

# 복합조류가 존재하는 연안역에서의 점열원에 의한 열오염의 이동 예측을 위한 해석해 모형

이 호 진\*

한국해양대학교 해양과학부

## An Analytical Model for the Prediction on the Excess Heat Transport due to a Point Heat Source in Coastal Water with a Composite Oscillatory Flow

Ho Jin Lee

Division of Ocean Science, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

### ABSTRACT

The build-up of the heat filed in coastal water due to a point source has been using an analytic solution of a time-integral form derived by extending the solutions by Jung et al.[9]. The alongshore flow is assumed to be uni-directional, spatially uniform and oscillatory with spring-neap modulation. Calculations are performed over 100 lunar days and four positions are selected to show the time variation of the maximum excess temperature within a  $M_2$  tidal cycle.

A series of calculations shows that the fluctuation of the excess temperature due to the spring-neap modulation of the tidal current is much more pronounced near a tidal excursion distance. It seems that the advection of the heat plays an important role to transport the excess heat within a tidal excursion distance, while the excess temperature field beyond the distance mainly controlled by the horizontal diffusion of the heat. As a way of assessing the status of heat build-up, we have checked the time that the maximum excess temperature within the  $M_2$  period reaches 90% of the stationary state value (chosen as the value of the maximum excess temperature over total iteration time, 100 lunar days). In result, the heat field within a tidal excursion distance reaches 90% of the stationary steady state in about 14days, while going beyond the distance over longer time, 27days.

**Key Words:** Analytical model, Excess temperature, Tidal excursion distance

### 1. 서 론

오염물질이 해양에 유입되면 해류, 조류, 바람에 의해 이동되며 해수와의 혼합작용에 의해 희석, 확산, 분산되거나 해저에 퇴적 또는 해양생물에 의해 분해되기도 한다. 따라서 해양에 유입되는 인간 활동의 결과 물질이 해양의 자정능력의 한계를 넘지만 않는다면 해

양오염은 발생되지 않을 수 있다. 그러나 각종 폐기물이 전 해양으로 고르게 분산되지 않고 만(bay)과 같이 육지에 인접한 연안해역에 주로 집중되고 있으며 최근 급속한 산업발전에 따라 오염부하량 또한 급증하고 있다는 데에 연안 해양오염 문제의 심각성이 있다. 특히 어업의 대부분이 주로 연안해역에서 이루어지고 있다

\*Corresponding author: Ho Jin Lee  
Tel: 051-410-4751, FAX: 051-404-3538  
E-mail: hjlee@hhu.ac.kr

는 것을 고려할 때 연안해양의 수질악화는 해양 생태계 파괴라는 환경 문제에만 국한되지 않고 해양·수산 자원의 고갈이라는 사회·경제적인 문제로 대두되고 있다.

그러므로 오염물질이 유입되는 해역의 해수 유동, 확산 및 분산 특성을 보다 정확하게 분석하여 해양의 자정능력에 부담이 되지 않는 범위 내에서 해양투기가 이루어지도록 관리하는 것이 반드시 필요하다. 이를 위해서는 연안역 개발의 계획수립 단계에서부터 부유토사의 이동·확산 양상을 예측하거나 해양투기 해역에서의 각종 폐기물의 이동·확산 양상을 예측할 수 있는 오염물질 이동·확산 예측 모델의 개발이 절실히 요구되어 진다.

해양오염을 예측하는 모델은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 고전적인 해석모델(analytical model)이고 또 하나는 현대적인 수치모델(numerical model)이다. 최근 들어 대부분의 예측 연구는 오염물질 수송 방정식을 유한 차분(finite difference) 형태로 변환하여 컴퓨터를 이용해 수치해(numerical solution)를 구하는 수치모델에만 의존해왔다. 수치모델은 다양한 변수와 수치기법을 이용하여 보다 복잡한 현상을 재현하고 예측할 수 있다는 장점이 있는 반면에 유한 차분에 기인하는 필연적인 오차 및 계산 비용의 증가등 여러 가지 제약 또한 존재한다. 이에 반해 해석모델(analytical model)은 이상화된 영역에서 주로 적용된다는 단점이 있지만 상대적으로 간단한 구조를 가진다는 점에서 user-friendly model이라 할 수 있으며 모델 계산시간(running time)의 단축, 오염원에 대한 보다 정확한 초기 조건 입력 가능, 결과 해석이 비교적 쉽다는 장점이 있다.

오염물질의 이동·확산 예측과 관련한 대부분의 연구는 컴퓨터를 이용하여 수치해(numerical solution)를 구하는 수치모델링 방법을 주로 사용하고 있다[2,3]. 이외에도 발전소 주변 온배수 방출에 따른 excess temperature의 이동·확산 예측을 위한 2차원, 2.5차원, 3차원 수치모델 개발 연구[4], 미국에 개발된 발전소 폐열 및 기본적 수질 요소의 이동·확산 예측 모형인 CORMIX 모델[7]을 이용한 오염물질 이동·확산 예측 연구[1,8]등이 있다.

고전적인 해석모델을 이용한 오염물질의 이동·확산 연구는 거의 전무한 상황이었으나 최근 Jung et al. 에 의해 발전소 주변 온배수 방출에 따른 수온 상승치(excess temperature)의 이동·확산에 관한 2차원 해석 모델이 개발되었다[9]. Jung et al.은 Holley[6]와 Harlman[5]에 의해 제안된 바 있는 1차원 해석해(analytical solution)를 확장하여 우리나라 서해안, 남

해안과 같이 조류가 우세한 해역에서의 점 열원(point heat source)에 대한 2차원 해석해를 제시하였다[9].

Jung et al.은  $x$ 축 방향으로의 왕복성 흐름인 반일 주기의 조류가 존재할 경우를 가정하여 발전소 폐열의 이동·확산을 예측하였다[9]. 그러나 우리나라 서·남해안은 하나의 주기의 조석변동만이 존재한 것이 아니라 다양한 주기의 조석운동이 존재한다. 특히 조류의 크기에 있어 15일 주기의 대·소조(spring-neap tide) 변동이 매우 크다. 따라서 대·소조 변동을 고려하는 흐름 조건하에서의 해석모델의 개발이 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 Jung et al.이 제시한 해석해를 확장하여 대조·소조와 같은 복합조석이 존재하는 해역에서의 오염물질의 이동·확산에 관한 2차원 해석모델을 개발하고 이상화된 영역에 적용하여 그 결과를 검토하고자 한다.

