

해상 담수화 공장에서 배출되는 고온고염 해수의 확산예측

이문진⁽¹⁾, 홍기용⁽¹⁾

Dispersion of High Temperature and High Salinity Water Discharged from Offshore Desalination Plant

by

Moonjin Lee⁽¹⁾ and Keyyong Hong⁽¹⁾

요 약

해상에 설치되는 담수화 공장의 가동에 따른 환경영향평가를 위하여 고온고염 배출수의 확산을 예측하였다. 진해만에 설치될 담수화 공장에서는 200ton/일의 해수를 유입하여 50ton은 담수화하고 150ton은 고온고염수로서 배출한다. 배출되는 해수의 수온은 15℃ 상승되며, 염분은 약 1.33배 증가된다. 배출수의 확산예측에서는 2차원 조류모델로 이류를 계산하며, 몬테카르로 방법으로 난류확산을 재현한다. 배출수에 의한 수온상승의 예측에서는 대기를 통한 열량 방출을 감쇠요인으로 고려하였으며, 100일간의 계산을 통하여 평형상태의 확산분포를 재현하였다. 고염수에 의한 확산에서는 감쇠가 없는 것으로 간주하였으며, 약 1년간의 계산을 통하여 평형상태의 확산분포를 재현하였다. 평형상태에서 배출수에 의한 수온상승과 염분상승은 배수구 근처에 국한되어 나타났으며, 각각 약 0.01℃와 0.001%의 상승폭을 보였다.

Abstract

Dispersion of high temperature and high salinity water discharged from a desalination plant is numerically estimated to investigate its impact on marine environment. The plant is installed on a floating barge located in Jinhae Bay and takes 200 tons of seawater per day. Fifty tons of intake are changed into fresh water, while 150 tons of those are discharged as the water of 15℃ warmer and 1.33 times saltier than surrounding seawater. In this dispersion model, advection is described by two-dimensional tidal currents and turbulent diffusion is simulated by Monte Carlo technique. Decay of water temperature is modelled by heat exchange between the atmosphere and the ocean, while decay of water salinity is ignored. The distributions of temperature and salinity come to equilibrium when the dispersion model is run for 100 days for temperature and for 365 days for salinity, respectively. At equilibrium state the water temperature and salinity rise 0.01℃ and 0.001% higher than ambient seawater, respectively.

Keywords: desalination plant, dispersion model, Monte Carlo technique, temperature and salinity equilibrium

(1) 정회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소

1. 서 언

해상에 건설되는 복합 플랜트 시설의 설치는 지역 개발 활성화 및 해양공간 활용의 경제적 잇점을 가지나, 대형구조물에 의한 해수유동의 변화나 공장 가동에 따른 배출수의 영향과 같은 환경적 피해를 유발한다. 복합 플랜트 건설에 따른 해수유동의 변화는 해역내 물질순환 양상을 변화시키며, 해역의 정체에 따른 환경오염을 심화시킨다. 또한 복합 플랜트의 가동에 따라 배출되는 배출수는 해역내 수온 및 염분을 변화시키거나, 오페수의 배출에 의해 환경 오염을 유발한다. 따라서 해상 플랜트 설치의 적지 선정시 구조물의 안정성 및 내구성과 함께 해역의 환경 오염 문제가 필수적으로 검토되어야 한다.

해상 플랜트의 가동에 따른 환경 오염 문제의 평가를 위해서는 플랜트 배출수 확산범위의 정확한 예측이 필요하다. 임해공단의 오페수나 온배수의 확산범위는 해양 확산모델링을 통하여 예측될 수 있으며, 이러한 연구는 이미 여러차례 보고된 바 있다. 정 등[1998]은 3차원의 수치모델을 개발하여 월성원자력발전소에서 배출된 온배수 확산의 3차원적 특성을 연구한 바 있으며, 김[1997]은 하천의 담수 유입에 따른 경기만의 염분분포를 Blumberg and Mellor[1987]의 POM(Princeton Ocean Model)을 이용하여 재현한 바 있다. 확산모델의 수치적 기법은 유한차분 (finite difference) 방법과 수치적 추적자 (numerical tracer) 방법이 주로 사용되고 있는데, 유한차분 방법은 확산분포의 공간적 불균일성(wiggles) 및 수치적 감쇠(numerical damping), 계산량 과중으로 인한 평형상태 재현의 부담, 미세 오염원에 의한 오염부하량 구현의 어려움 등의 문제점을 갖는다 (이[1996]). 본 연구에서는 유한차분 방법에 의한 확산모델의 문제점을 극복하고, 보다 현실에 가까운 확산모델링을 위하여 수치적 추적자 방법에 의한 해양 확산모델링은 하수처리장 주변의 확산 (Larsen[1973]), 해상 유류확산 (Tayfun and Wang[1983]), 해저 퇴적물 이동 (Alonso [1981]) 등에 활용된 바 있다.

