

온배수 방류시스템에 관한 기초적 연구

곽기수* · 전용호** · 김헌태** · 류청로** · 이경선**

*(주)씨테크 R&D

**부경대학교 해양공학과

A Study on the Discharge System of Thermal Waste Water

KI-SU KWAK**, YONG-HO JEON*, HEON-TAE KIM*, CHEONG-RO RYU* AND KYUNG-SEON LEE*

*Seatech R&D, Seoul, Korea

**Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Buansu, Korea

KEY WORDS: Thermal waste water 온배수, Discharge system 방류시스템, Tidal current 조류, Water temperature 수온

ABSTRACT: This study used POM (Princeton ocean model) improved for applying to coastal area in order to predict the distribution of thermal waste water. This model was applied to the coastal circulation and the effect of thermal waste water of Cheonsu-Bay. So this study compared the discharge of thermal waste water with each layer and section. The tidal current was about 1.5 m/sec at surface level and 0.9 m/sec on bottom level at flood tide; tidal current was about 1.3 m/sec on surface level and 0.8 m/sec on bottom level at ebb tide. The method discharging the thermal waste water in the nearshore region (case 1) accelerates the diffusion of the thermal waste water in the north-south direction(longshore direction). However, the method discharge the thermal waste water in the offshore region (case 2) reduced the diffusion of the thermal waste water over the coastal region. According to the diffusion region of the thermal waste water with case 1 and case 2 at three different layers (surface, middle, bottom), the diffusion region by case 1 discharge method generally influenced wider region (twice) than the one by case 2 discharge method with lower temperature between 1°C and 2°C, whereas the case 2 discharge method influenced the deeper region (middle and bottom layers) with higher change of the water temperature (1~3°C).

1. 서 론

우리나라의 서·남해안 해역은 폐쇄성 해역이 대부분으로 오염물질이 유입되면 외해수와 내해수의 혼합에 의한 오염물질 농도의 희석이 미약하여 연안 해역에 오염물질이 축적된다(강태순, 1998). 특히, 입해 발전소에서 방류된 온배수는 주위 해수의 수온을 변화시켜 연안의 수질환경 및 생태계를 변화시킨다. 그리고 온배수의 확산은 주변 해수의 유동, 방류된 온수와 주변 해수 사이의 온도차에 의한 밀도류, 온배수 젯트류 및 난류확산 등에 의하여 지배된다.

온배수가 방류되는 해역의 해수유동 및 확산 현상을 예측하기 위해서는 보다 정밀한 수치모델에 대한 연구가 필요하다(최병중, 2001). 특히, 최근에는 안정적인 전력공급을 위한 발전소가 연안 해역에 시설되고 있으며, 이러한 발전소에서 방류되는 온배수가 주변 해역의 해양환경에 영향을 미치게 된다. 그러므로 연안해역에 방류된 온배수가 흐름에 의해 이류·확산되어 인근 해역에 미치는 영향을 평가하는 것은 상당히 중요한 과제이며, 방류된 온배수가 인근 해역에 미치는 영향을 최소화하기 위한 방류 시스템 개발도 상당히 중요하다(정태성, 1994).

따라서 본 연구에서는 연안 해역의 해수유동 상황을 정확히

파악하고 온배수의 확산 특성을 규명하고자 하였다. 본 연구에서는 해양순환모델인 3차원 POM(Princeton ocean model)을 연안 해역에 적용할 수 있도록 변형시켜 반폐쇄성만인 천수만 인근 해역의 해수유동 현상을 파악하고 발전소에서 방류되는 온배수에 의한 확산 특성을 규명하여 방류 시스템에 따른 확산 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 대상해역의 실제 검조기록을 조석조화분해한 값으로 조위 경계조건을 설정하였으며, 실험결과를 현장관측자료와 비교하여 검증 실시하였다. 또한, 공간적·층별 해수유동 변화 양상을 분석하였다. 검증된 해수유동 모델을 이용하여 온배수 방류 위치에 따른 확산 실험을 수행하였다. 방류 위치에 따른 온배수의 확산 양상을 층별 수평 확산 특성 및 단면별 확산 특성으로 비교·검토하였으며, 온배수 확산 실험결과를 토대로 온배수 방류 시스템에 의한 영향범위를 파악하였다.

2. 현장관측실험

2.1 대상해역의 선정

대상해역인 천수만은 우리나라 서해 연안에 위치한 반폐쇄성 내만으로써, 원산도의 동쪽끝과 고정리 남서측에 있는 송도 사이를 입구로 하여 북방으로 약 40.0km 만입되고, 만 중앙부의 최대폭은 약 10.0km이다. 천수만 입구의 대천 앞바다에는 최대 20m 이상의 수로가 분포하고 있다. 이곳을 통하여

교신저자 이경선: 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-620-6222 ks760229@daum.net

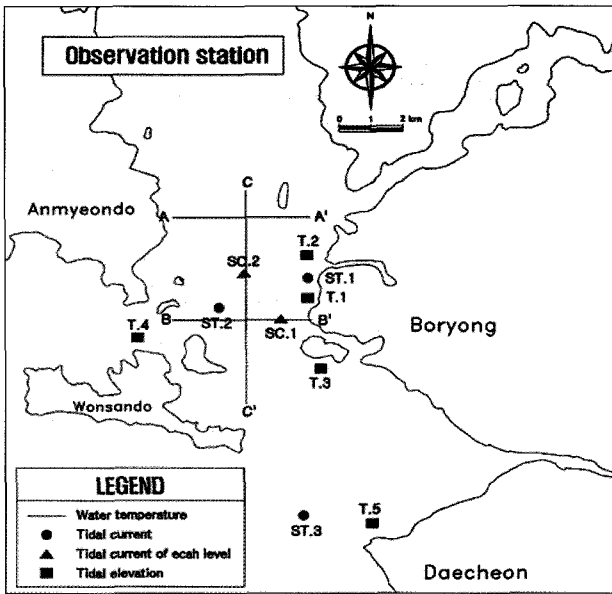


Fig. 1 Observation station

천수만 입·퇴조량의 대부분이 통과하고 있으며, 만내에서는 약 15m 전·후의 수심분포와 일부 조간대가 분포하고 있다. 전반적인 수심분포는 외해쪽으로 갈수록 깊어지며 최대 수심은 약 35.0m 정도를 보이고 있다.