## 2. 해석해 모델

일정 수심을 가지는 무한 영역의 해양을 가정하고,  $x$ 축 방향으로 흐름이 존재하는 경우 2차원 수심평균 열보존 방정식은 다음과 같다 [9].

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - k_d T \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는 시간,  $x, y$ 는 직교좌표계,  $T$ 는 열오염에 의한 수온 상승값(excess temperature),  $k_d$ 는 해표면에서의 열 교환에 의한 열손실 계수이다.  $k_x, k_y$ 는 각각  $x$ 축,  $y$ 축 방향으로의 수평 확산계수로 다음과 같은 관계식을 사용한다.

$$k_y = \frac{k_x}{\alpha^2} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$ 는 상관계수이다.

$x$ 축 방향으로 흐름성분( $u$ )은 다음과 같이 가정한다.

$$u(t) = U_M \sin w_M t + U_S \sin w_S t \quad (3)$$

여기서,  $U_M, U_S$ 는 각각  $M_2, S_2$  조류 성분의 진폭을  $w_M (= 2\pi/T_M, T_M$ 은  $M_2$  조석 주기, 12.45시간)과  $w_S (= 2\pi/T_S, T_S$ 는  $S_2$  조석 주기, 12시간)는 각 조류성분의 각 주파수(angular frequency)를 나타낸다.  $U_M, U_S$ 는 상수값으로 본 연구에서 고려되는 조류는 공간적으로 차이가 없고 시간에 관해서만 변화한다.

(1)식의 해석해를 구하기위해서 변수변환과 좌표변환을 도입한다. 먼저 시간  $\tau$ 에 순간적인 열오염이 발생하는 것을 가정하여 수온상승값  $T$ 를 새로운 변수  $C$ 로 치환한다.

$$T = Ce^{-k_d(t-\tau)} \quad (4)$$

변수변환과 더불어  $x$  좌표를 다음과 같은 새로운 좌표  $\chi$ 로 변환한다.

$$\chi = x - \int_{\tau}^t u(t) dt \quad (5)$$

(4)식과 (5)식과 같은 변환을 이용하면 (1)식은 다음과 같은 간단한 확산방정식 형태로 변환된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{k_x}{\alpha^2} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (6)$$

오염원의 위치를 원점(0,0)으로 가정하고 시간  $\tau$ 에 순간적인 열오염이 부하될 경우를 고려하면, (6)식의 해는 다음과 같이 구할 수 있다[9].

$$C = \frac{\alpha}{4\pi k_x(t-\tau)} \exp\left[-\frac{\chi^2 + (\alpha y)^2}{4k_x(t-\tau)}\right] \quad (7)$$

(7)식은 순간적인 오염유입에 대한 오염 농도의 반응함수(response function)이다. 변수 변환식 (4)를 이용하면 순간 수온 상승값으로 변환할 수 있다.

$$T = \frac{\alpha}{4\pi k_x(t-\tau)} \exp\left[-\frac{\chi^2 + (\alpha y)^2}{4k_x(t-\tau)} - k_d(t-\tau)\right] \quad (8)$$

다음으로 (8)식을 최초 좌표인  $x$ 의 함수로 변환한다. (5)식에 (3)식을 대입하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$\chi = x + \frac{U_M}{w_M} (\cos w_M t - \cos w_M \tau) + \frac{U_S}{w_S} (\cos w_S t - \cos w_S \tau) \quad (9)$$

(9)식을 (8)식에 대입하면

$$T = \frac{\alpha}{4\pi k_x(t-\tau)} I(x, y, t, \tau) e^{-k_d(t-\tau)} \quad (10)$$

$$I(x, y, \tau, t) = \exp\left[-\frac{(x + f_M + f_S)^2 + (\alpha y)^2}{4k_x(t-\tau)}\right] \quad (11)$$

이 된다. 여기서,

$$f_M = \frac{U_M}{w_M} (\cos w_M t - \cos w_M \tau) \quad (12)$$

$$f_S = \frac{U_S}{w_S} (\cos w_S t - \cos w_S \tau) \quad (13)$$

이다.

연속적인 열오염의 방출의 경우의 해석해는 순간적인 열오염 방출에 대한 반응함수 (11)식을 시간에 대해 convolution 적분함으로써 구할 수 있다. 만약  $t=0$ 일 때 수심이  $h$ 인 해역에  $T_0$  만큼 온도가 높은 해수가  $q(m^3/sec)$  만큼 유입된다고 할 경우에 해석해는 다음과 같다.

$$T(x, y, t) = \int_0^t \frac{\alpha q T_0 e^{-k_d(t-\tau)}}{4\pi h k_x(t-\tau)} I(x, y, t, \tau) d\tau \quad (14)$$

### 3. 모델 영역과 변수

해석모델을 적용할 모델영역은 그림 1과 같은 반 무한평면(Semi-infinite plane)이며 열오염이  $(x_0, y_0)$  지점에서 발생한다고 가정한다.

육지와 해양의 경계는  $y=0$ 에 위치하며 경계를 통한 수온의 전달은 없다고 가정한다. 이러한 경계조건을 만족시키기 위해 실제 열 오염원과 대칭된 지점  $(x_0,$

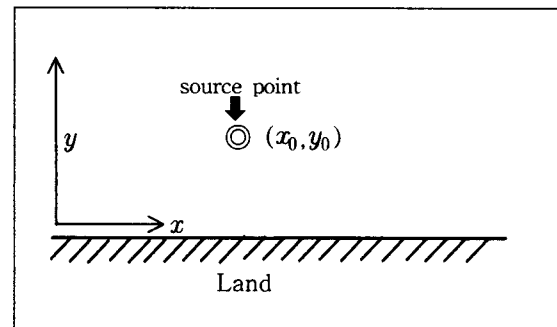


그림 1. 모델영역 및 열오염 발생 지점

$y_0)$ 에서의 가상 열 오염원(imaginary heat source)을 고려한다[9]. 따라서 열오염으로 인한 반 무한평면에서의 수온상승 분포는 다음과 같다.

$$T = \int_0^t \frac{\alpha q T_0 e^{-k_d(t-\tau)}}{4\pi h k_x(t-\tau)} I(x-x_0, y-y_0, t, \tau) d\tau + \int_0^t \frac{\alpha q T_0 e^{-k_d(t-\tau)}}{4\pi h k_x(t-\tau)} I(x-x_0, y+y_0, t, \tau) d\tau \quad (15)$$

(15)식의 우변의 두 번째 항이 경계조건을 성립을 위해 도입된 가상 열 오염원에 해당한다.

