

생태계모형을 이용한 동해 심층수 개발해역의 수질환경 변화예측

이인철* · 윤석진** · 김현주***
*부경대학교 해양공학과
**부경대학교 해양산업개발연구소
***한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

A Numerical Prediction for Water Quality at the Developing Region of Deep Sea Water in the East Sea Using Ecological Model

IN-CHEOL LEE*, SEOK-JIN YOON** AND HYEON-JU KIM***
*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea
**Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University, Busan, Korea
***Ocean Development System Laboratory, KORDI, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Deep sea water (DSW) 심층수, Numerical prediction 수치예측, Sediment-water ecological model (SWEM) 수-저질 생태계모형, DSW effect index (DEI) 심층수 영향지수

ABSTRACT: As a basic study for developing a forecasting/estimating system that predicts water quality changes when Deep Sea Water (DSW) drains to the ocean after using it, this study was carried out as follows: 1) numerical simulation of the present state at DSW developing region in the East sea using SWEM, 2) numerical prediction of water quality changes by effluent DSW, 3) analysis of influence degree with defined DEI (DSW effect index) at F station. On the whole, when DSW drained to the ocean, Chl-a, COD and water-temperature were decreased and DIN, DIP and DO were increased by effluent DSW, and Salinity was steady. According to analysis of influence degree, the influence degree of DIN was the highest and it was high in order of Chl-a, COD, Water-temperature, DO, DIP and Salinity. The influence degree classified by DSW effluent position was predicted that surface outflow was lower than bottom outflow. Ad When DSW discharge increased 10 times, the influence degree increased about 5~14 times.

1. 서 론

최근, 자원고갈과 환경오염이 심화되면서 환경 친화적 순환재생형 자원 개발의 필요성이 절실하게 대두되고 있다. 특히, 자원의 수입 의존도가 높은 우리나라는 가용한 자원을 효율적으로 개발하고 지속가능한 발전을 위해서 새로운 자원을 개발 이용하는 기반 기술의 구축이 절실하다.

순환재생형 해양자원인 해양심층수는 해양오염문제와 자원고갈문제를 유발하지 않는 환경 친화적 무한자원이므로, 이의 효율적 이용은 공공재로서 뿐 아니라 산업재로서 실용화될 수 있음이 미국, 일본 등에서 입증되면서 우리나라 동해에서도 이를 활용한 고부가가치 신해양산업 창출이 기대되고 있다. 그러나, 대체 에너지, 대체 수자원 등으로 분류되고 있는 많은 자원들이 자원과 환경문제를 동시에 만족시키기 위하여 개발되어 왔으나, 대부분이 실용화를 이루지 못하고 개발이 지연되고 있는 것은 환경을 고려하지 못한 일방적인 경제성 평가에 기인한 것으로 평가된다(홍석원 등, 1999).

해양심층수는 저온성, 청정성, 부영양성 및 미네랄성 등의 특

징을 가진 유용한 해양자원으로 널리 알려져 있어 다양한 산업 분야에서 이용하기 위한 기술들이 개발되고 있으며, 나아가 해양심층수의 인공용승에 의한 해역 비옥화도 실현 가능할 것이다. 하지만, 해양심층수를 한 곳에서 집중적으로 대량 이용하면 국지적인 해역에 과도한 부영양화와 수온변화를 일으킬 가능성도 있으므로 환경영향에 주의를 기울일 필요가 있다(나카지마, 2002). 특히, 해양심층수의 산업자원화가 급속히 진행되고 있는 일본에서는 최근 들어 해양심층수의 대량배수가 연안해역의 유해성 식물성플랑크톤의 군집과 증식에 미치는 영향에 관한 연구(후카미, 2002)가 수행되고 있어, 심층수 방류가 해역 비옥화라는 순기능 이외에 생태계에 미치는 역기능에 대해서도 정량적인 평가가 이루어져야 할 것이다(김현주 등, 2003).

이를 위해서는 현재 동해 해양심층수 개발이 진행되고 있는 강원도 고성인근 주변해역에 심층수 방류가 해역환경에 미치는 물리 환경적 변화(해수유동의 변화, 연직확산·혼합과정 등) 및 수질·생태계환경 변화에 대한 예측·평가시스템의 개발이 절실히 요구된다(이인철과 윤한삼, 2005).

따라서 본 연구에서는 해양심층수를 취수 이용한 후 다시 해양으로 방류할 경우 예상되는 인근해역의 영양염 순환구조 및 저차생태계의 변화를 예측/평가하고, 방류해역의 환경용량 평가 생태계 모델링의 기초적 연구로서 심층수 개발해역의 해수유

교신저자 이인철: 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-629-6586 ilee@pknu.ac.kr

동 수치모형실험과 물질순환예측 생태계모델링을 수행하여 심층수 개발해역의 현황을 재현하였으며, 심층수 해양방류시 방류량 및 방류위치에 따른 수질환경 변화를 예측하고, 예측결과를 바탕으로 심층수 해양방류가 수질환경에 미치는 영향정도를 해석하였다.

2. 심층수 개발해역의 생태계모델링

2.1 대상해역의 개요

해양심층수의 다목적 이용을 위한 심층수 취수에 최적지로 거론되고 있는 강원도 고성군 죽왕면 오호리 전방해역은 개방성이 큰 해역으로서 북한한류의 영향을 받고 있다. 또한, 해저경사가 급경사를 이루고 있으므로 수심 200m 보다 깊은 수심에 존재하는 심층수를 취수하기에 용이할 뿐만 아니라 관광지와 인접하고 있어 심층수를 개발하여 다각도로 이용할 수 있는 조건을 갖추고 있다. 본 연구의 대상해역은 오호리를 중심으로 동서방향 9km, 남북방향 15km로 심층수 해양방류시 해양환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 해역으로 설정하였다. 대상해역의 등수심도와 담수유입점, 조류관측점, 수질조사정점 및 심층수 취·배수 위치는 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 2는 대상해역으로 유입하는 5개 유입점(Fig. 1의 ①~⑤)의 담수유입량 및 오염부하량의 산정결과를 월변화로 나타낸 것이다(이인철과 윤한삼, 2005). 연평균 담수유입량은 약 $500 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 8~9월에 가장 많았으며, 이 시기에 유입오염부하량도 가장 많았다. 유입점별로는 총 유입량의 약 74%가 남천(①)과 문암천(⑤)에서 유입하는 반면, 직접적인 심층수 취·배수가 이루어지는 오호리 전면해역에서는 상대적으로 적어 주변 인근해역에 비해 해양환경의 청정성이 높을 것으로 예상된다.

2.2 해수유동 수치모형실험

해수유동 수치모형은 정수압·Boussinesq 근사를 가정한 3차원 Navier-Stokes 운동량방정식과 연속방정식, 수온과 염분의 이류확산방정식 및 해수의 밀도와 수온·염분을 관련시킨 상태방정식을 기초방정식으로 한 연직 다층의 Level model로서 밀도류와 취송류를 고려한 해수유동의 시공간적 변동특성을 계산할 수 있는 모형이다(이인철, 2001).

본 연구에서는 저온의 냉배수인 심층수를 해양으로 방류할 시 해양환경에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 하계를 대상으로 연구를 수행하고자 2002년 8월을 현 상태로 하여 실시간 수치모형실험을 실시하였다. 계산영역은 Fig. 1과 같으며, 계산격자간격은 계산시간 및 계산안정도를 고려하여 100m 정방격자로 분할하였고, 연직 층분할은 대상해역의 수심 및 연직 수온·염분 조사결과를 고려하여 15개 층(제1층~제3층 : 3m, 제4층~제5층 : 5m, 제6층~제7층 : 8m, 제8층~제14층 : 10m, 제15층 : 나머지 수심)으로 분할하였다. 개경계에서의 조위는 거진항과 속초항의 주요 4대 분조(M_2, S_2, K_1, O_1)의 조화상수값(한국해양연구소, 1996)을 바탕으로 Fig. 1의 P₁, P₂, P₃, P₄ 등 4개의 격자에 각 분조별 조화상수를 설정하고, 식 (1)과 같이 강제진동으로 주었다.