본 연구에서는 해상 플랜트 가동에 따른 환경영향평가를 위하여 진해만에 설치 예정인 담수화 공장 배출수의 확산을 예측하였다. 담수화 공장에서는 주변의 해수를 유입하여 담수를 생산하며, 이 과정에서 해상 바지에 담수화 공장과 함께 설치되는 소각로에서 발생하는 폐열을 활용한다. 따라서 담수화 공장에 유입된 해수는 고온, 고염화되어 배

출된다. 본 연구에서는 배출수에 의한 환경 영향은 고온수에 의한 수온상승과 고염수에 의한 염분상승으로 각각 분리하여 평형상태의 확산분포로서 고찰하였다.

2. 해수유동모델

2.1 해수유동의 기본방정식

고온·고염 배출수의 확산을 지배하는 해수유동은 수치모델을 이용하여 계산하였다. 해수유동모델의 계산에는 조류만을 포함하였다. 해수유동 모델의 기본 방정식은 2차원 해수유동 방정식과 연속 방정식으로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U(D+\zeta)}{\partial x} + \frac{\partial V(D+\zeta)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - fV + \frac{kUN\sqrt{U^2+V^2}}{D+\zeta} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + fU + \frac{kVN\sqrt{U^2+V^2}}{D+\zeta} = 0$$

여기서 t 는 시간, x 와 y 는 직교좌표상의 거리, U 와 V 는 연직적으로 평균된 x 와 y 축 방향의 유속, g 는 중력 가속도, ζ 는 평균 해면으로부터의 해면변위, D 는 평균해면으로부터의 수심, f 는 코리올리(Coriolis) 변수 ($f=2\Omega\sin\phi$, $\phi=37^\circ N$), 그리고 k 는 해저 마찰계수이다 ($k=0.003$).

2.2 해수유동 모델의 격자망

해수유동의 계산은 진해만 주변해역의 광역모델과 진해만의 협역모델에 대해 각각 수행하였다 (Fig. 1). 광역모델에서는 250m의 등간격 격자망을 사용하며, 영역내의 총격자수는 48,984 (314×156)개로 구성된다. 광역의 해수유동모델링은 협역모델의 외해경계조건 산정을 위하여 수행되며, 상세 해수유동 및 배출수의 확산예측은 Fig. 1에서 점선으로 표시된 협역모델 영역에서 계산된다. 협역모델은 100m의 등간격 격자망을 사용하며, 영역내의 총격

자수는 172,380(442 × 390)개로 구성된다. Fig. 1의 A~D 지점은 해수유동 계산을 위한 외해경계조건 지정에 사용된 조석관측점을 나타낸다. 광역모델 및 협역모델의 격자상 수심은 해도 No. 202와 No.

$$\zeta(t) = A_{\zeta} \cos(\omega t - \phi_{\zeta})$$

의 형태로 입력하였다. 여기서 ω 는 M_2 분조의 각속도이며 ($\omega = 28.984104^\circ/\text{hr}$), A_{ζ} 와 ϕ_{ζ} 는 조석 조화상수인 진폭과 지각이다. 광역모델에서 외해역 경계값은 1989년 진해만 외해역에서 이루어졌던 조위관측결과를 참조하여 지정하였다 (해양연구소 [1990]).