$x$ 축 방향 수평 확산계수  $k_x$ 는 다음 식에 의해 결정된다[9].

$$k_x = \theta h U_{max} \quad (16)$$

여기서,  $\theta$ 는 0.6에서 8.7까지의 값을 사용할 수 있으며, 본 연구에서는 8.4로 고정하였다.  $h$ 는 수심,  $U_{max}$ 는 최강 유속값( $U_M + U_S$ )이다. 본 연구에서는 수심( $h$ ) 7m로 일정수심을 가정하였고  $U_M$  과  $U_S$ 는 각각 0.65m/sec와 0.15m/sec로 주었다. 따라서 최강 유속값( $U_{max}$ )은 0.8m/sec가 된다.  $y$ 축 방향 확산계수( $k_y$ )도 같은 값을 사용한다. 따라서, 본 연구에서  $\alpha$ 는 1.0이다. 오염원의 좌표 ( $x_0, y_0$ )는 (0m, 150m)에 위치하며 열오염의 유입량( $q$ )을 218m<sup>3</sup>/sec로 주고 오염원 좌표점에서의 수온 상승치( $T_0$ )를 8.3°C로 설정하였다. 해표면에서의 열교환에 의한 열손실 계수( $k_d$ )는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$k_d = \frac{Q_{net}}{\rho C_p h} \quad (17)$$

여기서  $Q_{net}$ 는 해양으로부터 대기로 방출되는 순 열속(Net heat flux)이며, 32 W/m<sup>2</sup>로 주어지며,  $\rho$ 는 해수의 밀도로 1025kg/m<sup>3</sup>,  $h$ 는 수심,  $C_p$ 는 해수의 비열(specific heat)을 나타내며 4186.0 J/(kgK)이다. 각 계수값을 (17)식에 대입하여 구한 열손실 계수  $k_d$ 는 0.1065×10<sup>-5</sup>sec<sup>-1</sup>이다.

#### 4. 계산 결과

계산은 총 100 태음일(lunar day)동안 수행되었으며 주 흐름방향인  $x$ 축 방향으로 총 4개 정점을 선정하여 수온상승의 시간변화를 살펴보았다. 4개 정점의 좌표는 (0.75L, 150m), (1.0L, 150m), (1.25L, 150m), (1.5L, 150m)이다. 여기서  $L$ 은 조석 주기 동안 조류에 의해 이동할 수 있는 최대거리인 Tidal excursion

거리로  $U_{max}T_M/\pi$ 로 계산된다. 대조시의 최강유속(0.8m/sec)을 고려할 때,  $L$ 은 약 11.4km가 된다. 그림 2는 각 정점에서의 M<sub>2</sub> 주기 동안 최대 수온 상승치의 시간 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 수온 상승값은 오염원에서의 수온 상승치 ( $T_0 = 8.3^\circ\text{C}$ )로 나누어진 정규화(normalized)된 값이다.

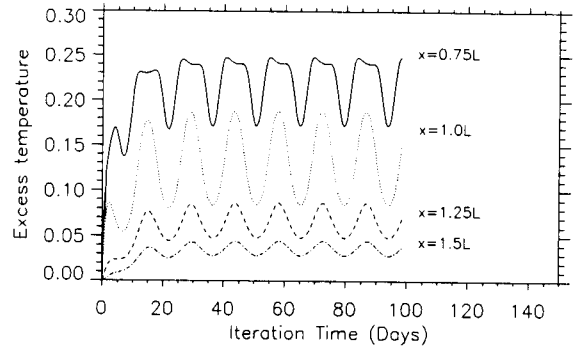


그림 2 M<sub>2</sub> 주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 시간변화

조류의 대·소조 변동에 따른 15일 주기의 수온 변동이 뚜렷하게 나타나고 있다. 오염원과 가장 가까운 정점인 (0.75L, 150m) 지점에서는 대조시 최대 0.25(≈2.1°C), 소조시 최대 0.16(≈1.3°C)의 수온 상승이 발생하는 것으로 나타났다. 다른 정점에서의 수온 변동과 비교하여 대조시 수온이 최대로 상승하는 peak가 나타나지 않는데 이러한 결과는 이 지점이 대조시 조류에 의한 열오염의 이동 범위 내(0.75×L)에 위치하기 때문으로 여겨진다. 오염원에서 17.5 km 떨어진 (1.5L, 150m) 지점에서도 최대 0.04(≈0.3°C)의 수온 상승이 발생하는 것으로 나타났다.

그림 3은 총 계산기간 (100 lunar days) 동안의 최대 수온 상승치( $T_{MAX}$ )에 대한 M<sub>2</sub> 주기 동안 최대 수온 상승치의 비율을 나타낸 그림이다. 조류의 대·소조의 변동에 따른 수온 상승값의 15일 주기 변화율은 (1.0L, 150m) 지점을 최고로 하여 오염원에서 멀어질수록 감소하는 양상을 나타낸다. (1.0L, 150m) 지점의 경우 소조시의 열오염 유입으로 인한 최대 수온상승치는 대조시에 비해 50%에 정도 감소하는 것으로 나타난다. 이는 소조시의 조류의 최강유속(0.4m/sec) 대조시의 최강유속(0.8m/sec)에 비교하여 50%정도 감소하는 것에 기인한다. 조류에 의한 열오염의 이류( $u \frac{\partial T}{\partial x}$ ) 효과는 주로 Tidal excursion 거리 부근에서

크게 나타나는 것으로 판단된다.

