

섬진강 유출수의 3차원 거동 특성

김종규* · 김명원** · 강태순** · 윤은찬***

*전남대학교 해양공학과

** (주)지오시스템리서치

***부경대학교 토목공학과

Three-dimensional Mixing Behaviour Characteristics of Seomjin River Discharges

JONG-KYU KIM*, MYONG-WON KIM*, TAE-SOON KANG** AND EUN-CHAN YOON***

*Department of Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Korea

**Department of Planning & Development, GeoSystem Research Corp, Anyang, Korea

***Department of Civil Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Gwangyang bay 광양만, Seomjin river discharges 섬진강 방류량, Mixing behaviour 혼합거동, Tidal current 조류, Princeton ocean model 프린스턴 해양모델

ABSTRACT: The effect of discharges from the Seomjin River on the dispersion of thermal effluent from the Hadong Power Plant, located along the south coast of Korea, was investigated using intensive field observation and three-dimensional Princeton Ocean Model simulations. A POM and observed CTD data was used to predict the mixing behaviour of the Summer freshet, during the July 2005 intensive observing period. The dispersal of the river discharge anomaly, associated with the Seomjin River plume, was seen to be highly responsive to tidal currents and river flows during the spring tide.

1. 서론

본 연구의 주 대상해역인 광양만은 섬진강 하천유출수가 방류되는 남해안 중부에 위치한 내만으로 동광양시, 광양군, 하동군, 남해군, 여수시에 둘러싸여 있다. 여수해만을 통해 남해와 연결되고 노랑해협을 통해 진주만과 연결되어 있으며 광양만 중앙부 만내에는 묘도, 태인도 등 크고 작은 섬들이 산재하고 있다. 넓은 간석지와 20 m 이내의 천해역은 천해의 수산생물 서식장으로 잘 알려져 있다. 수심은 내만의 서측과 북측이 대체로 5 m 이하이고, 동측의 노랑수도와 남동측의 여수해만과 이어지는 수로는 20 m 이상이다. 만 중앙부의 묘도 북측과 남측의 수로는 10 m 이상의 수심이며, 섬진강 및 수어천과 연결된 북측 하구역의 해저경사는 상대적으로 큰 편이다(Fig. 1). 내만에서 해수유동의 주요인은 조석·조류현상이며, 계절적으로 하천유량에 의해 하구역의 흐름이 좌우된다(이석우, 1994). 한편, 광양만 남부연안에는 중화학 공업단지, 북부에는 광양제철 공업단지, 하동 화력발전소가 조성되어 있고 최근에는 광양 컨테이너 부두, 울촌 제1공단 등이 들어서 해마다 이들 단지로부터 많은 양의 오폐수가 만내로 유입되어 수산생물의 폐사와 생산 감소가 일어나고 있다(추효상, 2000). 또한, 광양만에 직접적 영향을 미치는 섬진강 하천유출수는 광양만 해역연구에 있어

서 매우 중요하다.

본 연구에서는 광양만으로 유입되는 섬진강 하천유출수의 거동 특성을 연구하기 위해 하계 현장 관측과 3차원 해수유동 모델(POM)을 이용하여 연안역 흐름의 구조와 변화를 정량적

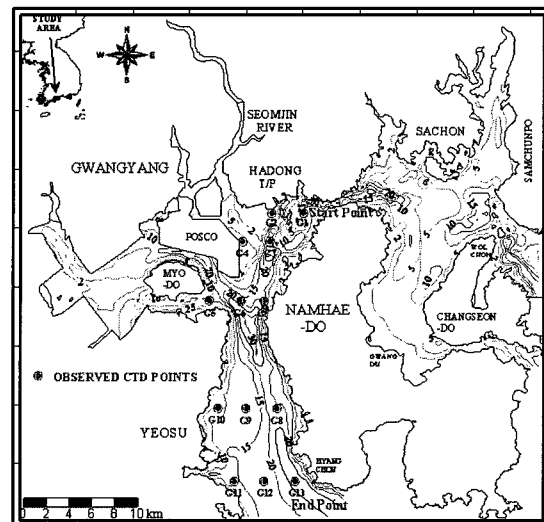


Fig. 1 Study area and observation(CTD) points

교신저자 김종규: 전남 여수시 둔덕동 산 96-1번지

061-659-3155 kimjk@chonnam.ac.kr

으로 검토함으로써 광양만내 섬진강 하천유출수의 3차원 거동 특성을 파악하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1 현장관측자료

광양만 주변해역에서 하계 섬진강 담수의 수괴특성을 파악하기 위해 2005년 7월 섬진강 하구를 중심으로 광양만내의 13개 정점을 대상으로 현장관측을 실시하였다(Fig. 1). 관측은 섬진강 하구의 담수가 해수 유동에 따라 주변해역에 어떻게 이동하고 그 영향권이 어디까지인지 추정할 수 있도록 대조기 만조, 간조시 실습선(청경호)과 소형고속정을 이용하여 약 3시간 동안 CTD 관측을 수행하였다. 측정된 염분자료를 바탕으로 수평분포도 및 표, 중 및 저층의 3개 연직분포도를 작성하였다.