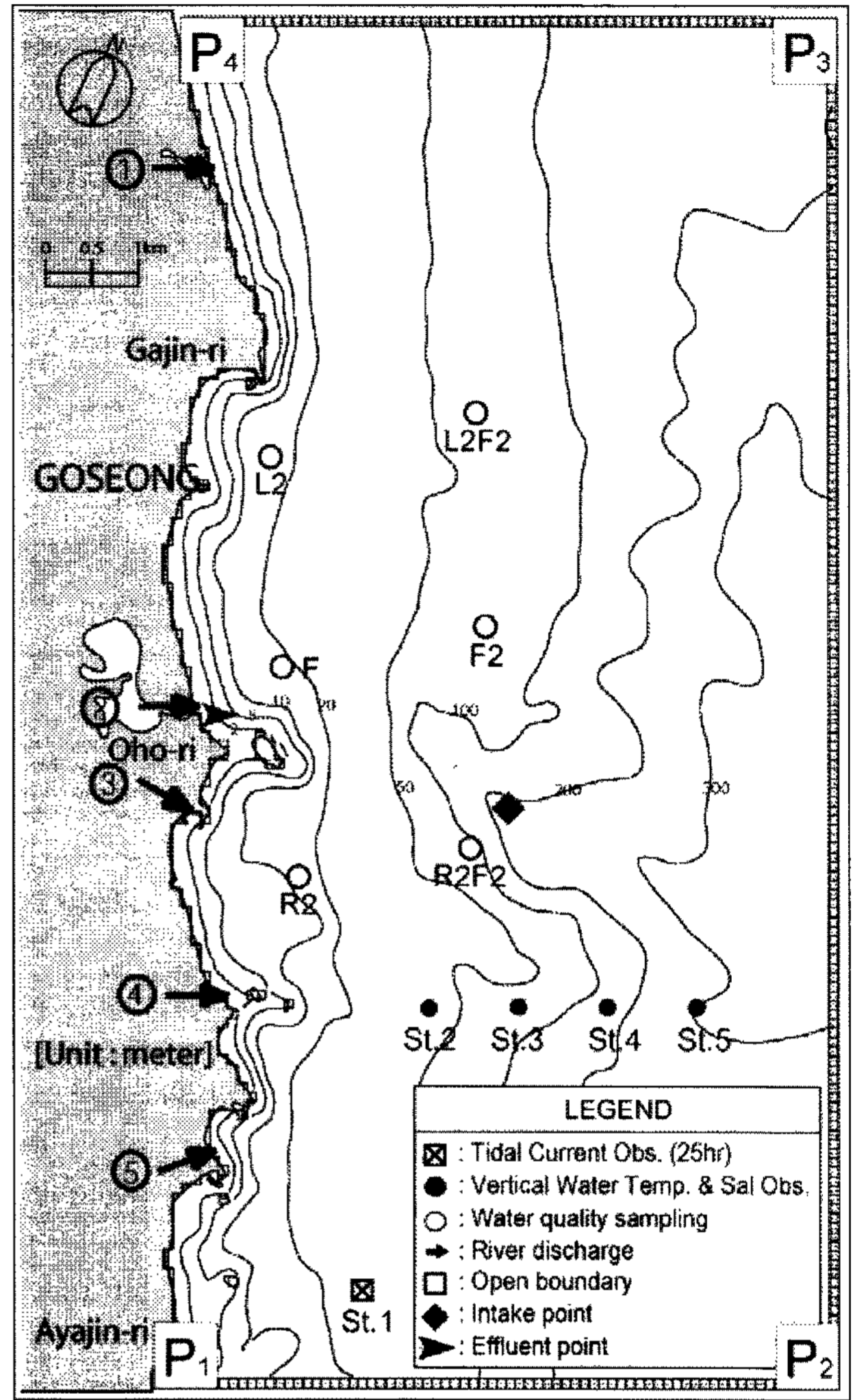


Fig. 1 Map shows bathymetry chart, e oceanography observation station and river discharge point in the study area

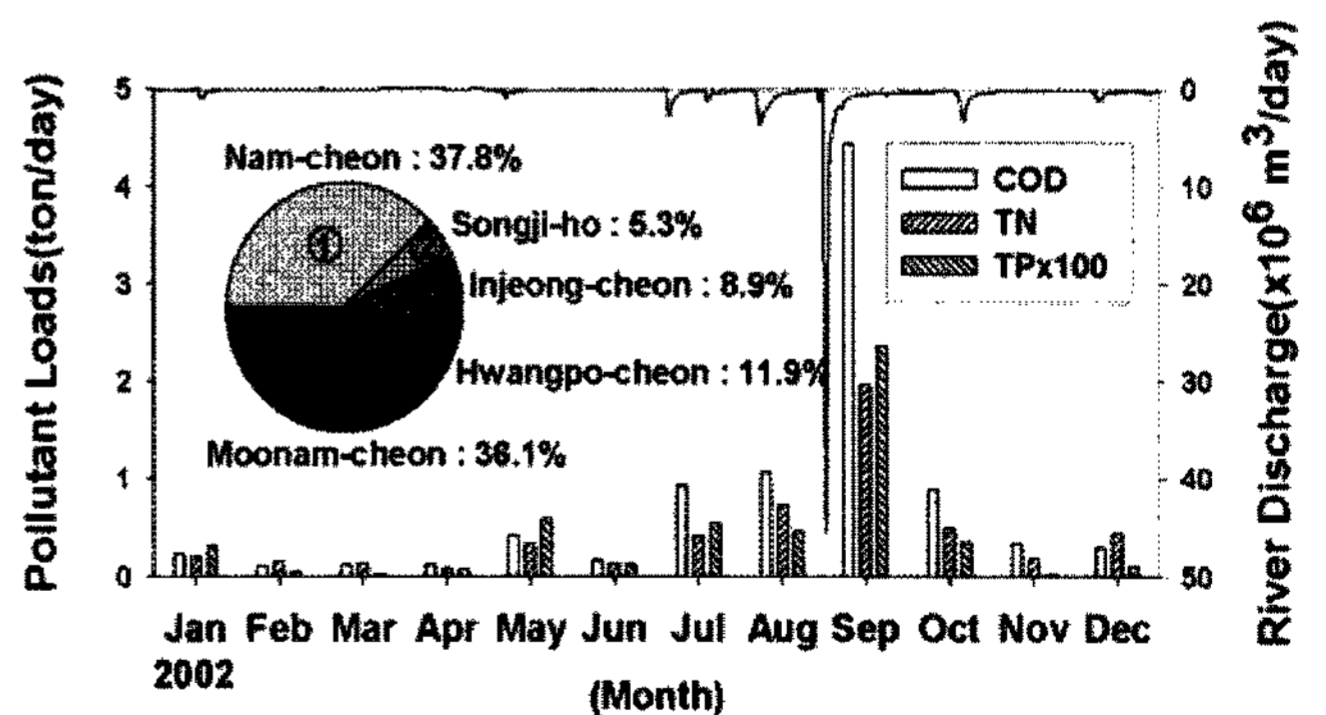


Fig. 2 Monthly change of inflow pollutant loads at each river discharge point on the year of 2002

$$\zeta(t) = \sum_i f_i \zeta_i \cos \{ (V_0 + u) l_i + \omega_i t - k_i \} \quad (1)$$

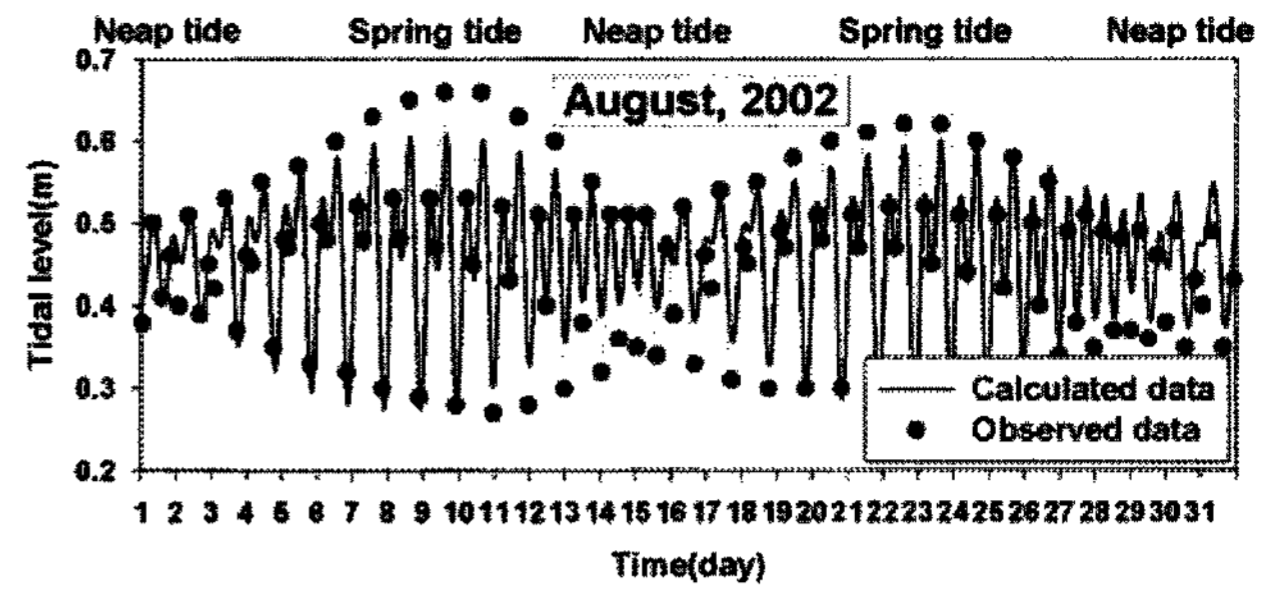
여기서, 첨자 i 는 분조의 종류를 나타내며, $\zeta(t)$ 는 경계격자의 조위, f 와 $(V_0 + u)l$ 은 천문상수, ζ_i 는 조위진폭, k 는 위상지각,

ω 는 각속도, t 는 시간이다. 또한, 개경계에서의 수온·염분의 경계조건은 국립수산과학원에서 1996년부터 2002년까지 6년간 조사한 거진(N 38°24'33", E 128°31'13")과 속초(N 38°12'58", E 128°36'18")의 수온·염분 자료(국립수산과학원, 1996~2002)를 바탕으로 1년 주기의 일변화를 정현함수로 산정하여 입력하였다. 그리고 기상자료는 대상해역 인근 강릉기상대에서 2002년 8월에 관측된 기온, 상대습도, 운량, 일사량, 강수량, 풍속의 월평균 값과 일별최다풍향(16방위) 등 8개의 기상요소를 입력조건으로 설정하였으며(기상청, 2002), 8월의 유입점별 월평균 담수유입량을 외부입력조건으로 사용하였다. 해수유동 수치모형에 설정한 기타 계산조건은 Table 1과 같다.

