

## 천수만 해역에서 온배수 확산모델의 적용

박 영 기

군산대학교 환경공학과  
(1995년 1월 16일 접수)

### Application of Thermal Discharge Dispersion Model on Cheonsu Bay

Young-Ki Park

*Dept. of Environmental Engineering, Kunsan University, Kunsan, 573-360, Korea*  
(Manuscript received 16 January 1995)

#### Abstract

This paper presents effective simulation of the dispersion of thermal discharge which can be released at Boryong power plant. Applied numerical models are finite difference method for hydrodynamic analysis and Masch-model comprised of conditions for ambient current velocity. Application of these models is done in Cheonsu Bay.

Summing up the results of this study are as follows:

1. It is found that the result for measurement of temperature appears high at southwardly Songdo on flood. The reason is that tidal currents which flowed north direction were accompanied with southwardly dispersed thermal discharge.

A minute particle of thermal plume has a tendency to dispers inward Deacheon Bay.

2. According to the results of numerical experiment, maximum distance for thermal discharge dispersion appeared 10.8 km at lower part and 8.6 km at upper part with power plant outlet as starting point.

3. Comparative the numerical simulation and Airbone Multispectral Scanner indicated that thermal discharge should be verified separative phenomena. The simulated results were compared with field data set showing good agreement. It is concluded that these model can be simulated well.

Key Words : Application, Airbone Multispectral Scanner, Numerical Model, Thermal Discharge Dispersion

#### 1. 서 론

온배수 방출과 해양환경문제에 대한 논의는 전 세계적으로 연안에 중화학공장 및 발전소 등의 건설이 집중되던 1960년대 부터 대두되기 시작하였다. 온배수 방출에 의한 환경영향평가 연구가 시

작된 이후 1970년대 전반에 이르기까지는 온배수 방출 연구의 초기단계로서 온배수 방출이 주변의 해양환경에 심각한 영향을 미치는 것으로 생각하여 '열오염(Thermal pollution)'이란 측면에서 엄격한 환경관리 기준이 마련되었다. 그러나 1970년대 후반부터 '열영향(Thermal effects)'의 개념으로 바뀌면서 온배수 방출에 대한 새로운 인식으로 바

라보게 되었다.

다시말하면 열오염 또는 열영향의 정의는 온배수의 방출량의 많고 적음이 아니라 인근해역의 물리 환경조건과 결부하여 환경관리 기준 또한 이에 따라 융통성있게 지역별 기준으로 마련되어야 바람직하다는 것을 의미한다. 따라서 환경관리 체계의 확립을 위하여 온배수 방출, 확산효과에 대한 철저한 이해와 규명이 요구된다.

온배수 방출의 가장 기본적인 효과인 해수온 변화는 밀도, 점성도, 증기압, 표면장력 및 기체용해도 등 해수의 물리적 특성 대부분을 변화시킨다. 또한 밀도변화는 수온성층현상(Thermal stratification)을 수반하여 수직혼합작용(Vertical mixing)을 약화 시키므로 용존산소량의 분포에 직접 영향을 준다.

온배수 방출후의 확산과정은 일차적으로 방출 방식에 따라 달라질 수 있다. 해표면방출방식에 따른 확산현상의 물리적 고찰 및 모델화에 따른 문제점, 그리고 기존 모델의 검토 등은 이미 Dunn *et al.* (1975)과 Jirka *et al.* (1975)에 의해 각기 시도된바 있다. 온배수 확산에 관한 수치모형의 기존연구로 McGuirk와 Rodi(1979)는 정지수역으로의 온배수 확산을 정상상태의  $k-\epsilon$  난류모형에 의하여 계산하고 Pande와 Rajaratnam(1977)의 수리실험자료와 비교하였으며, Wada와 Araki(1986)는  $k-\epsilon$  난류모형을 사용하여 정지수역으로의 온배수 확산을 계산하고 일본전력중앙연구소(1975)에서 수행한 수리실험자료와 비교하였으며, Raithby *et al.* (1987)등은 Huron호의 연안에 위치한 Bruce 원자력발전소의 온배수 확산을 수치해석하였다. 국내의 경우에 허(1991)는 표층 밀도분류 3차원 수치모형에 의해 해석하고 표층 밀도분류의 특성을 분석하였으며, 최와 이(1990)는 표면온배수 확산을 자유수면변화를 무시한 4-방정식 난류모형을 사용하여 해석하였다. 또한 한국해양연구소(KORDI, 1979)는 고리 원자력발전소의 온배수 확산 현장조사와 온배수 확산모형에 관한 기술현황을 검토한 바 있다.

본 연구에서는 천수만 내에 위치하고 있는 보령 화력발전소의 인근해역으로서 섬과 육지로 인

해 외해와 단절되어 있는 만의 입구형태로서 해수의 유동은 거의 조류에 의한 영향이 지배적이다. 따라서 해수유동을 정확히 이해하고 예측하기 위해서는 안정성 검토가 이루어진 Heaps(1975)모델을 이용하여 해수유동 모델을 구성하였다. 이와같은 해수유동모델을 통하여 얻어진 기본자료인 조류속장을 이용하여 주위수 조건이 고려된 온배수 확산모형을 수립하였다. 이에 대한 수치모형의 신뢰성을 수치모델 결과와 현장 수온관측및 항공기 사진촬영 결과를 비교하여 현지해역에 대한적용성 여부를 조사하고자 한다.

## 2. 현장관측

### 2.1 부표추적 실험

온배수 확산예측에 사용되는 확산계수를 구하기 위하여 송화도 주변에서 1993년 9월 19일과 1993년 10월 23일 표층에 2개의 부표를 동시에 투하, 추적하여 이동된 위치와 시각 및 두 부표간의 상대적 거리등은 Table 1,2에 나타났다. 부표는 가로1.5m × 세로1.2m크기의 Curtain type의 Drogue로서 수면하 1m 깊이에 잠길때 바람에 의한 영향은 5m/sec 이하의 풍속에서 5% 이하의 영향을 받도록 설계되었다. 부표의 위치는 GPS(Garmin)로 측정되었고, 오차는 1"(약 15m-18m)이다.