2.2 수치모델

2.2.1 수치모델의 개요

본 연구에 사용된 3차원 경압수치모형인 POM(Blumberg and Mellor, 1987)은 국내외의 많은 연구자들에 의하여 열·염에 의한 밀도차를 고려한 해양순환 및 연안역 순환모델링에 이용되어져 왔으며, 모델의 검증과 현지적용을 통하여 약간씩 수정되어져 왔다. POM의 주요 특징들을 간략하게 기술하면 정수압근사와 Bousinessq 근사를 사용하여 수평방향으로는 직교곡선좌표계를 연직방향으로는 Sigma 좌표계를 사용하고 있다. 연직적분된 2차원 외부모드와 3차원 내부모드로 분리하여 계산하는 모드분리(Mode splitting)기법을 사용하며 밀도는 염분과 수온의 함수로서 계산되어지는 상태방정식을 사용한다. 수평확산계수는 Smagorinsky(1963) 확산을 이용하여 계산되어지며 연직와동점성계수와 연직와동확산계수는 2차 난류종결모델을 이용하여 계산되어진다.

POM을 이용한 국내외의 연구결과들을 살펴보면, Kourafalou 등(1996a; 1996b)은 POM을 South Atlantic Bight에 적용하여 밀도류에 영향을 미치는 여러 가지 파라미터에 대한 민감도해석을 하였다. Oey(1996)는 멕시코만류의 흐름해석시 플룸(Plume)의 확장은 수평확산계수의 선택에 아주 민감하게 반응하는 것을 확인하였고, Ezer and Mellor(2000)은 North Atlantic Sea에서 Pullen and Allen(2000)은 캘리포니아 북부연안의 Eel River의 홍수시 연안의 응답특성을 현지조사자료 및 인공위성자료를 POM 모델의 결과와 비교하여 해석하였다. 국내의 경우 Bang and Lie (1999)은 POM을 이용하여 황해로 유입되는 양자강 하천수 플룸의 확산거동을 지형과 바람조건을 고려하여 수치계산하였으며, 강태순(1999)은 POM을 이용하여 남해동부해역 해수유동 특성을 연구하였다. 최병중(2001)은 POM을 이용하여 단순직각모형에서 하천플룸의 거동에 영향을 미치는 여러 파라미터에 대한 수치계산을 수행하였으며, 신은주 등(2002)은 POM의 변형모델인 ECOM-si를 이용하여 조석과 편향력의 유무에 따른 금강 플룸의 구조와 분포를 수치계산하였다. 주귀홍(2002) 및 윤은찬 (2003)은 POM을 이용하여

조석과 밀도차를 고려한 수치계산을 통하여 낙동강 하천플룸의 거동을 해석하였다. Kim(2003)은 POM을 이용하여 연안유출수의 혼합거동에 대한 모델 파라미터화에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 대상해역의 조석을 기본외력으로 고려하여 모델을 검증하고 현장관측이 수행된 2005년 7월의 실제 섬진강 유출을 고려한 수치시뮬레이션을 수행하여 현장관측 결과와 비교·분석하였다.

2.2.2 수치계산의 개요

Fig. 2는 수치계산의 대상영역과 격자망을 나타내며 여수해만, 광양만, 대도수도, 노량수도, 진주만, 강진만 및 사천만 일대 해역을 포함하여 구성하였고 격자간격은 수평면상 x, y 방향에서 격자간격 250m의 $184 \times 172(46\text{km} \times 43\text{km})$ 격자망으로 이루어져 있으며, 연직방향으로는 $\Delta\sigma$ 가 0.2인 5개의 등간격 층으로 나뉘어졌다. 외부모드의 Time step은 2초, 내부모드의 Time step은 10초를 사용하였으며 이 값들은 CFL 안정조건을 만족한다. 수평확산계수는 Kantha (1995)의 연구에 기초한 Smagorinsky 확산계수를 사용하였다. 해수의 밀도는 $1,025 \text{ kg/m}^3$ 이고 초기염분과 수온은 하계 현장관측 자료의 표층수온 및 염분분포로부터 모든 수평 및 연직격자상에서 각각 34psu과 20°C 로 일정하게 주어졌다.

본 연구에서는 담수혼합과 확산에 의한 밀도차만 고려하고 대기·해양간의 열수지에 의한 열의 확산은 고려하지 않았다. 이는 염분은 보존성 물질로서 하구에서 밀도차를 일으키는 주요인인 반면에 수온은 해수와 하천수와의 수온차에 의한 밀도차는 매우 작을 것으로 판단되어 본 연구에서는 열확산은 고려하지 않았다.

수치계산은 두 가지 경우로 나뉘어 수행되었다. 첫 번째는 섬진강 연평균 유출량 $120\text{m}^3/\text{s}$ (이석우, 1994)와 조석만을 고

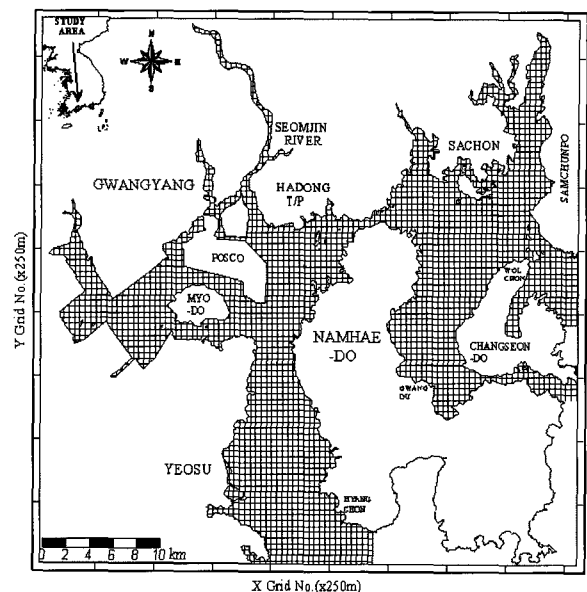


Fig. 2 Computational grid system

려하여 기존 조석 자료와 비교 검증하였으며, 두 번째는 홍수기 연구해역의 염분 관측자료와 비교하기 위하여 조석과 홍수기 연구해역으로 유입되는 송정수위관측소 유량 $600m^3/s$ (7월 2일~7월 6일 일평균)을 섬진강 유출수로 고려한 창·낙조류 최강류시의 표층수평염분분포의 변화를 고찰하였다.