2.2 연속조류관측

천수만 인근 해역의 장기적인 유동 특성을 파악하기 위하여 하계 및 동계에 걸쳐 15일 이상 연속조류 관측을 실시하였다. 연속 조류 관측은 도플러 유속계(RCM-9)를 이용하였으며, 유속계를 수심 약 3m에 계류하여 10분 동안 유향 및 유속을 연속 관측하였다. 관측 위치는 Fig. 1과 같다.

조류의 특성을 파악하기 위해서 각 정점의 조류 분산도를 Fig. 2에 나타내었다. 정점 ST-1에서 하계의 주 흐름 방향은 창조 및 낙조시 북동-남서 방향이다. 그리고 흐름의 방향 분산성이 작게 나타나고 최강 유속은 창조시 33.8cm/sec, 낙조시 128.2cm/sec로 나타났다. 동계는 하계와 유사하게 북동-남서 방향으로 나타나고 최강 유속은 창조시 27.0cm/sec, 낙조시 125.5cm/sec로 나타났다. 정점 ST-2에서 하계의 주 흐름은 북서-남동 방향으로 왕복성 흐름이 나타났다. 그리고 분산성은 적게 나타났다. 정점 ST-3에서 하계의 흐름은 북-남서 방향의 왕복성 흐름이 나타났다. 그리고 정점이 외해쪽에 위치하고 있어 흐름의 방향 분산성이 약간 크게 나타나고 최강 유속은 창조시 93.0cm/sec, 낙조시 62.2cm/sec로 나타나 북쪽 방향의 창조류가 우세한 것으로 나타났다. 동계에는 하계와 마찬가지로 북-남서방향의 흐름이 나타났으며, 최강 유속은 창조시 113.4cm/sec, 낙조시 79.8cm/sec로 창조류가 우세한 것으로 나타났다.

2.3 층별조류

층별 해수유동 특성을 파악하기 위하여 2004년 2월에 층별

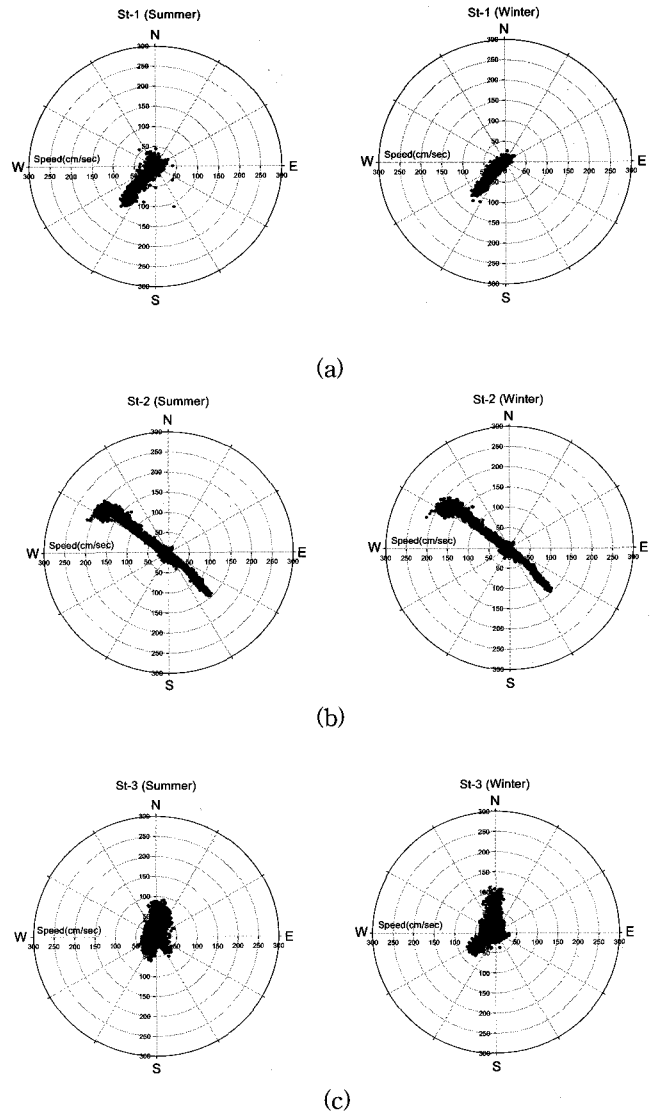


Fig. 2 Scattered diagram of tidal currents observed ((a) ST-1, (b) ST-2, (c) ST-3)

유동특성을 파악하기 위하여 Fig. 1의 SC1 과 SC2에서 해수면으로부터 수심의 80%, 20%에서 관측을 실시하였다. 관측결과를 시계열로 나타낸 것이 Fig. 3이다. 정점 SC1에서는 창조시 최강 유속은 표층 162.6cm/sec, 저층 114.6cm/sec 정도이며, 낙조시 최강 유속은 표층 102.7cm/sec, 저층 84.9cm/sec로 창조시 유속이 낙조시 유속에 비하여 크게 나타났다. 정점 SC2에서는 창조시 최강유속은 표층 47.4cm/sec, 저층 49.5cm/sec 정도이며, 낙조시 최강 유속은 표층 78.1 cm/sec, 저층 56.5cm/sec로 낙조시의 유속이 창조시보다 크게 나타났다. 전반적으로 정점 SC-1에서 유속이 정점 SC-2에서보다 강하게 흐르는 것으로 나타났다. 이는 정점 SC-1이 SC-2 보다 외해에 위치하고 수심이 깊어 유속이 강하게 나타나는 것으로 판단된다.