Office(1976)에 의하면 부표나 염료입자들이 최초에  $l_0$  만큼 서로 떨어진 거리에 있었고,  $t$  시간 후에 서로간의 상대적 거리가  $l$  로 되었다면 Neighbor diffusive coefficient(확산계수)  $F(l)$ 은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$F(l) = \frac{(l-l_0)^2}{2t} \quad (1)$$

여기서  $\frac{(l-l_0)^2}{2t}$  는 평균을 의미한다. 또한  $F(l)$  이 거의 상수값을 갖게 되면 난류확산계수  $K$ 는  $K=F(l)/2$ 의 관계를 갖는다.

군산항 조석을 기준으로 할 때 저조전 40분경부터 추적된 Table 1의 경우, 저조시 까지 남쪽으로 약 1시간 30분 동안 이동하면서 두 부표의 상

Table 1. Measurements of trajectory drogoue station (1993. 9. 19)

No	Time	Location	Relative depth	Diffusivity coefficient	Remarks	
1	11:14	36° 23'90"N 126° 28'87"E			Kunsan	
2-2	11:35	23'42"	28'57"	18.0 m	6.43 × 102	(High water)
-1		23'43"	28'57"			05 h 02 min.
3-2	11:52	23'06"N 28'37"E	80.50m	1.58 × 104		
-1		23'10"	28'35"			
4-2	12:18	22'96"N 28'41"E	218.97m	7.68 × 104		Kunsan
-1		23'08"	28'39"			(Low water)
5-2	12:45	23'19"N 28'47"E	108.00m	1.80 × 104		11 h 51 min.
-1		23'25"	28'47"			

\* Unit of dispersion coefficient :  $\text{cm}^2/\text{sec}$

Table 2. Measurements of trajectory drogoue station (1993. 10. 23)

No	Time	Location	Relative depth	Diffusivity coefficient	Remarks	
1	11:35	36° 23'69"N 126° 28'61"E			Kunsan	
2	11:55	23'46"	28'45"		(High water)	
3-2	12:15	23'26"N 28'35"E	54.00m	6.07 x 103		08 h 51 min.
-1		23'26"	28'38"			
4-2	12:35	23'19"N 28'25"E	191.34m	7.62 x 104		
-1		23'12"	28'33"			
5-2	01:00	23'15"N 28'12"E	369.32m	2.27 x 105		Kunsan
-1		23'01"	28'27"			(Low water)
6-2	01:26	23'22"N 28'13"E	524.16m	4.40 x 105		03 h 17 min.
-1		22'94"	28'21"			

\* Unit of dispersion coefficient :  $\text{cm}^2/\text{sec}$

대적 거리가 220m 정도 멀어졌다. 고조전 1시간 30분경에 투하된 Table 2의 경우는 낙조류에 의해 약 2시간동안 남쪽으로 이동되면서 두 부표간의 상대적 위치가 524m로 변하고 있음을 보여 준다. 이러한 상대적 거리의 증가는 관측해역의 해수유동이 난류적 특성을 갖고 있음을 의미한다.

관측자료에 의해 추정된 난류확산계수  $K$ 는 Table 1,2에 나타낸 바와 같이 Table 1의 경우는 확산계수  $K$ 가 대략  $7.5 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$ 의 값을 보이며, Table 2의 경우에는  $4.4 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{sec}$ 의 값을 보인다. 이는 천수만 내부와 외부지역에서 조류 흐름의 특성이 다를 수 있음을 의미한다. 또한 Table 1의 경우는 낙조류가 끝나갈 무렵이며, Table 2의 경우는 낙조류시작 2시간후 부터 약 2시간 가량 추적된 것이어서 이러한 확산계수의 차이는 조석위상(조류의 크기)에 따라 달라졌을 수

도 있다.

또한 이와같이 평가된 난류확산계수를 본해역에 대한 기존연구(서울대학교 자연과학대학 부설 해양연구소, 1988)와 비교해 볼때 수치상으로  $1.9 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$  값 범위내에 있고, 이 시기는 조석이 대조후 5일이어서 조류가 다소 약화될 때이다. 따라서 약간의 차이는 있을수 있으나 이를 비교하여 본 해역에서의 대표성을 부여 하기는 매우 어려운 일이다.

## 2.2 수온관측

배출구 근해역과 천수만의 일부해역에서 표층 수온을 봉상온도계를 사용하여 관측한 위치와 자료를 Fig. 1과 Table 3, 4에 나타냈다. 수온의 관측방법은 Fig.1에서 보는것 처럼 동시성을 고려하

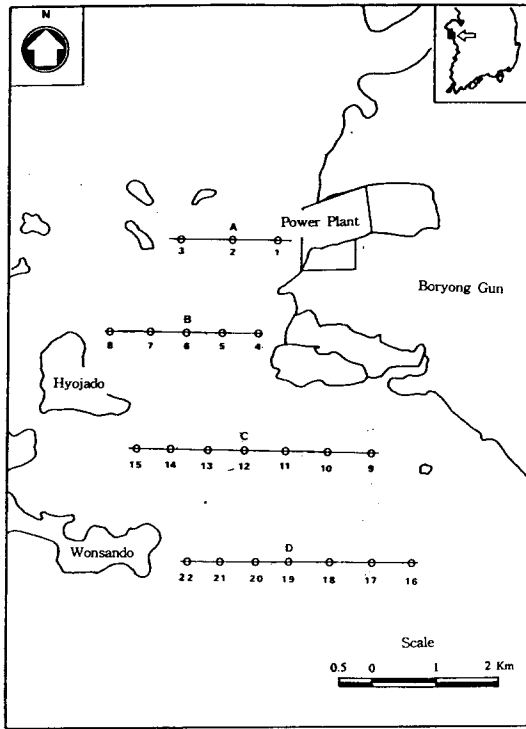


Fig. 1. Map showing the Station of measured temperature.