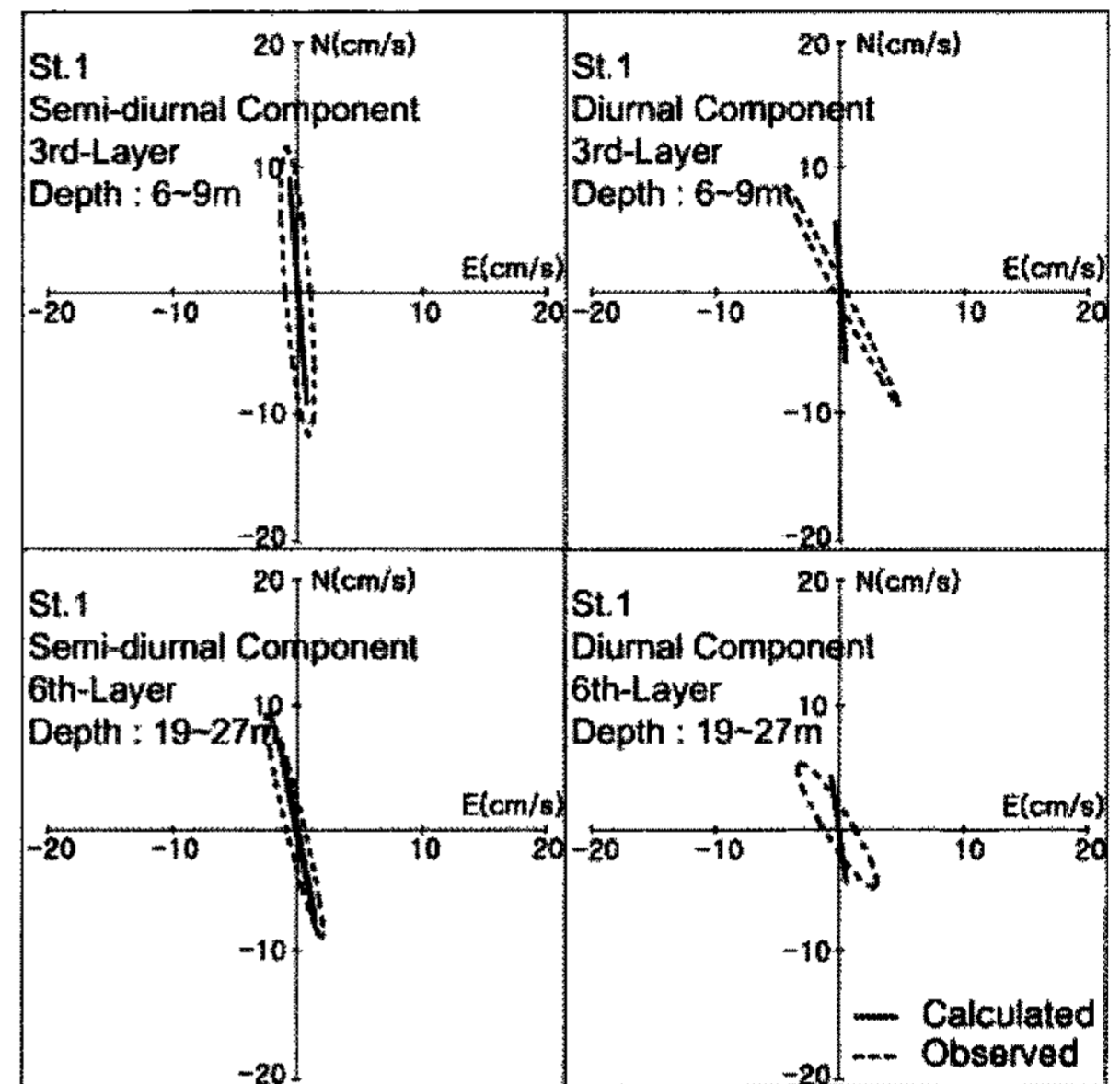
해수유동 수치모형실험은 심층수 해양방류 전의 해수유동장을 재현하였으며, 관측결과와 계산결과를 비교하여 본 수치모형의 재현성을 검토한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 속초항 검조소의 2002년 8월 조위관측자료(국립해양조사원, 2002)와 계산된 31일간 조위변동 시계열을 비교하여 조위를 검증하였고, Fig. 1의 St. 1 정점에서 조류의 관측치와 계산치로 작성한 반일주조와 일주조의 조류타원을 비교하여 조류 재현성을 검토하였으며, St. 2 ~ St. 5 정점에서 실시한 연직 수온·염분 관측결과와 계산결과를 비교하여 해수유동 수치모형의 재현성을 검토하였다. 그 결과, 조위의 진폭은 다소 차이를 보이나 위상은 잘 일치하였고, 조류의 유속진폭은 잘 일치하였으나 일주조류의 유향이 약간 차이를 보였다. 수온 및 염분의 계산결과는 관측결과의 범위 내에서 분포하여, 전반적으로 본 연구에서 해수유동 수치모형의 재현성은 양호한 것으로 판단된다.

Table 1 Computation conditions of tidal current model

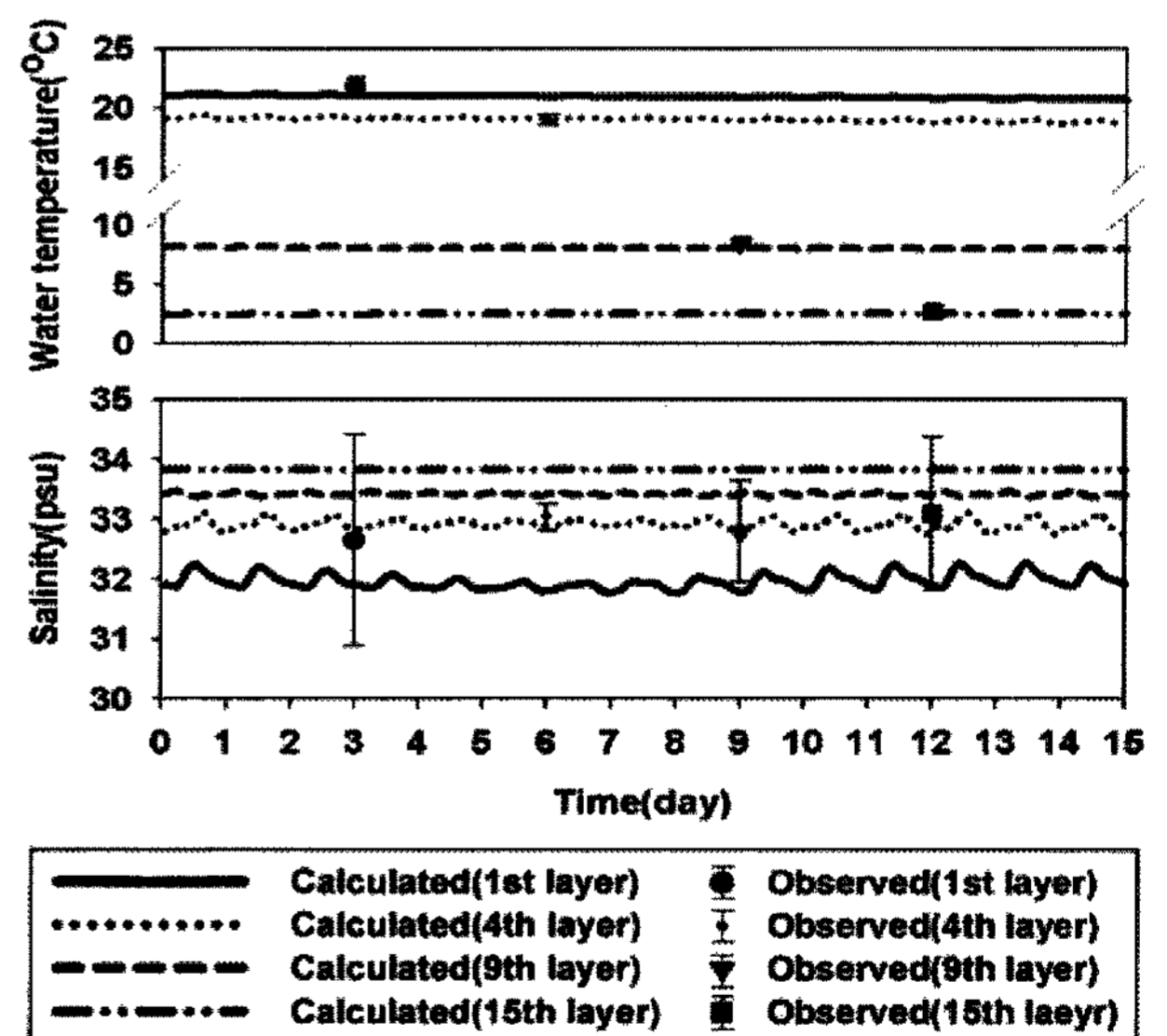
Division	Parameter	Input value	unit
Time interval	Δt	5	sec
Coriolis factor	f	7.819×10^{-5}	1/sec
Acceleration of gravity	g	9.8	m/sec ²
Eddy viscosity coef.	A_x, A_y	100	m/sec ²
Water surface friction coef.	γ_a^2	0.0026	-
Internal friction coef.	γ_i^2	0.0025	-
Bottom friction coef.	γ_b^2	$\gamma_b^2 = g/c^2$ c : Chezy coefficient	
Horizontal eddy diffusion coef.	K_x, K_y	$K_x = a\Delta s \cdot u + \beta$ $K_y = a\Delta s \cdot v + \beta$ Δs : mesh interval(m) u, v : current velocity of x, y-direction(m/sec) $a=1, \beta=50$	
Vertical mixing coef.	K_z	$K_z = R_i \cdot K_{z0}$ R_i : Richardson number K_{z0} : 1.0×10^{-3} (m ² /sec)	