3. 수치실험

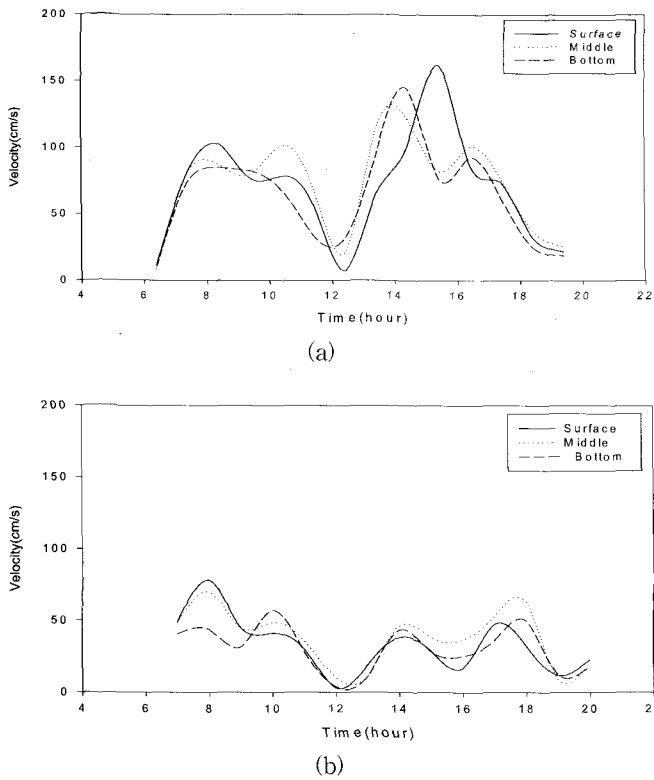


Fig. 3 Tidal currents observed each level in SC.1(a) and SC.2(b)

3.1 수치모형 개요

본 연구에서 해수유동 및 온배수확산에 사용되고 있는 수치모형은 Blumberg and Mellor(1987)에 의해 개발된 3차원 연안 해양순환 모델인 POM(Princeton Ocean Model)이다. 일반적으로 불규칙한 해저지형에서 수직적으로 등간격의 격자를 사용하면, 부분적으로 압력경사가 급변하는 부근이나 해수유동이 극심한 곳에서의 유동을 재현하는데 어려움이 많았다. 이를 개선한 방식이 σ -좌표계이며, Fig. 5에 모식도를 나타내었다. 본 수치모형의 기본방정식은 유체정역학적 근사와 부시네스크 근사를 사용하였다.

대상해역에서 조석류 수치실험 하기 위해 3차원 모델을 이

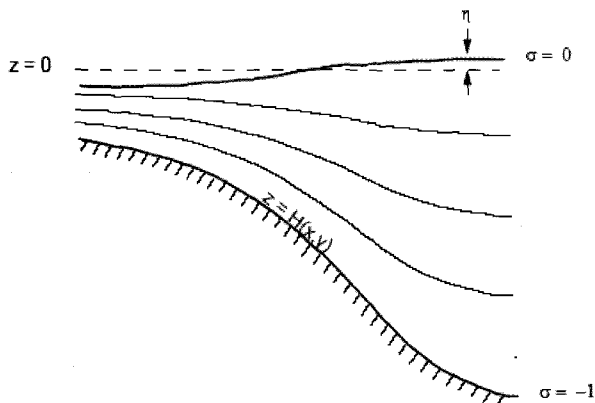


Fig. 4 The sigma coordinate system

용하여, 밀도류의 영향으로 흐름의 연직 방향 변화 또는 연직 방향의 순환류를 고려하였다. 유체의 운동을 정식화한 운동방정식, 연속방정식을 이용하였으며, 기본식은 다음과 같다.

• 연속방정식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UD}{\partial x} + \frac{\partial VD}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \quad (1)$$

• 운동량방정식

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2)$$

$$= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + DF_x$$

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} - fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (3)$$

$$= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + DF_y$$

여기서 ρ_0 는 기준밀도, ρ 는 현장밀도, g 는 중력가속도, K_M 은 난류운동량 혼합의 연직외동 확산계수이다. 온도와 염분에 대한 확산 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다(Blumberg and Herring, 1987).

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + DF_T \quad (4)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + DF_S \quad (5)$$

여기서, T 는 포텐셜온도이고, S 는 염분을 나타낸다. 열과 염의 난류혼합에 대한 연직외동확산은 K_H 로 나타낼 수 있다. 온도와 염분을 이용하여 밀도는 다음 형태의 상태방정식에 따라서 계산되어진다(Fofonff, 1962).

$$\rho = \rho(T, S) \quad (6)$$

ρ 는 포텐셜 밀도이고, 이는 대기압 하에서 온위와 염분의 함수로서 평가되어진다. 그리고 이것은 압력 경사함에 의한 압력효과가 중요하게 작용하는 심해에서 난류종결모델 내의 연직수괴의 안정성을 계산하기 위하여 정확한 밀도 정보를 제공한다. 모델에서 사용되어진 격자간격 때문에 직접적으로 풀어지지 않는 작은 규모의 과정에 기인하는 모든 운동은 수평 혼합과정의 향으로 변수화한다. 식에서 F_x, F_y, F_T 및 F_S 항은 직접풀 수 없는 과정을 나타내며 분자확산과 유사하게 쓸 수 있다.

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (7)$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_M \frac{\partial U}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (8)$$

$$F_{T,S} = \frac{\partial}{\partial x} A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial y} \quad (9)$$

여기서 A_M , A_H 는 수평확산계수이다. 수평확산계수는 Smagorinsky공식을 사용하였다(Smagorinsky, 1963).