2.2.3 경계조건

개방경계에서 조위는 Table 1의 조석조화상수를 이용하여 선형보간하여 개경계에서 강제조위를 주었으며 Fig. 3은 조위와 조류에 대한 검증점들을 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해양관측결과

연구해역의 하계 대조기 최강 창조·낙조류시 13개 정점에서 얻어진 염분 자료는 관측시점별로 구분한 후, 표층에서 저층까지 연직분포 경향을 정리하여 나타냈으며 관측해역과 인접한 기상 관측소 30년 통계 자료와 관측시기의 기온 및 강수량을 Table 2과 같이 나타내었다.

대조기(2005년 7월 6일 ~ 2005년 7월 7일) 최강 낙조류시 (7월 6일 08시 44분) 연구해역 13개의 정점에서 측정된 염분의 표층 변동범위는 24psu에서 34.5psu로 나타났다(Table 3). 공간적으로 표층은 섬진강하구에서 유입되는 담수에 의해 낮은 염분을 보이거나 외해로 갈수록 그 농도가 회복되는 현상이 나타났다. 중층에서는 전체적으로 30psu 이상으로 균일하나 여수산단 제2처리장 부근의 염분이 상대적 저염으로 나타났으며 여수 인근해역이 남해 인근해역보다 저염으로 나타났다. 저층의 염분은 중층보다 다소 높으나 비슷한 현상을 나타내고 있다(Fig. 4).

대조기(2005년 7월 6일 ~ 2005년 7월 7일) 최강 창조류시 (7월 7일 15시 26분) 13개 정점에서 측정된 염분의 표층 변동범위는 25psu에서 33.5psu로 나타났다(Table 4). 최강 낙조류시와 마찬가지로 섬진강 하구의 담수 영향으로 만해 측은 낮은 염분을 보이고, 여수산단 제2처리장 부근 염분이 낮게 나타났다. 중층에서는 전체적으로 30psu 이상으로 균일하고 최강 낙조류시 중층과 비교해서 외해로 갈수록 농도 회복이 선명하다. 저층의 염분농도는 다소 회복되지만 나타나는 현상은 중층과 비슷하다(Fig. 4).

Table 1 Tidal harmonic constants at the open boundary

Location	M_2		S_2		K_1		O_1	
	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)
Lower left	0.982	253.0	0.453	280.3	0.188	174.6	0.126	150.2
Lower right	0.979	252.3	0.451	279.8	0.185	174.6	0.125	150.2
Changsun	0.852	248.5	0.414	272.7	0.165	170.0	0.111	150.4
Samchunpo	0.852	253.7	0.414	274.1	0.164	172.4	0.110	150.9

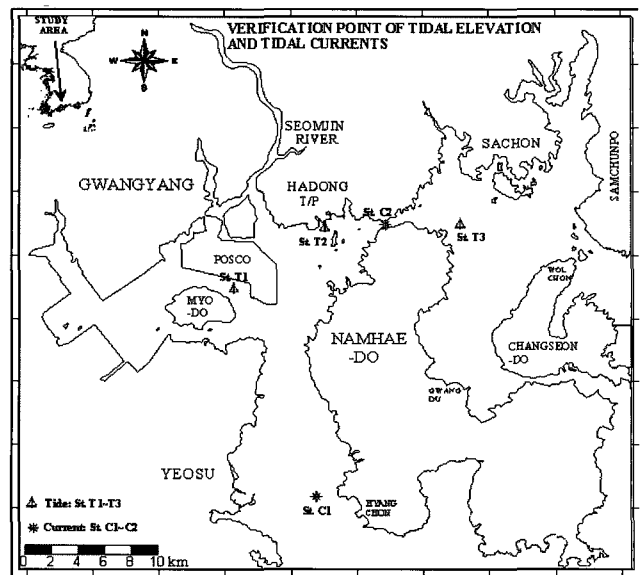


Fig. 3 Position of model verification points

Table 2 Atmospheric data

Location	Date	Mean temperature (°C)	Min temperature (°C)	Max temperature (°C)	Rainfall (mm)
Yeosu	30 year	24.3	22.1	27.2	257.4
Station	2005/7	24.1	22.2	26.7	237.5
Namhae	30 year	24.9	21.9	28.8	321.8
Station	2005/7	24.8	21.6	29.1	236.5

Table 3 Distribution of salinity in maximum floodf low

Date	Layer	Salinity (psu)		
		Minimum	Mean	Maximum
2005.07.06	Surface	24.0	29.0	34.5
	Middle	32.7	33.8	34.5
	Bottom	33.7	34.2	34.5

Table 4 Distribution of salinity in maximum ebb flow

Date	Layer	Salinity (psu)		
		Minimum	Mean	Maximum
2005.07.07	surface	25.0	30.1	33.5
	middle	33.1	33.9	34.4
	bottom	33.7	34.1	34.4

3.2 조위·조류 검증결과

조위 검증점 T1~T3의 값은 국립해양조사원의 한국연안조석 조화상수표의 관측된 조위와 참고문헌을 통해 얻어진 조위값과 수치계산을 통해 계산된 조위를 비교·검증하였다. Fig. 5은 광양항, 하동화력발전소, 사천의 3개 지점에서 조위계산결과와 실측결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 각 정점들에서 조위는 지점별로 약간의 오차를 가지고 있지만 전체적으로 조위의 패턴은 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. C1, C2는 국립해양조사원에서 1998년 7월 17일부터 8월 15일, 2005년 4월

14일부터 5월 16일까지 두 정점 표층(수심 5m)에서 각각 연속측류한 지점들이다.

