

위성영상 및 수치모델을 이용한 낙동강유출 부유토사 확산범위 추정

황재동^{1*} · 강용균² · 서영상¹ · 조규대² · 박성은² · 장이현¹ · 이나경¹

Estimation of the Range of the Suspended Solid from
the Nakdong River using Satellite Imageries and
Numerical Model

Jae-Dong HWANG^{1*} · Yong Q. KANG² · Yong-Sang SUH¹ ·
Kyu Dae CHO² · Sung Eun PARK² · Lee-Hyun JANG¹ · Na Kyung LEE¹

요 약

위성영상과 수치모델을 이용하여 낙동강유출 부유토사의 확산범위를 구해 낙동강유출수의 영향을 간접적으로 이해하고자 하였다. 수심을 적분한 2차원모델을 이용하여 유속장 계산 결과를 보면 창조시 부산에서 진해만과 거제도방향으로 흐름이 보였으며, 낙조시에는 창조시와 반대의 흐름을 보였다. 유속의 크기는 외양이 연안보다 크게 나타났다. 12시간 조시 평균에 의한 잔차류는 남서에서 북동방향의 흐름이 우세하게 나타났으며, 가덕도 동안에서는 동쪽으로 향하는 흐름이 나타났다. 이와 같은 유속장을 기반으로 부유토사의 확산 정도를 라그랑지 방법인 수치추적자 방법을 이용하여 구했다. 그 결과, 낙동강유출 부유토사의 범위는 가덕도 동안에서 부산방향으로 나타났다. SeaWiFS와 LANDSAT위성자료로 추정된 낙동강 유출부유토사의 확산범위는 수치모델의 결과와 비슷한 양상을 나타내었다.

주요어: 위성영상, 수치모델, 수치추적자방법, 낙동강, LANDSAT, SeaWiFS.

ABSTRACT

We were trying to understand indirectly the range of the discharge from the Nakdong with the dispersion of suspended solid(SS) related to the amount of discharge from river in this study. The range of dispersion of SS from the Nakdong was estimated using satellite remote sensing and numerical modeling. The stream field with two dimensional and numerical model using the condition of integrated depth was calculated. According to the results, the streamline flowed from Busan to the Jinhae Bay and Geojae Island. at the flood. The situation at the ebb was totally changed. The streamline flowed out Busan from the Bay. The velocity in offshore was faster than one at coastal water of the

2002년 3월 23일 접수 Received on March 23, 2002 / 2002년 5월 28일 심사완료 Accepted on May 28, 2002

¹ 국립수산물과학원 Oceanographic Division, National Fisheries Research and Development Institute

² 부경대학교 해양학과 Department of Oceanography, Pukyong National University

* 연락처 E-mail: oceaninf@dreamwiz.com

Nakdong. Residual current which was averaged during 12hours dominantly appeared the dominant direction from the southwestern part of the Nakdong to the northeastern part of it. The eastward current appeared at the eastern coast of Gaduck Is. Base on the results of the velocity field, the quantifying of the dispersion of SS was estimated by the method of numerical tracer related to the Lagrangian method. The significant range of the dispersion of the SS from the Nakdong was from the eastern coast of Gaduck Is. to the coastal areas of Busan, Korea. The estimated range of the dispersion of the SS using the SeaWiFS and Landsat satellite data was similar to the estimated results using the numerical model.

KEYWORDS: *Satellite Imagery, Numerical Model, Numerical Tracer Model, Nakdong River, LANDSAT, SeaWiFS.*

서 론

낙동강하구역은 지리적으로 우리나라 동남부에 위치해 있으며, 서쪽으로 수심 35m 이내의 반 폐쇄성의 진해만을 두고, 동쪽으로 부산항과 남쪽으로 쓰시마 난류수가 흐르는 남해와 연결되어 있다. 일반적으로 하구역은 담수와 해수의 혼합이 일어나는 지역이며, 풍부한 영양염류와 유기물에 의해 기초 생산력이 높은 곳으로 알려져 있다(Mann과 Lazier, 1991). 낙동강하구에 대해 이대인 등(2000)은 식물플랑크톤의 극대역 변동과 같이 생물학적인 연구를 수행한 바 있다.