본 연구를 위한 계산영역은 북쪽으로 태안반도로부터 남쪽 해역으로 비인만까지를 경계역으로 두고, 발전소를 중심으로 천수만을 포함하는 Fig. 2과 같은 계산 격자망을 구성하였다. 격자간격은 Δx , Δy 계산영역 규모에 적절하게 각각 200m로 정하였으며, 계산 격자망은 x 방향인 동서방향으로 115개의 격자와 y 방향인 남북방향으로 225개의 격자망을 갖춘 23.0km×45.0km의 영역으로 구성하였다. 연직방향의 격자분할은 6개의 층으로 등분다. 계산영역의 해안지형 및 수심자료는 2003년 해양수산부 국립해양조사원에서 발행한 해도 NO. 322(축척 1:75,000)과 해도 NO. 333(축척 1:30,000)을 이용하여 작성하였으며, Fig. 5에 계산영역의 수심도를 나타내었다.

대상해역의 개경계에서의 경계조건은 현지의 조위 검조소 관측 기록을 조석조화분해하여 그 값을 기초로하여 조위를

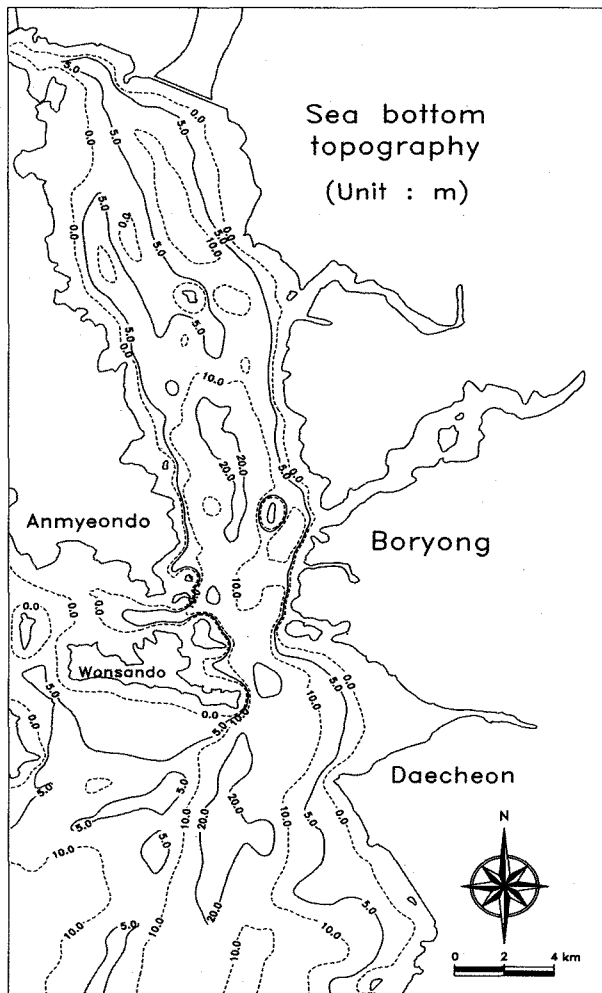


Fig. 5 Diagram of bathymetry

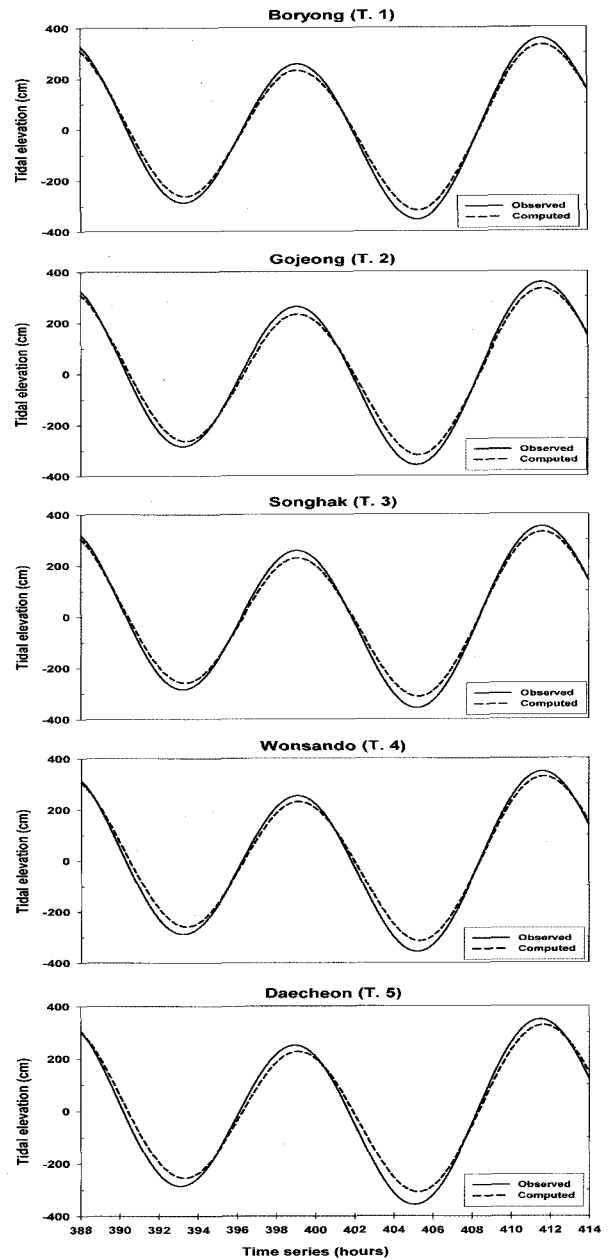


Fig. 6 Comparison between observed and computed tidal elevation (T.1~T.5)

각각 산정하였다. 계산에 사용한 조건 및 입력자료는 Table 1과 같다.