(a) Tidal level

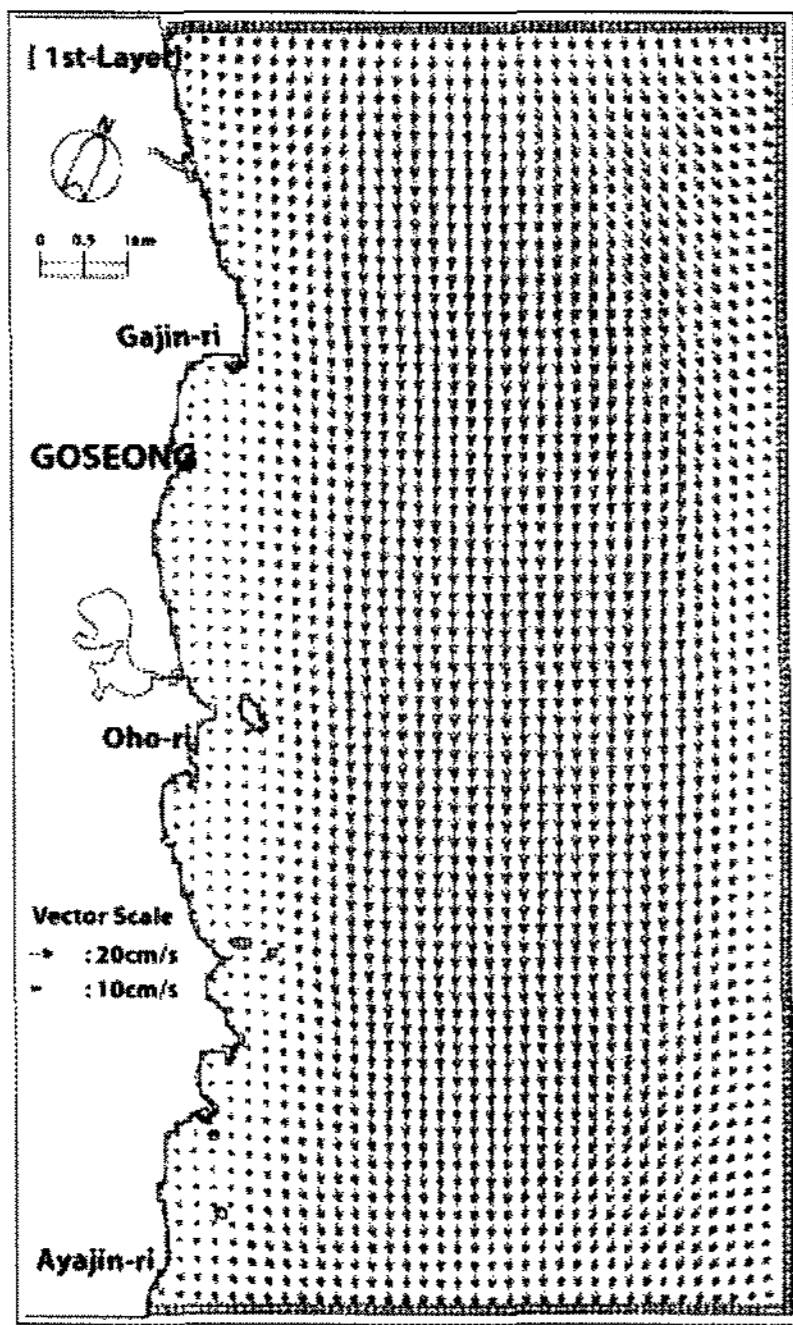


(b) Tidal current ellipse at St. 1

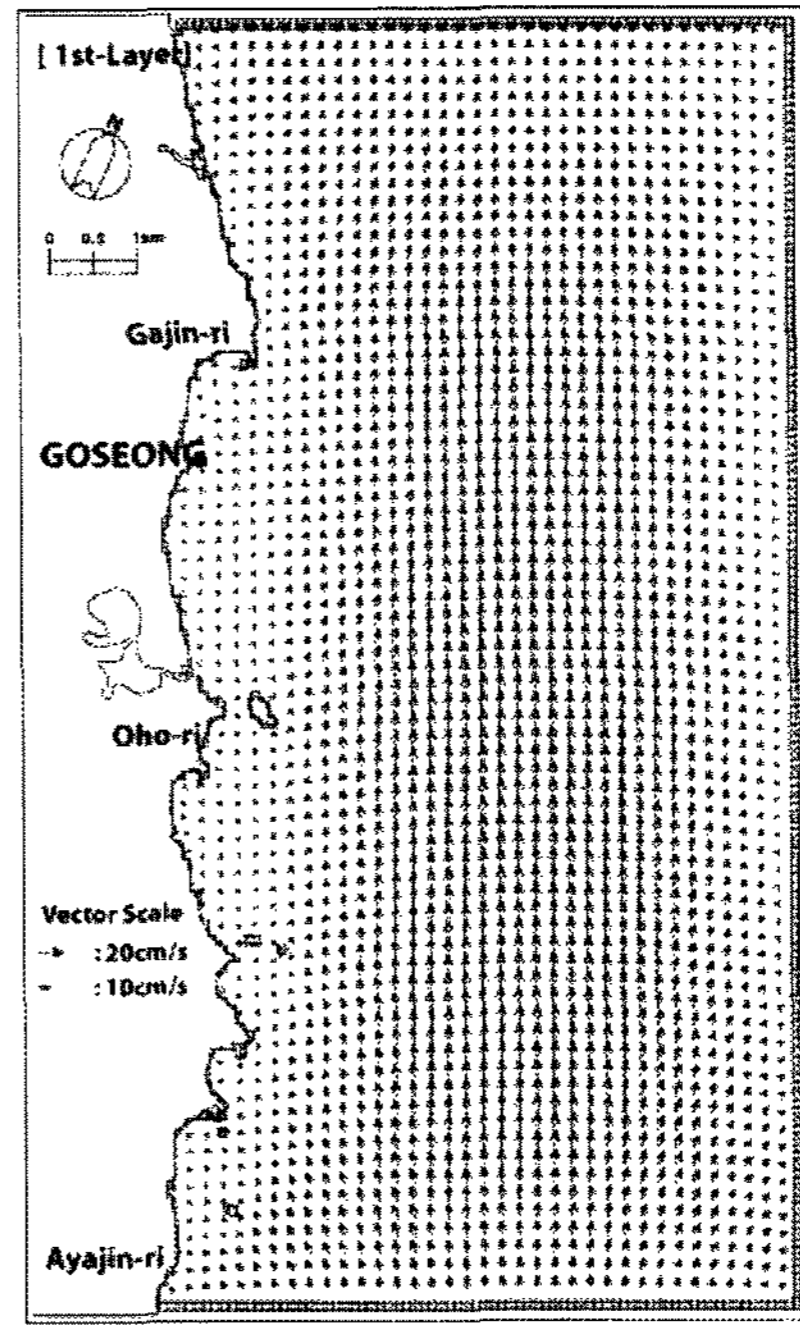


(c) Water temperature & salinity at St. 2 ~ 5

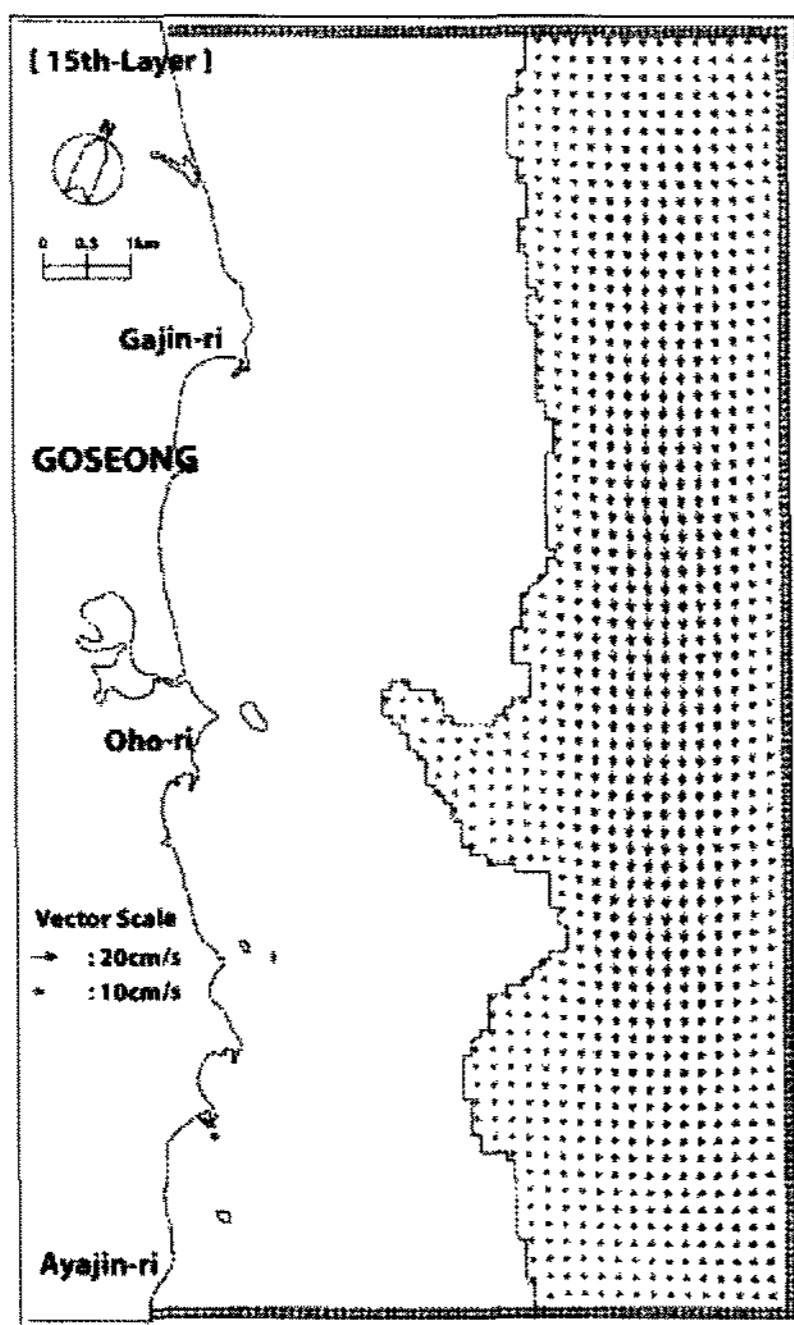
Fig. 3 Comparison between calculated tidal level; (a) tidal current ellipse (b) and water temperature and salinity (c) and observed ones