여 A,B,C,D 4개의 선상에서 거의 같은 시각에 출발하여 실시 하였으나 측정지점의 갯수에 의하여 40-50분 정도 차이를 보이는 측정지점이 있다. 그러나 이정도의 차이 본 해역의 조류특성으로 보아 커다란 영향을 미칠것 으로 생각되지 않는다. 이와같이 관측된 표층수온의 공간분포를 파악하기 위하여 Kriging 이라는 보간기법을 적용하여 수평적분포를 Fig. 2, 3에 나타냈다. Fig. 2의 수평수온 분포는 창조시에 측정된 수평분포이며 배출구 근처의 수온과 외해역을 비교하여 보면 약 1.5°C의 차이를 나타낸다. 또한 대천만 내부의 수온과는 약 3.5°C 정도이다. 전반적인 온도분포를 살펴보면 외해역에서 대천만 내부쪽으로 온도가 증가하는 경향을 보이고 있고, 송도 남쪽 아래중간 지점에서 높은 온도가 나타나고 있다. 이것은 남쪽으로 확산된 온배수가 복상하는 조류에 의하여 만 내부로 밀려드는 미약한 Thermal plume이 있음을 나타낸다.

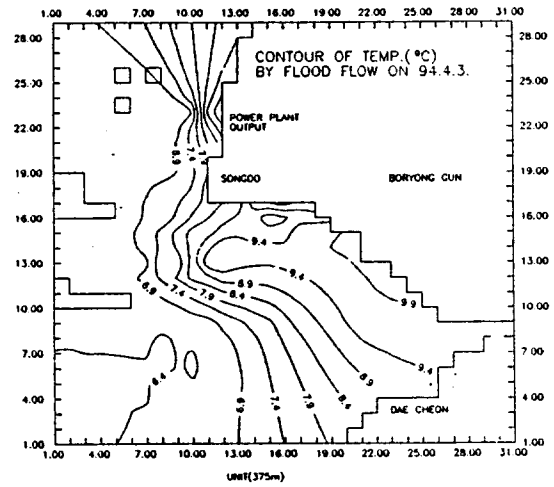


Fig. 2. Distribution of observed horizontal temperature on flood flow.

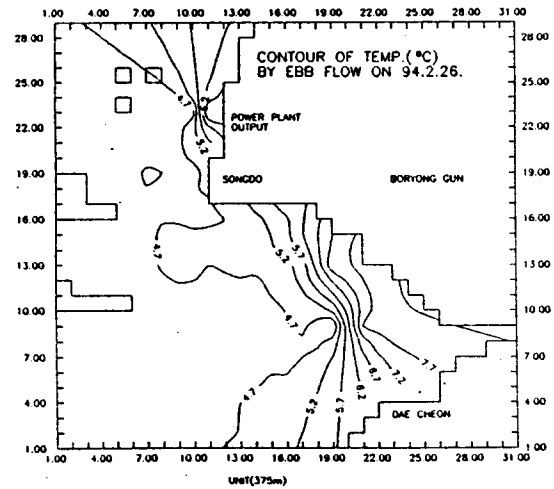


Fig. 3. Distribution of observed horizontal temperature on ebb flow.

Fig. 3는 낙조시에 관측된 수온의 수평적 분포이다. 배출구 온도는 6.2°C이고, 외해역의 온도는 4.7°C 이다. 대천만 내부쪽 온도는 약 7.7°C 로서 높은편이다. 창조시와 비교하여 보면 대천만 내부 근처에서 밀집된 등온도선 분포를 나타내고 있다.

Table 3. Values of observed surface temperature in Cheonsu Bay on 26 day February, 1993

No.St.	Time	Station	Temp.(°C)
1	10:15	36°24'10"N, 126°29'20"E	7.2
2	10:47	" , 28'85"E	4.5
3	10:52	" , 29'20"E	4.6
4	10:35	36°23'30"N, 126°27'20"E	4.5
5	10:40	" , 27'80"E	4.5
6	11:00	" , 28'30"E	4.7
7	11:05	" , 28'60"E	4.8
8	11:20	" , 29'10"E	4.5
9	10:30	36°22'06"N, 126°29'51"E	7.5
10	10:35	22'09"N, 29'47"E	5.4
11	11:37	22'36"N, 28'13"E	4.8
12	11:45	22'36"N, 28'24"E	4.8
13	11:54	22'30"N, 28'39"E	4.7
14	12:02	22'20"N, 29'00"E	4.9
15	12:10	22'14"N, 29'32"E	4.6
16	10:40	36°20'44"N, 126°30'79"E	3.7
17	10:55	20'46"N, 30'45"E	4.2
18	11:05	20'46"N, 30'00"E	4.8
19	11:15	20'49"N, 29'29"E	4.5
20	11:27	20'60"N, 28'67"E	4.4
21	11:40	21'07"N, 28'03"E	4.0
22	11:48	20'78"N, 28'57"E	4.3

Table 4. Values of observed surface temperature in Cheonsu Bay on 3 day April, 1994

No. St.	Time	Station	Temp.(°C)
1	15:35	36°24'10"N, 126°28'20"E	10.4
2	15:42	" , 28'85"E	9.4
3	15:48	" , 28'04"E	6.9
4	15:00	36°23'30"N, 126°27'20"E	7.3
5	15:15	" , 28'30"E	6.9
6	15:23	" , 27'80"E	6.8
7	15:30	" , 27'20"E	6.8
8	15:38	" , 27'80"E	6.8
9	15:14	36°22'06"N, 126°29'51"E	6.7
10	15:18	22'05"N, 29'48"E	6.8
11	15:26	22'12"N, 29'17"E	6.8
12	15:38	22'21"N, 28'34"E	6.8
13	15:46	22'22"N, 27'53"E	7.8
14	15:54	22'16"N, 28'27"E	7.6
15	16:01	22'15"N, 29'03"E	8.6
16	15:15	36°20'44"N, 126°30'79"E	9.7
17	15:30	20'63"N, 30'10"E	9.7
18	15:45	20'72"N, 29'02"E	9.1
19	15:55	20'81"N, 28'40"E	8.6
20	16:00	20'92"N, 28'05"E	7.8
21	16:13	20'62"N, 29'58"E	7.3
22	16:22	20'44"N, 30'72"E	6.7