발전소에서 방류되는 온배수량을 입력값으로 하여 계산하였으며, 1983년~2002년까지 20년 동안의 보령기상 관측소 기상자료를 이용하여 해양대기 및 열교환의 평형수온(Te) 및 열교환계수의 7월(하계) 평균값을 계산하여 사용하였으며, Table 1에 각각의 값을 나타내었다. 방류 시스템에 따른 입력조건은 Table 2와 3에 나타내었으며, 입력조건인 배수량, 상승수온 등은 한국중부발전(2004)의 자료를 참조하였다.

발전소의 배수 설계 온도차는 6.4℃이며, 표층 방류방식을

Table 1 Computational conditions and parameters

Condition & parameter	Used value
Computational grid system	$I_{max} = 115, J_{max} = 225$
Grid spacing	$\Delta x = \Delta y = 200m$
Internal time-step	$\Delta t_I = 5sec$
External time-step	$\Delta t_E = 5sec$
Total computation time	16 days
Central latitude	36°23'
Initial salinity	35‰
Initial temperature	20°C
Water density	1,026 kg/m ³
Initial horizontal diffusivity	50 m ² /sec
Initial vertical diffusivity	0.001 m ² /sec

취하고 있다. 하지만 본 모델에서는 기존의 취수구 및 방류구 주변에서의 관측 결과를 근거로 하여 설계온도를 7.0°C로 설정하였으며, 배수방식은 전층에서 동일하게 동시에 배수되도록 하였다. 계산시간은 대·소조기를 포함하는 18일간으로 설정하였으며, 계산시간동안 계속 배수가 되는 것으로 하였다. 계산에 있어 초기조건으로 염분은 35.0‰로 하였다.

3.2 해수유동실험결과

본 수치모형에서 재현한 해수유동의 검증은 위하여 2004년 2월에 Fig 1에서 관측된 자료를 이용하였다. 여기서 관측된 자료를 통하여 수치계산에 사용할 조석 위상을 구하였다. 수

Table 2 Equilibrium water temperature and coefficient of heat exchange

Section	Equilibrium water temp. [°C]	Temperature exchange coeff.[W/m ² /°C]
Summer [July]	26.9	2.094E-05

Table 3 Computational conditions and method

Section	Displacement [m ³ /sec]	Rising temp. [ΔT]	Drainage method
Case 1	156.0	+ 7.0 °C	Coastal line
Case 2	156.0	+ 7.0 °C	1.0 km from coastal line

* 자료 : 보령북합화력발전소 기동으로 인한 주변해역의 해양영향조사 보고서, 2004, (주)한국중부발전소

치계산 결과의 검증은 나타낸 것이 Fig. 6이다. 비교적 재현이 우수하다고 판단된다.

Fig. 7은 수치실험의 조류벡터도로서 조류 벡터도로서 대조기의 창·낙조시를 나타낸 것이다. 표층과 저층의 대조기 최강 창·낙조류시의 유속분포도이다. 조석은 남서측 외해에서 유입된 흐름이 천수만 내쪽으로 복류한다. 창조류 최강류시의 연직적인 유속변화 양상이 저층에서 작게 나타나고 있다. 이런 결과를 고찰해 볼 때, 전체적인 해수유동 계산결과는 천수만 및 발전소 인근의 흐름 특성을 잘 재현하고 있음을 보여준다.

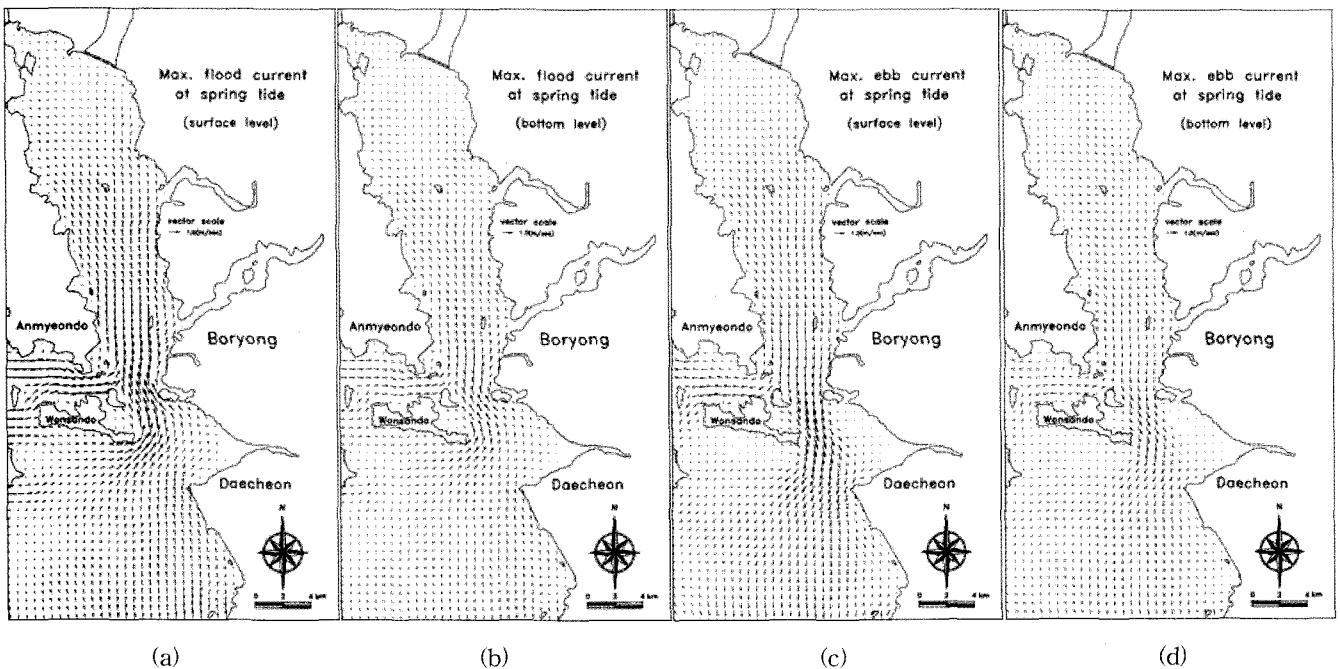


Fig. 7 Vector diagram of each level flood tide((a), (b)) and ebb tide((c), (d))

