

영일만내의 유동과 수질특성에 관한 연구

김헌덕 · 김종인* · 류청로*
포항종합제철(주) 환경안전부, *부경대학교 해양공학과

Study on Current and Water Quality Characteristics in Yongil Bay

HUN-DUK KIM, JONG-IN KIM* AND CHEONG-RO RYU*
Pohang Iron & Steel Co., *Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

KEY WORDS: Water level difference 수위차, Water quality characteristics 수질특성, Numerical experiment 수치실험, 3-D baroclinic model 3차원 밀도류모델, Current characteristics 유동특성

ABSTRACT: The water quality in Yongil Bay is getting worse due to the sewage and the waste water from the surrounding industrial complex. The study aims to simulate the current system that is necessary to build ecosystem model for the optimum water quality control and clarify the correlation of current system characteristics with water quality in Yongil Bay. To clarify the characteristics of coastal water movement system and verify the applicability of the 3-D model, the current system was simulated using 3-D baroclinic model which considers tidal current and density effects. As the results of numerical experiments, it is proved the 3-D model is the most applicable on appearing the current system of the stratificated Yongil Bay by the difference of density. From the results of simulation considered tidal current only, it can be clarified that the water body flows in the inner bay through the bottom layer and flows out the outer bay through the surface layer in Yongil Bay. And the fresh water from the Hyongsan river and the thermal discharge from POSCO have a little effect on the current system in Yongil Bay, but the diffusion of heat and salt has an important effect upon the formation of the density stratification. The characteristics of the water quality distribution is closely related with the current structure characteristics as well as the tidal residual current system in Yongil Bay.

1. 서 론

영일만은 경북 포항시 흥해읍 달만갑과 대보면 장기갑 사이를 만 입구로 하는 내만으로 동해안의 회유성 어류, 패류 및 해조류가 서식하기 좋은 자연적 환경조건을 갖추고 있으며, 양식장의 적지로서 수산업상 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 포항제철을 비롯한 대규모 공업단지의 배수구를 통하여 배출되는 산업폐수와 형산강 및 대소하천을 통하여 배출되는 생활폐수 등의 유입으로 인한 오염물질의 절대량 증가는 영일만내의 수질을 점차 악화시키고 있는 실정이다. 따라서 영일만내의 수질상태를 예측할 수 있는 오염물질의 확산기구를 규명하기 위해서는 확산기구해석에 기초자료가 되는 만내의 해수유동특성을 파악해 둘 필요가 있다.

영일만의 물리해양학적 조사연구는 교통부 수로국이 선박의 안전운행과 항만개발의 기초자료를 제공하기 위하여 해수유동에 대한 조사를 실시한(수로국, 1971) 이래 성 등(1993)은 현지 유속 관측자료를 근거로 하여 영일만 내의 조석 잔차류와 조류의 분포 특성을 제시하였으며, 이 등(1995)은 1989~1990년의 체계적인 관측자료를 토대로 영일만의 해수유동, 확산 및 형산강 유출수의 거동에 대한 기초자료를 제시한 바 있다.

지금까지의 연구에서와 같이 현장관측에서 획득한 자료의 해석을 통한 방법만으로는 조차가 적고, 해수의 흐름이 미약한 영일만의 유동특성을 규명하기에는 한계가 있으며, 현장관측에는 많은 장비와 시간과 인력이 소요되는 비경제적인 면이 있다. 또한, 해역의 물리해양학적 조사 및 연구와 접목되지 못한 오염도 조사 또한, 조사시점에서의 영일만의 수질오염을 판단하는 척도 이외에는 오염의 원인파악과 향후의 오염예측 및 오염저감방안 수립에는 한계가 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해서는 영일만의 해수유동을 정도 높게 재현할 수 있는 유동모델을 구축하여 영일만내의 해수유동특성과 수질분포특성과의 관련성을 규명해 둘 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 3차원 밀도류 해수유동 수치모델을 구축하여 영일만의 해수유동을 재현하고, 물질수송에 중요한 역할을 하는 조석잔차류의 유동구조특성과 하천수 및 온배수확산에 의하여 나타나는 밀도분포특성을 파악하며, 해수의 유동특성과 수질분포특성과의 관련성을 규명하고자 한다.

2. 영일만의 해저지형

영일만은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 달만갑과 장기갑을 연결

하는 수표면적이 약 100 km² 인 만으로 만 입구의 폭은 약 10 km, 길이는 약 12 km인 직사각형에 가까운 만의 형상을 하고 있다.

만 입구 중앙부의 수심이 가장 깊어서 25~30 m를 나타내고, 만 내측 및 해안으로 갈수록 점차 수심이 얕아지며, 만 내측 방향으로 해저경사는 약 1/1,000으로 완만한 편이다(Fig. 1). 따라서 등심선은 해안선에 거의 평행하며, 포항신항 주변해역의 해저지형이 비교적 평탄한 반면 장기갑 북서해안에서는 해저경사가 비교적 급하여 해안선으로부터 약 500 m 떨어진 해역에 20 m 수심이 나타난다.

3. 영일만내의 수질특성

3.1 영일만의 수질관리등급

영일만은 인근 공단 및 도시 활동에 의한 공업폐수, 생활하수

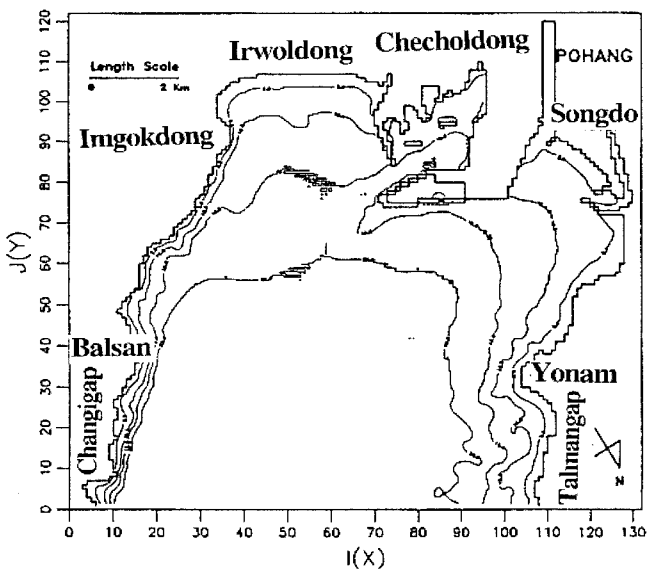


Fig. 1 The bottom topography of Young-il bay

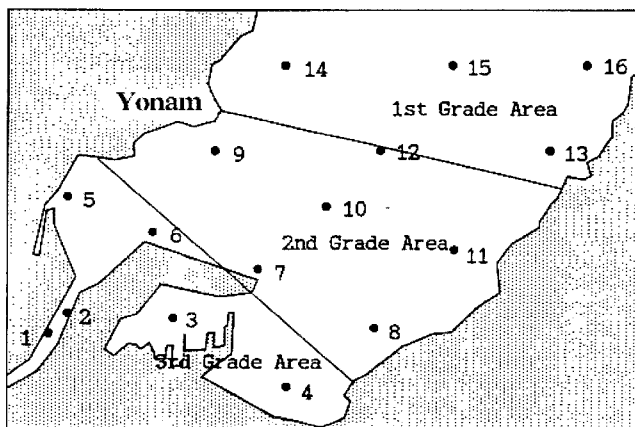


Fig. 2 Location map of water quality measuring point

인 담수 및 대량의 발전소 냉각수가 유입하는 특성을 가지고 있다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 영일만은 청정 해역인 동해 동남부 해역으로 열려져 있는 지형적인 구조를 가지고 있으므로 국내의 해역 관리등급을 기준으로 3개 등급의 수질 환경기준관리 영역으로 나누어 관리되고 있다.