낙동강 주변인 진해만과 부산항은 지역적 특성과 경제활동으로 인해 많은 연구가 이루어졌다. 최우정 등(1994)은 수치모델을 통해 진해만의 용존산소를 연구하였으며, 장선덕 등(1993)은 현장관측 및 수리모형실험을 통해 진해만의 조류를 연구하였다. 또한 정연철(1997)은 수치모델을 통해 실시간 유류확산을 연구하였다. 그러나 이들 연구는 주로 지역적 현상만 연구했을 뿐 낙동강이 이들 지역에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 낙동강 주변해역에 대한 낙동강의 영향을 살펴보는 것도 환경적인 측면에서 중요하리라 생각된다.

본 연구에서는 부유토사의 거동경로를 파악하여 낙동강 주변역에 대한 낙동강의 영향은

살펴보고자 한다. 부유토사는 입자성 물질로 수치모델링의 한 부분인 확산방정식을 처리하기 위해 사용하는 라그랑지안(Lagrangian) 모델링인 입자추적방법에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 본 연구에 수치모델링을 도입한 것은 수치모델링이 현장관측의 단점인 동시공간적인 특성을 파악할 수 없다는 것을 극복한 장점을 지니고 있다는 것이며 또한 물리적 변화를 쉽게 예측할 수 있기 때문이다. 따라서 이런 장점을 지닌 수치모델링 기법을 이용하여 동시공간적인 부유토사의 거동을 구명하고 낙동강의 영향권을 파악하고자한다.

최근 정중철(2001a; 2001b)은 LANDSAT TM 자료를 이용한 시화호에서의 부유사 연구와 SeaWiFS 위성자료를 이용하여 서해와 동해에서의 생물 광학적 환경에 대한 연구를 하였고, 서영상 등(1993)은 NOAA 위성 가시영역자료와 서해의 탁한 해수간의 관계성으로 투명도 분포를 정량화 하였다. 본 연구에서는 LANDSAT TM 및 SeaWiFS 인공위성영상자료를 이용하여 낙동강 하구역에서 부유현탁물질 분포도를 추정하고 홍수시 낙동강 주변해역에 대한 낙동강의 영향권을 파악함은 물론, 발생기원이 낙동강방출, 재부유 등에 의한 부유토사가 조류 및 항류에 의해 우리 나라 동남부 해역으로의 거동함을 추정하고자 한다.