Fig. 6은 대조기의 표층에서 계산된 25시간동안의 유속자료를 관측결과와 비교한 조류타원도이다. 정점 C1, C2에서 유속의 방향과 크기는 전체적으로 잘 일치함을 확인할 수 있고 관측치의 분산성이 큰 것은 관측기간이 길고 바람의 영향 등이 크게 작용하였기 때문인 것으로 사료된다.

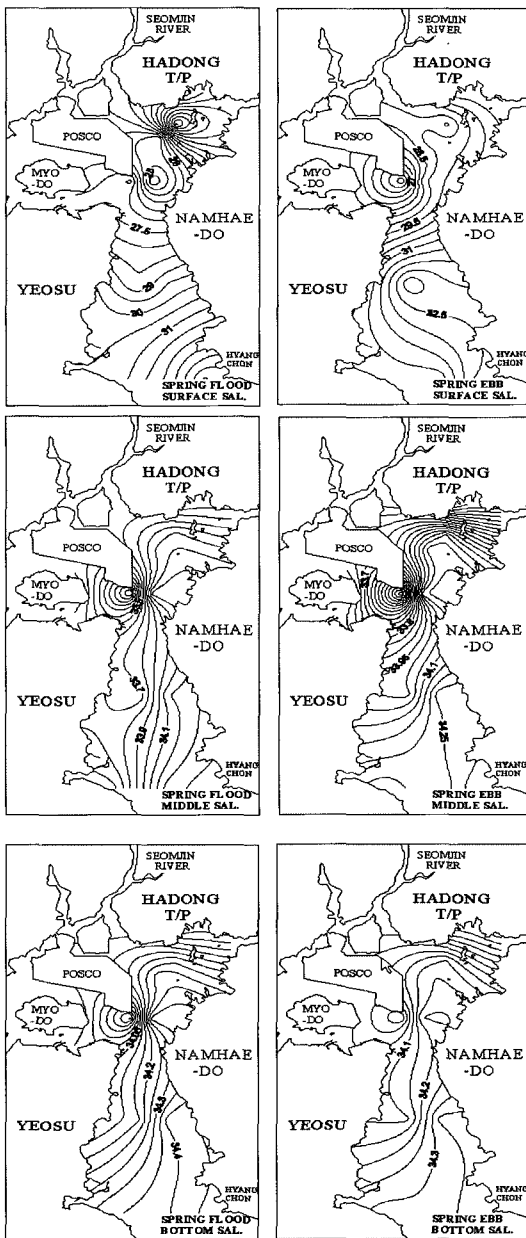


Fig. 4 Horizontal distribution of surface, middle, bottom salinity in maximum spring flood(left) and ebb(right) flow

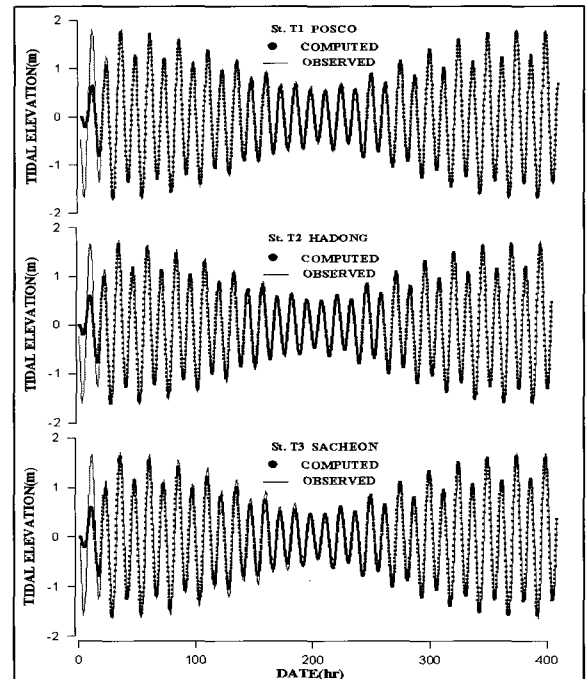


Fig. 5 Comparisons between observed and computed tide at tide observation station(T1~T3)