영일만에서 III등급 해역은 포항시 두호동 이내리 남단(N36°03.6', E129°23.5')에서 송정동 북측 방파제선단의 연장선과 육지가 만나는 지점인 동해면 임곡동 서북단(N35°00', E129°27.6')을 연결한 내측해역으로 지정되어 있으며, II등급 해역은 포항시 여남동 동단(N35°04.4', E129°25.3')에서 동해면과 대보면의 경계해면 지점(N36°03.0', E129°31.5')을 연결한 내측 해역 중 III등급을 제외한 수역을 말한다. I 등급 해역은 앞서의 II등급 해역의 외측 해역 전체에 해당된다.

1998년 형산강 하구에서 영일만 입구에 이르는 전 해역을 대상으로 포항산업과학연구원에 의하여 영일만 해역의 수질조사가 실시되었다. 총 16개의 조사정점(Fig. 2)에 대하여 계절별로 실시되었으며, 이들 결과 중 동계의 수질측정결과판에 대하여 논의하고자한다. 이 때 채수는 표층, 중층 및 저층의 3개 수심에서 실시되었다.

3.2 수질조사결과

3.2.1 수온

Fig. 3에 나타난 바와 같이 1998년 동계의 영일만내 층별 수온 분포는 10.5~12 °C 범위였으며, 겨울철에 흔히 나타나는 표층과 저층 사이에 밀도차에 의하여 발생하는 대류현상에 의해 각 층 사이에는 0.5 °C 이내의 수온차를 나타내고 있으므로 표층 냉각에 의해 매우 강한 연직혼합이 발생하고 있음을 알 수 있다. 반면, 달만갑 방향의 수온은 전 층에 걸쳐 11.5 °C 이상으로 상대적으로 높게 나타나고 있는데, 이는 달만갑 방향으로부터 유입되는 외해 수괴에 의한 영향으로 추정할 수 있다. 이와 반대로 상대적으로 정체되어 있고 수심이 얕은 일월동 전방해역(도구해수욕장 전면)의 수온이 가장 낮고, 임곡과 발산방면은 11 °C 이하의 낮은 수온분포를 나타내고 있어, 수심이 비교적 얕은 영일만 남쪽해역에서 차가운 대기온도의 영향을 크게 받고 있다는 것을 알 수 있다. 반면, 포항제철 발전소 냉각수의 배출수에 의한 영향은 형산강 하구역에 한정되어 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.2.2 염분

1998년 동계 중 영일만내 해수의 염분은 20.4~34.6 ‰ 범위의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다(Fig. 4). 염분은 전체적으로 내만측보다 외해측, 표층보다 저층에서 높은 염분을 나타낸다. 이는 일반적인 현상으로서 내만측 해역에는 형산강 담수의 유입에 의한 수평혼합 때문이고, 표층수 냉각에 의한 밀도 증가로 인하여 수괴가 침강함으로써 연직혼합이 활발히 이루어지고 있기 때문이다.

저염수는 주로 형산강 담수의 영향을 받는 해역에 위치하고 있는 St. 1과 St. 2의 표층에서 나타나며, 상대적으로 고염수는 주로 달만갑 및 장기갑 주변해역에 분포하고 있다.

영일만의 염분분포에서 특징적인 현상은 전 층에 걸쳐 만 북

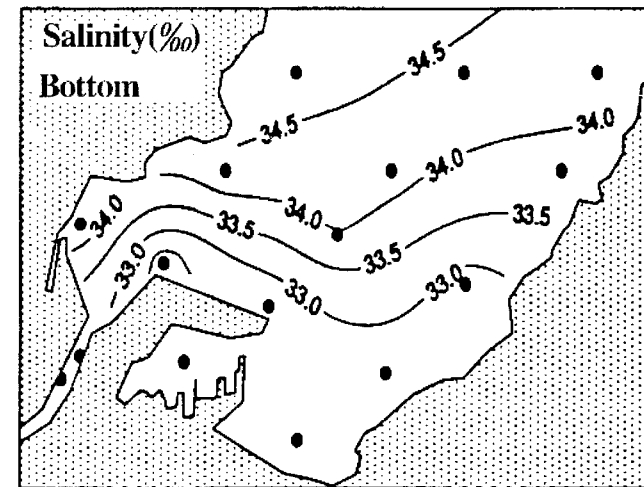
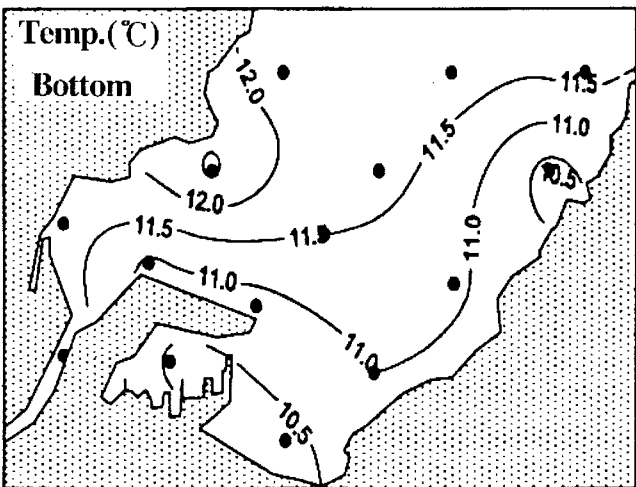
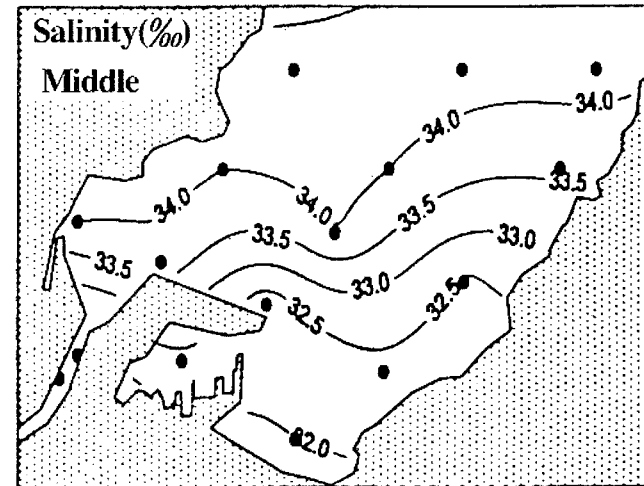
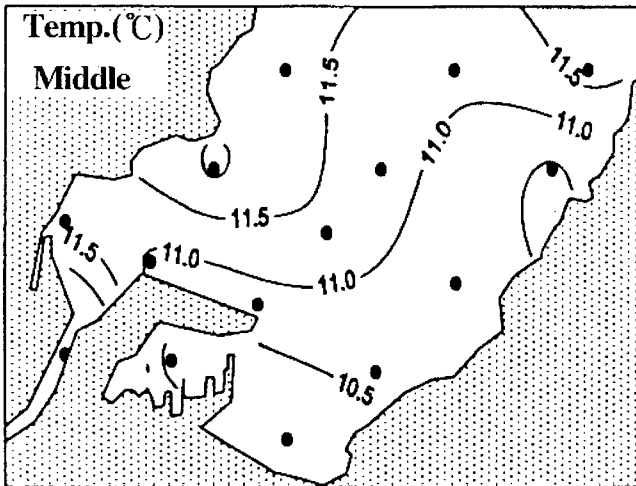
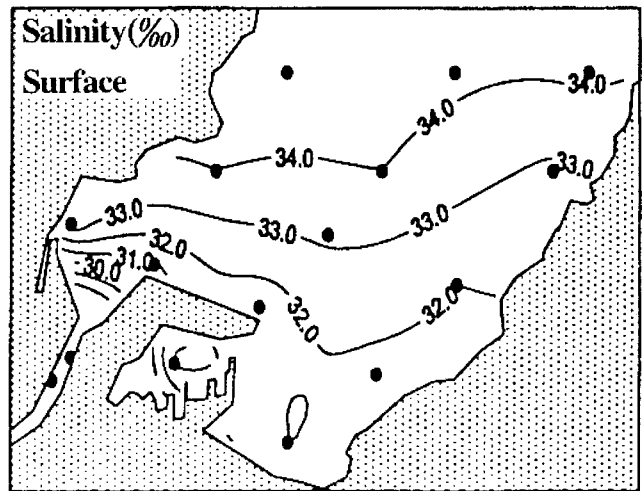
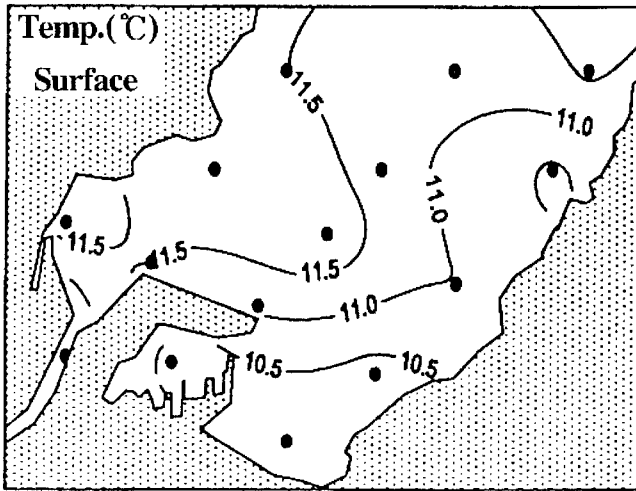