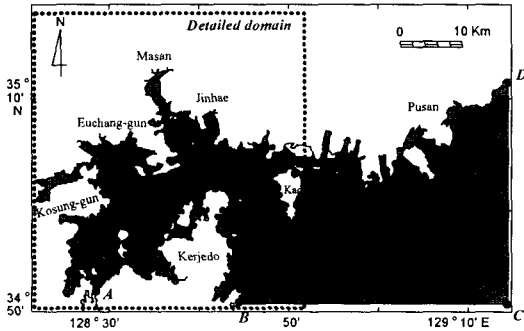


Fig. 2 Large and detailed model domains; A~D are locations of tide stations

3. 배출수 확산 모델링

진해만 해상 담수화 공장의 가동에 따른 배출수의 확산은 몬테카르로(Monte-Carlo) 기법을 도입하여 모델링하였다. 본 연구의 확산모델에서는 해수유동에 따른 배출수의 수송(transport)과 난류확산(turbulent diffusion)을 고려하며, 고온·고염인 배출수의 희석작용도 고려한다. 고온·고염인 배출수의 수온 증가분은 대기와 해양간의 상호 열교환을 통하여 감소하며, 수온 및 염분 증가분은 주변 해수와의 혼합을 통하여 희석된다. 확산모델의 결과에서는 수온 증가치의 분포와 염분증가치의 분포를 각각 제시한다.

206을 참조하여 지정하였으며, 입력된 광역모델의 수심은 Fig. 2와 같다.

3.1 배출수 확산모델의 개요

해상 담수화 공장의 가동으로 인해 배출된 고온·고염인 배출수는 조류 및 난류에 의한 수송과 확산의 과정을 거치면서 퍼져 나가며, 시간이 경과함에 따라 대기로의 열방출 또는 주변 해수와의 혼합을 통하여 희석된다. 몬테카르로(Monte Carlo) 방법을 이용한 본 확산모델의 개요는 아래와 같다.

본 모델링 방법에서는 배출수의 유입과 이동에 해당되는 수치적 입자들을 추적하며, 평형상태에 이를 수 있는 충분한 실제시간에 대한 시뮬레이션을 수행한 후에 단위 체적 안에 산재해 있는 입자갯수로부터 배출수에 의한 수온상승과 염분상승을 계산한다. 시간 t 때에 위치 (x_0, y_0) 에 있던 입자가 δt 기간 동안 조류와 난류에 의해 이동한 후 놓이게 될 새로운 위치를 $(x_0 + \delta x, y_0 + \delta y)$ 라 할 때, δt 동안의 변위 $(\delta x, \delta y)$ 는

$$\begin{aligned} \delta x &= (U + u')\delta t \\ \delta y &= (V + v')\delta t \end{aligned}$$

로 주어진다. 여기서 (U, V) 는 조류의 유속이고,

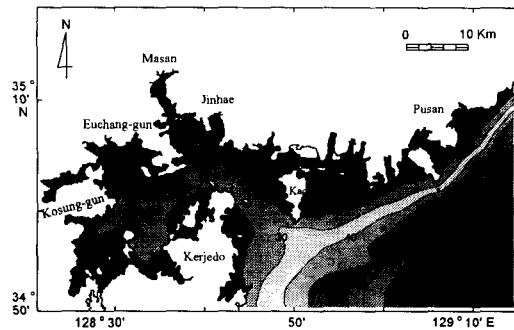


Fig. 3 Water depth(m) of the study area

계산의 시간간격은 양해법 계산의 안정도 조건을 만족하도록 광역모델에서 4.1402초, 협역모델에서 3.4123초로 하였다.

2.3 경계조건 적용 및 유동 시뮬레이션

모델에서의 경계조건으로 외해경계면에서는 해면변화를 적용하였으며, 연안경계면에서는 유속의 수직성분을 0으로 두었다.

본 계산에서 외해경계조건은

(u' , v')는 난류적 유속이다. 난류적 유속 성분 u' 과 v' 는 난류장의 강도에 따라 결정되는 난류적 특성유속인 U_b 와 V_b 의 범위폭 내에서 불규칙적으로 분포하므로, 난류 유속 u' 와 v' 은

$$\begin{aligned} u' &= \mu U_b \\ v' &= \nu V_b \end{aligned}$$

로 표현된다. 여기서 μ 와 ν 는 각각 $[-1, 1]$ 구간 내의 값을 가지는 임의의 난수이다. 난류적 특성유속 U_b 와 V_b 의 크기는 각각 x 와 y 방향의 와동 확산계수 D_x 및 D_y 와

$$\begin{aligned} U_b &= \sqrt{\frac{6D_x}{\delta t}} \\ V_b &= \sqrt{\frac{6D_y}{\delta t}} \end{aligned}$$

의 관계에 있다.