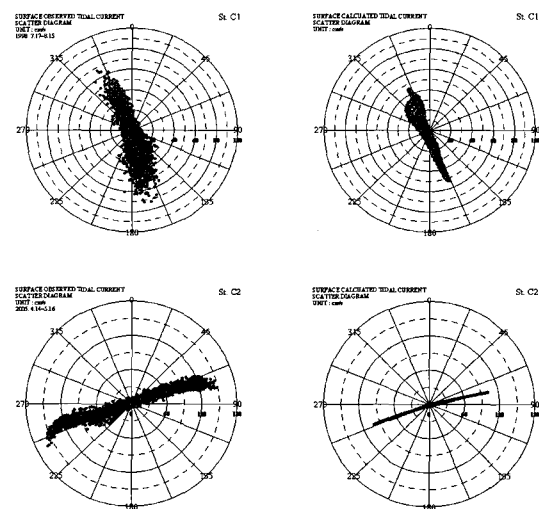


Fig. 6 Comparisons between observed and computed tidal current scatter diagram

3.3 평수기 하천유출수의 영향 예측

상기의 모델검증 결과를 토대로 Fig. 7, Fig. 8은 조석과 섬진강 연평균 유출량 $120m^3/s$, 하동화력발전소 온배수 방류량 $104m^3/s$ 을 고려한 3차원 해수유동 수치계산결과와 유속벡터도로서 각각 대조기 최강 창조류시와 낙조류시의 유동패턴을 나타낸다. 수치계산으로 재현된 유동패턴은 광양만 주변해역의 창조류시 창선도 북측의 삼천포수도 및 서수도를 통하여 북서류하여 진주만에 진입한 조류는 북측의 사천만과 남측의 강진만으로 갈라지면서 일부는 비토도 남측의 향기도에 달한다. 여수해만을 북진하는 조류의 대부분은 광양만 및 섬진강 하구에 진입하며 그 나머지는 대도수도를 통과하고 노량수도를 지나면서 동류하면서 진주만의 향기도를 중심으로 서류한 삼천포항에서 진입한 조류와 조우하며 그 일부는 남측의 강진만에 영향을 미친다. 한편, 창선도 남측의 창선해협을 통하여 서류한 조류는 강진만 남측해역의 해수유동에 영향을 미친다. 이상과 같이 각각 3곳에서 진입한 조류는 강진만 남측해역에서 서로 균형을 이루며, 비록 최강류 시점의 조시일지라도 이 부근에서는 조류의 크기가 아주 미약하게 나타나는 정체역을 보인다. 그리고 낙조류시는 대체적으로 창조류시와 반대방향의 흐름양상을 보이는 일반적인 조류패턴을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 8 및 Fig. 9에서 조류벡터도는 흐름 양상을 용이하게 판단하도록 하기 위하여 2격자 간격으로 각 유속벡터를 도시하였다

Fig. 9는 조석잔차류를 나타내고 있다. 복잡한 지형 등의 영향으로 잔차류 패턴은 국지성 와류 발생 등으로 복잡한 흐름양상을 보이는데, 노량수도 서측의 대도 남측해역에서 시계방향의 와류가 나타나며, 노량수도 동측에서는 서류가 지배적으로 나타난다. 창선도 북측해역에서는 반시계방향의 와류가 탁월하게 나타나며 창선해협을 통한 흐름은 대체로 미약한 서류의 조석잔차류를 보인다. Fig. 9에서 조석잔차류 계산결과와 와류의 양상이 잘 보이도록 1격자당 1개의 유속벡터를 도시하였다.

3.4 홍수기 하천유출수의 영향 예측

상기의 검증된 수치계산결과를 토대로 해양관측시기인 섬진강 하천유출량을 고려한 수치계산에서 Fig. 10과 같이 연평균 유출량을 고려한 결과와 비교해 볼 때 대조기 최강 창조류시 섬진강 하구역과 대도수도 인근해역에서의 표층유속은 감소한 반면 묘도 북측수로에서 흐름은 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 섬진강 하구역의 표층 최강유속은 $56.1cm/s$ 이며 저층 최강유속은 $9.8cm/s$ 이다. 표층과 중층에서의 유속의 변화는 거의 나타나지 않았으며 저층에서는 표층과 비교하여 유속이 다소 감소하고 있음을 알 수 있었다.

연평균 유출량을 고려한 결과와 비교해 볼 때 저층에서의 유속분포 역시 광양만 입구와 묘도 북측수로에서 증가하고 있음을 볼 수 있다(Fig. 11). 이는 섬진강 하구역에서의 유출량의 증가가 광양만 만내로의 흐름을 증가시키는 것으로 사료된다.

Fig. 12, Fig. 13는 대조기 최강 낙조류시의 표·저층 유속분포를 나타내고 있다. 최강 낙조류시의 흐름 역시 표층과 중층에서의 수평유속의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 섬진강 하