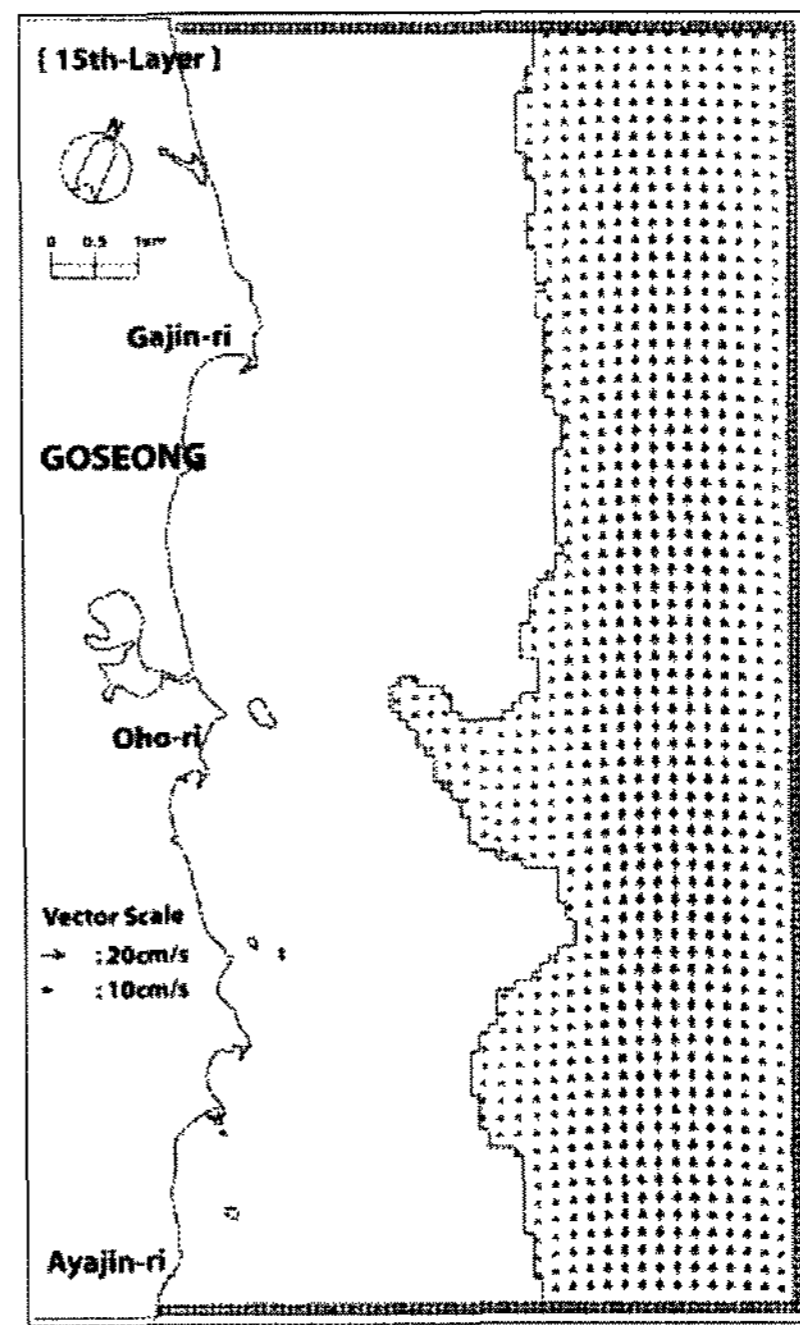
(a) 1st layer



(a) 1st layer



(b) 15th layer



(b) 15th layer

Fig. 4 Computed tidal current at 1st layer; (a) and 15th layer (b) on maximum flood flow

Fig. 5 Computed tidal current at 1st layer; (a) and 15th layer (b) on maximum ebb flow

Fig. 4와 Fig. 5는 대상해역의 최강 창·낙조류시의 표층(제1층 : 0~3m), 저층(제15층 : 105m 이상)의 유속벡터도를 나타낸 것이다.

전반적으로 창조류시의 유속이 낙조류시에 비하여 다소 강하게 나타났으며, 창조류시의 흐름은 북쪽에서 남쪽방향으로 흐

르며, 낙조류시는 이와 반대로 남쪽에서 북쪽방향으로 흐르는 왕복성 조류의 형태를 보였다. 층별의 유속변화는 표층에서 유속이 빠르고 저층으로 갈수록 느려지는 양상을 보였으며, 저층에서는 창·낙조류시 흐름방향이 각각 연안으로부터 외해로 유입·유출되는 경향을 보였다.

2.3 물질순환예측 생태계모델링

본 연구에서 이용되는 해양생태계예측 수치모형은 수층과 저질간의 영양염 순환과정을 고려할 수 있는 모델로서, 2.2 절의 해수유동 수치모형과 연결되어 유동계산에서 얻어진 시간간격별의 유속 및 물리적 변수를 가지고 생태계 구성요소의 농도분포를 예측하는 구조로 되어 있다(이인철과 류청로, 2001; 후지타, 2001). 수층의 계산범위 및 수평·연직방향의 층 구분은 해수유동 수치모형과 동일하며, 수질계산 항목의 초기 농도조건은 대상해역의 하계 수질조사자료(해양수산부, 2004)를 바탕으로 층별 수질농도값을 산정하여 입력하였다. 저질층은 퇴적물로부터 인과 질소의 용출에 관한 조사 자료가 전무할 뿐 아니라, 해역의 수심이 매우 깊어 무시 가능할 것으로 판단되어 고려하지 않았다.

생태계모델에 적용되어지는 식물플랑크톤의 생산속도, 분해

속도, 침강속도 등 주요 생물학적 파라미터는 Table 2와 같이 기존 문헌자료(이인철과 세키네, 2001; Nixon and Kremer, 1978; Jørgensen, 1977)를 참고로 하여 적용하였으며, 육역의 유입오염 부하량은 Fig. 2의 8월 COD, 질소, 인의 형태별 오염부하량을 계산의 입력 자료로 이용하였다. 부하량의 설정에 있어서는 오염물질의 배출경로가 명확하지 않기 때문에, 하천에서 대상해역 내로 유입하는 오염물질은 모두 비점원으로 간주하였다.

이상과 같이 구축된 생태계모델의 재현성을 검토하기 위해 Fig. 1의 F, F2, L2, L2F2, R2, R2F2 등 6개의 정점에서 조사된 용존산소(DO), 암모니아질소(NH₄-N), 아질산질소(NO₂-N), 질산질소(NO₃-N), 인산인(PO₄-P), 클로로필-a(Chl-a), 화학적 산소요구량(COD) 등 6개 수질항목의 관측치와 계산치를 비교하였다. 전반적으로 각 수질항목의 계산치는 관측치의 오차범위 내에서 양호한 재현성을 보였다(Fig. 6참조).

Table 2 Main bio-chemical parameter of ecological model

Symbol	Definitions	Value	Unit	Symbol	Definitions	Value	Unit
G_{max}	Maximum growth rate of phytoplankton at 0°C	0.35	1/day	K_A	Reaeration coefficient at sea surface	0.15	m/day
θ	Temperature coefficient	0.0693	1/°C	K_P	Half saturation constant for uptake of DIP	0.003	mg/l
G_Z	Maximum grazing rate of zooplankton at 0°C	0.18	1/day	K_H	Half saturation constant for uptake of NH ₄ -N	0.03	mg/l
E_P	Excretion rate of phytoplankton at 0°C	0.05	-	K_O	Half saturation constant for uptake of NO ₃ -N	0.03	mg/l
D_P	Mortality rate of phytoplankton at 0°C	0.01	1/day	K_I	Optimum intensity of radiation for photosynthesis	200	15 klux
R_e	Respiration rate of phytoplankton at 0°C	0.01	1/day °C	f_{PW}	Ratio of Dryweight/Chl-a	110.0	-
W_P	Settling rate of phytoplankton	0.25	m/day	f_{PC}	Ratio of COD/Chl-a for phytoplankton	0.59 f_{PW}	-
W_D	Settling rate of detritus	0.30	m/day	f_{PN}	Ratio of N/Chl-a for phytoplankton	6.022	-
D_Z	Natural death rate of zooplankton at 0°C	0.05	1/day	f_{ZN}	Ratio of N/Dryweight for detritus	0.0547	-
K_{ZP}	Half saturation effects of zooplankton	0.06	mg/l	f_{PP}	Ratio of P/Chl-a for phytoplankton	0.833	-
N_{YU}	Total growth efficiency of zooplankton	0.3	-	f_{ZP}	Ratio of P/Dryweight for Detritus	0.00757	-
a	Digestion efficiency of zooplankton	0.7	-	f_{ZC}	Ratio of COD/Dryweight for zooplankton	0.59	-
K_{DE}	Decomposition of Detritus	0.03	1/day	f_{DC}	Ratio of COD/Dryweight for detritus	0.59	-
K_{ON}	Decomposition of DON	0.02	1/day	f_{PO}	Ratio of DO/Chl-a for phytoplankton	2.26 f_{PC}	-