난류적 유동에 수반된 와동확산계수의 크기는 일정하지 않고 난류장의 공간적, 시간적 크기가 증가함에 따라 와동확산계수도 증가한다 (Okubo [1966][1971]). 본 확산모델에서는 담수화 공장 주변 해역에서 다중 부표분산 실험을 통하여 와동확산계수를 추정된 결과를 인용하여 와동확산계수의 값으로 $D_x = D_y = 1 \text{ m}^2/\text{sec}$ 를 사용하였다 (삼성중공업주식회사[1995]).

3.2 배출수의 희석

배출수가 해양에서 희석되는 과정은 수온의 경우 대기로의 열방출과 주변 해수와의 혼합을 고려하였으며, 염분의 경우 주변 해수와의 혼합만을 고려하였다. 수온의 대기 열교환과정은 아래와 같이 모델화하였다.

고온의 배출수에 의한 열량은 시간이 경과함에 따라 해면 열교환과정에 의해 감소되며, 이에 따라 수온도 감소한다. 라그랑쥐 입장에서의 수온방정식을 열량 Q 의 식으로 바꾸면

$$\frac{dQ}{dt} = -\alpha Q$$

가 된다. 여기서 α 는 감쇠계수(decay coefficient)

이며, Q 는 깊이가 h 인 수주의 단위면적당 배출수에 의한 열량으로서 $Q = \rho C_p h T$ 이다 (여기서 ρ , C_p , T 는 각각 해수밀도, 비열, 배출수에 의한 수온 상승치임). 이러한 열량 Q 를 수치적 추적자로 표현하면, 수주내의 수치적 추적자 개수는

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha N$$

의 관계로 표현된다. 이 식에 의하면 시간 t 때의 입자 개수 $N(t)$ 는

$$N(t) = N_0 e^{-\alpha t} = N_0 e^{-\frac{t}{t_e}}$$

로 주어진다. 여기서 N_0 는 초기의 입자개수이고, $t_e (= 1/\alpha)$ 는 입자개수가 초기의 개수에 비해 $1/\alpha$ 배로 줄어드는데 걸리는 지수배 감소시간(e-folding time)이다. 이 식을 유한차분화하면 시간 t 때의 입자 개수 $N^{(n)}$ 과 시간 $(t + \delta t)$ 에서의 입자개수 $N^{(n+1)}$ 사이에는

$$N^{(n+1)} = N^{(n)}(1 - \alpha \delta t)$$

의 관계가 성립한다. 여기서 $(1 - \alpha \delta t)$ 는 해면 열교환에 의한 열량감소를 나타내는 항인데, 본 연구에서는 이를 몬테카르로 방법으로 처리하였다. 즉, $[0, 1]$ 범위에서 임의로 취한 난수가 0과 δt 의 범위 내에 있으면, 그 입자는 해면 열교환에 의해 소멸된 것으로 취급하고 $[\alpha \delta t, 1]$ 의 범위 내에 있으면 해양에 존속하는 것으로 취급하였다. 열량감쇠계수 α 는 열교환계수 K 의 함수로

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\rho C_p h}{K}$$

와 같이 결정된다. 본 연구에서 열교환계수 K 는 총무항 기상관측소의 30년 (1951~1980) 기상자료에 근거하여 산정한 값을 인용하여 $20 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ 로 지정하였다 (한국전력연구원[1993]).

3.3 배출수에 의한 수온 및 염분 상승 계산

온배수에 의한 수온상승의 값 T 는 각 격자내에 있는 수치적 추적자의 갯수로 부터 아래와 같이 결정된다. 배수구를 통한 단위시간당의 열량방출이 q cal일 때 온배수 확산모델에서 단위시간당 n 개의 입자를 방출함으로써 모델화할 경우, 한 입자는 q/n cal의 열량을 나타낸다. 가로와 세로가 각각 Δx 와 Δy 이고 표면혼합층이 h 인 격자에 M 개의 입자가 놓여 있을 경우 이 격자 안에 있는 열량은 Mq/n cal이므로, 온배수에 의해 증가된 수온의 연직분포 $T(z)$ 는

$$\int_{-h}^0 T(z) dz = \frac{Mq}{nC_p \rho \Delta x \Delta y}$$

로 주어진다. 본 모델에서는 수온증가의 연직분포 $T(z)$ 가 혼합층 내의 전수심에서 일정하다고 가정하였다.