구역의 표층 최강유속은 $73.4cm/s$, 저층 최강유속은 $6.2cm/s$ 로 나타났다. 연평균 유출량을 고려한 결과와 비교해 볼 때 섬진강 하구역과 묘도 북측수로에서의 흐름이 크게 증가하고 있음을 알 수 있었으며, 남쪽으로 내려올수록 연직유속의 차가 작아지고 있음을 알 수 있었다. 이는 섬진강 하구역에서의 수심변화와 밀도류 등에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig. 14 및 Fig. 15은 대조기 최강 창조류시의 표층·저층 염분수평분포이다. 대조기 최강 창조류시 표층 염분수평분포는 섬진강 하구역과 대도를 중심으로 $27.0psu$ 에서 $30.0psu$ 의 등염분선을 나타냈으며 광양만 입구를 지나 여수해만 외해쪽으로 갈수록 $31.0psu$ 에서 $33.5psu$ 로 염분 농도가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 한편, 연구해역의 유동장을 고려해 볼 때 섬진강에서 방류되는 하천수의 거동이 조류의 영향으로 인하여 대도 인근해역에서 염분 분포가 낮게 형성되는 것으로 보여지며, 여수해만에서 북진하는 창조류 흐름의 대부분이 광양만 내로 강한 흐름을 형성하고 있듯이 창조류시 섬진강 담수의 영향이 광양만내 수평염분분포에도 영향을 줄 것으로 사료된다. 저층의 창조류시 염분분포도 또한 표층 염분수평분포도와 전체적으로 유사하게 나타나며 조류의 흐름과 지형에 따른 염분 농도가 상대적으로 높게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 16 및 Fig. 17은 대조기 최강 낙조류시의 표층·저층 염분수평분포이다. 대조기 최강 낙조류시 표층 염분수평분포는 섬진강 하구역과 대도 인근해역을 중심으로 $26.0psu$ 에서 $30.0psu$ 의 등염분선을 나타냈으며 광양제철 공업단지 인근해역과 광양만 입구에서 $25.0psu$ 에서 $28.0psu$ 의 염분분포를 나타내고 있다. 여수해만 외해쪽으로 갈수록 창조류시의 염분분포도 $0.5\sim 1.0psu$ 정도의 낮은 염분분포를 나타내고 있으며, 창조류와 마찬가지로 연구해역의 낙조류 우세의 유동장을 고려해 볼 때 섬진강에서 방류되는 하천수의 흐름이 조류의 영향으로 외해쪽으로 더 확장되는 것으로 보여지며 대도 인근해역 염분분포도 또한 여수해만 쪽으로 더 낮게 분포하고 있음을 알 수 있었다. 저층 염분분포도 또한 표층 염분수평분포도와 전체적으로 유사하게 나타나며 표층에 비해 염분 농도가 상대적으로 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 광양만으로 유입되는 섬진강 유출수의 3차원 거동특성을 연구하기 위하여 하계 연구해역의 13개 정점에서 염분 현장관측을 실시하였으며 3차원 경업수치모델(POM)을 연구해역에 적용하여 조석 및 하천유출에 의한 3차원 해수유동 변화를 파악하였고 기존 조위관측 자료를 토대로 모델을 검증하였다. 현장관측결과 표층에서 염분전선은 대조기 최강 낙조류시 광양만 입구와 섬진강 하구에서 $24psu$ 의 약한 염분전선을 형성하고 외해쪽으로 갈수록 그 농도가 회복되는 현상을 나타내고 있다.

최강 창조류시 염분의 표층 변동범위는 $25psu$ 에서 $33.5psu$ 로 나타났으며 최강 낙조류시와 마찬가지로 섬진강 하구의 담수 영향으로 만내 측은 낮은 염분을 보이고, 여수산단 제2처리

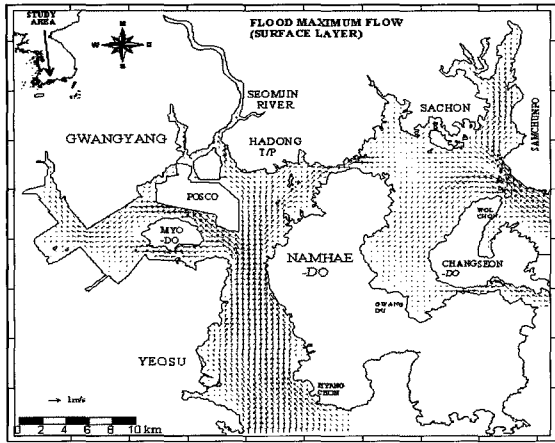


Fig. 7 Vector diagram of surface layer at maximum flood tidal current during spring tide

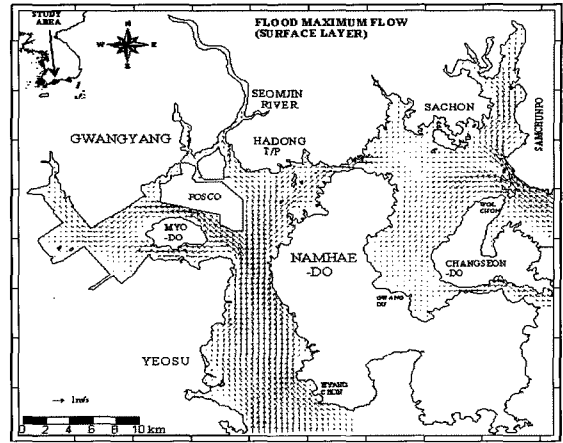


Fig. 10 Vector diagram of surface layer at maximum flood tidal current during spring tide

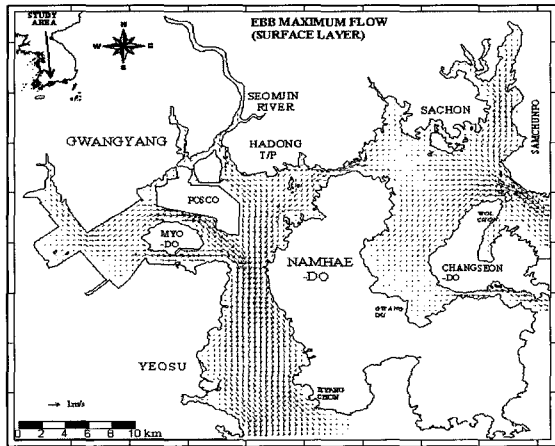


Fig. 8 Vector diagram of surface layer at maximum ebb tidal current during spring tide

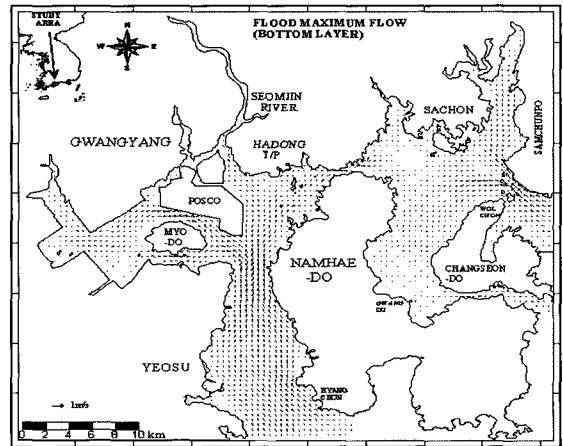


Fig. 11 Vector diagram of bottom layer at maximum flood tidal current during spring tide

