 의한 것으로 기대되며, 기타 주기 성분은 정확한 발생원인을 추정하기 어렵다. 그리고, 이들 그림에서 주기 24시간 이후의 장주기 성분은 주기 15일 정도의 태우에 의한 대·소조기의 주기, 그리고 장주기성 기상의 변화, 강우에 의한 하천의 담수유출과 같은 성분이 포함된 것으로 유추된다. 모든 경우에 있어서 특별한 피크치는 관찰되지는 않는다.

그리고 온배수의 영향을 많이 받는 G04 정점과 유사한 스펙트럼 형태를 보이는 정점들이 있는가 하면 그 형태가 G04 정점과 다른 형태를 보이는 정점도 있다. 따라서, 본 조사에서는 G04 정점과 유사한 형태를 보이는 정점은 온배수에 영향을 많이 받을 것이라는 가정하에 다음과 같이 스펙트럼 분석자료를 재해석하였다. 즉, 각 정점별 스펙트럼 스펙트럼은 피크치가 나타나는 주파수대가 거의 일정하고 주기 24시간 이상의 주파수대에는 특별한 피크치가 나타나지 않으며, 온배수는 대개 주기 24시간 이내의 조류성분과 배수구로부터의 흐름에 의하여 주로 확산되므로, 첫째, 주기 24시간대 이상의 자료는 Cut Off 시킨다. 둘째, 주기 24시간대 피크치에서 고주파영역까지의 면적( $C^2$ ) 즉, 에너지를 구한다. 셋째, 이 면적을 각 계절별로 G04 정점과의 상대에너지비의 백분율로 나타낸다. 이상과 같이 정리된 자료를 각 계절별로 나타낸 것은 Fig. 3와 같다. 이들 그림에서, G04 정점값은 항상 100%로 결정되어져 있으며 기타정점에서의 값은 G04 정점에서의 값에 대한 상대백분율로서, 그 값이 클수록 온배수의 영향을 많이 받는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 이 분석결과는 일주기 성분의 태양복사열 혹은 대기의 영향을 별도로 분리하기가 어려우므로, 수심이 얕아 태양 복사열이나 대기의 영향이 클 것으로 사료되는 진주만의 몇몇 정점에서는 그 정량적인 해석이 어렵다.

한편, 이들 그림에서 온배수의 영향정도를 판단할 수 있는

근거를 마련하기 위하여 다음과 같은 3가지 기준에너지선 및 영향정도에 대한 기호를 채택하였다. 첫째, 온배수의 영향을 거의 받지 않을 것으로 판단되는 'G22 정점의 상대에너지선'(그림에서 아래쪽 선), 둘째, 각 정점들의 '상대에너지선 전체평균한 선'(그림에서 위쪽 선) 이 선은 취수구의 상대에너지비와 거의 일치하는 경향을 보이며, 셋째, 상대에너지선의 한 가운데에 위치하는 '중간에너지선'(그림에서 가운데선)의 3가지이다. 이들 선에서 '전체평균상대에너지선' 보다는 큰 상대에너지를 가지는 정점은 적어도 취수구 정점의 온배수 영향보다도 큰 것을 나타내므로 이런 경우 해당 정점은 적어도 취수구 정점의 온배수 영향보다도 큰 것을 나타내므로 이런 경우 해당 정점은 온배