해수중 염분은 각 격자망 내에 있는 수치적 추적자의 갯수로부터 아래와 같이 계산된다. 단위시간당 m kg의 고형물질이 방출되는 것을 확산모델에서 단위시간당 n 개의 입자를 방출하는 것으로 모델화할 경우, 한 입자는 m/n kg의 고형물질량을 나타낸다. 가로, 세로 및 수심이 각각 Δx , Δy 및 Δz 인 격자망에 M 개의 입자가 놓여 있을 경우 이 격자망 안에 있는 고형물질의 질량은 Mm/n kg이므로, 농도 C 는

$$C = \frac{Mm}{n\Delta x \Delta y \Delta z}$$

로 주어진다.

4. 고온수 및 고염수의 확산예측

4.1 고온·고염수 배출지점

해상 담수화 공장의 설치 예정 해역은 Fig. 3에 제시된 진해만의 DP 지점이다. Fig. 3에서 C는 해수유동모델링 결과의 검증에 위한 해수유동 관측점이며, S는 주변 해수의 수온 및 염분 관측점이다.

4.2 해수유동

해수유동모델링을 이용하여 계산된 진해만의 조류

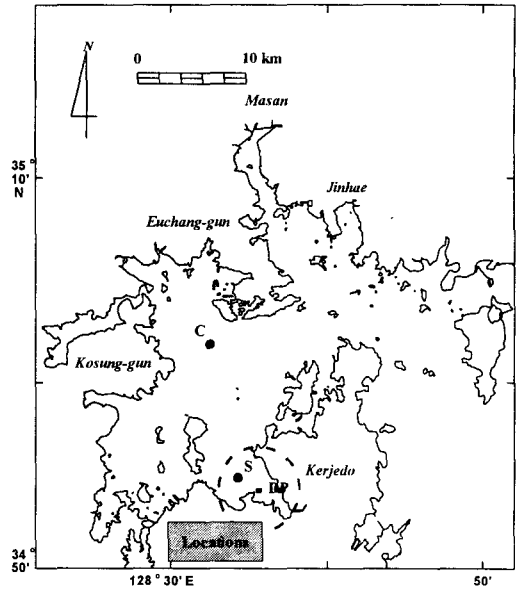


Fig. 4 Locations of desalination plant(DP) and observing station(C,S)

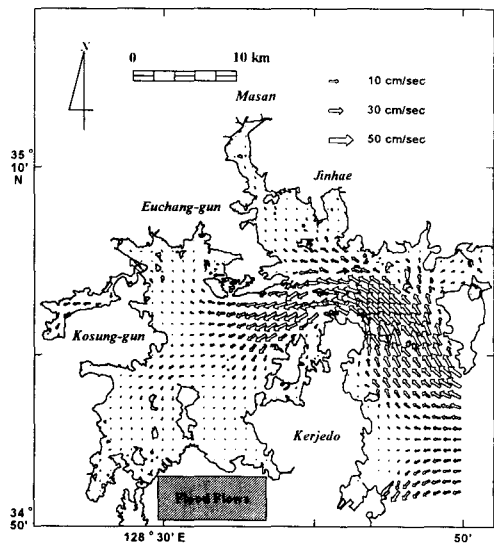


Fig. 5 Computed tidal currents of the study area at flood flow

분포는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 조류의 분포는 협역모델의 결과만을 제시하였으며, Fig. 4는 창조시의 조류이고 Fig. 5는 낙조시의 조류이다. 창조시 진해만의 조류는 외해에서 내만쪽으로 유입되는

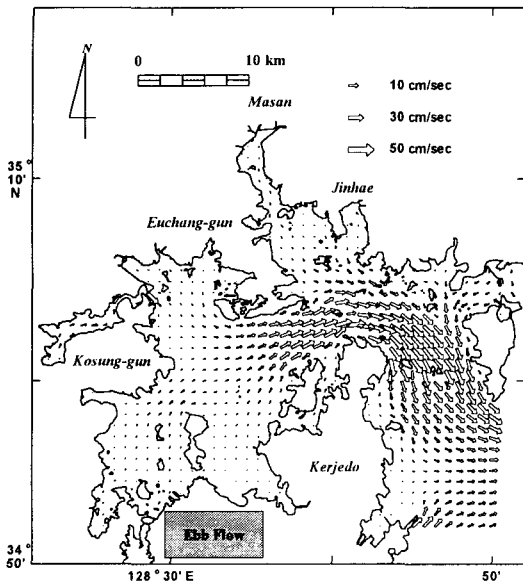


Fig. 6 Computed tidal currents of the study area at ebb flow

양상을 보이며, 조류의 유속은 5cm/sec ~50cm/sec의 분포를 보인다. 낙조류는 창조류와 유사한 유속의 분포를 보이며, 내만에서 외해쪽으로 유출되는 양상을 보인다.