### 3. 온배수 확산수치 모델

#### 3.1 확산 수치모델 수립

일반적으로 해수중에서 배출물질이 확산되는 형태에 관한 문제는 해수의 유동특성과 관련지어 해양물리화학적 측면에서 이루어지고 있다. 그러나 해양물리화학적 측면에서 연구할 때는 배출물질 그 자체가 시,공간적으로 보존성을 지닌다는 대전제 하에 이루어지고 있다. 다시 말해서 시간이 경과함에 따라서 배출물질이 분해되거나 용해 또는 미생물에 의하여 흡수된다든지 하는 문제는 다루지 않고 배출물질 그 자체는 불변성이라 가정하고 단지 시간에 따라 그 농도가 어떻게 변하는가 하는 문제만을 해수의 유동과 연관시켜 연구한다. 그러나 배출물질이 온배수로서 분자상태가 아닌 해수인 경우에는 Thermal plume을 형성하여

주변해수와 혼합작용에 의해 혹은 대기와의 상호작용에 의해 자체 에너지의 손실이 발생하게 된다. 이와 같이 해역으로 방류하는 온배수의 확산은 수심이 얇고 조류가 우세한 천해역에서는 일반적으로 조류의 영향을 크게 받는다. 따라서 온배수 확산의 시,공간적 분포는 그 해역의 조류특성에 따라 결정되고, 이는 인근해역의 해양 환경에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 그 해역의 조류특성에 따른 확산분포를 예측하는 것이 필요하다. 온배수의 확산분포 예측은 2차원 물질확산에 대한 수치모델을 이용하여 수행하였다.

#### 3.2 온배수 확산 2차원 모델

##### 3.2.1 기본방정식

2차원 확산에 대한 기본방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) - u \frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial c}{\partial y} + Q_c \quad (2)$$

식(2)에서  $c$ 는 농도,  $Q_c$ 는 단위 용적내에서 발생하는 확산량의 단위시간당 증감율이다.  $E_x, E_y$ 는 모두 난류확산계수(diffusivity coefficient)이며 다음과 같은 관계식을 이용하여 결정하였다(Masch, F.D., 1971).

$$E_x = A |u|, \quad E_y = A |v| \quad (3)$$

여기서 비례계수  $A$ 는 제 2절에서 기술된 바와 같이 부표추적 실험에서 구해진 확산계수 (Table 1,2)를 바탕으로 구할 수 있다. 관측된 확산계수는 위치와 시간에 따라 큰차이를 보이는데 유속의 공간적 차이가 큰 해안선부근에서 확산계수는 크고, 시간적으로는 유속이 강할 때 크게 나타난다. 본 해역의 난류확산계수를 Table 1,2에서 약  $7.5 \times 10^4 - 4.4 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$  정도로 보았을 때 발전소 배출구 부근에서 관측된 유속이 약 40 - 70 cm/sec 정도이므로 비례계수는  $A = 700 \text{ (cm)}$ 로 산출되었다.

### 3.2.2 유한차분식

식(2)에서  $Q_c$ 를 제외한 보존방정식의 유한차분식은 Masch(1971)의 Multi-stage implicit method를 이용하여 차분화 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{c_{i,j}^{t+\delta t} - c_{i,j}^t}{\delta t} = & \frac{1}{\delta x} \left[ E_{x,i,j} \frac{c_{i+1,j} - c_{i,j}}{\delta x} \right. \\ & \left. - E_{x,i-1,j} \frac{c_{i,j} - c_{i-1,j}}{\delta x} \right] \\ & + \frac{1}{\delta y} \left[ E_{y,i,j} \frac{c_{i,j+1} - c_{i,j}}{\delta y} \right. \\ & \left. - E_{y,i,j-1} \frac{c_{i,j} - c_{i,j-1}}{\delta y} \right] \\ & - \frac{u_{i,j} c_{i,j} - u_{i-1,j} c_{i-1,j}}{\delta x} \\ & - \frac{v_{i,j} c_{i,j} - v_{i,j-1} c_{i,j-1}}{\delta y} \quad (4) \end{aligned}$$

한편, 우변의 농도  $C$ 는 공간과 시간에 대하여 중간값(intermediate value)을 사용하여  $X, Y$  방향에 대한 Sweeping을 적용하였다. 이러한 수치해법은 편미분방정식을 유한차분 형태로 나타냄에 따라 발생하는 바람직하지 못한 진동이나 수치 계산상의 오차를 줄일수 있다.

여기서 주어진 농도  $c$ 가 온배수의 수온일 경우에는 해수표면과 대기 사이에는 끊임없는 열교환 작용이 일어난다. 이러한 열교환을 정의하기 위해서는 평형수온  $T_e$  (Equilibrium temperature)의 개념이 필요하다.  $T_e$ 는 대기와의 열 출입이 0인 상태의 수온을 의미하나 바람, 운량, 하루중의 시각, 연중시기, 기온 및 습도 등의 여러 요인에 의해 결정되는 값이다. 일반적인 해수표면에서의 단위면적당 열방출율  $Q_s$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$Q_s = K_h (T_s - T_e)$$

여기서  $K_h$ 는 경험상수로서 해수 표면에서 열교환계수이며  $T_s$ 는 해수 표면에서의 수온이다. 이 수식은 복잡한 열교환 과정을 선형화된 간략식으로 표시할 때 쓰인다. 대부분의 모델 연구에서  $T_e$ 는 주위수 고유수온(Ambient temperature)  $T_a$ 로 대체하여 사용되며 이로 인한 오차는 별로 크지 않다.

열교환에 따른 수온감소는 매 계산시마다 적용하였다.

## 4. 수치모델의 적용 및 고찰

### 4.1 수치실험 조건 및 입력자료

수치모델의 범위와 격자구성은 본 연구자의 선행의 연구인 천수만 해역에서 구성된 Heaps (1975)모델의 2차원 해수유동 수치모델 수행시와 동일하게 수행하였다(Table 3).

해수유동 수치모델 실험은 4주기를 계산한후 정상류(steady state flow) 상태에 도달하였다고 판단하여 그후 1조석주기를 수행하였다. 그 결과를 고조, 낙조시와 저조, 창조시 별로 Fig. 4-7에

Table 3. Condition of numerical experiment for thermal discharge dispersion.