Fig. 3 Temperature distribution in Yong-il bay (in Winter)

Fig. 4 Salinity distribution in Yong-il bay (in Winter)

측해역에 비해 남측 해역이 낮은 염분을 나타내고 있다. 이 결과로부터 형산강 담수유입에 의해 영일만 북쪽해역보다 남쪽해역에서 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있고, 이로부터 영일만의 유동특성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

3.2.3 DO(Dissolved Oxygen)

동계 중 영일만내의 DO 농도는 6.5~7.3 ppm의 범위에 분포하며(Fig 5), 전 층에 걸쳐 높은 용존산소를 나타내고 있다. 동계 중에는 영일만내에서는 DO는 전 층에서 I 등급의 수질환경기준(6 ppm 이상)을 만족하고 있음을 알 수 있다. DO 분포 중 형산강 하구역에서 포항제철 투기장 전면부와 임곡 부근해역에 이르는 해역이 상대적으로 낮은 농도를 보이나, 층별 차이는 거의 나타나고 있지 않으며, 이로부터 표층냉각에 의한 연직혼합이 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

3.2.4 COD(Chemical Oxygen Demand)

Fig. 6은 동계 중의 영일만 내 COD 농도분포를 나타낸 것으로 COD 농도는 0.2~1.2 ppm 범위에 분포하며, 형산강 하구역과 포항 구항 인근의 1~1.2 ppm을 제외하고는 전 해역과 수층에 걸쳐 I 등급 수질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 각 층사이의 농도경사는 나타나지 않으나, 상대적으로 전 층에서 포항 구항, 형산강 하구 및 포항 신항 주변해역의 농도가 높게 나타나고 있으며, 달만갑 인근 해역(Fig. 2의 St. 14)의 COD가 0.9~1.0 ppm으로 발산(St. 11)의 0.4~0.5 ppm보다 높은 농도를 나타내는 점이 특징적이다.

3.2.5 총 인(PO4-P)

동계 중 총 인농도는 Fig. 7에 나타나고 있는 바와 같이 5.6~33.1 ppb의 범위로 분포하고 있다.

총 인의 I 등급 해역수질기준은 7 ppb 이내, II등급 15 ppb 이내, 그리고 III등급 30 ppb 이내로 규정하고 있다.

동계 중에도 형산강 하구역(27~32 ppb)와 포항 구항 인근(18~33 ppb)을 제외하고는 전체적으로 10 ppb 내외의 농도분포를 나타내고 있으나 외해역에서도 I 등급 수질관리기준(7 ppb)을 만족하고 있지 않음을 알 수 있다. 영일만 내의 중앙부해역과 달만갑 주변해역에서 비교적 낮은 농도분포를 나타내고 있다.

3.2.6 총 질소(Total Inorganic Nitrogen)

총 질소는 해역 수질관리 기준상 해양환경 내에서 200 ppb를 넘지 않도록 규정하고 있다. 총 질소농도의 해역 수질기준은 I 등급 50 ppb 이내, II등급 100 ppb 이내, III등급 200 ppb 이내로 규정하고 있다. 동계 중 총 질소농도는 129.9~2203.7 ppb 범위에 분포하고 있다(Fig. 8). 동계 중 총 질소농도 분포를 보면, 총 질소농도만으로 판단할 때 영일만은 등급별 해역수질관리기준을 상회하는 등 전체적으로 III등급 이하의 수질상태로서 부영양화가 심각한 상황에 있음을 알 수 있다. 해역별로는 형산강 하구역, 포항 구항 및 일월동 주변해역에서 보다 높은 농도를 나타내고 있는데, 이는 질소의 오염원이 포항 구항, 형산강 및 임곡의 정체된 해역에 존재한다는 것을 추정할 수 있으며, 영일만의 유동특성상 포항 구항, 형산강 및 임곡 주변해역은 직사각형 형태의 만의 모서리부에 위치하여 해수가 교환되기 어려운 해역으로서 유동특성과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있