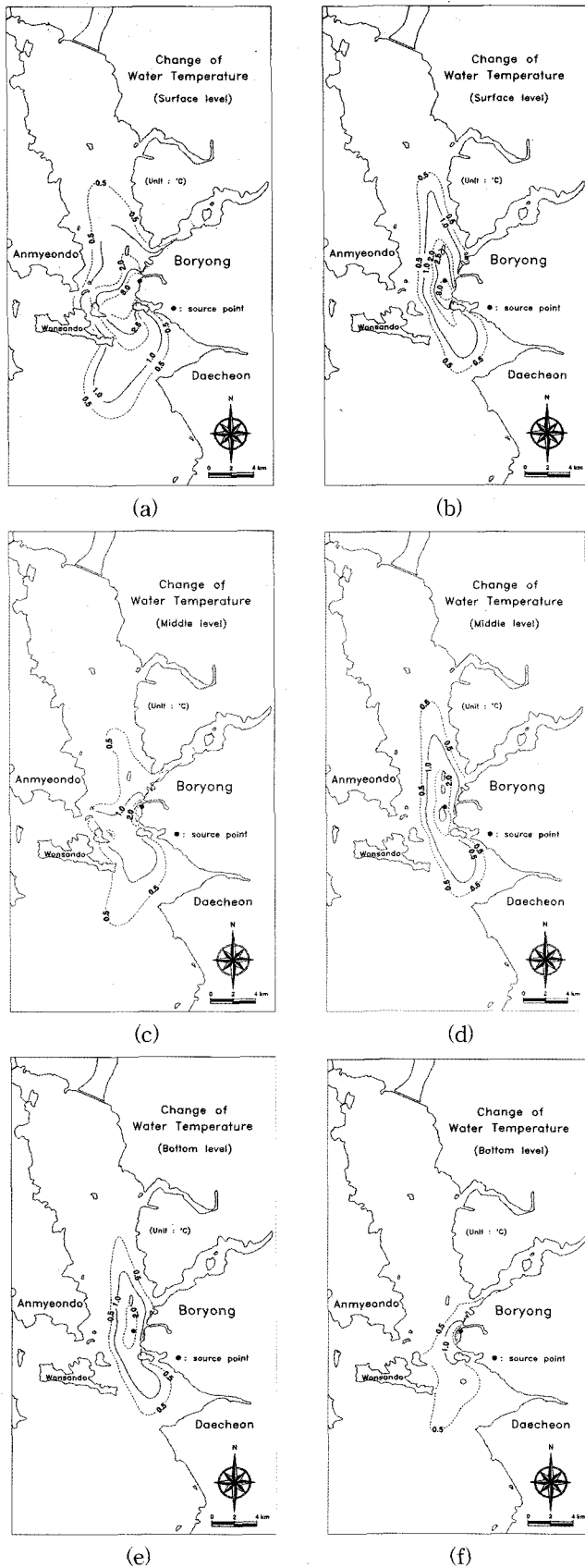


Fig. 8 Change of water temperature on each level in case 1((a), (c), (e)) and case 2((b), (d), (f))

3.3 온배수 확산실험 계산결과

해수유동 수치실험 결과를 바탕으로 발전소에서 방류되는 온배수의 확산 범위에 대한 계산을 수행하였다. 발전소의 방류 시스템에 따른 온배수 확산 양상을 살펴보기 위하여, 기존의 방류구에서 방류되는 온배수(Case 1)의 확산 범위를 예측한 후, 기존 방류구에서 서쪽으로 1.0 km 떨어진 곳에서 온배수를 방류할 경우(Case 2)의 온배수의 확산 특성을 분석하였다.

Case 1의 경우, 연안에서 방류되는 온배수의 확산 범위를 예측하였으며, Fig. 8에 연안에서의 온배수 확산 실험결과를 나타내었다. 표층에서의 방류 수온의 확산 범위가 가장 넓게 나타났으며, 수심이 깊어질수록 확산 범위가 크게 축소되어 나타났다. 발전소 온배수 방류지점(Source point)으로부터의 표층에서 수온 상승량 0.5℃의 최대 확산은 북쪽으로 약 10.0km, 남쪽으로 약 13.0km 정도까지 나타났으며, 서쪽 해역으로는 약 6.0km 에 걸쳐 분포하여 나타났다.

Case 2의 경우 온배수의 확산 양상은 Case 1의 확산 양상과 비슷하게 나타났다. Case 2는 조류의 영향을 많이 받아 동서방향의 확산보다는 남북방향의 확산이 크게 나타났다. Case 2의 확산 범위가 Case 1의 확산 범위보다 작은 것을 알 수 있다.

수온 상승량 0.5℃를 기준으로 표층과 저층의 확산 범위는 북쪽으로 약 2.0km, 남쪽으로 약 1.0km 정도의 차이로 나타났다. 이는 Case 1과 다른 확산 양상을 보여준다. 발전소 온배수 방류지점의 표층에서 수온 상승량 0.5℃의 최대 확산은 북쪽으로 약 10.0km, 남쪽으로 약 8.6km 정도까지 나타났다. 그리고 서쪽 해역으로는 약 2.6km 에 걸쳐 분포하여 나타났다.