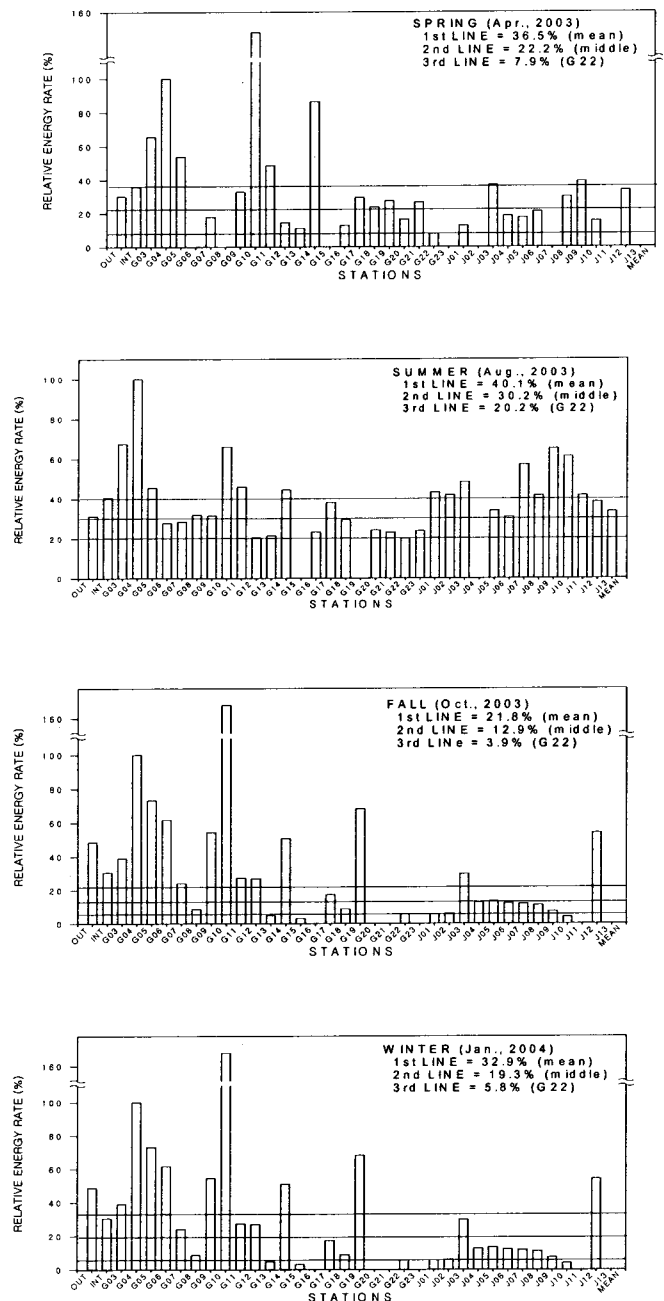


Fig. 3 Relative energy rate of each season at G04

Table 1 Estimation of each points thermal effecton as relative enery rate

구분	춘계	하계	추계	동계	종합평가	비고
INT	○	◎	◎	○	◎	
OUT	○	○	◎	◎	◎	
G03	◎	◎	◎	◎	◎	
G04	◎	◎	◎	◎	◎	
G05	◎	◎	◎	◎	◎	
G06	-	△	◎	◎	◎	
G07	△	△	◎	○	○	
G08	-	○	△	△	○	
G09	○	○	◎	◎	○	하천수의 영향
G10	◎	◎	◎	◎	◎	
G11	◎	◎	◎	○	◎	
G12	△	△	◎	○	○	
G13	△	△	×	×	△	
G14	◎	◎	◎	◎	◎	
G15	-	-	×	×	×	주변 제방에 의한 담수의 영향
G16	△	△	-	-	×	다른 열원의 영향
G17	○	○	○	△	○	
G18	○	△	△	△	△	
G19	○	-	◎	◎	×	다른 열원의 영향
G20	△	△	-	-	×	G22와 유사정점
G21	○	△	-	-	×	G22와 유사정점
G22	△	△	△	△	×	
G23	-	△	-	-	×	G22와 유사정점
J01	△	◎	△	△	○	
J02	-	◎	△	△	○	
J03	◎	◎	◎	○	△	기상의 영향
J04	△	-	○	△	△	
J05	△	○	○	△	△	
J06	△	○	△	△	×	대방수로로부터 해수유입
J07	-	◎	△	△	×	기상의 영향 및 대방수로로부터 해수유입
J08	○	◎	△	△	△	열원으로부터의 거리
J09	◎	◎	△	△	×	대방수로로부터 해수유입
J10	△	◎	×	×	×	대방수로로부터 해수유입
J11	-	◎	-	-	×	열원으로부터의 거리
J12	○	○	◎	◎	×	기상의 영향 및 열원으로부터 거리
J13	-	○	-	-	×	기상의 영향 및 창선수로로부터 해수유입

수의 영향이 아주 큰 정점으로 해석 할 수 있으며, 표기기호로서 '◎'로 나타내었다. 그리고 'G22 정점 상대에너지선'의 경우가 선보다 에너지가 낮은 경우에는 온배수의 영향이 거의 나타나지 않는 정점으로 해석할 수 있으며, 표기기호로서 '×'로 나타내었다. 그리고 '◎' 및 '×'에도 속하지 않는 중간부분의 경우 '○'로서 표기하였다. 그리고 '중간에너지선'과 'G22 정점 상대에너지선' 사이에 위치하는 정점의 경우에는 온배수의 영향 여부를 명확하게 판단하기 어려운 정점으로 분류하고 표시기호로서 '△'로 나타내었다.