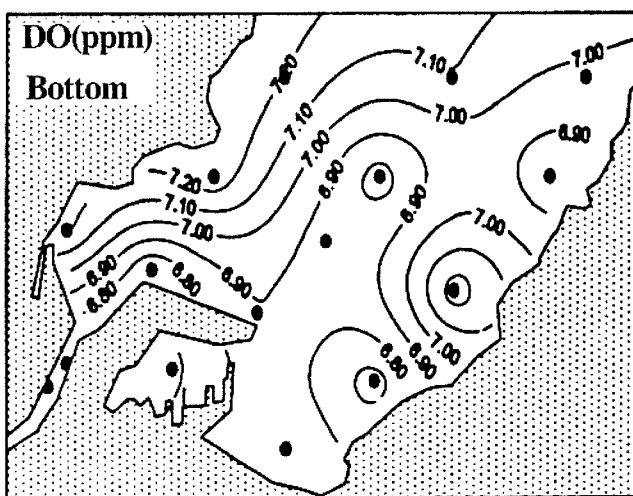
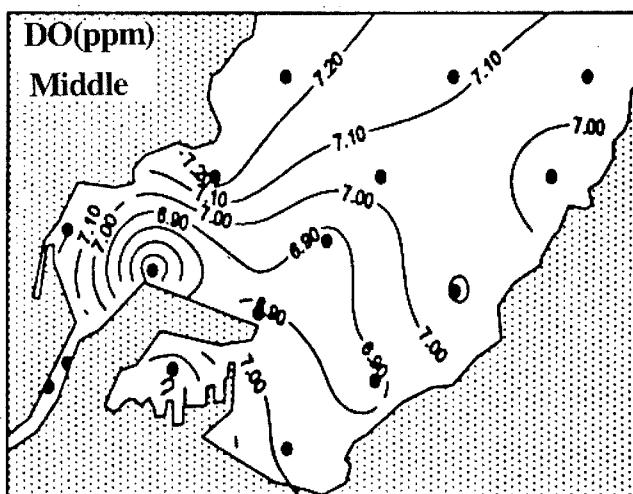
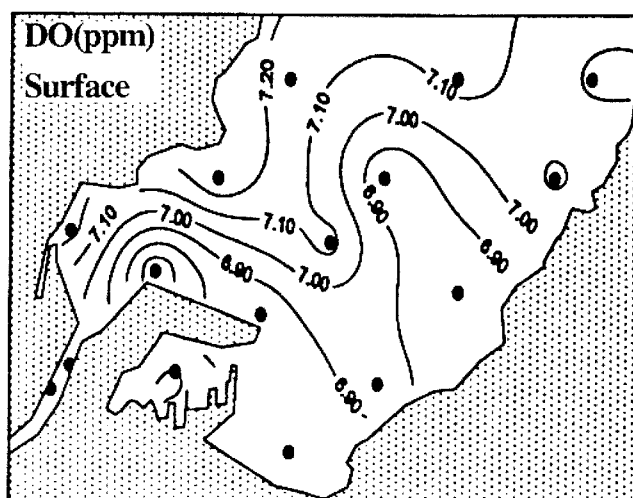


Fig. 5 DO distribution in Yong-il bay (in winter)

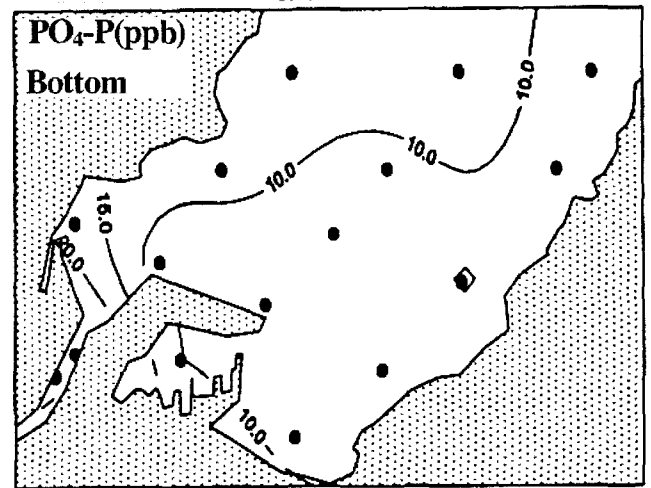
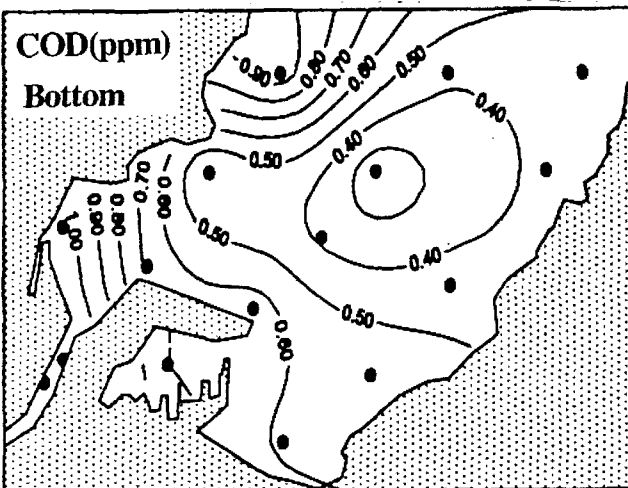
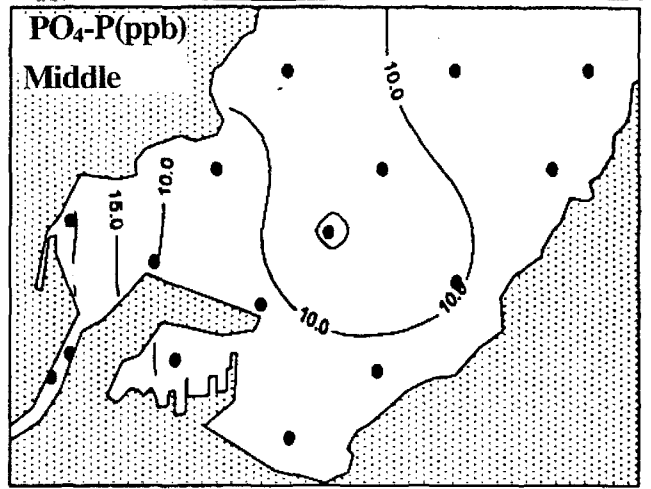
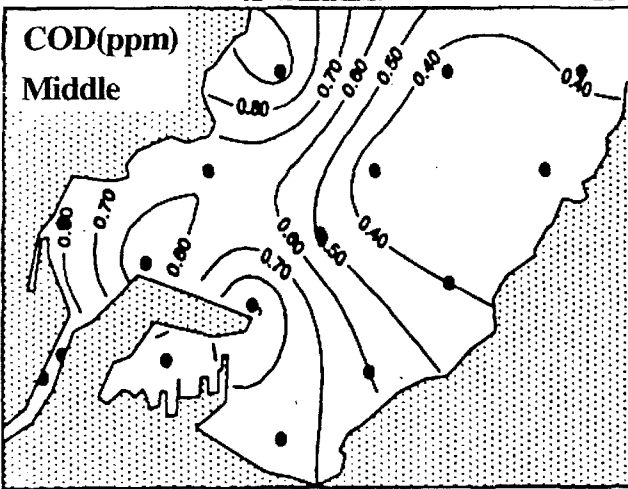
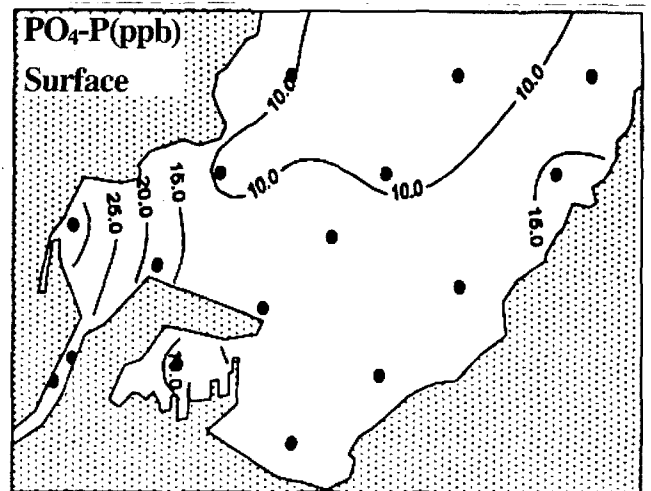
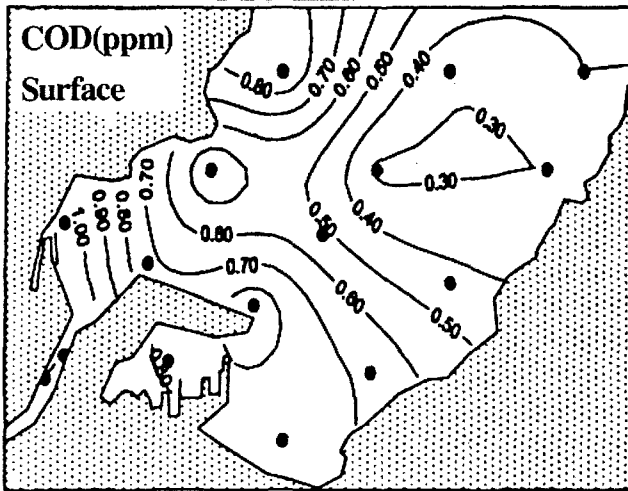