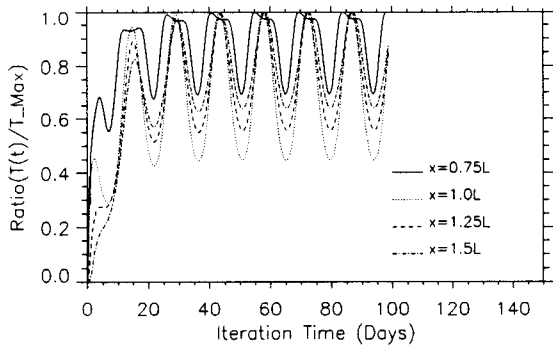


그림 3 최대 수온 상승값 ( $T_{MAX}$ )에 대한  $M_2$  주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 비율의 시간변화

또한 그림 3에서 30일이 지나면 거의 모든 정점에서 15일 주기의 변동 진폭이 거의 변화하지 않는 정상상태(stationary steady state)에 도달하는 것으로 나타났다. 총 계산기간 (100 lunar days) 동안의 최대 수온값 ( $T_{MAX}$ )에 대한  $M_2$  주기 동안 최대 수온 상승치의 비율이 최초로 90%를 넘기는 시기를 정점별로 살펴보면 ( $0.75L, 150m$ ) 지점에서는 11.2일, ( $1.0L, 150m$ ) 지점에서는 13.8일, ( $1.25L, 150m$ ) 지점에서는 27.3일, ( $1.5L, 150m$ ) 지점에서는 27.8일이 각각 걸리는 것으로 나타났다. 이러한 수치는  $M_2$  조류성분만을 고려한 Jung et al.의 결과[9]와 비교하여 Tidal excursion 거리 내의 정점들의 경우에는 약 2일~3일, Tidal excursion 길이외의 정점들의 경우에는 약 9일~12일 정도 증가한 것이다.

그림 4는 수평 확산 계수( $k_x, k_y$ )를 2배 증가시켰을 때의 최대 수온 상승치의 시간 변화를 나타낸 그림이다.

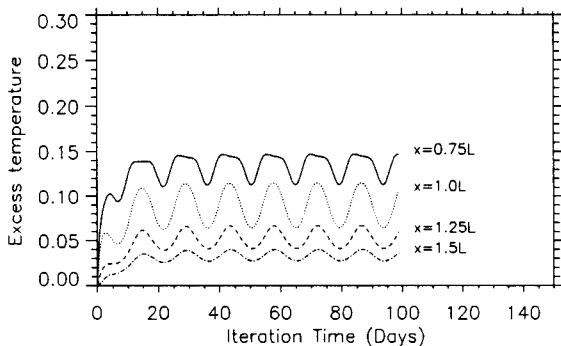


그림 4 수평 확산 계수를 2배 증가했을 때의  $M_2$  주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 시간변화이다. Tidal excursion 거리 내의 정점들의 경우에는 그림 2와 비교 할 때 15일 주기의 수온 변동값이 크게

감소하였으며 최대수온 상승값도 ( $0.75L, 150m$ ) 지점에서 대조시 최대  $0.15(=1.3^{\circ}C)$ 로 감소하였다. 이는 수평 확산의 증가로 인해 조류에 의한 열오염의 이류의 효과가 감소하고 흐름방향(x축)에 수직인 방향인 의해(offshore)쪽으로 수온의 확산이 크게 발생한 결과로 추정된다.

그러나 Tidal excursion 거리를 넘어선 지점에서의 정점은 상대적으로 변화폭이 작은 것으로 나타났다. 특히 ( $1.5L, 150m$ ) 지점의 경우에는 그림 2와 그림 4가 거의 일치한다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 오염원에 멀리 떨어진 해역에서는 상대적으로 이류의 효과가 적게 영향을 미치는 까닭에 확산 계수의 증가에 따른 이류의 반감효과가 거의 far-field에 영향을 주지 않기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

그림 5~7은  $U_s$ 는 고정하고  $U_M$ 을  $0.75m/sec$ 로 증가하거나  $0.55m/sec$ 로 감소될 경우 ( $0.75L, 150m$ ), ( $1.0L, 150m$ ), ( $1.5L, 150m$ ) 지점에서의 최대 수온상승치의 시간변화를 나타낸 그림이다. 이 경우 대조시의 최강 유속  $U_{max}$ 는 각각  $0.9m/sec$ 와  $0.7m/sec$ 가 된다.

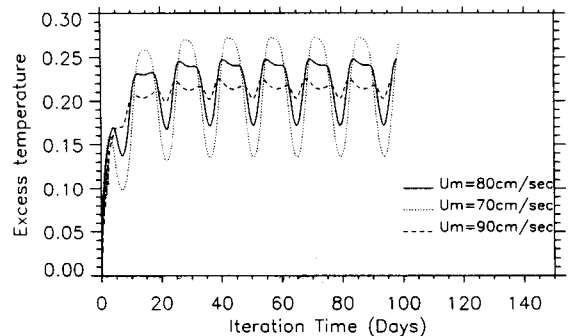


그림 5 ( $0.75L, 150m$ ) 지점에서의  $M_2$  주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 시간변화

대조시의 최강유속이  $0.7m/sec$ 로 감소할 경우 Tidal excursion 거리는 약  $9.9km$ 가 되고,  $0.9m/sec$ 로 증가할 경우에는  $12.8km$ 가 된다. 따라서 오염원으로부터  $8.6km$  떨어져 있는 ( $0.75L, 150m$ ) 지점은 대조시 최강유속이  $0.7m/sec$ 로 감소할 경우, Tidal excursion 거리 부근에 위치하게 되어 그림 5와 같이 가장 큰 15일 주기의 수온의 대·소조 변동을 나타내는 것으로 판단된다. 반면에 대조시 최강유속이  $0.9m/sec$ 로 상승할 경우에는 열이 강한 조류에 의해 더 멀리 이동하게 됨에 따라 변동 진폭이 상대적으로 감소하는 것으로 나타난다.