3.3.1 동서단면의 온도 수직 분포

온배수에 의한 수온의 연직변화를 관찰하기 위하여 동서단면(A-A', B-B')과 남북단면(C-C')을 정하여 온도의 변화를 살펴보았다. 동서단면의 경우 온배수 방류지점으로부터 남쪽과 북쪽으로 각각 약 1.0 km 떨어진 곳에서의 연직단면을 선정하여 온배수 방류위치에 따른 수온의 연직변화를 파악하였다. Case 1과 Case 2의 동서단면 수온 분포를 Fig. 9(a), (b)에 각 실험별로 나타내었다. Case 1은 북쪽의 동서단면(A-A')에서의 수온 연직 분포가 연안에서 가까울수록 수온이 높아져 연안에서의 층별 온도차는 약 1℃ 정도로 나타났으나, 안면도 인근 해역의 층별 온도차는 거의 미미한 것으로 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 Case 2의 경우 Case 1과 달리 수온의 연직 분포는 온배수 방류지점에 가까울수록 수온이 높아졌으며, 온배수 방류 지점에서는 저층의 온도가 약 22.0℃ 정도로 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 방류지점의 수심 및 강한 조류의 영향으로 인하여 표층과 저층의 연직 혼합이 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 온배수 방류지점을 제외한 연안 및 안면도 인근에 가까울수록 층별 수온차는 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다.

Case 1의 남쪽의 동서단면(B-B') 연직 수온분포는 북쪽

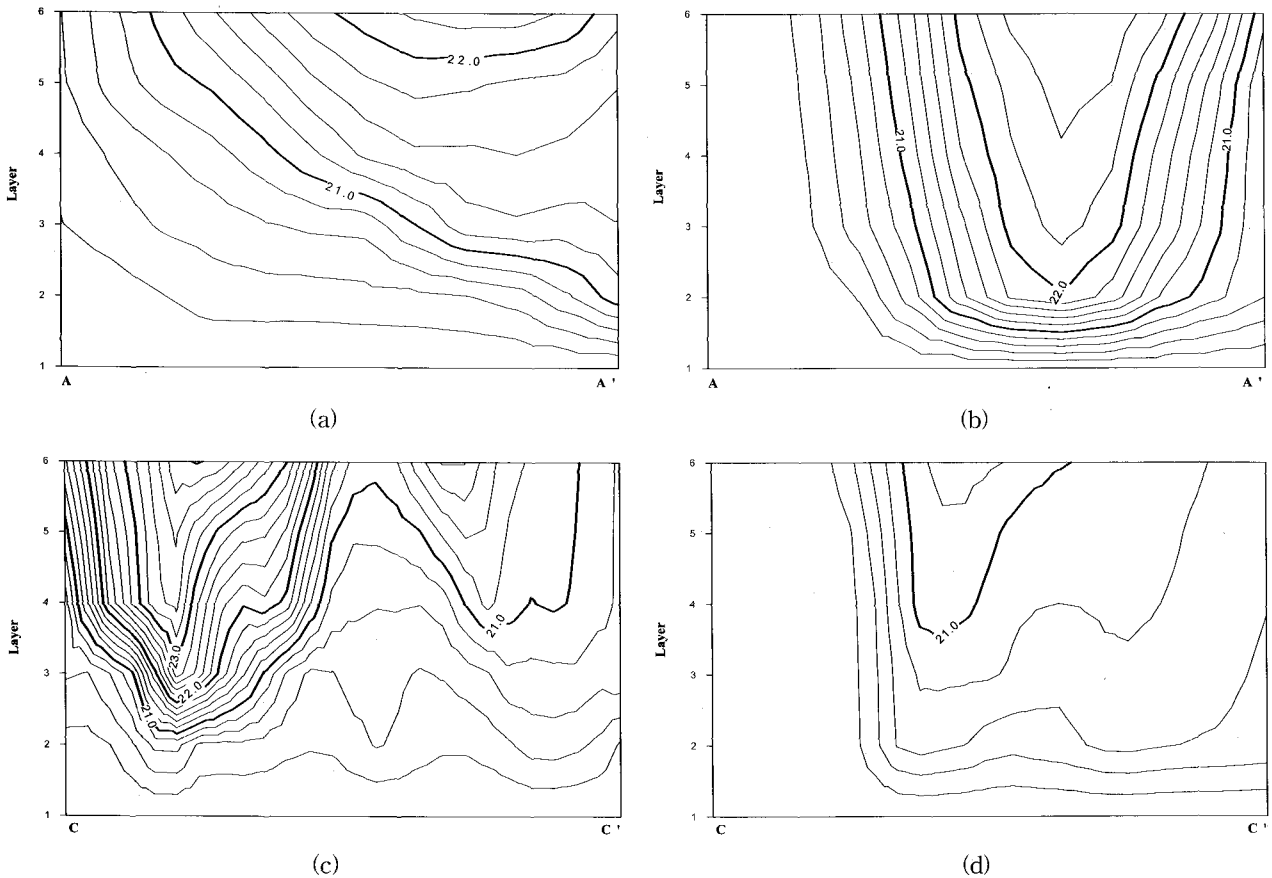


Fig. 9 Water temperature distribution of case1((a), (c)) and case 2((b), (d))

(A-A')보다 더 복잡한 양상으로 나타났다. 연안에서의 표층과 저층의 온도는 약 3℃ 이상 차이가 났으며, 원산도 인근 해역에서의 온도차는 약 2℃ 정도로 나타났다. Case 2에서의 연직 수온 분포는 앞서 북쪽의 동서단면(A-A')의 분포와 유사한 경향을 나타내었다. 보령 전면 해역에오로 갈수록 층별 수온차는 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, 원산도 인근 해역에서의 층별 유속차는 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 4 Area of change on water temperature

(unit : km²)