Item	Numerical experiment conditions
Tide	Mid-tide
Current field	Results of numerical tide model
Total time of calculation	12 hour
Time step	20 minute
Method of thermal discharge	Continuous release per 20 minute
Empirical surface heat transfer coefficient	0.00195

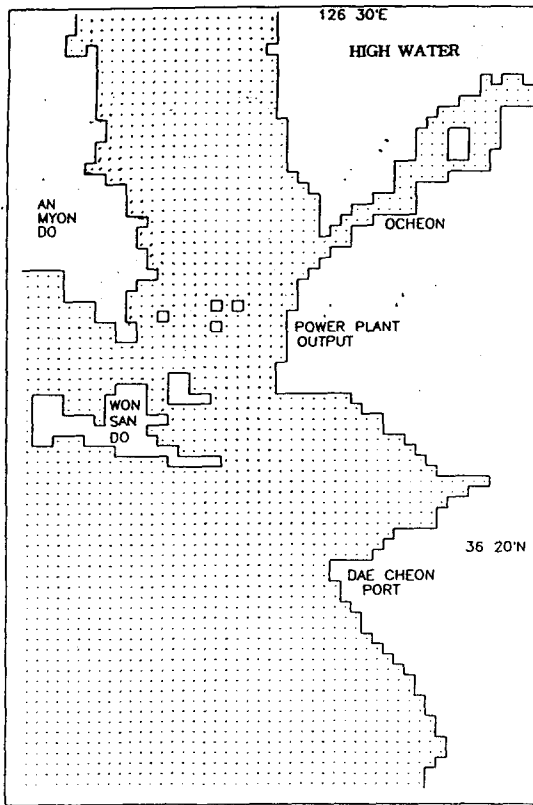


Fig. 4. Distribution of tidal current on high water.

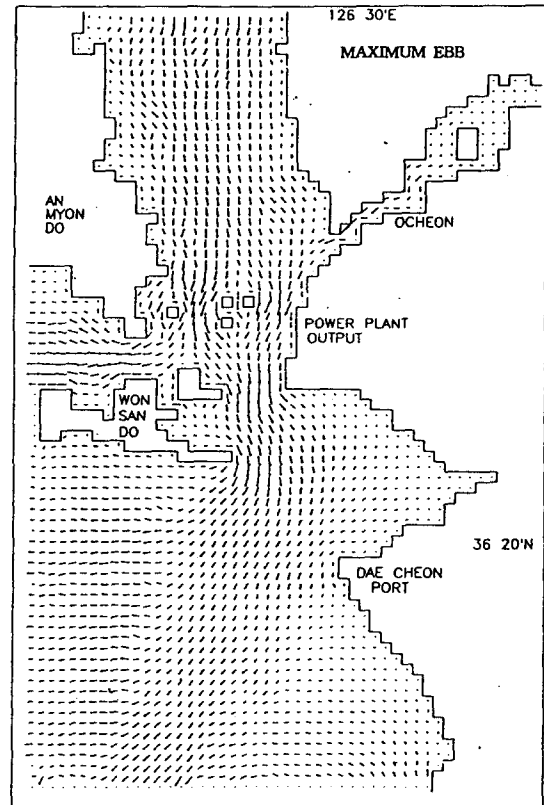


Fig. 5. Distribution of tidal current on maximum ebb.

나타냈다.

본 확산 모델의 입력자료인 조위 및 조류는 해수유동 수치 모델로부터 매 20분 간격으로 계산한 자료를 이용하였다. 온배수의 방출량은 발전소 배출구로부터 유입되는 해역의 격자점에서 매 20분마다 지속적으로 배출되게 초기조건을 설정하였으

며, 그밖의 전체 계산 해역의 수온과 개방경계면의 수온은 초기치를 0으로 설정하고 20분간격으로 계산하였다.

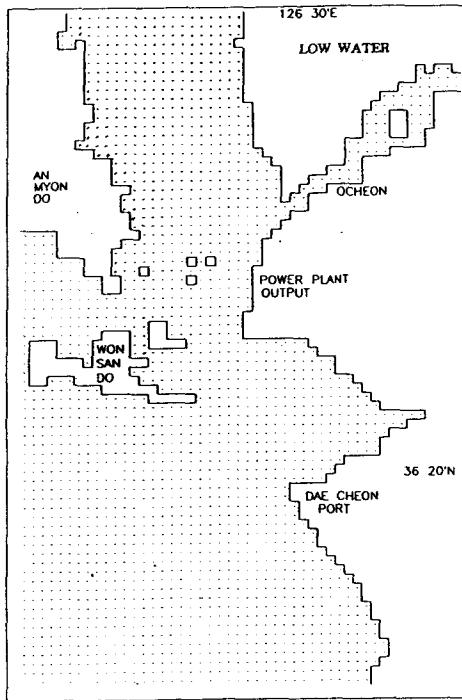


Fig. 6. Distribution of tidal current on low water.

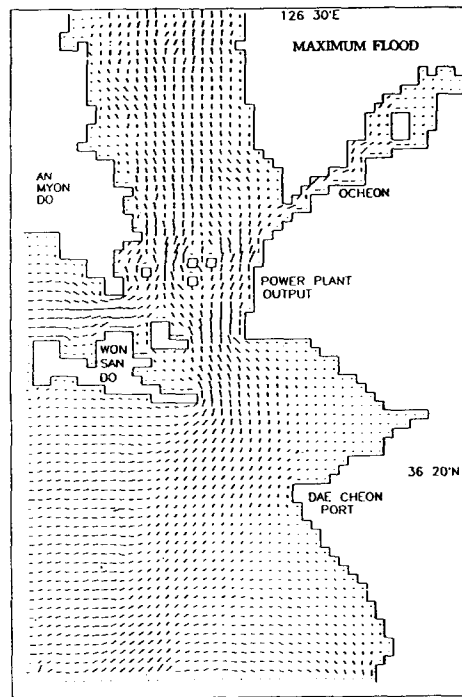


Fig. 7. Distribution of tidal current on maximum flood.