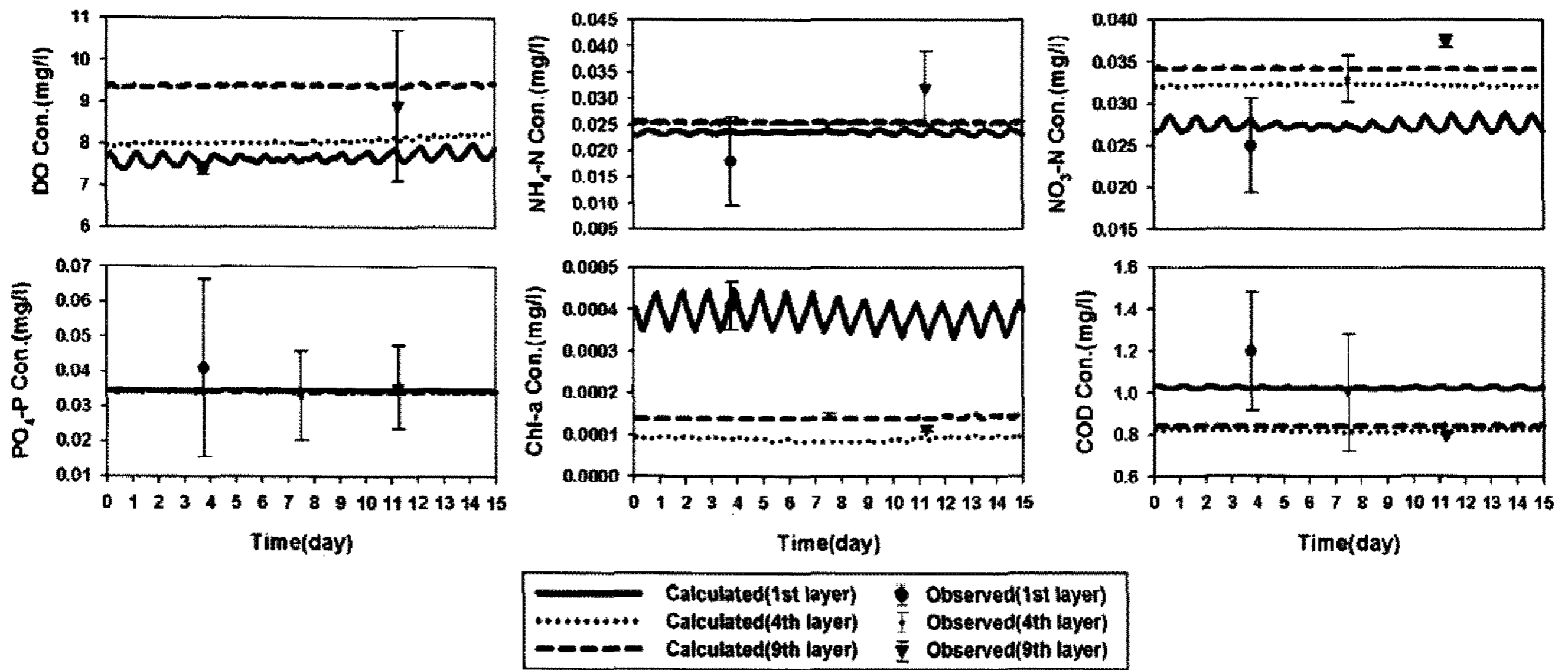


Fig. 6 Verification results of water qualities

3. 심층수 방류시 수질환경 변화예측

3.1 심층수 해양방류조건

구축된 모델을 바탕으로 심층수 방류시 수질환경변화를 예측해 보고자 다음과 같이 심층수 해양방류조건을 설정하였다.

방류량은 해양수산부에서 추정된 계획 방류량을 참고하여 19,069m³/s를 방류하는 경우와 계획방류량의 10배인 190,690 m³/s를 방류하는 경우로 설정하였고, 방류위치는 연안선으로부터 표층으로 직접 방류하는 경우와 연안선에서 약 700m 떨어진 수심 약 10m의 저층에서 방류하는 경우로 설정하여 총 4가지 경우에 대해 수치실험을 수행하였다(Table 3). 방류하는 심층수의 수질조건은 심층수 원수와 연안저층수를 3:5의 비율로 혼합하여 방류할 계획이므로(해양수산부, 2006), 이를 고려하여 Table 4와 같이 각 수질항목별로 수질조건을 설정하였다.

3.2 수질환경 변화예측

Fig. 7과 Fig. 8은 수온 및 용존무기질소(DIN)의 수평 분포도를 나타낸 것으로 심층수 방류시 당 해역의 수질환경 변화를 예측하기 위해 앞서 설정된 조건의 심층수를 연안으로 방류한 수치실험 결과를 동서 약 7 km, 남북 약 7 km의 주요 관심해역에 대해 실험CASE별로 구분하여 표층방류시(CASE I, II)는 1st layer의 수평분포도, 저층방류시(CASEIII, IV)는 4th layer의 수평분포도로 각각 나타내었다.

심층수 방류시 방류되는 심층수가 주변 해역보다 수온이 낮고 영양염 농도가 높아 방류지점을 중심으로 수온은 감소하는 반면 DIN은 증가하는 것으로 나타났다. 방류위치에 따라서는 저층수보다 표층수와의 수온차가 크고 표층유속이 저층유속보다 크므로 표층방류가 저층방류에 비하여 변동폭이 크게 나타난 반면 DIN의 경우 육역으로부터 표층으로의 영양염 유입으로 인해 표층농도가 다소 높게 나타나 저층방류시의 변동폭이

Table 3 The numerical experimental CASE according to effluent position and discharge flowrate

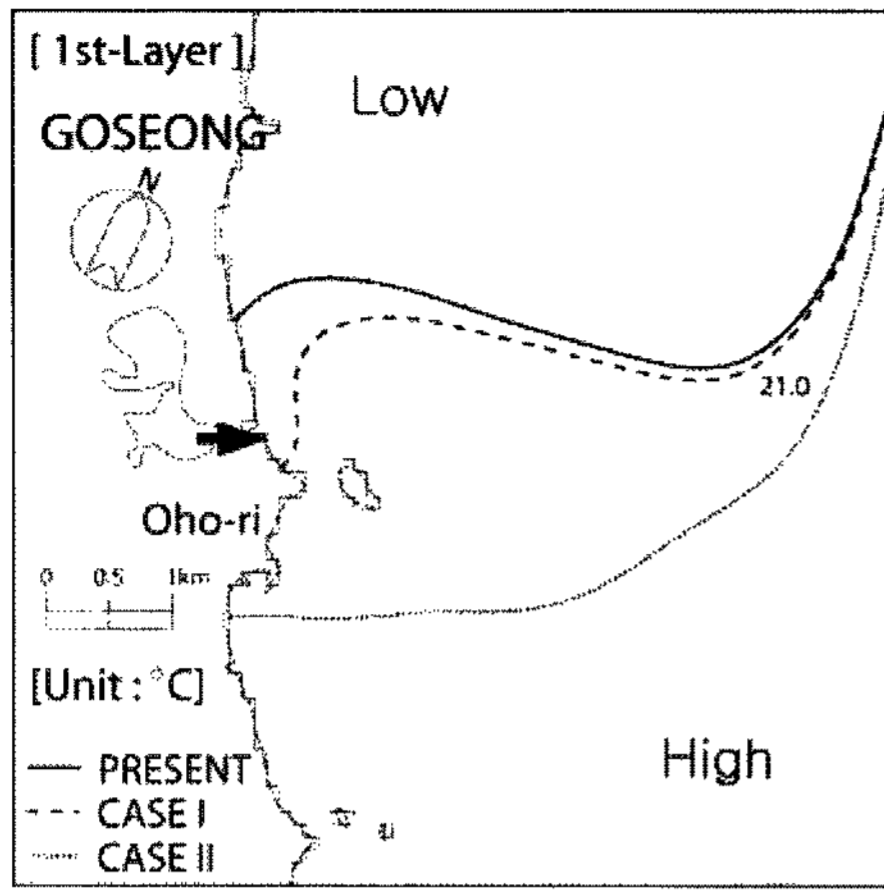
Position	Discharge	
	19,069 m ³ /s	190,069 m ³ /s
Surface(1st layer)	CASE I	CASE II
Bottom(4th layer)	CASE III	CASE IV