Temperature		Case 1	Case 2	Ratio
0.5 ℃ ≤ T < 1.0 ℃	Surface	40.2	16.8	0.58
	Middle	32.0	16.2	0.49
	Bottom	27.4	14.8	0.46
1.0 ℃ ≤ T < 2.0 ℃	Surface	33.8	14.6	0.57
	Middle	22.2	14.4	0.35
	Bottom	5.8	13.2	-1.28
2.0 ℃ ≤ T < 3.0 ℃	Surface	20.8	10.2	0.51
	Middle	3.8	6.0	-0.58
	Bottom	1.2	5.0	-3.17

* Ratio = $\frac{Case1 - Case2}{Case1}$

3.3.2 남북단면의 온도 수직 분포

Case 1과 Case 2의 남북 단면 수온 분포를 Fig. 9(c), (d)에 각 실험별로 나타내었다. Case 1에 의한 남북단면(C-C')의 층별 온도 변화는 다소 복잡한 양상으로 나타났다. 남쪽의났으나, 북쪽에서의 수온차는 1℃ 이내인 것으로 표층과 저층의 수온은 약 4℃ 정도 차이가 나는 것으로 나타로 나타났다. Case 1과 같이 방류된 온배수는 강한 조류와 지형의 영향으로 남쪽에서는 북쪽과 달리 층별간 혼합기작이 활발하게 일어나는 것을 알 수 있다. Case 2의 경우 남북단면(C-C')의 남쪽 층별 수온은 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 북쪽으로 갈수록 표층과 저층의 온도차가 발생하기 시작하며 최대 온도차는 1℃ 이내인 것으로 나타났다.

3.3.3 온배수 확산 범위

온배수의 방류 위치에 따른 온배수의 확산 범위를 파악하기 위하여 각 방향별 수온 변화 범위를 Fig 8에 나타내었으며, 온배수 방류 위치에 따른 온도변화 면적비를 파악하기 위하여 Table 4에 층별 온도변화 면적을 각각 나타내었다. 면적 변화는 변화율(Ratio = $\frac{Case1 - Case2}{Case1}$)을 나타낸 값이며, 단위는 km²이다. Case 1과 Case 2의 수온변화 면적비가 0.5℃~1.0℃에서 약 0.5 정도의 변화율로 나타났으며, 2.0℃~3.

0°C의 면적 변화율은 표층에서 약 0.5, 중층과 저층에서는 약 -0.5~-3.0까지 변화가 나타났다. 이는 Case 1이 Case 2의 경우보다 온도의 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 해양순환모델인 3차원 POM(Princeton ocean model)을 연안 해역에 적용할 수 있도록 변형하여, 연안해역의 해수유동 및 온배수 확산은 서해안에 위치한 천수만 인근 해역을 대상으로 실험을 수행하였다.

해수유동 수치실험 결과와 해양 관측결과를 통한 대상해역의 조류의 크기와 방향을 볼 때, 전반적으로 수치실험 결과와 해양 관측결과가 비슷하게 나타났다. 또한, 온배수의 방류 시스템에 따른 확산 특성을 파악하기 위하여 수치실험을 수행하였으며, 실험결과를 토대로 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 검토하였다.

(1) 대상해역의 창조시 조류의 경로는 남서측 외해에서 유입된 흐름이 천수만내로 북류하고, 표층에서의 최강 유속은 천수만 입구부에서 1.5m/sec 정도의 크기로 나타났으며, 저층에서의 최강 유속은 약 0.9m/sec 정도로 나타났다. 낙조시에는 천수만 입구부에서 남류하는 흐름이 남쪽과 서쪽 해역으로의 흐름을 형성하며, 표층 및 저층에서의 최강 유속은 천수만 입구부에서 각각 1.3m/sec, 0.8m/sec 정도로 형성되었다. 전반적으로 창조시의 유속이 낙조시보다 크게 나타나서 창조류가 탁월한 해역인 것으로 나타났다.

(2) 연안 방류방식의 확산은 조류의 흐름에 따라 남쪽과 북쪽으로 확산되어 분포하였으며, 층별 확산 범위의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 한편, 외해 방류방식의 확산 양상은 연안에서의 확산 범위보다 축소되어 나타났으며, 층별 확산 범위의 차이가 크게 나타나지 않았다.

(3) 연안 방류방식이 외해 방류관 방식보다 전층에서 1.0°C 이하의 온도변화가 발생하는 면적이 더 크게 나타났다. 따라

서 연안 방류방식의 확산이 외해 방류식의 확산보다 더 넓은 해역에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 BK21사업의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부를 밝히며, 연구비지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강태순 (1998). 삼차원 해수유동모델을 이용한 남해동부해역 해수유동 특성연구, 석사학위논문, 부경대학교.
- 정태성 (1994). 연안해수유동 및 온배수확산에 관한 3차원 수치모형, 박사학위논문, 서울대학교.
- 최병중 (2001). 3차원 해수유동모델을 이용한 담수유출의 혼합 거동에 관한 연구, 석사학위논문, 부경대학교.
- 한국중부발전 (2004). 보령화력발전소 주변해역의 해양영향조사.
- Blumberg, A.F. and Herring, H.H. (1987). "Circulation Modelling using Orthogonal Curvilinear Coordinates, in Three Dimensional Models of Marine and Estuarine Dynamics", edited by J. C. J. Nihoul and B. M. Jamart, Elsevier Oceanography Series, Vol 45, pp 55-58.
- Fofonff, N.P. (1962). Physical properties of sea water, Physical oceanography. New York, Interscience publishers, pp 3-30.
- Smagorinsky, J. (1963). "General circulation experiments with the primitive equations", I. basic experiment, Mon Weather Rev, Vol 91, pp 99-164.

2007년 2월 13일 원고 접수

2007년 11월 1일 최종 수정본 채택