해수유동모델의 결과는 Fig. 3의 지점 C에서 관측된 해수유동 결과와 비교하여 검증하였다 (자료 출처: 한국해양연구소[1992]). Fig. 3의 지점 C에서 관측된 해수유동을 조화분해하여 작성한 조류타원과 해수유동모델에서 계산된 조류타원은 Fig. 6과 같다. 계산된 조류타원과 계산된 조류타원은 방향과 크기에 있어서 비교적 유사한 결과를 보였다.

4.3 배출수에 의한 수온 및 염분 상승치

진해만에 설립예정인 해상 담수화 공장에서는 200톤/일의 해수를 유입하며, 그중 50톤은 담수화하고 150톤은 다시 해상으로 방류한다. 이 과정에서 유입된 해수는 고온 고염화된다. 배출수의 수온은 유입된 해수에 비하여 15°C 상승되며, 염분은 유입된 해수의 1.33배로 증가한다. 따라서 담수화 공장 배출수의 수온 및 염분의 상승치를 산정하기 위해서는 주변해역의 수온 및 염분을 파악하여야 한다.

본 연구에서는 주변해역의 수온 및 염분으로서 국립수산진흥원에서 1989년~1994년까지 6년동안 관측한 자료를 이용하였다 (국립수산진흥원[1996]). 국립수산진흥원의 수온 및 염분 관측지점은 Fig. 3에 지시한 바와 같으며, 수온 및 염분값은 Table 1과 같다. 관측된 수온의 평균값을 기준으로 산정한 담수화 공장 배출수의 수온 및 염분은 Table 2와 같다. Table 2에서 배출수의 밀도(Sigma-t)는 주변

Table 1 Seasonal variation of temperature and salinity at station S (NFRDA[1996])

| | Surface Layer Temperature (°C) | | | | Surface Layer Salinity (‰) | | | |
|------|--------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | Feb. | Apr. | Aug. | Nov. | Feb. | Apr. | Aug. | Nov. |
| 1989 | 7.00 | 12.20 | 26.45 | - | 33.19 | 32.64 | 23.64 | 30.87 |
| 1990 | 5.60 | 11.50 | 29.00 | 19.50 | 32.80 | 32.39 | 31.83 | 32.10 |
| 1991 | 6.00 | 9.20 | 23.00 | 17.80 | 33.29 | 33.05 | 25.71 | 33.21 |
| 1992 | 6.40 | 11.50 | 23.60 | 17.60 | 33.48 | 32.64 | 33.78 | 31.47 |
| 1993 | 6.40 | 10.59 | 22.13 | 15.65 | 33.09 | 32.86 | 28.26 | 29.29 |
| 1994 | 5.70 | 12.70 | 28.20 | 18.20 | 32.82 | 33.04 | 32.28 | 32.96 |
| Mean | 6.18 | 11.28 | 25.40 | 17.75 | 33.11 | 32.77 | 29.25 | 31.65 |

Table 2 Temperature, salinity and amount of the discharge water

| | Temp. (°C) | Salinity (‰) | Sigma-t (kg/m ³) | Amount (ton/day) |
|-----------------|------------|--------------|------------------------------|------------------|
| Intake Water | 15.15 | 31.70 | 23.40 | 200 |
| Discharge Water | 30.15 | 42.27 | 27.14 | 150 |

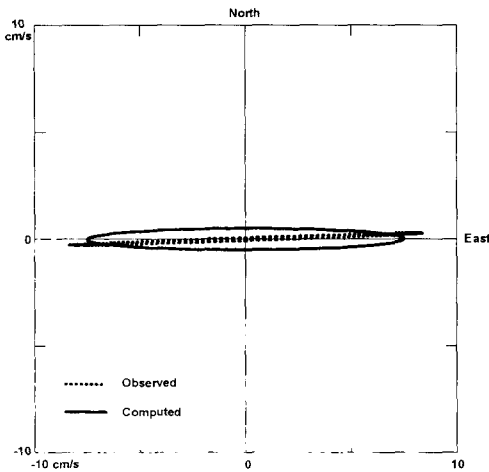


Fig. 6 Computed (solid line) and observed (dotted line) tidal current ellipses

해수에 비해 월등히 큰 값을 가지므로, 담수화 공장에서 배출된 해수는 전 수심에 걸쳐 혼합되면서 퍼져나간다.