Table 4 The initial condition of water quality for effluent DSW

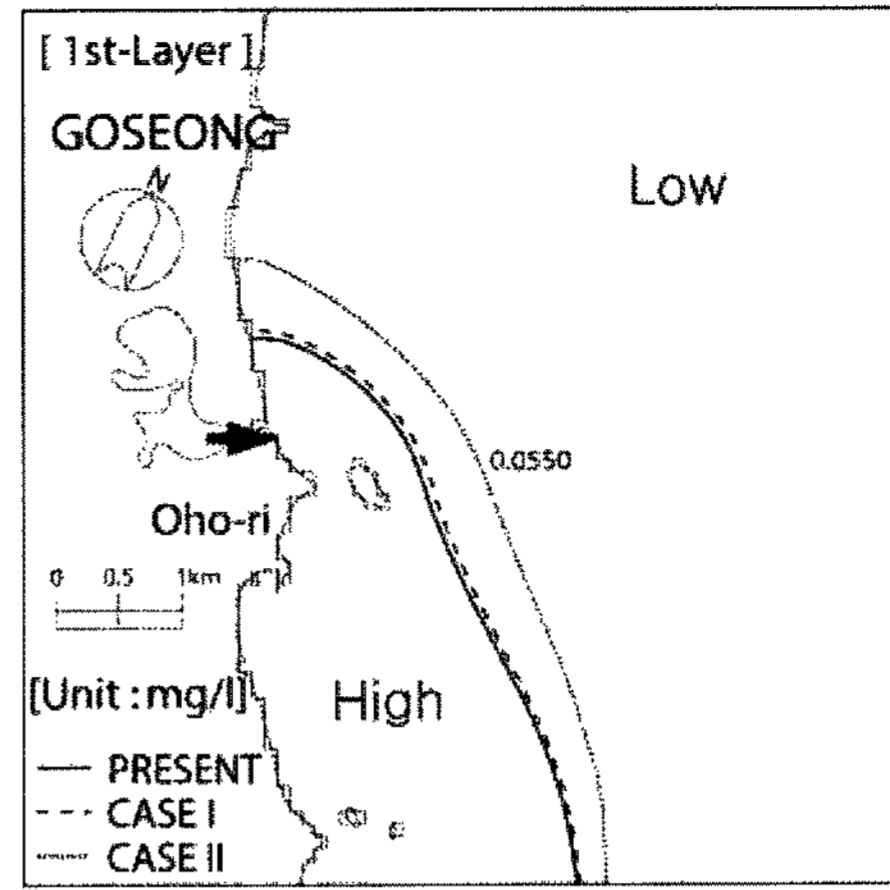
Division	DSW	CBW	Effluent DSW
Mixing Ratio(%)	37.5	62.5	100.0
Water Temp.(°C)	0.9	9.9	6.5
Salinity(psu)	34.0	33.1	33.5
NH ₄ -N(mg/l)	0.040	0.019	0.027
NO ₃ -N(mg/l)	0.437	0.032	0.184
TN(mg/l)	0.4790	0.0522	0.2122
PO ₄ -P(mg/l)	0.052	0.033	0.040
COD(mg/l)	0.26	0.65	0.50

CBW : Coastal bottom water

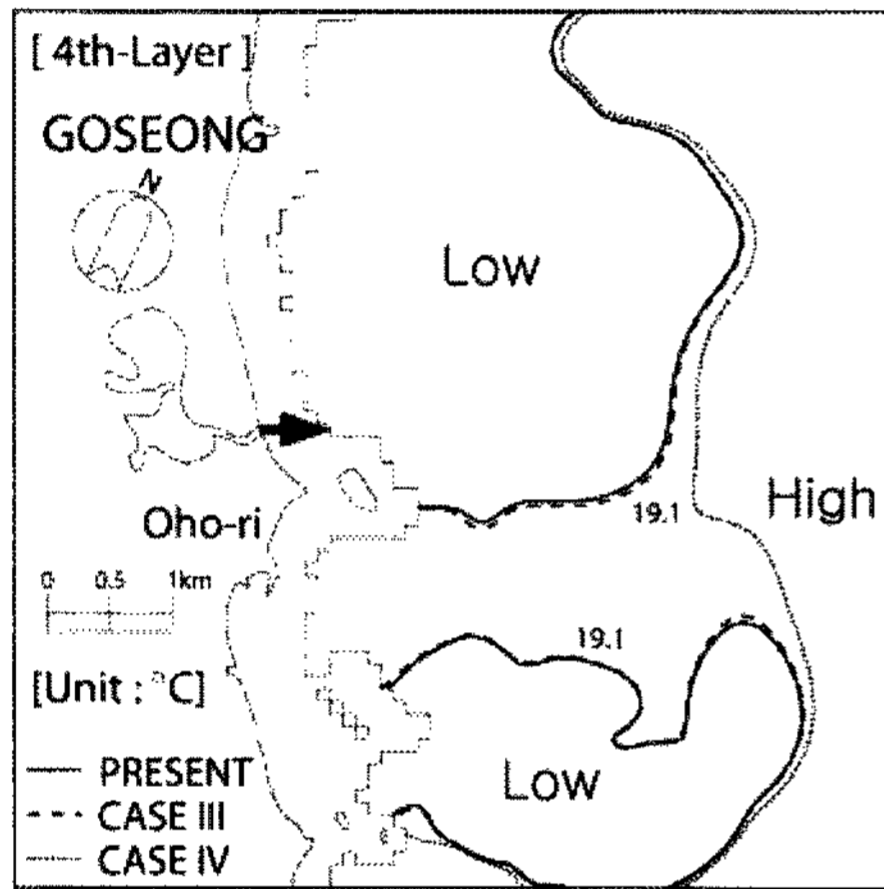
큰 것으로 판단된다. 이 외 COD와 Chl-a는 수온과, DO와 DIP는 DIN과 유사한 변동특성을 보였으며, 염분은 거의 일정한 것으로 예측되었다. 특히, Chl-a의 경우 수온이 감소함에 따라 식물성플랑크톤의 증식저하로 감소하는 것으로 나타났으며, 수온 및 Chl-a의 감소로 인해 DO농도는 증가하는 것으로 예측되었다.



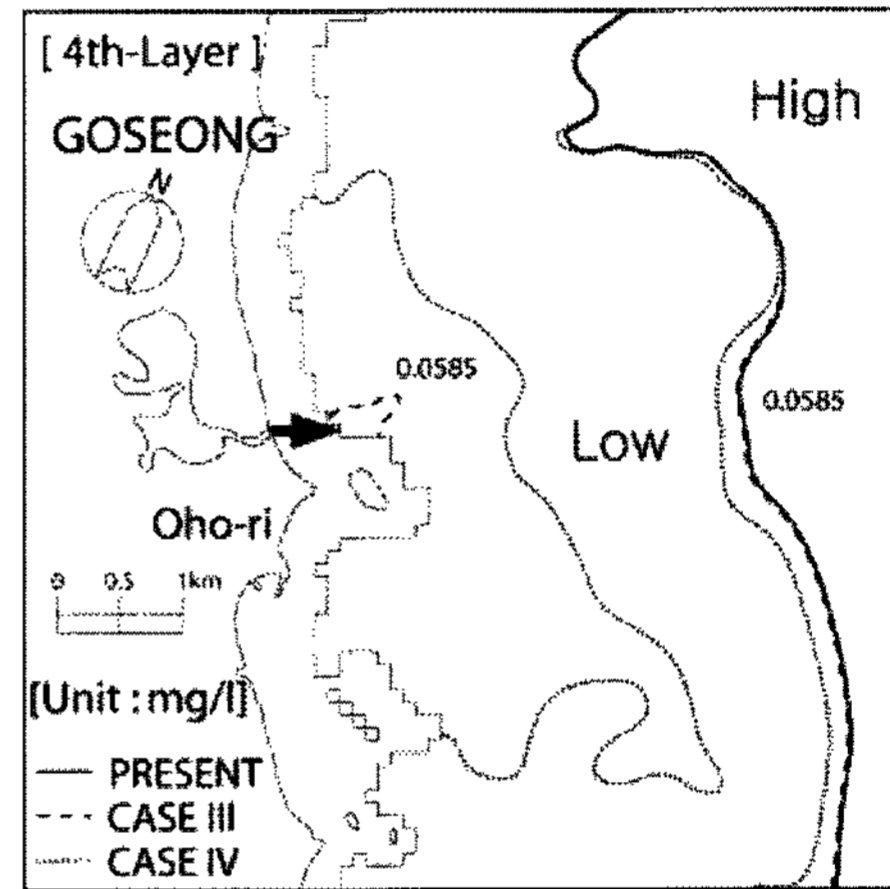
(a) Surface(depth : 0~3m) outflow



(a) Surface(depth : 0~3m) outflow



(b) Bottom(depth : 9~14m) outflow



(b) Bottom(depth : 9~14m) outflow

Fig. 7 Simulated results of water temperature according to discharge location outflow of DSW

Fig. 8 Simulated results of DIN according to discharge location of DSW

3.3 심층수 영향지수(DEI) 계산

앞서 언급한 수질항목별 수평분포도만으로는 심층수 방류로 인해 야기되는 수질환경 변화를 정량적으로 파악하기 어려우므로, 본 절에서는 심층수 방류시 수질환경 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 식 (2)와 같이 심층수 영향지수(DEI : DSW effect index)를 정의하였다.

$$DEI(\beta) = \frac{\theta_i}{\theta_j} \quad (2)$$

여기서, θ_i 는 심층수 방류시 각 실험CASE별 수질값, θ_j 는 현상태의 수질값으로, DEI값이 1에 가까울수록 영향정도가 낮은 것을 의미하며, 값이 1보다 큰 경우는 수질값이 증가한 경우, 1보다 작은 경우는 수질값이 감소한 경우를 나타낸다.

심층수 방류지점으로부터 외해 측으로 약 1km 떨어진 Fig. 1의 F 정점에서 수온, 염분, Chl-a, COD, DO, DIN, DIP 등 7개의 수질항목에 대해 DEI를 계산하여 심층수 방류시 수질항목

별 실험CASE에 따른 영향도 해석을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 9와 같다.