## 4.2 온배수 확산분포의 예측

### 4.2.1 온배수의 방출량 및 상승수온

온배수는 주변해수보다 상승된 온도를 가지므로 배출구에서 부터 표층역에 국한되어 주변해수와 혼합된다고 보아서, 본 수치모델에서는 해수의 전수심에 걸쳐 온배수의 확산을 고려하지 않고 혼합 확산되는 해수를 표층의 일정한 깊이까지로 한정하였다(Adams and Cosler, 1987). 적용된 혼합층의 수심은 3m 이다. 이는 겨울을 제외한 전계절에 바람과 파랑 등에 의해 천수만에서 형성되는 표층혼합층의 깊이에 해당한다(한국전력공사 기술연구원, 1985).

온배수의 방출조건은 일정한 시간동안(20분) 배출된 방출량(187,200 m<sup>3</sup>)이 배출구 근처에서 관측된 온배수의 수괴(Thermal plume)로 보아 해당격자의 375 × 50 × 3m<sup>3</sup> 주변해수와 혼합된다고 가정하여 배출격자의 수온상승치를 산출하였고, 이를 계산과정마다 입력하였다. 방출되어 확산되는 온배수는 주변해수와 혼합되며 확산될 뿐만 아니라 대기로 열을 방출하게 된다. 본 연구에서는 -330 cal/cm<sup>2</sup> · day를 모델에서 열손실로 고려하였다(봉, 1976).

온배수 확산의 예측조건 수는 현재상태로서 보령화력 6개호기가 동시에 가동되고 있는 상황을 설정하였다. 이와 같은 여러가지 사항들을 요약하면 Table 4와 같다.

Table 4. Values of thermal discharge type from Boryong power plant and input conditions

Item	Input conditions
Grid size	375 m
Mixing depth	Surface 3 m
Dispersion coefficient	700 X ( u,v ) cm <sup>2</sup> /sec
Thermal discharge volume	156 m <sup>3</sup> /sec
Time step	1242.06 sec
Heat loss rate	-330 cal/cm <sup>2</sup> · day
Temperature excess	7°C
Mean of mixing temperature	4.5°C
Operation condition	6 Machine unit



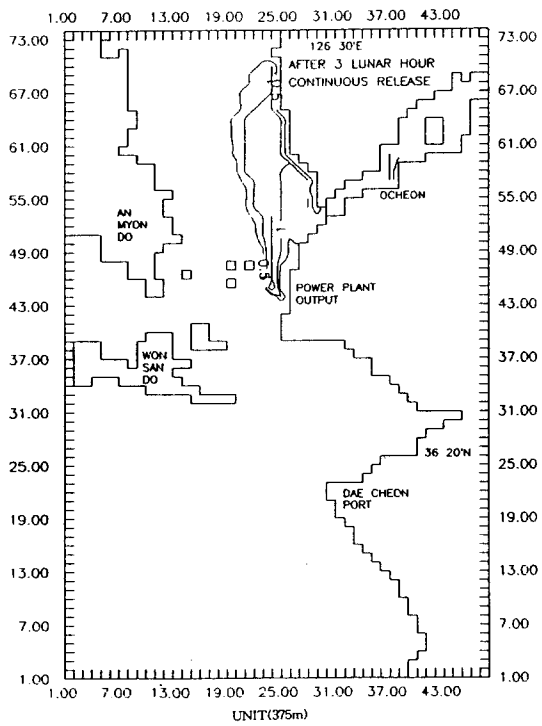


Fig. 8. Distribution of thermal dispersion after 3 lunar hour continuous release.

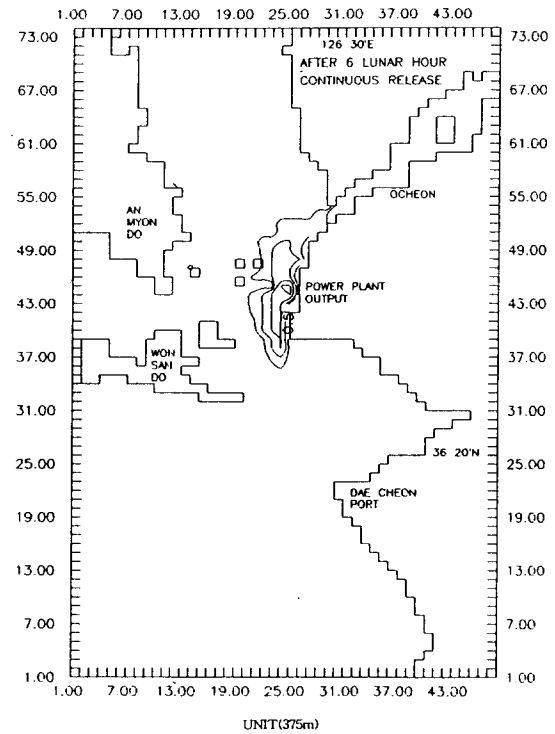


Fig. 9. Distribution of thermal dispersion after 6 lunar hour continuous release.

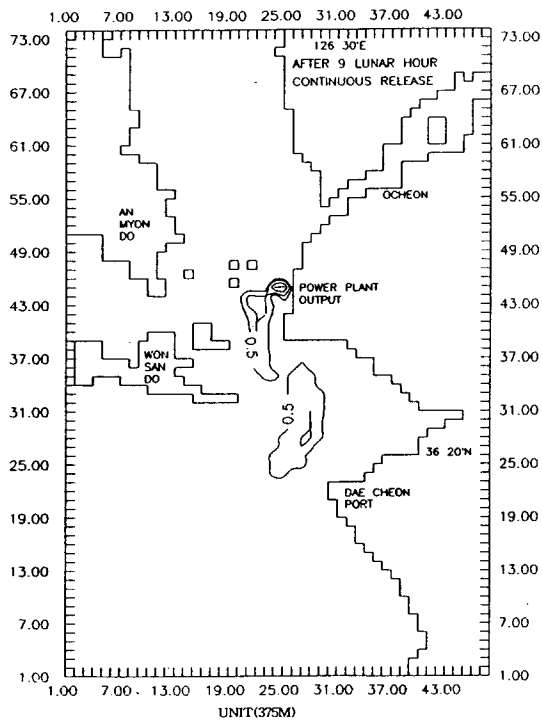


Fig. 10. Distribution of thermal dispersion after 9 lunar hour continuous release.