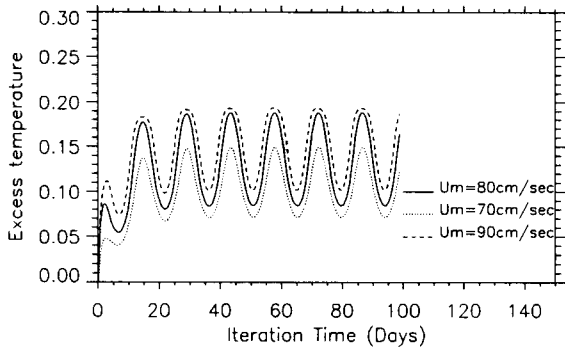


그림 6 (1.0L,150m) 지점에서의 M<sub>2</sub> 주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 시간변화

오염원으로부터 11.4km 떨어져 있는 (1.0L,150m) 지점은 대조시 최강유속이 0.9m/sec로 상승할 경우, Tidal excursion 거리 내에 정점이 위치하게 되어 수온의 15일 주기의 수온 변동이 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다(그림 6). 또한 최강유속이 0.7m/sec로 감소하는 경우에는 Tidal excursion 거리를 초과하게 되어 수온 변동 진폭과 더불어 최대 수온 상승치도 감소되는 것으로 나타났다.

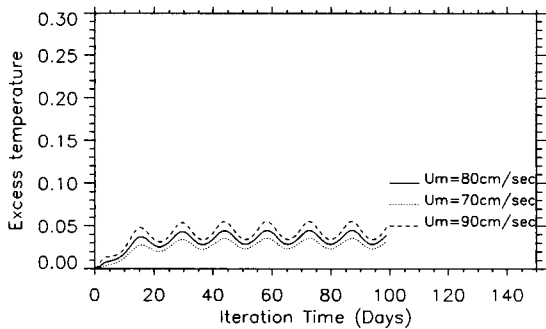


그림 7 (1.5L,150m) 지점에서의 M<sub>2</sub> 주기내의 최대 수온 상승치(excess temperature)의 시간변화

한편 오염원에서 17.5 km 떨어진 (1.5L,150m) 지점은 최강 유속값 변화에 따른 수온 변화폭이 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다(그림 7). 이러한 결과는 이 지점의 경우 유속값의 증가와 무관하게 항상 Tidal excursion 거리 밖에 위치하는 지점인 관계로 유속값의 증가에 따른 이류의 영향이 거의 미치지 않은 결과로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 Jung et al.이 제안한 열오염의 이동 및 확산에 관한 2차원 해석해를 확장하여 복합주기의 왕복성 조류가 존재하는 해역에서의 해석해를 도출하였다. 도출된 해석해를 이용하여 일정한 수심을 가지는 반 무한평면의 해양에서의 열오염의 이동·확산 양상을 검토하였다. 계산은 총 100 태음일(lunar day) 동안 수행되었으며 주 흐름방향으로 총 4개 정점을 선정하여 수온상승의 시간변화를 살펴보았다.

계산결과 조류의 대·소조 변동에 따른 15일 주기의 수온 변동이 가장 큰 지점은 대조시 조류에 의해 이동할 수 있는 최대거리에 해당하는 Tidal excursion 거리에 위치하는 정점 (1.0L,150m)으로 나타났다. 이 지점을 기준으로 Tidal excursion 거리 내에 위치한 정점은 주로 이류에 의한 상승수온의 이동이 Tidal excursion 거리를 벗어난 정점은 확산에 의해 상승수온이 전달되는 것으로 나타났다.

또한 30일이 지나면 거의 모든 정점에서 수온의 변동 진폭(15일 주기)이 거의 변화하지 않는 정상상태(stationary steady state)에 도달하는 것으로 나타났다. 총 계산기간 (100 lunar days) 동안의 최대 수온 상승값( $T_{MAX}$ )에 대한 M<sub>2</sub> 주기 내 최대 수온 상승값의 비율이 90%를 넘기는 시기를 기준으로 준 정상상태(Quasi-stationary steady state)에 도달한 시점으로 정의할 경우, (0.75L,150m) 지점에서는 11.2일, (1.0L,150m) 지점에서는 13.8일, (1.25L,150m) 지점에서는 27.3일, (1.5L,150m) 지점에서는 27.8일이 각각 걸리는 것으로 나타났다. 이러한 수치는 M<sub>2</sub> 조류성분만을 고려한 Jung et al.의 결과[9]와 비교하여 Tidal excursion 길이내의 정점들의 경우에는 약 2일~3일, Tidal excursion 길이외의 정점들의 경우에는 약 9일~12일 정도 증가한 것이다. 따라서 복합조류를 고려할 경우, 정상상태의 수온 분포를 얻기 위해서는 최소 30일 이상의 시간 적분이 필요할 것으로 판단된다..

그러나 본 연구에서는 반일 또는 15일 주기의 변동을 하는 조류를 고려한 반면, 수평 확산 계수는 시간에 따라 변화하지 않는 일정한 값을 사용하였다. 난류 확산의 크기는 해역의 유속의 크기에 좌우된다는 것은 주지의 사실이며 따라서 확산계수 또한 조류속의 변화에 따른 시간변동을 하는 경우가 더욱 현실을 반영한 모형이라 할 수 있다. 그러므로 본 연구의 다음단계로 수평 확산 계수도 조류와 같은 시간 변동을 하는 경우 열오염의 이동·확산 양상이 어떻게 달라질 수 있는지

를 검토하는 모형 민감도 분석 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 강시환, 유승협, 오병철, 박광순, 2000. 마산·창원 하수종말 처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기·근역 회석연구(II). 한국해양환경공학회지 3권 1호, 35-44.
2. 박해식, 박정길, 이석모, 2000. 남부하수처리장 유출수의 해중방류 영향평가. 한국해양환경공학회지 3권 3호, 41-49.
3. 조홍연, 채장원, 1999. 진해·마산만의 환경관리를 위한 수질모델링. 한국해양환경공학회지 11권 1호, 41-49.
4. 한국해양연구소, 1994. 임해발전소 취·배수 시스템의 적정설계를 위한 수치기술 개발연구-표층배수방식(III). 과학기술처 BSPN 00233-752-2, 157p.
5. Harleman, D.R.F., 1971. One dimensional models. In: Estuarine Modelling: An Assessment (eds.) G.H. Ward, Jr., W.H. Epsy, Jr., 34-101.
6. Holley, E.R., 1969. Discussion of difference modeling of stream pollution. Journal of Sanitary Engineering, 95, SA5, 968-972.
7. Jirka, G.H. and S.W. Hinton, 1992. User's guide for the Cornell Mixing Zone Expert System(CORMIX). U.S. Environmental Protection Agency, Technical Bulletin No. 624.
8. Jung, K.T., Kim, S.D., Park, C.W., Jin, J.Y. and J.S. Park, 2002. Far-field prediction of the dispersion of thermal effluents in a shallow coastal sea region using the CORMIX system. *Proceedings of the KOSMEE spring annual meeting, May 10, 2002*, 257-263.
9. Jung, K.T., Kim, C.H., Jang, C.J., Lee, H.J., Kang, S.K. and K.D. Yum, 2003. An analytical investigation on the build-up of the temperature field due to a point heat source in shallow coastal water with oscillatory alongshore-flow. *Ocean and Polar Research*, 25, 63-74.