Fig. 6 COD distribution in Yong-il bay (in Winter)

Fig. 7 PO₄-P distribution in Yong-il bay (in Winter)

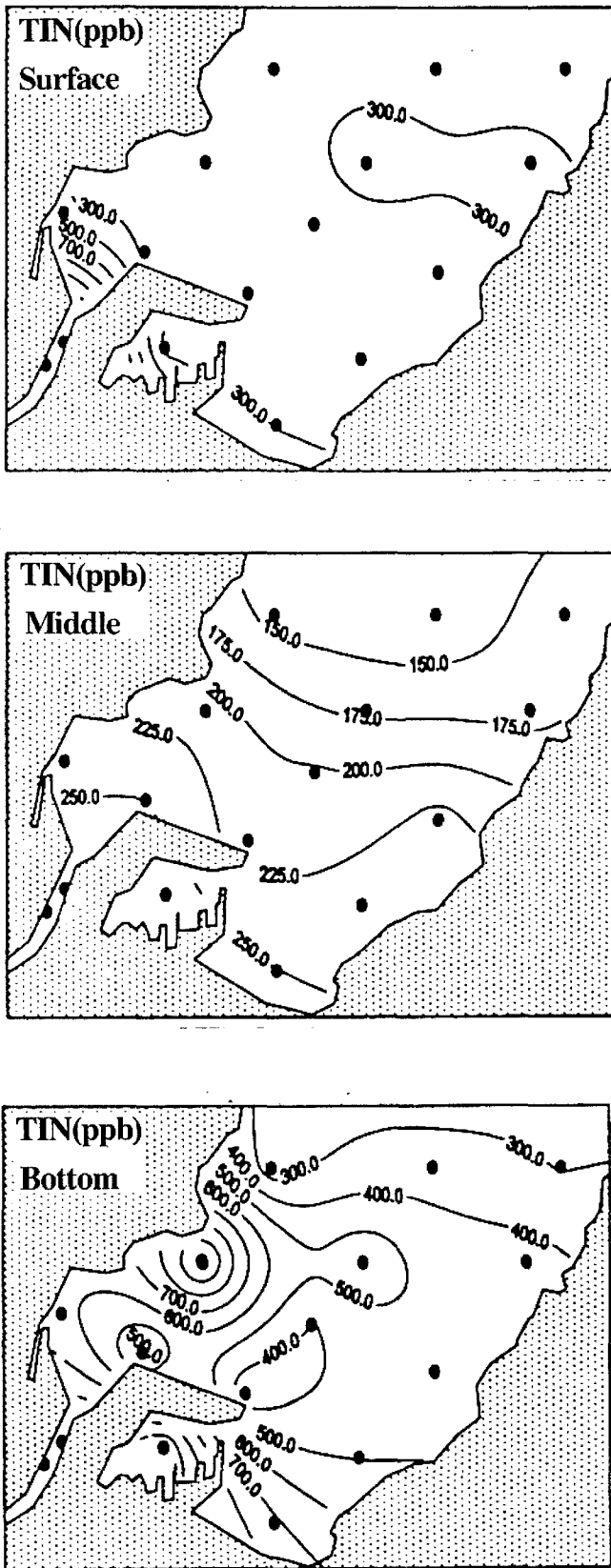


Fig. 8 TIN distribution in Yong-il bay (in winter)

다. 특히, 연직방향의 총 질소 농도분포로부터 알 수 있는 바와 같이 표층에 비하여 저층에서의 농도가 크게 나타나고 있는데, 이는 기온하강에 의한 강한 연직혼합과 영일만의 유동특성에 의한 해수교환의 정체성이 강하기 때문에 발생하는 현상이라 할 수 있다.

4. 3차원 밀도류 모델의 개요 및 수치실험의 내용

좌표계는 cartesian coordinate system을 사용하며, 평균해면의 한 점을 원점으로 잡고 연직방향으로 z축을 잡는다. 3차원 유동을 지배하는 기초방정식은 질량, 운동량 및 스칼라량의 보존칙을 근거로 하여 유도된다. 스칼라량의 보존칙으로서의 수온편차 및 염분편차의 확산방정식이다. 비압축성 유체에 대해 시간 평균한 후의 기초방정식은 김 등(1999)과 같다.

차분 격자망에는 김 등(1999)에 나타내고 있는 바와 같은 엇갈림격자망(staggered grid)을 사용한다. 차분방정식의 유도는 Suginoara et al.(1987), Iwasa(1983)에 의해 채용된 control-volume법을 사용한다. 즉 운동방정식에 있어서, 시간에 관해서는 원칙적으로 중앙 차분(leap frog method)을 쓰고, 이류항에 대해서는 전진차분법으로, 확산항에 대해서는 이류항 및 Coriolis 항의 시간step 보다 1 step 늦은 값(즉 $2\Delta t$ 의 시간간격의 전진차분을 취한 값)을 택한다. 이것은 중앙차분에서는 확산항을 다른 항과 같은 시간 step의 값을 써서 계산하면, 항상 불안정하기 때문이다(Suginoara · Onishi, 1987). 수온 및 염분의 확산방정식에 대해서도 운동방정식과 같은 가정하에 차분화한다.

흐름장의 계산에는 가중평균 파라메타를 사용한 음해법을, 또 수온 및 염분의 산정에는 완전 양해법에 의거하여 계산한다. 가중평균 파라메타는 흐름의 안정성을 고려해서 0.75로 한다. 또, 시간의 차분화에 중앙차분을 사용하므로 생기는 계산결과의 오차를 소거하기 위하여 30 steps에 1번 Matsuno 방법에 의해 시간의 차분화에 전진차분을 도입한다.

수치실험은 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 영일만을 중심으로 장기갑과 달만갑을 연결하는 13 km×12 km 인 해역을 대상으로 하였다. 계산조건은 Table 1에 나타낸 바와 같이 계산격자간격은 수평방향으로 100 m, 연직방향으로 상층으로부터 2 m, 2 m, 2 m, 4 m, 4 m, 5 m, 8 m 간격의 총 7층으로 분할하여 계산하였다. 이 계산에서 사용한 3 차원 Baroclinic 흐름의 수치모델 및 와동점성계수 등의 제 계수는 Nakatsuji 등(1994) 과 같다. 하천수의 유입양으로서의 형산강의 연 평균유량 8.6 m³/s 와 POSCO의 발전소 배수구로부터의 온배수량 17.7 m³/s 를 고려하였다. 대상으로 한 조위변동은 주태음반일주조(M₂ 분조), 주태양일주조(S₂ 분조), 일월합성일주조(K₁) 및 주태음일주조(O₁)을 대상으로 하였다.