4.4 고온 및 고염 배출수 확산 예측

배출수의 확산은 고온수와 고염수를 각각 별도로 계산하였다. 각각의 경우에서 확산의 계산 시간간격은 태우시 5분(310.52초)으로 하였다. 고온수에 의한 수온 상승치의 분포는 각 시간간격마다 5개의 입자를 방출하여 100일의 실제시간에 대해 총 144,000개의 입자 분포로부터 계산하였다. 고염수에 의한 염분 상승치의 분포는 매 시간간격마다 2개의 입자를 방출하여 365일의 실제시간 동안 방출된 210,240개의 입자 분포로부터 계산하였다. 약 100일의 계산에서 도출된 평형상태의 수온 상승치 분포는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에 제시된 값은 자연상태의 해수수온에 대한 상승치를 나타낸다. 약 365일의 계산에서 도출된 평형상태의 염분 상승치 분포는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에 제시된 값은 자연상태의 해수염분에 대한 상승치를 나타낸다. 고온수에 의한 영향은 담수화 공장 인근 반경 1km 이내 해역에서 0.01°C 이상의 상승 폭을 보였으며, 그 외 해역에서는 미미하게 나타났다. 고염수에 의한 영향 역시 미미하게 나타났는데, 담수화 공장 주변에서 염분 상승치는 0.001‰ 이상으로 나타났다. 수온 및 염분의 상승치 및 상승범위가 비교적 미미하게 나타난 것은 배출수의 유량이 적기 때문이다. 참고

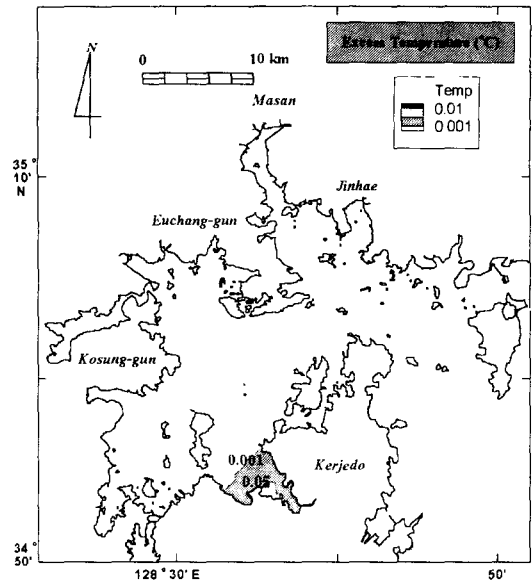


Fig. 7 Distribution of excess temperature caused by discharge water (unit: °C)

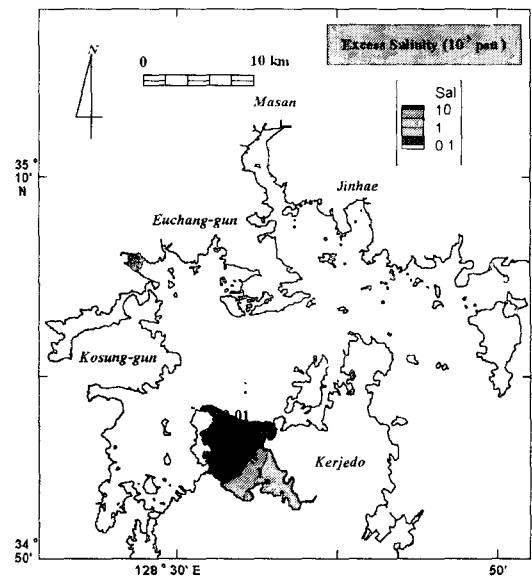


Fig. 9 Distribution of excess salinity caused by discharge water (unit: 10⁻³ ‰)

로 고온의 배출수가 환경문제로 대두되고 있는 원자력발전소 주변해역의 경우 배출수의 유량은 약 10,000,000톤/일 정도이며, 배출수의 수온은 주변 해수의 수온에 비하여 9°C 높다.