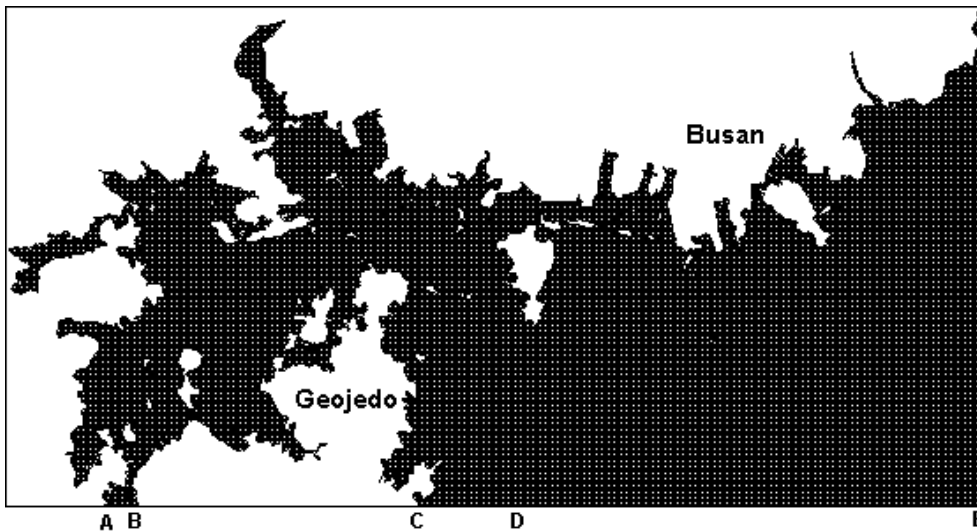


FIGURE 1. Grid system(200m) at the study area

자료 및 방법

해수의 유동을 구하기 위해 사용된 유동모델에서 격자간격은 동쪽 및 북쪽으로 각각 200m인 등방격자를 사용하였다. 따라서 유동모델에서는 396×206개의 계산격자를 사용한다(그림 1). 유동모델에 사용된 격자망은 확산모델에서 동일하게 적용된다. 계산에 필요한 수심은 해양조사원에서 발간한 해도 No. 202, No. 206 및 No. 4201를 이용하여 각 격자에서의 수심값으로 내삽하였다. 낙동강 방류량은 이대인 등(2000)에서 사용된 값 중 여름 평균값을 인용하였다(표 1).

TABLE 1. The estimation of discharge from the Nakdong river

		Nakdong river
Mean discharge (m ³ /day)	Summer	55,344,015
	Winter	8,840,192
	Autumn	25,809,755
	Summer, 1997	82,613,550
	Summer, 1998	158,727,333

유동모델에서 사용하는 경계조건 중 육지 경계조건은 육지에 대한 유속의 수직성분을 0으로 두는 No-normal 조건과 수평성분을 0으로 두는 No-slip 조건을 사용하였다. 개방경계조건은 해면의 변위를 사용하였다. 연구해역에는 쓰시마 난류의 영향으로 남서에서 북동방향의 유향을 가지는 항류가 있다. 따라서 해면의 변위는 조석과 항류성분을 사용하였다. 항류는 해안이나 수심에 따라 유속이 다르지만, 본 연구에는 계산의 편의상 15cm/s로 간주하였다. 또한 조석의 경계조건은 식(1)과 같은 조위 $\zeta(t)$ 로 입력하였다.

$$\zeta(t) = A \cos(\omega t - \phi) \quad (1)$$

우리나라 남해안은 하루에 해면승강이 2번 발생하는 반일주조가 해면승강이 1번 발생하는 일주조보다 매우 크기(황재동, 1993) 때문에 수치모델 계산시간을 절약하기 위해 반일주조의 진폭과 위상만 개방경계조건으로 사용하였다. 따라서 ω 는 주태음 반일주조인 M2 분조의 각속도 ($\omega = 28.984104^\circ/hr$)이며, A 와 ϕ 는 M2 분조의 진폭 및 위상이다. 모델에 사

용된 M2 분조의 진폭과 위상을 표 2(Kang 등, 1991)에 위치를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 도시된 A와 B, C와 D, D와 E, 그리고 E와 F 사이는 선형보간에 의해 값을 구하였다.

TABLE 2. Harmonic constant of M2 in each station

	Amplitude (cm)	Phase (°)
A	68.8	94.4
B	68.8	94.4
C	54.0	68.1
D	53.2	69.6
E	38.4	71.8
F	27.8	60.1

1. 유동모델

조석파는 파장이 수심보다 대단히 큰 파이기 때문에 표층에서 해저마찰에 의한 해저경계층까지의 조류의 유속은 같으며, 해저 경계층이 매우 작다고 가정한 천해장파이론을 도입하여 3차원 운동방정식과 연속방정식을 수심 적분하여 다음과 같은 2차원 운동방정식과 연속방정식으로 나타내었다(Choi, 1980).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{ku\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\zeta)} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{kv\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\zeta)} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)v] = 0 \quad (4)$$

식(2)와 (3)은 운동방정식의 동쪽(x방향) 성분과 북쪽(y방향)성분을 나타내며 식(4)는 연속방정식을 나타낸다. 여기서 ∂t 는 계산 시간 간격을 나타내며, ∂x 는 동쪽방향, ∂y 는 북쪽방향의 거리간격이며, u 와 v 는 각각 동쪽방향

및 북쪽방향의 유속을 나타낸다. f 는 코리올리스 파라미터로 $2\Omega \sin \theta$ 로 나타내며 Ω 는 지구 자전 각속도, θ 는 모델 계산해역의 위도로서 본 연구에서는 북위 35도를 적용하였다. g 는 지구중력가속도(9.8 m/s)이며, ζ 는 해면변위를 나타낸다. k 는 해저마찰계수이며 본 연구에서는 0.025를 사용하였다.