모델의 재현성 검증을 위하여 설정한 조위(St. PT-1) 및 유속(St. PC1, St. PC2, St. PC3)의 비교정점을 나타낸다. Table 2는 Fig. 9 중의 정점 PT-1에서의 실측조위와 계산조위를 조화분해하여 나타낸 결과로서 계산조위는 실측조위에 비하여 약 0.59 cm 정도 큰 값을 나타내었으며, 지체시각에 대해서는 O₁ 과 S₂ 성분을 제외하고는 관측치보다 계산치가 적아지는 특징이 있

Table 1 Conditions for numerical simulation on Yong-il bay

Item	Simulation condition
Time interval	10 secs
Horizo. mesh interval	100 m
Vertical direction resolution(7 levels)	2 m, 2 m, 2 m, 4 m, 4 m, 5 m, 8 m
Winter atmospheric condition (Feb. '98)	· Air Temp.: 3.1 °C · Vapor pressure : 26.2h Pa · Cloud: 6.7
Sea boundary cond (Feb. mean)-Youngil	· Seawater Temp. : 10.3 °C · Salinity : 33.98 ‰
River and Discharge boundary condition	Hyongsan River · Temperature: 9.2 °C · Quantity: 8.6 m ³ /sec
	POSCO Discharge · Temp. : Seawater Temp. +7 °C · Salinity : 33.98 ‰ · Quantity: 17.7 m ³ /sec
Tide	M ₂ , S ₂ , K ₁ , O ₁
Drag coefficient	· Sea floor: 2.6×10 ⁻³ · Wall: 1.0×10 ⁻³
Horizontal eddy coef.	SGS Model: 50 ~ 0.1 m ² /sec
Vertical eddy coef.	Neutral cond. 0.005 m ² /sec
Coriolis parameter	4.1711×10 ⁻³ /sec(N36 °)
Total computing time	60 tides

Table 2 Results of the observed and the computed of the tidal height at the PT-1 in Fig. 9

Tide	Computed Results		Observed Results	
	Tidal height(cm)	Phase angle(Deg.)	Tidal height(cm)	Phase angle(Deg.)
M2	3.33	114.4	3	121
S2	0.63	183.3	1	167
K1	4.18	359.6	4	3
O1	4.45	327.9	4	326

고, 조위 peak의 출현시간이 실제보다도 빨라진다는 것을 알 수 있다. 그리고 수치실험에 사용한 입력조건은 Table 2와 같다.

Fig. 10은 3차원 밀도류 모델의 영일만내의 유동재현을 위하여 나타낸 실측조위와 계산조위를 나타낸 것으로, 관측치 중에는 조위 이외의 성분에 의한 수위상승이 불규칙적으로 나타나고 있다. 따라서 Butter-worth 수치필터를 사용하여 조류이외의 성분을 제거하여 나타낸 결과, 계산조위는 영일만내의 조위를 양호하게 재현하고 있음을 알 수 있다.

5. 수치실험의 결과 및 고찰

5.1 영일만의 조석잔차류 특성

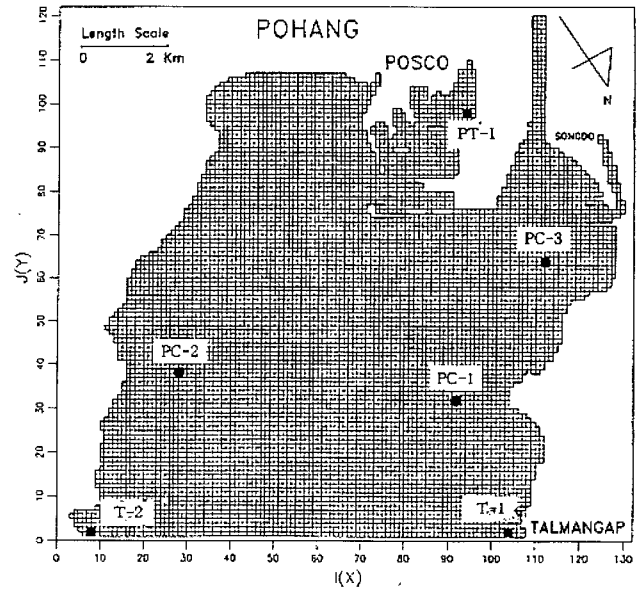


Fig. 9 Horizontal grid system and measuring station of the tide and current in computation domain

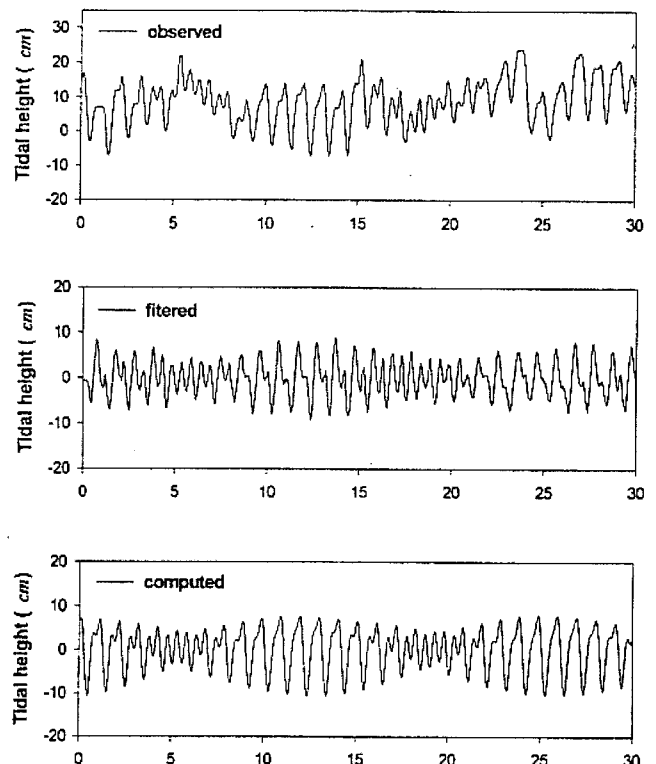


Fig. 10 Comparison of tidal level between computed and observed data at St. PT-1.

3 차원 밀도류 모델을 사용하여 계산한 영일만내의 동계 대조기 수심별(1 m, 3 m, 5.5 m) 잔차류의 유속벡터는 Fig. 11과 같다. 제 1층(수심 1 m)에서는 전반적으로 외해수가 형산강 하구