## 러시아 연해주 수산업과 수산·양식산업의 발전

박인석\*

한국해양대학교 해양과학부

### Prospective Industry of Fishery and Aquaculture in the Maritime Province of Siberia, Russia

In -Seok Park\*

Division of Ocean Science, College of Ocean Science and Technology,  
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

---

#### ABSTRACT

수산·양식산업은 러시아 연해주 총 산업 생산에서 큰 비중을 차지하는 주요 산업 부분이다. 연해주에는 러시아 극동 수산·양식산업을 위한 주요한 생산 및 기술적 잠재력이 집중되어 있으며, 수산·양식산업의 미래 발전을 위하여 새로운 사고가 요구되고 있다. 연해주 정부는 수산·양식산업의 발전을 도모하기 위하여 다양한 방면에서 그 노력을 경주하고 있다(본 논고는 2003년, 5월 31일~6월 3일 간 러시아 연해주 블라디보스톡에서 한국해양대학교, 러시아 극동 주립대학교, 러시아 해사 주립대학교, 러시아 극동 수산기술대학교, 러시아 과학아카데미 극동연구소의 공동주최로 열린 한국해양대학교 실습선 「한나라」 호 선상세미나(International Conference-Maritime Environment, Communication and Business) 및 한국해양대학교와 러시아 극동 주립대학교와의 자매결연시 수집된 자료임.)

**Key words:** 연해주, 수산 산업, 양식 산업, 신규 투자

---

#### 수산업은 러시아 연해주의 주요 산업

수산업은 러시아 연해주 총 산업 생산의 약 1/3을 차지하는 연해주의 주요 산업 부분이다. 연해주 수산업은 최근 전체 러시아 수산업 생산량의 20~35%를 차지하는 주요한 역할을 하고 있다. 연해주에는 러시아에서 가장 큰 수산업 조합이 오랜기간에 걸쳐 집중 형성되었으며, 믿을만한 여러 근거들을 바탕으로 볼 때 이러한 현상은 앞으로도 유지될 전망이다. 연해주 수산업 조합의 이러한 역할과 중요성은 일련의 객관적인 환경과 조건에 기인된다.

그 중 가장 중요한 것은 연해주가 러시아와 아시아 태평양 지역 나라들과의 상호관계 및 러시아 극동 지역에서 열쇠와 같은 중요한 역할을 하는 지정학적 위치와 관계가 깊다.

연해주에는 연중 얼지 않으며, 시베리아 대륙횡단 철도와 연결되는 3개의 항구가 있다. 이 항들은 실제로 러시아 극동 지역에서 유일하게 연중 출항할 수 있는 항구들이다. 이것은 연해주의 지정학적 의의를 더욱 크게 한다. 이 3개의 항을 통하여 극동 지역에서 러시아 중심 지역과 유럽으로 모든 수산물들이 운송되며, 또한 극동 지역 수산업을 위한 필요한 물자들이 수송된다.

#### 무한한 수산업 잠재력

러시아 연해주에는 극동 수산업을 위한 주요한 생산

---

\*Corresponding author: In -Seok Park

Tel: 051-410-4321, FAX: 051-404-3538

E-mail: ispark@hhu.ac.kr

및 기술적 잠재력이 집중 되어있다. 2002년 현재 연해주 수산업 부문에 속한 선박은 총 702척으로 집계 되었으며, 그 중 528척의 어선, 27척의 보조 선박, 152척의 기타 선박으로 구성 되어있다. 어선 중에는 417척의 어획 선박, 28척의 가공 모선, 83척의 대형 어선, 213척의 중간 어선 및 121척의 작은 어선들로 구성 되어있다. 연해주 수산업 선단들은 원양 어장에서 가장 뛰어난 어획력을 가지고 있다. 그 이유는 이 선단이 극동 지역 총 선단에서 다음과 같은 비중을 차지하는 것과 관련이 있다. 즉 주동력 엔진 총 출력의 41.8 %, 총 발전 능력의 45.3 %, 냉동 제품 생산을 위한 기술 설비의 생산 능력의 39.7 %를 차지하고 있다. 연해주는 '싸뜨루체즈뜨보'와 '콘스피뚜찌야-에스에스'형 8척의 현대식 초대형 통조림 가공 모선을 비롯하여 28척의 가공 모선을 보유하고 있는데, 이는 극동 지역 총 수산물 가공 선박들 중 절반을 차지하고 있다.

이러한 이유로 연해주 가공 모선들의 생산 능력은 총 원양 어장에서 활동하는 선단들의 가공 능력 부문에서 91.3 %의 통조림 제품 생산, 49.7 %의 생선 통조림 제품, 39.7 %의 염절임 가공품, 49.7 %의 냉동 가공품, 65.3 %의 사료용 어분을 차지하고 있다. 극동 지역에서 냉동 수송 선박들의 기본적인 수요가 연해주에 집중 되어 있으며(44.6 %), 특히 대형 냉동 수송선들은 모두 연해주에 속해 있다. 따라서 다른 주들의 냉동 수송선들은 주로 중간급 또는 소형 선박들이다. 연해주의 수산업 부문 보조 선박들로는 13척의 과학 연구용 전문 선박, 6척의 수산 자원 보호용 선박, 8척의 교육용 선박 등이 있으며, 기타 선박으로는 8척의 구조선, 60척의 견인선, 23척의 액체 공급선, 18척의 화물 평저선, 5척의 여객선, 23척의 원유 수송선, 4척의 기술봉사 선박, 11척의 바다 오염방지와 해안청소를 위한 선박들이 있다.