심층수 개발해역에서 심층수 해양방류시 수질항목별 영향정도를 살펴보면, β_{w-temp} 는 약 0.9944~0.9995, β_{sal} 은 약 1.0000, β_{chl-a} 약 0.9630~1.0000, β_{COD} 약 0.9834~0.9983, β_{DO} 약 1.0002~1.0032, β_{DIN} 약 1.0089~1.0889, β_{DIP} 약 1.0002~1.0023의 분포를 보여, F 정점에서는 DEI가 약 0.9630~1.0889의 분포범위를 나타내었다. 따라서 본 연구의 실험CASE에서는 최대 약 8.9%의 수질변화가 발생할 것으로 예상되며, DIN농도가 영향정도가 가장 높고, Chl-a, COD, 수온, DO, DIP의 순으로 나타났다. 염분은 영향정도가 미미할 것으로 예측되었다.

수질항목별 심층수 방류위치에 따른 영향정도를 살펴보면 전반적으로 표층방류가 저층방류보다 영향정도가 낮을 것으로 예측되었으며, 이는 표층유속이 저층유속보다 빠르고, 심층수가 주변해역보다 밀도가 높아 침강하게 되므로 표층방류시의 확산거리가 더 길어지기 때문에 대상해역의 수질환경에 미치는 영향정도가 낮을 것으로 예상된다.

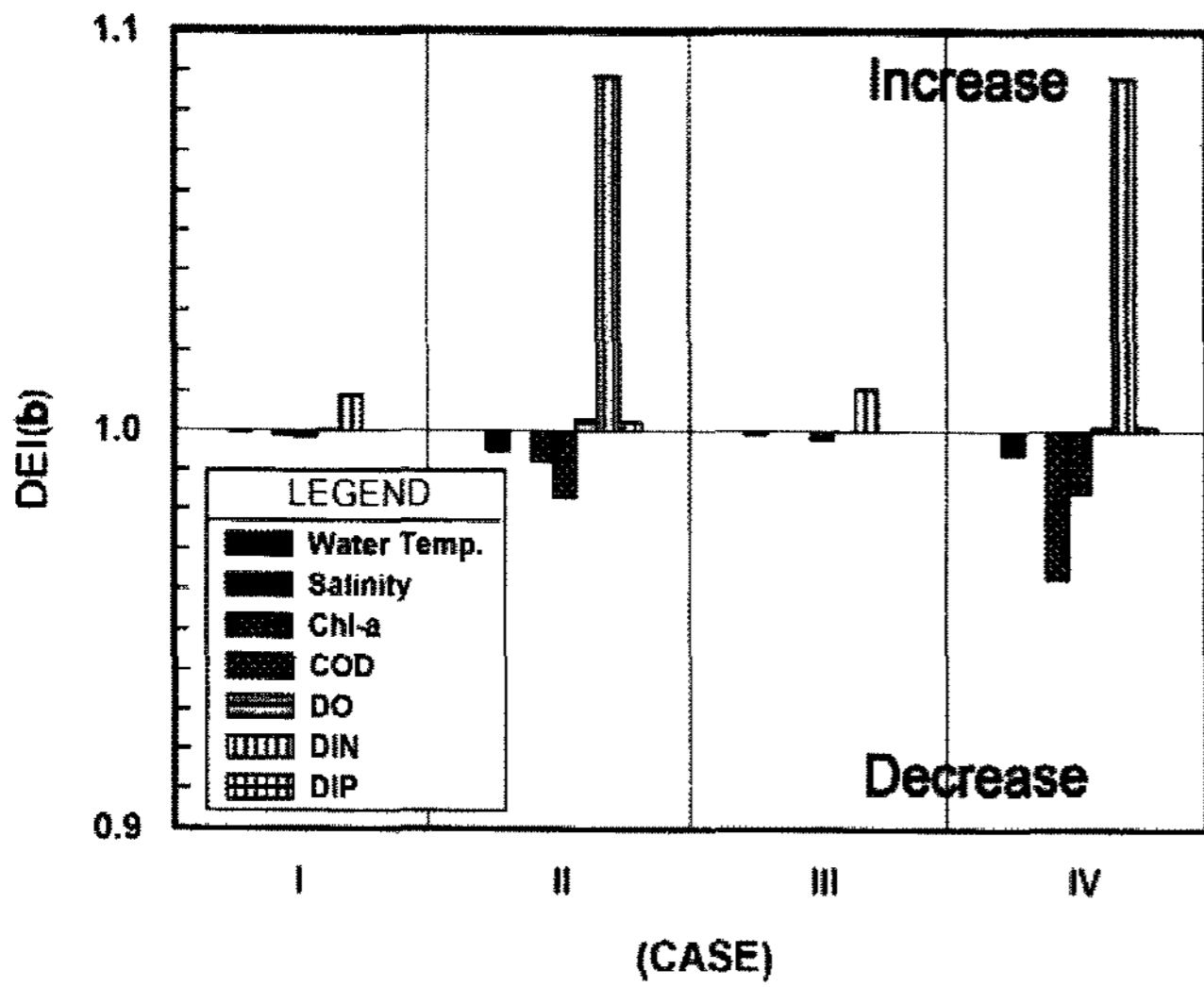


Fig. 9 DEI(β) classified by water quality according to each CASE at F station

또한, 심층수 방류량에 따른 영향정도를 살펴보면, 방류량이 10배 증가함에 따라 DEI 증감률이 방류위치 및 수질항목에 따라 최소 약 5배에서 최대 약 14배까지 증가하는 것으로 나타나, 영향도가 약 5~14배 증가할 것으로 예측되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 심층수 개발해역에서 해양심층수를 취수 이용한 후 다시 해양으로 방류할 경우 예상되는 인근해역의 해양환경변화를 예측하기 위해 생태계모형을 이용하여 당해역의 현황을 재현한 후, 심층수 해양방류로 인한 수질환경변화를 예측하여 영향도 해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 심층수 방류시 수질환경 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 심층수 영향지수(DEI)를 정의하여, F정점에서 영향도 해석을 실시하였다.

(2) 수질항목별 영향정도를 살펴보면, DIN농도가 영향정도가 가장 높고, Chl-a, COD, 수온, DO, DIP의 순으로 나타났으며, 염분은 영향정도가 미미할 것으로 예측되었다.

(3) 방류위치에 따라서는 표층방류가 저층방류보다 영향도가 낮을 것으로 예측되었으며, 방류량이 10배 증가함에 따라 영향도가 약 5~14배 증가할 것으로 예측되었다.

향후 심층수 개발이 진행되어 사업이 활성화 되면 심층수 취수/방류량이 더욱 증가하게 될 것은 물론이고, 현재 개발이 진행 중인 고성에만 국한되지 않고 울릉도를 비롯하여 동해 전역으로 개발해역이 확대될 것이다. 이에 우리는 환경변화에 능동적으로 대처하고 지속가능한 발전을 위해 체계적인 개발·관리가 절실히 요구된다. 이를 위해서는 심층수 방류해역의 환경용량 평가 생태계 모델링 및 심층수 취수/방류의 적정 사업용량 평가기법의 개발과 환경변화 예측 모델링/모니터링 시스템 개발이 필요할 것이며, 본 연구는 이를 위한 기초자료로 활용

될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구 논문은 해양수산부 “해양심층수의 다목적 이용 개발(5)”에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

국립수산과학원 (1996~2002). 한국해양환경조사연보.
 국립해양조사원 (2002). 조석표.
 기상청 (2002). 기상월보 1월~12월.
 김현주, 홍석원, 최학선, 홍기용, 양찬규, 홍섭, 홍사영, 김진하 (2003). “고성 해양심층수 개발시설의 기본설계 연구”, 한국해양공학회 춘계학술대회, pp 83-88.
 나카지마 토시미즈 (2002). 해양심층수의 개발 및 이용, 신기술, pp 37-74.
 이인철 (2001). “히로시마만에서의 잔차류와 물질수송의 수치모형실험”, 한국해양공학회지, 제15권 제1호, pp 45-51.
 이인철, 류청로 (2001). “수-저질 생태계 모델에 의한 하카타만의 물질순환예측”, 한국해양환경공학회지, 제4권, 제2호, pp 3-14.
 이인철, 세키네 마사히코 (2001). “연안어장의 환경변화가 수산자원량에 미치는 영향평가”, 한국해양공학회지, 제15권, 제1호, pp 36-44.
 이인철, 윤한삼 (2005). “동해 심층수 개발해역의 오염부하량 해석과 해황변동”, 한국해양공학회지, 제19권 제1호, pp 14-19.
 한국해양연구소 (1996). 한반도 주변 조석 조화상수 자료집.
 해양수산부 (2004). 해양심층수의 다목적 개발(3), pp 335-390.
 해양수산부 (2006). 해양심층수의 다목적 개발(5), pp 4-123-4-125.
 홍석원, 김현주, 강윤구 (1999). 해양에너지공학, 신기술, pp 11-27.
 후지타 켄이치 (2001). 수-저질예측모델의 개발을 기상요소가 저층의 용존산소농도에 미치는 영향에 관한 연구, 야마구치대학대학원, pp 167.
 후카미 키미오 (2002). 해양심층수의 대량배수가 연안해역의 식물성플랑크톤군집에 미치는 영향, 신화.
 Jørgensen, B.B. (1977). The Sulfur Cycle of a Coastal Marine Sediment, Limnol. and Oceanogr.
 Nixon, S.W. and Kremer, J.N. (1978). A Coastal Marine Ecosystem, Simulation and Analysis, Ecological Series, 24, Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg, New York, pp 25-217.

2007년 12월 28일 원고 접수

2008년 4월 2일 최종 수정본 채택