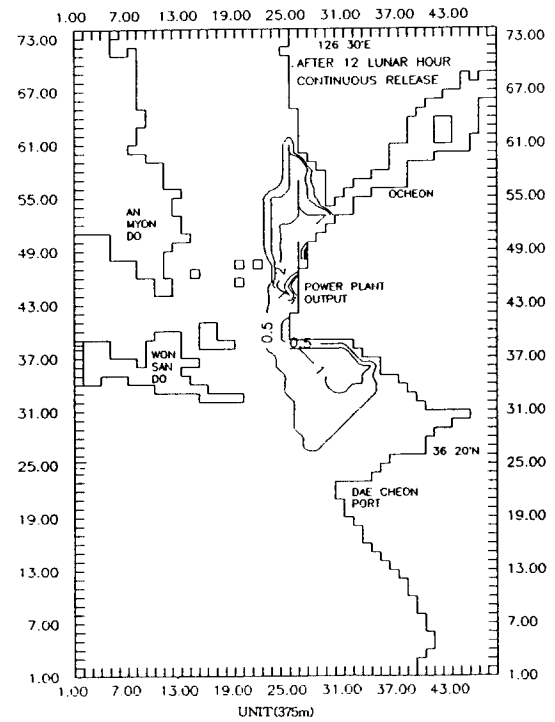


Fig. 11. Distribution of thermal dispersion after 12 lunar hour continuous release.

### 4.3 수치실험 결과

본 해역에서 온배수 방류로 인해 발생된 온배수의 확산은 조류에 의해 좌우된다. 즉, 창조시에는 조류에 의해 해안을 따라 북쪽으로 이동 확산하고 낙조시에는 남쪽으로 이동 확산할 것으로 예상된다. 본 실험에서는 온배수가 매 계산시 연속적으로 방류되는 것으로 가정하여 방류시작 후 3조석주기가 지난 후, 4주기 짝의 수온 분포를 계산하였다.

온배수 방류로 인한 주변해수의 수온 증가가 발생하는 분포는 Fig. 8-11과 같다. 그림들에서 등수온선은 0.5, 1.0, 2, 3, 4°C 이고 거리기준은 격자간격 375 m를 참고할 수 있다.

방류후 3,6,9,12 시간별 확산분포를 살펴보면 다음과 같다. 3시간후 상황은 발전소 배출구에서 방류한 온배수는 북류하는 조류를 따라 위쪽으로 확산된다. 확산되는 폭은 월도를 지나가지 않으며 학성리까지 도달한다. 0.5°C 거리는 배출구로부터 8.6 km에 이른다. 6시간후는 위쪽 학성리 부근에서는 온배수의 영향이 완전히 없어지고, 이때부터 배출구 아래쪽으로 남하하여 0.5, 1°C 등수온선이 효자도와 송도사이에 걸쳐 있다.

9시간후를 살펴보면 발전소 배출구 위쪽에는 온배수의 영향이 나타나지 않고 더욱더 남하하여, 0.5, 1°C 등수온선은 남쪽으로 확장하여 원산도와 대천항 앞부근 사이에 걸쳐 있다. 이거리는 발전소 배출구로부터 약 7.5 km 이다. 확장되어 있던 온배수의 폭이 줄어들고, 1°C 등수온선이 없어진다. 또한 송도 아래지점에서 온배수의 분리현상이 나타난다.

12시간후 상황은 다시 온배수가 위쪽으로 북상하여 학성리에 도달한다. 남하하였던 등수온선의 길이는 감소하고 폭은 대천만 안쪽으로 확장된다. 이는 북상하는 조류 방향의 영향을 받는 것으로 사료된다. 또한 1°C 등수온선이 육지의 해안가 쪽으로 접근하고 있음을 보여준다. 전반적으로 이시간 때에는 발전소 배출구를 중심으로 위, 아래쪽으로 10.8 km까지 폭 넓게 온배수의 분포를 나타낸다.

이와 같이 온배수 확산 수치실험 결과를 살펴보면 온배수 확산의 최대거리는 발전소 배출구를 기점으로 위쪽으로는 8.6 km, 아래쪽으로는 10.8 km에 이른다.

### 4.4 항공기 사진촬영

#### 4.4.1 조사개요

본 연구에서는 항공 다중분광 주사기(Airborne Multispectral Scanner)에 의한 원격탐사 기술을 이용하여 조사대상해역의 분광방사휘도를 측정하여 보령화력발전소에서 배출되는 온배수의 확산범위의 추출과 해수면의 상대온도를 구분하고자 하였다.

항공다중분광주사기에 의한 촬영 대상지역은 지리적 좌표가 N 36° 19' - 36° 30', E 126° 25' - 126° 35' 사이에 있으며, 행정구역상으로는 북쪽으로 보령군 천북면, 남쪽으로는 대천시 대천해수욕장, 서쪽으로는 원산도 앞바다, 동쪽으로는 대천만 일원으로 하였다.

조사범위는 항공 다중분광 주사기에 탑재되어 있는 8.5 $\mu$ m-12.5 $\mu$ m의 파장대에 있는 열적외선 감지기로 조사대상지역을 주사한 후 수집된 자료를 Intergraph Workstation 및 PC를 사용하여 각종 왜곡을 보정하고 강조처리하여 상대적 온도를 분석하였으며, 항공촬영 시점은 천수만 부근을 흐르는 조류양상을 고려하여 보령화력발전소 온배수의 확산범위가 최대가 되는 시점을 택하여 조차가 최대가 되고 조류의 세기도 최강이 되는 삭망후 1-2일을 기준으로 1994년 2월 26일 최간조와 최만조시간 1시간 전후에 각각 1회씩 총 2회를 행하였다.