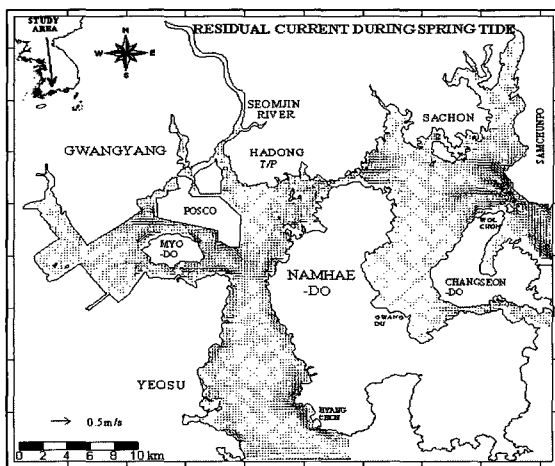


Fig. 9 Vector diagram of residual tidal current

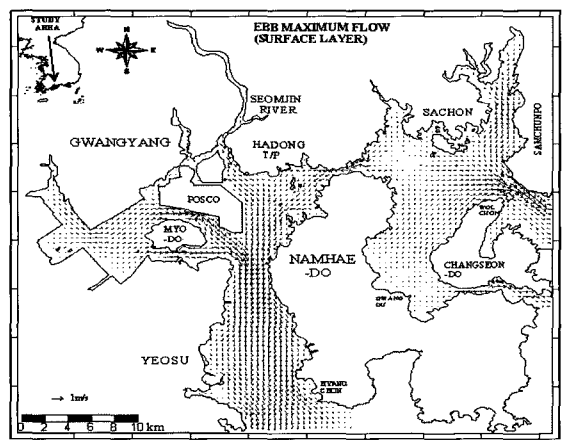


Fig. 12 Vector diagram of surface layer at maximum ebb tidal current during spring tide

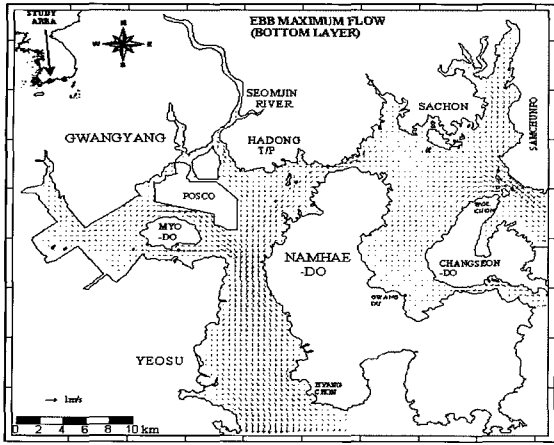


Fig. 13 Vector diagram of bottom layer at maximum ebb tidal current during spring tide

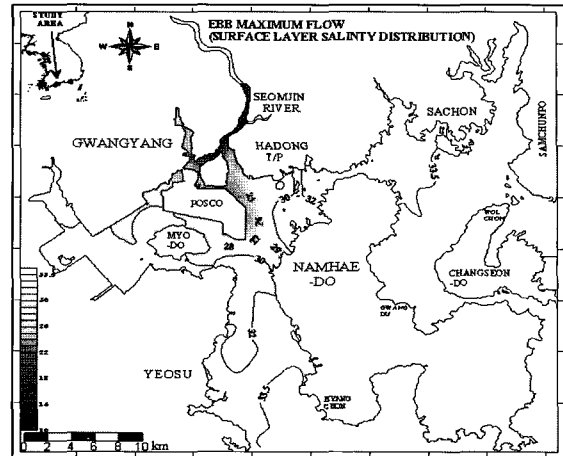


Fig. 16 Horizontal salinity distribution of surface layer at maximum ebb flow during spring tide

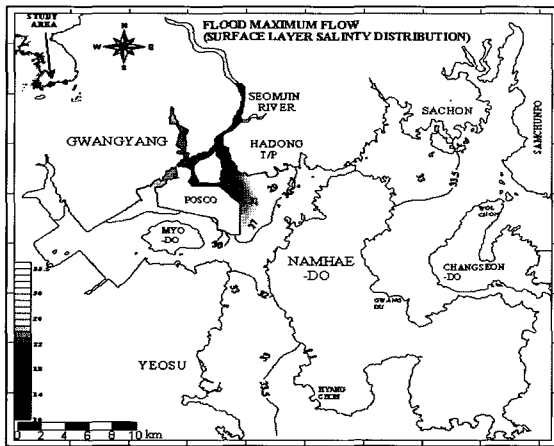


Fig. 14 Horizontal salinity distribution of surface layer at maximum flood flow during spring tide

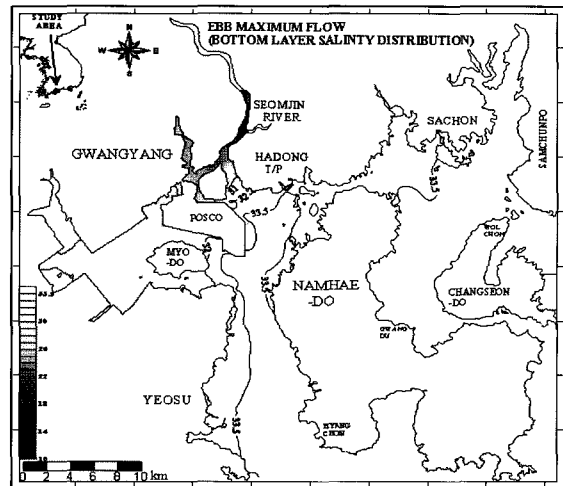


Fig. 17 Horizontal salinity distribution of bottom layer at maximum ebb flow during spring tide