해안 보장 기지 구조들로서는 5개의 선박수리 공장, 선단을 위한 5개의 기술봉사 기지, 2개의 기계 제작 공장, 포장용 통조림통 생산 공장, 그물 및 기타 어구 공장들 및 선단과 수산물 생산 꼴호즈에 속한 기지들의 어구 생산을 위한 3개의 회사들과 몇 개의 관련 시설 등이 있다. 해안에 있는 34개의 회사들은 어류와 기타 해산물들을 가공한다. 이 기업들의 생산 능력은 연간 39.7 톤의 통조림, 2,800 톤의 절인 물고기, 4,600 톤의 훈제품, 900 톤의 건조 어류, 3,000 톤의 냉동품, 2,200 톤의 어류 요리 등을 생산할 수 있다.

연해주에는 극동 지역의 기본적인 과학 및 계획·설계를 위한 잠재력이 집중되어 있다. 이러한 기관들로는 과학연구소 태평양수산과학연구소, 4개의 어장 조직 계획·설계 기업소인 '달 리브 제호 멘트르', '달미스(극동 바다기술 봉사)', '달 리브 제호니까', '달 리브쁘라엑트' 등이 있다. 연해주에는 러시아 과학원 극동 지

부가 있으며, 그 안에 많은 연구소들이 수산 자원의 새로운 가공 기술에 관한 연구를 비롯하여 수산 부문과 관련한 연구를 하고 있다. 유사한 연구 기관들이 연해주에 위치하고 있고, 전통적으로 극동의 수산 부문과 연관되어 있으며, 이 부문에서의 기술 응용 문제 해결과 이해관계를 같이하는 많은 고등교육 기관들의 과학 연구 부서들이 있다.

이 모든 강력한 과학 연구 잠재력은 역사적으로 연해주 뿐만 아니라 전 극동 지역의 수산 부문의 과학 기술적 수요를 보장하고 있다. 연해주에는 수산 부문 전문가들의 양성을 위한 교육기관이 있다. 이러한 기관들로는 극동 수산기술 종합대학, 수산 부문 간부들의 기술 자격을 높이기 위한 교육기관이 있다. 이러한 기관들은 극동 지역의 모든 수산 부문에서 요구하는 다양한 지식 분야의 전문가들에 대한 수요를 충족시키고 있다.

특히, 중요한 점은 연해주에서는 극동의 다른 주들에 비하여 수산물 생산비가 가장 적게 지출된다는 점이다. 극동의 다른 주들에 비하여 평균 10-30 % 까지 적게 지출되고 있는 실정이다. 극동의 다른 주들이 보다 많은 생산비를 지출하고 있는 이유는 생산용 자재와 연료 등의 보충품 조달과 생산을 위한 봉사 수리 등에 많은 자금이 지출되기 때문이며, 특히 북부에 있는 주 등에서는 인건비가 많이 지출되는데, 이것은 생산이 계절적 제한을 받는 것과도 연관이 있다.

이와 같이 연해주의 자체의 유리한 지정학적 위치와 생산 기술적, 과학적, 계획-설계적 및 교육적인 잠재력을 가지고 있을 뿐만 아니라, 극동에서 수산물 생산의 가장 낮은 생산 원가의 보장으로 인하여 극동뿐만 아니라 전 러시아의 수산업 체계에서 열쇠와 같은 가장 중요한 역할을 하고 있다. 이는 연해주에서 역사적으로 수산업이 발전할 수 있는 조건이 될 것이다. 이러한 요인들은 연해주의 수산업이 극동의 다른 주들의 수산업을 비롯한 일련의 다른 공업 부문들과 비교 시, 계속되는 발전과 자본 투자를 위한 가장 전망이 있다는 것을 충분히 증명해 주고 있다.

## 수산업에 대한 신사고 요구

이와 함께 수산업 활동의 현실은 이전에 형성된 수산업 발전에 관한 방침에 대한 제반 고려를 요구 하고 있다. 이전 수산업 발전이 어로 작업량을 늘이는 방향으로 나갔다면, 이제는 극동의 수산자원이 고갈 약화됨을 고려시 본질적으로 다른 방법을 모색할 것을 요구 하고 있다. 이와 같은 방법들 중 가장 중요한 것은 다음과 같다.

1. 연해주에 배당된 전통적인 어종들에 대한 어획 쿼

터를 최대한 확보, 전환 시키는 것이다. 지방의 수산 자원을 종합적으로 이용하여, 어획한 모든 수산물을 신속히 가공할 수 있게 하는 연해 어업을 발전 시켜야 한다. 즉, 가동적인 수산물 생산 및 가공 종합체를 창설하여, 지방 자원 기지의 가능성과 시장의 수요에 민감하게 반응하는 것이다.

2. 수요가 적은 어종에 대한 어획량을 늘이며, 미활용 어종들을 생산하여 수요를 창출하는 것이다.

3. 어획된 수산물에 대한 가공 기술을 발전시켜, 폐산물이 나오지 않도록 하고, 기능 공학을 도입하여 상품 수요에 대한 연구로 새로운 종류의 생산품과 포장 방법을 연구 완성하는 것이다.

4. 연해주 내륙 지방의 저수지들과 해안의 연해 수역들을 이용함과 아울러 안정적인 수산물 생산지를 확보하는 기초로서, 양식산업을 발전시키는 것이다.

### 수산업 장기 발전계획 완성

러시아 연해주 수산업의 최근 현실을 고려 '연해주의 2010년까지 수산업 발전 계획' 이 작성 되었다. 최근 2년 동안 이 계획의 기본적인 조항들이 적극적으로 실현되기 시작하였다. 안타까운 것은 수산업의 개별적인 부문들에서 많은 시간을 소비해 버린 것이다. 그렇지만 연해주 정부는 채택한 방향들을 위해 필요한 종합적 대책들을 실천해 나가고 있다.