5. 결 언

해상에 설치되는 담수 및 소각용의 복합 플랜트 가동에 따른 환경영향평가를 위하여 배출수의 확산을 예측하였다. 대상해역은 담수화 공장의 설립이 검토되고 있는 진해만으로 하였다. 진해만의 담수화 공장에서는 200톤/일의 해수를 유입하여 이 중 50톤을 담수화하고 나머지 150톤은 다시 방류한다. 이 과정에서 유입된 해수의 수온은 약 15℃ 정도 상승하며, 염분은 유입된 해수의 염분에 비하여 1.33배 증가한다. 본 연구에서는 여기서 방류된 고온고염의 배출수 확산을 예측하였다.

계산에 필요한 해수유동은 해역의 특성을 고려하여 2차원 해수유동 수치모델을 이용하여 계산한 조류만을 포함하였다. 고온 고염수의 확산은 수치적 추적자 방법을 이용하여 모델링하였다. 수치적 추적자방법에서는 입자의 변위로서 조류에 의한 물질의 이동을 계산하며, 몬테카르로 방법으로 난류적 확산을 계산한다. 확산의 계산은 평형상태를 고려하여 고온수의 경우 100일의 실제시간에 대해 계산하였으며, 고염수의 경우 1년 동안의 실제시간에 대해 계산하였다.

평형상태까지 계산한 결과 고온의 배출수에 의해 담수화 공장을 중심으로 반경 1km 정도의 해역에서 0.01℃ 이상 수온이 상승하는 것으로 나타났다. 고염의 배출수에 의한 염분의 상승은 담수화 공장 인근해역에서 0.001‰ 이상으로 나타났다. 수치모델 결과는 고온 고염 배출수의 진해만에 대한 영향이 무시할 수 있는 정도임을 보여주며, 이는 담수화 공장의 배출수가 비교적 적은 양이기 때문이다.

계산결과의 검증은 해수유동모델의 결과에 대해서만 관측치와 비교하였다. 확산예측의 경우 예측된 상승치와 관측된 상승치를 비교하여 검증하여야 하는데, 본 연구에서와 같이 배출수의 영향이 미미한 경우 관측치에서 '자연상태의 값(배출수가 없는 경우)'과 상승치를 분리하는 것은 현실적으로 어렵음이 있다.

후 기

본 논문은 과학기술부에서 1998년도 시행한 특정연구개발사업 "해역 정온화 구조물 설계기술 개발" 과제의 연구결과 중 일부이다.

참 고 문 헌

[1] 국립수산진흥원, 1996, 한국연안어장 환경오염

조사결과 보고서.

[2] 김홍선, 1997, 경기만에서 해수유동과 염분분포에 대한 수치 모델링, 인하대학교 대학원 석사학위 논문.

[3] 삼성중공업주식회사, 1995, 죽도국가공업단지개발 사업변경에 따른 공유수면매립에 관한 피해영향 조사보고서.

[4] 이문진, 1996, 프랙탈을 이용한 해양 확산모델 연구, 부경대학교 대학원 박사학위 논문.

[5] 정태성, 김상익, 강시환, 1998, "해수순환과 온배수 확산에 관한 3차원 수치모델링", 한국해양환경 공학회지, Vol 1, 93-101.

[6] 한국전력연구원, 1993, 발전소 가동이 주변 해양환경에 미치는 영향 연구.

[7] 해양연구소, 1990, 해상신도시 건설사업 환경영향평가서, 부산광역시.

[8] 해양연구소, 1992, 진해만 해양관측 자료집 (I), '82~'83년도 조류, 조석 및 기상관측자료, 해양연구소 자료실.

[9] Alonso, C.V., 1981, "Stochastic models of suspended-sediment dispersion", ASCE J. Hydraul. Div., Vol 107, 733-757.

[10] Blumberg, A.F. and Mellor, G.L., 1987, "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model". In: N. S. Heaps(ed.), Three dimensional coastal models, American Geophysical Union, pp. 1-16.

[11] Larsen, T. 1983, "Sea outfall design based on a stochastic transport-dispersion model". In: R.A. Bajura and T.B. Morrow, Modelling of Environmental Flow Systems, pp. 19-24.

[12] Okubo, A., 1966, "A note on horizontal diffusion from instantaneous source in a nonuniform flow", J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol 22, 35-40.

[13] Okubo, A., 1971, "Oceanic diffusion diagram", Deep Sea Res., Vol.18, 789-802.

[14] Tayfun, M.A. and Wang, H., 1973, "Monte Carlo simulation of oil slick movements", ASCE J. Waterways, Harbor and Coastal Eng. Div., Vol 99, 309-324.