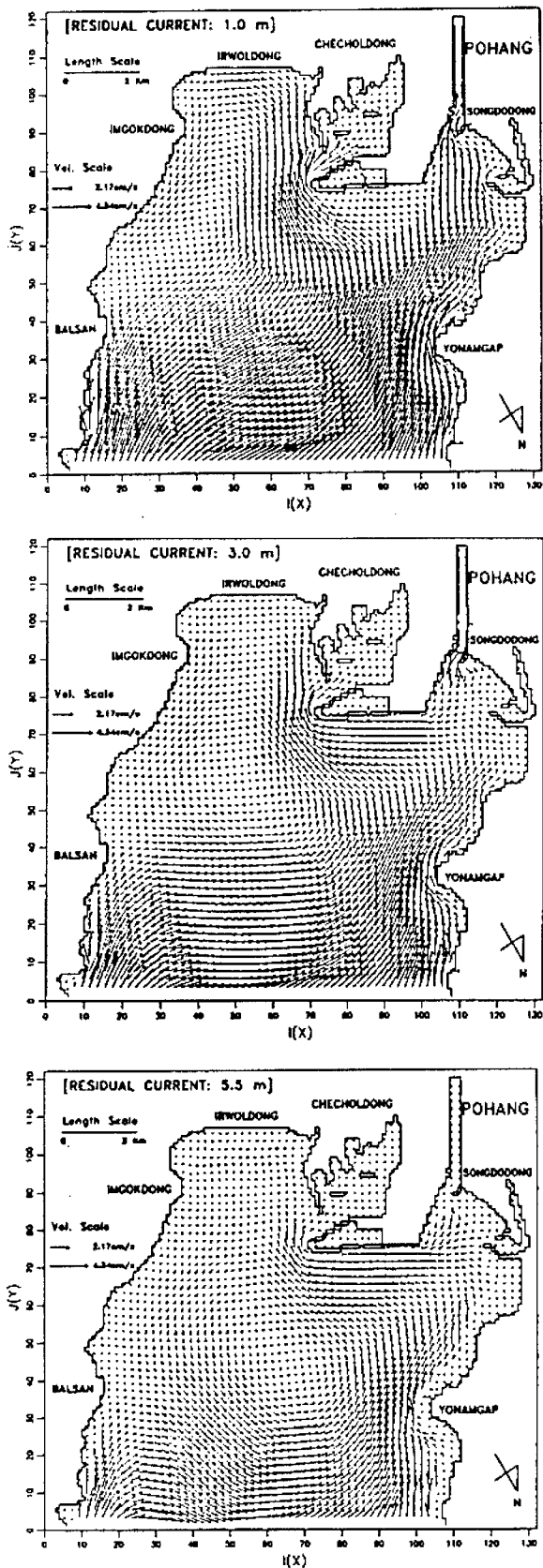


Fig. 11 Computed tidal residual currents at 1 m, 3 m and 5.5 m depths in Yong-il bay (in winter)

역 및 일월동 전방해역의 영일만의 내만쪽으로 유입하는 특성을 나타내고 있다. 반면, 제 2층(수심 3 m)을 통하여 형산강의 하천수와 발전소 냉각수가 혼합되어 포항제철 제 4투기장진방 호안을 따라 남동진하여 일월동 전방해역으로 향하는 잔차류의 특성을 나타내고 있다. 그러나 제 3층(수심 5.5 m)에서는 일월동과 임곡동 전방해역에는 잔차류의 유속이 매우 작아 저층수는 교환되기 어려워 거의 정체되어 있고, 게다가 형산강하천수 및 생활폐수와 함께 유입된 오염물질이 해수교환이 이루어지기 어려운 해역으로 수송되어 계속 축적되기 쉬운 유동상황하에 놓여 있음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 일월동(도구 해수욕장) 전방해역에 정체성 해역이 형성되어 동계에도 표층보다 저층에서 영양염류의 오염도가 높게 나타나는 것은, 영일만내의 잔차류 특성과 밀접한 관계를 가지고 있음을 잘 알 수 있다.

Fig. 12와 Fig. 13은 각각 하천수와 발전소 냉각수의 유입을 고려하여 계산한 최강 조류 및 낙조류 시의 수심 1 m 및 3 m에 있어서의 밀도분포를 현장밀도인 $\sigma_t = (\rho(s, t, d) - 1000) \text{ kg/m}^3$ 로서 정의되는 Sigma-t 로써 나타낸 것으로 형산강 하천수가 수송되어 정체하는 남쪽해역이 외해수가 유입하는 북쪽해역에 비하여 낮은 밀도를 나타내고 있다. 또한 제 1층(1 m)에서는 등밀도선은 밀물시에는 제 4투기장 전방해안에 평행하게 분포하고 있으며, 썰물시에는 형산강하구를 중심으로 환상으로 확산되고 있는 특성을 나타내고 있다. 반면, 제 2층(3 m)에서의 등 밀도선은 조시와 관계없이 형산강 하구와 장기갑을 연결하는 선과 평행하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 제 2층을 통하여 만내수가 만외로 유출되고 있음을 알 수 있다.

영양염류의 수심별, 해역별 농도분포는 표층보다 저층의 농도가 높고, 저층 중에서도 만 북측보다 만 남측에서 농도가 높은 현상을 뚜렷이 나타내고 있다. 이러한 현상은 물질수송에 중요한 역할을 하는 조석 잔차류의 유동특성과 동계 중 표층해수가 냉각됨으로서 밀도가 증가하여 해수는 하층으로 침강하고, 만 북측인 달남갑에서 유입되어 포항 신항 전방해역에서 환류하여 장기갑 방향으로 유출되는 흐름이 형성되고 있는 영일만의 유동특성과 밀접한 관련성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

한편, 일월동(도구 해수욕장) 전방해역에서 영양염류의 오염도가 높게 나타나는 것은 영일만 내의 유동특성에 의하여 정체성 해역이 형성된 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 1994년 7월과 1995년 1월에 실시된 현장관측 자료를 분석하고, 3차원 밀도류 해수유동 수치모델을 구축하여 영일만의 유동을 재현하여 조류잔차류의 유동구조와 하천수 및 발전소 냉각수의 확산특성을 규명하였다. 또한 1998년의 영일만 오염도 조사자료를 분석하여 영일만의 오염도 현황 및 특성을 파악한 후 영일만의 수질분포와 유동구조의 관련성을 고찰하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 하천수 및 냉각수의 유량은 영일만내의 해수용량에 비하여 매우 적으므로 영일만의 해수유동 및 밀도구조특성에 미치는 영향이 미미하다.