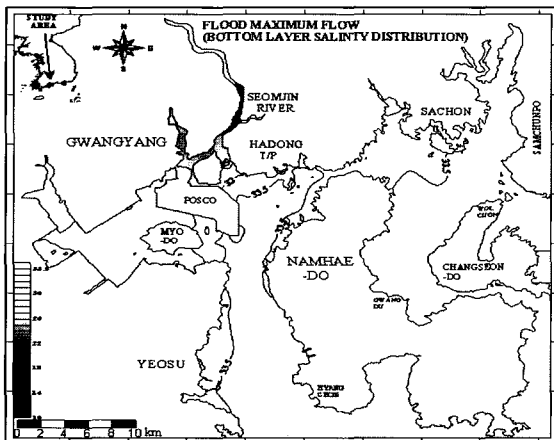


Fig. 15 Horizontal salinity distribution of bottom layer at maximum flood flow during spring tide

장 부근에서 염분전선이 낮게 형성되었다. 해양관측기간의 실제하천유량과 조석을 고려한 수치시뮬레이션에서도 대조기 최강 창조류시 섬진강 하구와 하동화력발전소 주변수역은 25psu에서 30psu 범위의 염분분포를 나타냈으며 해양관측 결과와 공간적으로 조금 차이는 있지만 섬진강 하구와 여수해만 외해쪽의 표층 변동범위를 볼 때 25psu에서 33.5psu로 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. 최강 낙조류시 표층염분분포는 24psu에서 33.5psu로 나타났으며, 해양관측 결과와 마찬가지로 섬진강 하구와 광양만 입구쪽에서 낮은 염분전선을 형성하고 있으며 외해쪽으로 갈수록 염분농도가 회복되는 현상을 나타내고 있다. 해양관측과 수치시뮬레이션 결과를 볼 때 연구해역의 섬진강 하천수의 수평염분 분포는 조류의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양수산기술진흥원의 수산특정연구개발사업으로 수행된 연구결과의 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강태순 (1999). "3차원 해양순환모델을 이용한 남해동부해역 해수 유동 특성연구," 공학석사학위논문, 부경대학교, pp 1-109.
 신은주, 이상호, 최현용 (2002). "금강플룸의 구조와 분포에 대한 수치모델 연구," 한국해양학회지, 제7권 3호, pp 157-170.
 이석우 (1994). "한국항만수리지," 집문당.
 윤은찬 (2003). "낙동강 하천플룸의 3차원 혼합거동 특성 해석," 공학석사학위논문, 부경대학교, pp 1-87.
 주귀홍 (2002). "낙동강 하천유출수의 3차원 거동 해석," 공학 박사학위논문, 부경대학교, pp 1-119.
 추효상 (2000). "울릉공단 건설 전 광양만 서부해역의 계절별 수괴 특성," 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 제9권, pp 1-13.
 최병중 (2001). "3차원 해수유동모델을 이용한 담수유출의 혼합거동에 관한 연구," 공학석사학위논문, 부경대학교, pp 1-53.
 Bang, I.W. and Lie, H.J. (1999). "A Numerical Experiment on the Dispersion of the Changjiang River." J. Oceanogr. Soc. Korea, 34, pp 185-199.
 Blumberg, A.F. and Mellor, G.L. (1987). "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model." Three-Dimensional Coastal Ocean Model, N. S. Heaps, ed, Vol. 4, American Geophysical Union, Washington, D.C, pp 1-16.
 Ezer, T. and Mellor, G.L. (2000). "Sensitivity studies with the

North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model," Dynamics of atmos. and oceans, 32, pp 185-208.
 Kantha, L.H. (1995). "Barotropic tides in the global ocean from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tides," J. of Geophys. Res., 100(C12), pp 25283-25308.
 Kim, J.K. (2003). "Model parametrization on the behavior of coastal discharge," J. of Ocean Engineering and Technology, 7(2), pp 1-7.
 Kourafalou, V.H., Oey, L.Y., John, D.W. and Thomas, N.L. (1996 "a"). "The fate of river discharge on the continental shelf," 1. Modeling the river plume and inner shelf coastal current, J. of Geophys. Res., 101(C2), pp 3415-3434.
 Kourafalou, V.H., Oey, L.Y., John, D.W. and Thomas, N.L. (1996 "b"). "The fate of river discharge on the continental shelf, 2, Transport of coastal low-salinity water under realistic wind and tidal forcing," J. of Geophys. Res., 101(C2), pp 3435-3455.
 Oey, L.Y. (1996). "Simulation of mesoscale variability in the Gulf of Mexico : Sensitivity studies," J. of Geophys. Res., 101(C7), pp 16 667-16 682.
 Pullen, J.D. and Allen, J.S. (2002). "Modelling studies of the coastal circulation off Northern California : Shelf response to a major Eel river flood event," J. Conti. Shelf Res., 22, pp 2213-2238.
 Smagorinsky, J. (1963). "General Circulation experiments with the primitive equations, I. basic experiment," Mon. Weather Rev., 91, pp 99-164.

2006년 6월 8일 원고 접수

2006년 7월 24일 최종 수정본 채택