#### 4.4.2 항공 다중분광 주사기 화상의 해석

Fig. 12은 1994년 2월 26일 최간조 1시간후경에 촬영한 화상으로, 상대적 온도가 높은 순으로 red, brown, yellow, dark yellow, light blue, blue, dark blue color로 처리하였다. 본 화상에서 나타난 해역의 상대온도 분포는 발전소 배수구에서 약

2 km 정도 해역까지의 수온과 대섬을 중심으로 한 송학도로 부터 신희까지의 대천만 해역의 수온이 분리되어 있는 것이 명확하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 수치모델결과의 9시간 연속방류후 때와 유사한 경향을 갖고, 낙조시에 관측한 수평 수온 분포에서도 대천만 내부에 밀집된 등수온선 분포와 일치하고 있다.

Fig. 13은 1994년 2월 26일 최만조 17분전에 촬영한 화상으로, 발전소 온배수가 대천만의 반대방향인 상류측(북동방향) 으로 흐르는 상태에서 대천만 해역의 수온은 Fig. 7과 동일하게 yellow color를 나타내고 있다. 오천항쪽으로 나타나는 brown, yellow color지역은 만조시 발전소 온배수가 오천항쪽으로 흘러 들어가는 것으로 사료된다. 이는 수치모델의 12시간 연속방류후 결과와 비슷하다.

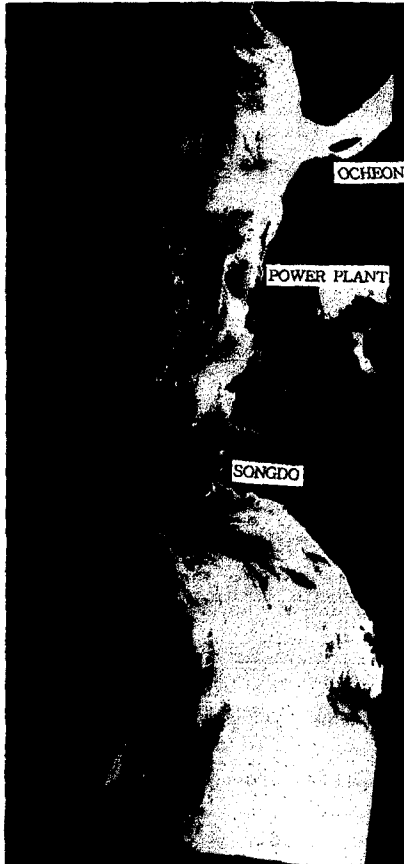


Fig. 12. Distribution of color thermal dispersion on ebb flow (1994. 2. 26).



Fig. 13. Distribution of color thermal dispersion on flood flow (1994. 2. 26).

## 5. 결 론

본 연구에서는 천수만내에 있는 보령화력발전소의 온배수 확산 현장조사와 주위수 조건을 고려하여 수치모델을 적용하였다.

현장조사와 수치실험에 의한 온배수 방류에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수온관측 결과에 의하면 창조류시 송도 남쪽 아래지점에 높은 온도가 나타나고 있다. 이것은 남쪽으로 확산된 온배수가 북상하는 조류에 의하여 만 내부로 밀려드는 미약한 열수괴( Thermal plume )가 있음을 나타낸다.

2. 확산모델의 결과에 따르면 온배수의 최대 확산 거리는 발전소 배출구를 기점으로 위쪽으로는

8.6 km, 아래쪽으로는 10.8 km에 이른다.

3. 확산모델 결과를 항공사진과 비교하여 보면 온배수의 분리현상을 확인할수 있으며, 이는 국부적인 것이나 수치실험 결과가 잘 재현되고 있어 적용성을 입증할 수 있다.

### 참고문헌

- 봉종현, 1976, 한국연안의 표면해수와 대기간의 열 교환, 한국해양학회지, 11:43
- 서울대학교 자연과학대학 부설 해양연구소, 1988, 보령화력 온배수확산분포조사
- 일본전력중앙연구소, 1975, 연안해역에서 온배수 확산예측수법의 적합성에 관한 연구
- 최홍식, 이길성, 1990, 표면온배수 난류모형, 한국해안-해양공학학회지, 제23권 3호, pp.445-457.
- 허재영, 1991, 표층밀도분류의 3차원 수치해석, 한국해안-해양공학학회지, 제3권 3호, pp.152-162.
- KORDI, 1979, Oceanographic studies for Kori nuclear power plants.
- 한국전력공사 기술연구원, 1985, 보령 T/P 냉각수가 연안양식 수산물에 미치는 영향 조사
- Adams, E. E. and Cosler, D. J., 1987, Predicting Circulation and Dispersion Near Coastal Power Plants : Applications Using Models ELA, MIT-EL 87-008.
- Dunn, W. E., A. J. Policastro, and R.A. Paddock, 1975, Surface thermal plumes: Evaluation of Mathematical Models for the Near and Complete Field. Argonne National Lab., Center for Environmental Studies, Argonne.
- Flather, R. A. and N. S. Heaps, 1975. Tidal computations for Morecambe Bay. Geophys. J. royal Astronom. Soc., 42: 489-517.
- Jirka, G. H., Abraham, and D.R.F. Harleman, 1975, An Assessment of Techniques for Hydrothermal Impact Prediction. Final Report to U.S. Atomic Energy Commission. R.M. Parsons Lab. for Water Resources and Hydro., MIT Rep. No. 203.
- Masch, F. D., 1971, A short-term conservative transport model for shallow estuaries. Tech. rept. HYD 12-7104, Univ. Texas at Austin.
- McGuirk, J. J., and Rodi, W., 1979, Mathematical Modelling of Three-Dimensional Heated Surface Jets, J. Fluid Mech., Vol. 95, No. 4, pp. 609-633.
- Office, C. B., 1976, Physical oceanography of estuaries. John Wiley & Son
- Pande B. B. L., and Rajaratnam N., 1977 An Experimental Study of Bluff Buoyant Turbulent Surface Jets, J. Hyd. Res., Vol. 15, pp. 261-275.
- Raithby, G. D., Elliot, R.V., and Hutchinson, B.R., 1987, Prediction of Three-Dimensional Thermal Discharge Flows, J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol. 114, No. 7, pp.720- 737.
- Wada, W., and Araki, H., 1986, Development of Predictive Method for Thermal Diffusion in the sea Near the Cooling Water Outlet, Civil Eng. Lab., Central Res. Ins. of Electric Power Industry, Japan.