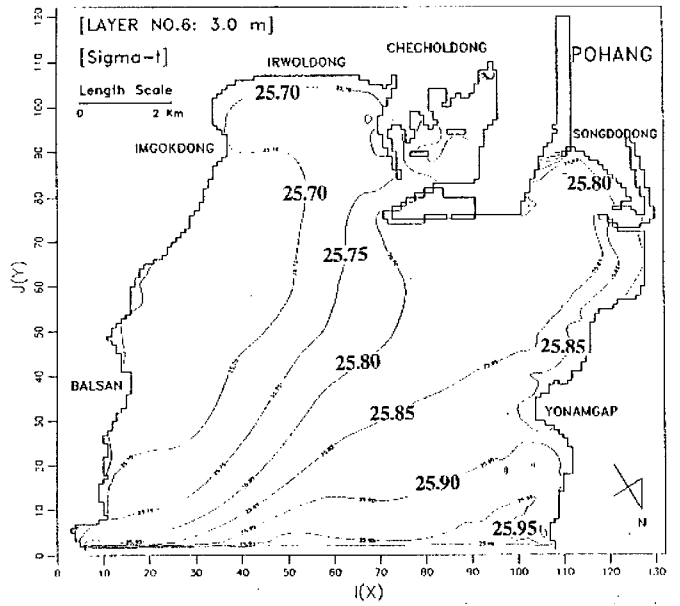
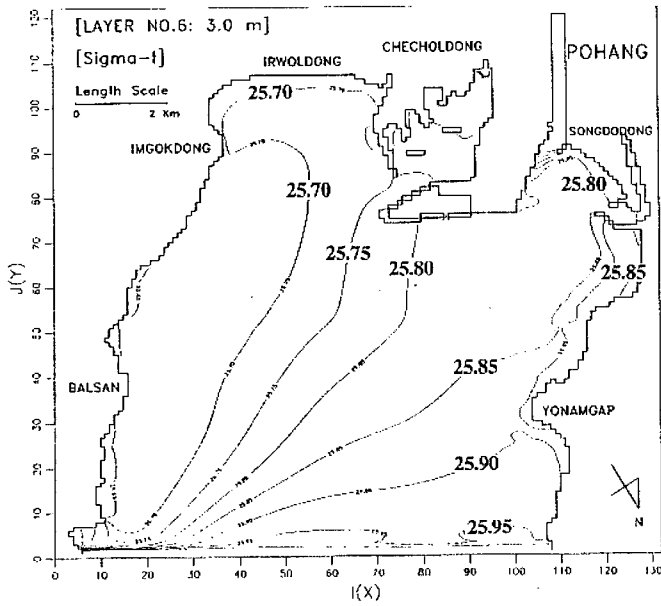
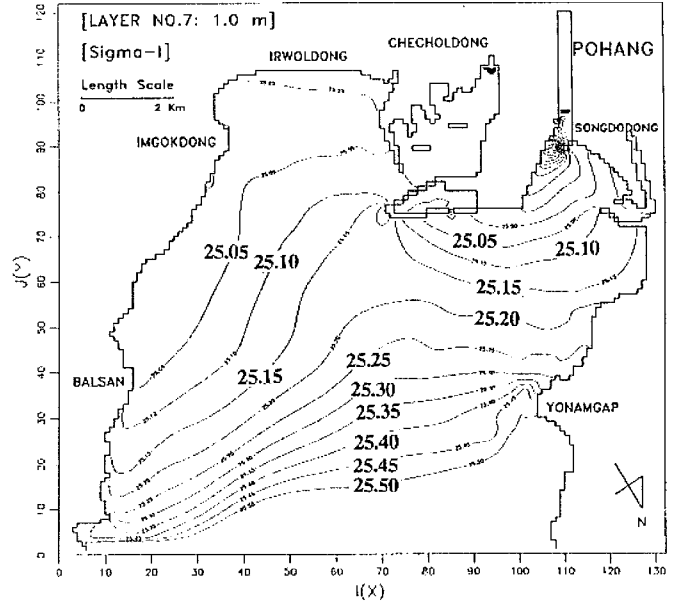
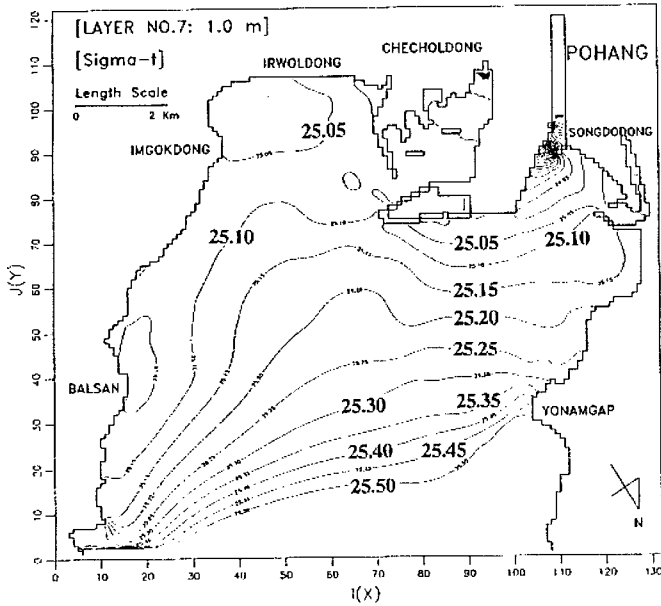


Fig. 12 Computed sigma-t at 1 m and 3 m depth on the flood flow in Yong-il bay (in winter)

Fig. 13 Computed sigma-t at 1 m and 3 m depth on the ebb flow in Yong-il bay (in winter)

- (2) 영일만에서는 하천수 및 발전소로부터의 온배수에 의하여 밀도성층이 형성된 만 내수는 미약한 유속에 의하여 표층을 통하여 유출되고, 만 외수는 저층을 통하여 유입되는 유동구조를 가진다.
- (3) 해수의 흐름방향은 영일만 북측에 위치한 달만갑 부근 해역에서 유입되어 포항방향 전방해역에서 환류하여 장기갑 전방해역으로 유출된다.
- (4) 이러한 영일만내의 흐름특성으로 인하여 영일만 중앙으로 돌출한 포항방향의 영향으로 일월동(도구 해수욕장) 전방해역에 정체성 해역이 형성된다.

- (5) 영양염류의 수심별, 해역별 농도분포는 표층보다 저층의 농도가 높고, 저층 중에서도 만 북측보다 만 남측에서 농도가 높은 현상을 뚜렷이 나타내었으며, 일월동(도구 해수욕장) 전방해역에서 영양염류의 오염도가 높게 나타났다. 이는 영일만의 지형 및 유동특성에 의하여 정체성 해역이 형성된 결과로 판단되며, 영일만의 수질분포는 유동특성과 밀접한 관련성을 가지고 있음을 알 수 있다.
- 이상의 결과로부터 영일만 내에서 발생하는 수질악화 및 적조 발생은 조류간차류의 연직방향 유동구조특성과 밀접한 관계를 가지고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 수질오염의 예측

및 저감방안을 수립하기 위해서는 해양수질모델에 의한 검토가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 김종인, 김현주(1999). "3-D 밀도류모델을 이용한 고온·고염수의 확산해석", 한국해양공학회지 제13권 제3-2호, pp 3~13.
- 이종섭, 김차겸, 김종화, 임기봉 (1995). "영일만의 해수유동구조 및 확산특성", 한국해양학회지 Vol. 30, No. 5, pp 467~479.
- 성기탁, 임기봉, 이석철(1993). "영일만의 항류와 조류의 분포", 수산진흥원연구보고, Vol. 47, No. 1-7.
- 포항종합제철(주)(1992). "포항제철주변 해양환경조사 보고서", Vol. 1, pp 1~19, Vol. 2, pp 1~28.
- 포항종합제철(주)(1998). "영일만 해양오염도 조사와 평가에 관한 연구", pp 11~68.
- 포항종합제철(주)(1998). "포항제철소 제 4투기장 조성 수치모형 실험 보고서", pp 15~74.
- 포항산업과학연구원(1998). "형산강수계 수질개선 대책 연구",

pp 29~49.

- 국립수산진흥원(1998). "한국해양환경 조사연보", 제2권 제35호.
- 이석우(1994). "한국항만수리지". 집문당, pp 189~204.
- 이석우(1992). "한국근해 해상지", 집문당, 334p.
- 岩佐義朗·井上和也·呵部徹(1983). 琵琶湖湖流の3次元的な解析, 京都大學防災研究所年報, 第 26号, B-2, pp 531- 542.
- 金種仁(1997): 大阪灣における河川からの流入土砂の輸送・堆積機構にする研究, 大阪工學博士學位論文, p 160.
- 彬ノ原伸夫·大西行雄(1987). 環境科學として海洋學2, 數値解析(第 15 章), 東京大學出版會, pp 234~271.
- wn 中辻啓二(1994). 大阪灣における殘差流系と物質輸送, 水理學シリーズ 94-A-9, A-9-1-A-9-28.
- 村上眞裕美·大西行雄·原島省·國司秀明(1987): Seto內海における水溫, 鹽分分布のSimulation, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 15, No. 2, pp 130~137.

2001년 9월 5일 원고 접수

2001년 11월 9일 수정본 채택