이상의 분류에 따른 결과를 정리한 것은 Table 1 과 같고, 각계절별 평가를 바탕으로 각 정점별 온배수의 영향여부에 대한 종합 평가를 실시하고 그 결과를 Table 1의 6번째 칼럼에 나타내었다. 이 때 판단기준은 각 계절별 평가의 평균을 기준으로 하되, 해당 정점의 해수유동 특성, 지형·수심 특성, 열원 특성 및 배수구로부터 거리 등을 고려하여 판단하였다. 이 결과에 따르면 온배수의 영향을 크게 받는 이 결과에 따르면 온배수의 영향을 크게 받는 '◎'등급 정점은 INT, OUT, G03, G04, G05, G06, G10, G11, G14의 9개이며, 온배수의 영향이 있을 것으로 판단되는 '○'등급 정점은 G07, G08, G09, G12, G17, J01, J02의 7개이며, 온배수의 영향의 판단여부가 어려운 '△'등급의 정점은 G13, G18, J03, J04, J05, J08의 6개, 그리고 온배수의 영향이 거의 없는 것으로 판단되는 '×'등급 정점은 G15, G16, G19, G20, G21, G22, G23, J06, J07, J09, J10, J11, J12, J13의 14개이다. 이들 정점 중 G15 정점은 여러 정황으로 볼 때 온배수의 영향이 있을 것으로 기대되었으나, 관측 된 2계절 모두 G22 보다 낮은 상대에너지비를 보여 온배수의 영향이 거의 없는 정점으로 평가되었는데, 이것은 G15 정점 주변에 부력을 가지는 담수의 영향으로 밖에 설명할 수 없다. G07, G08, J01, J02 정점은 배수구와의 거리 흐름방향 등을 고려할 때 온배수의 영향이 아주 큰 영역으로 기대하였으나, 이 정점들이 노랑해협에 위치하여 좁은 수로에서 강한 유속에 의한 강한 혼합이 발생하여 그 영향이 반감하여 나타나는 것으로 판단된다. 그리고, J03 정점은 계절별 평가에서 '◎'등급을 받았으나, 이 지점이 수심이 얕고 비교적 흐름이 미약하여 태양의 복사열 및 대기의 영향을 많이 받는 영역으로 판단되어 '△'등급으로 조정하였다.

#### 4. 결 론

1분 간격으로 얻어진 표층 수온자료를 계절별로 정리하여 각 계절의 대표적인 시기(하계-8월, 추계-10월, 동계-1월, 춘계-4월)에 대하여, 불규칙한 변량에 대한 대표적인 분석법인 스펙트럼 분석을 실시하였다. 그리고 분석된 스펙트럼 자료는 각 정점별로 온배수 영향정도를 파악하기 위하여, 주기 24시간대 피크치에서 고주파영역까지의 에너지를 구하고 각 계절별로 G04 정점과의 상대에너지비의 백분율을 제시하였다. 이 결과에 따르면 온배수의 영향을 크게 받는 '◎'등급 정점은 INT, OUT, G03, G04, G05, G06, G10, G11, G14의 9개이며, 온배수의 영향이 있을 것으로 판단되는 '○'등급 정점은 G07, G08, G09, G12, G17, J01, J02의 7개이며, 온배수의 영향의 판단여부가 어려운 '△'등급의 정점은 G13, G18, J03, J04, J05, J08의 6개, 그리고 온배수의 영향이 거의 없는 것으로 판단되는 '×'등급 정점은 G15, G16, G19, G20, G21, G22, G23, J06, J07, J09, J10, J11, J12, J13의 14개이다. 이상의 종합평가는 현상을 잘 반영한 정량적 개념의 평가라고 믿어지지만, 기상현상과 결부된 정성적인 부분을 완전히 배제하지 못하였으므로, 온배수 영향범위에 대한 최종결정시에는 기타 다른 자료 및 증거를 충분히 활용하여야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 정종률 · 강현우 · 김재영 · 전호경, 1998. 위성 원자력 발전소 주변 해역의 장기간 수온관측, "「The Sea」 J. of the Korean Society of Oceanography", 제 3권, 제4호, pp.183-192.
- Akaike, H., 1969. Fitting autoregressive models for prediction, Ann. Inst. Statist. Math., Vol.21, pp243-2467
- Burg, J.P., 1967. Maximum entropy spectral analysis, paper presented at the 37th Annual International Meeting, Soc. of Explor. Geophys., Oklahoma City, Okla Oct. 31.
- Lacoss, R.T., 1971 Data adaptive spectral analysis methods, Geophysics, Vol.36, pp.661-675
- Ulrych, T.J., 1972 Maximum entropy power spectrum of truncated sinusoids, J. Geophys. Res., Vol.77, pp.1396-1400