1. 현재 수산 부문 노동자들이 전통적 생산 품종들이 명태, 대구, 농어 등을 동해에서 잡지 않고 있는 것과 같이, 연해주에 배당된 수산물 생산 폰드를 완전히 확보하지 못하고 있다. 또한, 수산업은 전문화된 어로 선박 부족으로 생산이 저하 되고있다. 러시아 극동 지역의 다른 구역 경제 수역에 생산 수단을 전달하지 못하고 있다. 주정부는 수산업선단의 건조를 위한 사업과 생산 부분을 보강하기 위한 조직 사업을 진행하고 있다. 수산 부문 사업의 새로운 현실은 연해주 정부로 하여금 연해 어업 발전을 위한 프로그램 작성을 요구 하고있다. 연해 어업의 중요한 요소는 어획한 수산물을 능률적으로 가공하고 신속히 처리할 수 있는 역동적인 종합적 수산물 가공 설비를 창설하는 것이다. 이러한 종합 기지의 창설은 우선 연해주의 생산 능력을 높이기 위해 전문화된 어로 작업선의 건조 및 해안 수산물 가공 기지 창설을 계획 하고있다. 어로 선단과 해안 가공 기지를 위한 최신 설비를 외국에서 구입할 수도 있으나 마지막 조립과 건설 공정은 현지에서 진행 되어야 한다. 이를 위한 모든 필요한 수단들과 기술, 전문가들이 연해주에 있다.

2. 연해주의 수산 종합체는 현재 동해에서 약 5만 톤의 멸치, 18만 톤의 가자미, 4만 톤의 꽁치 이외에는 기

타 일련의 소량 어종들은 어획하지 않고 있다. 이러한 어종 대상들에 대한 어로 작업의 규모는 해당 어종에 대한 연구, 어로 기술적 경험, 가공 설비, 가공품에 대한 수요, 또한 생산에 투입되지 못한 생산 능력과 어업 선단과 관계가 있다.

3. 수산 자원의 상대적 결핍 조건 하에서 수산 가공업활성을 위한 가장 우선적 과제는 원료를 최대한으로 완전히 이용하는 것이다. 폐산물을 내지 않는 기술 도입, 새로운 형태의 가공품 개발 등이다. 이 방면에서 실증적인 것은 '태평양 수산과학연구소' 센터의 수산 부문 연구소, 연해주 고등교육 기관들 및 과학원에서 새로운 기술 공학과 어류 가공품 형태에 관한 연구에서 중요한 결과들을 가지고 있다. 그러한 연구들 중에서 무엇보다 먼저 생리활성 물질의 생산 공학을 꼽을 수 있다. 이러한 물질들 중 많은 종류가 러시아 연방 보건부 해당 증서들로 보유하고 있으며, 이에 대한 수요가 계속 늘어나고 있어 그 판매 시장도 확대 되고있다. 또한 새로운 형태로의 어류 수요가 계속 증가하고 있다. 대표적으로 고급 진미품들을 대상으로 한 새로운 포장 형태가 있다.

4. 러시아 극동 수역에서의 천연 자원의 감소로 인해, 모든 수단과 능력의 지향 목표를 새롭게 설정한 것을 객관적으로 요구하고 있다. 즉 내륙의 저수지들과 동해연안 수역에 수산 양식업을 발전시켜, 안정된 수산 기지를 창설할 것을 요구하고 있다. 이 중 가장 전망 있는 것은 수산 양식산업을 발전 시키는 것이다. 여기에서 특히 강조 할 것은 연해주 수역은 전 극동 수역 범위 중에서 수산 양식산업 발전에 가장 유리한 조건을 가지고 있다는 것이다. 수산 양식산업의 특별한 매력은, 이를 발전 시키는 것이 현존하고 있는 문제점들을 총체적으로 해결할 수 있는 사업이라는 것이다.

- 분배된 어획량 쿼터와 심하게 변동하는 어종 수량에 얽매이지 않는 안정적 수산업을 위한 생산 기지를 창설할 수 있게 한다.

- 새로운 일자리 등을 창출하며 수천명의 주민들의 취직을 보장 할 수 있으며, 무엇보다도 문제가 있는 단일 어촌 구역의 노동력들을 영입할 수 있게 한다.

- 국내·외에서 가장 수요가 높은 수산물 가공품 등의 생산을 현저히 확대할 수 있다.

- 생산 및 주민의 취직을 확대를 토대로 기타 예산 수입과 예산외 폰드의 수입을 높일 수 있게 한다.

- 위에 열거한 긍정적인 움직임의 결과, 연해주의 전반적인 사회 경제적 상황을 향상시킬 수 있게 한다.

### 양식산업 신규 투자에 관심

전문가들의 평가에 의하면 러시아 연해주 수역에 5

백 ha의 곤포류 양식장을 건설한 수 있으며, 여기에서 연간 대략 20만 톤의 해산물을 수확할 수 있다고 한다. 여기에서 몇만 ha의 무척추동물을 양식하여 매 ha당 5톤의 생산물을 얻을 수 있다. 게다가 수산양식 품종들의 구성도 매우 다양화할 수 있다. 현재 벌써 몇 가지 종류의 대형조개, 해삼, 홍합 조개, 굴, 성게, 털 집게발게 등을 양식하고 있다. 연해주 학자들은 양식 품종 중 여러 가지 해조류, 게류, 새우류, 기타 품종들을 포함시키고 있다. 이미 1995년도에 연해주에는 총 4개의 수산양식 기업체가 있었는데, 그들이 이용한 수역은 100 ha를 초과하지 못했다. 현재는 36개의 기업체가 있으며 2002년 한 해 동안에 만도 1.5% 이상 증가했다.

연해주에 현재 수산양식 면적은 6,200 ha 인데(최근 7년 사이에 62배 증가), 2003년도에는 그 면적이 1,700 ha 더 증가할 것으로 예상 되고 있다. 지난 한 해 동안 수산양식장에서 생산된 해산물 량은 927 톤에서 2312 톤으로 2.5배 증가했다. 현재 수산 양식업은 투자가들의 관심을 가장 많이 끄는 중요한 수산 경제 활동이며 전략적인 형태이다. 이러한 점을 고려하여 연해주 정부는 수산 양식업 발전을 여러 가지로 촉진하고 있으며 그 어획량에 특별한 관심을 돌리고 있다.

(본 논고 수행은 한국학술진흥재단 지정 중점연구소인 한국해양대학교 해양과학기술연구소의 연구지원에 의하여 수행되었음: 과제번호 KRF-2002-005-F00004)