유한차분법을 도입하여 미분방정식인 운동방정식과 연속방정식을 각각 시간에 대해 전방차분, 공간에 대해 중앙차분으로 차분화시켜 계산하였다. 계산시간 간격인 Δt 는 안정도 조건을 만족하도록 식(5)와 같은 Courant-Friedrich-Lewy 조건을 사용하여 4.14초로 두었다(Choi, 1980).

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{\sqrt{2gh}} + Uc \quad (5)$$

여기서 Δs 는 격자간격, h 는 계산영역내의 최대수심을 나타내며, Uc 는 항류의 속도이다.

2. 확산모델

1) 난류유속

확산모델은 수치적 추적자방법을 사용하였다. 수치적 추적자 방법은 확산방정식을 차분화시켜 계산하는 방법에 비해 Numerical diffusion이 발생하지 않는 장점을 가지고 있다(Baptista et al., 1984). 수치적 추적자 방법은 확산입자를 수치적 입자로 가정하고 평균류와 난류에 의해 이동하는 수치적 입자를 추적하는 방법이다(Maire-Reimer and Sündermann, 1982). 시간 t 일때 위치 (x, y) 에 있는 입자들이, 시간 $t + \delta t$ 일 때 평균류와 난류에 의해 이동하여 놓일 위치를 $(x + \delta x, y + \delta y)$ 라 하면 δt 동안 공간이동 변위 $(\delta x, \delta y)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\delta x = (\bar{u} + u') \delta t \quad (6)$$

$$\delta y = (\bar{v} + v') \delta t \quad (7)$$

여기서 \bar{u} 와 \bar{v} 는 평균류이며 유동모델에

의해 구해진 값을 이용한다. u' 와 v' 는 난류의 유속이다. 난류의 유속을 구하기 위해 다음 식과 같이 난류장의 강도에 따라 결정되는 난류적 특성유속(turbulent characteristic velocity)인 U_b , V_b 를 먼저 구한다(Tayfun과 Wang, 1973; Larsen, 1983).

$$U_b = \sqrt{\frac{6A_x}{\delta t}} \quad (8)$$

$$V_b = \sqrt{\frac{6A_y}{\delta t}} \quad (9)$$

여기서 A_x 와 A_y 는 와확산 계수이며 본 연구에서는 $1m^2/sec$ 로 주었다(이문진, 1991). 난류의 유속범위는 특성유속장을 벗어날 수 없으므로 난류적 특성유속에다 $[-1,1]$ 사이의 균일 분포 난수(uniform random number)를 곱하였다. 따라서 난류의 유속은 다음과 같이 표현된다.

$$u' = U_b \times RN \quad (10)$$

$$v' = V_b \times RN \quad (11)$$

여기서 RN 은 $[-1,1]$ 사이의 균일분포 난수이다.

2) 물질의 감쇠

해수 중 오염물의 침강 등으로 인한 입자 갯수의 감소는

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha N \quad (12)$$

이라고 가정한다. 여기서 α 는 감쇠계수이며, 오염물의 체류시간이 짧을수록 큰 값을 가진다. 식(12)를 유한차분화 시키면

$$N^{t+1} = N^t(1-\alpha\delta t) \quad (13)$$

로 주어진다. 여기서 N^t 는 시간 t 일 때 입자의 개수이면, N^{t+1} 은 시간 $t+\delta t$ 일 때 입자의 개수이다. $(1-\alpha\delta t)$ 는 오염물의 잔존을 나타낸다. 시간 δt 동안 입자가 소멸할 확율은 $\alpha\delta t$ 이고, 존속할 확율은 $(1-\alpha\delta t)$ 인 점을 이용하여 $[0,1]$ 사이의 난수를 발생시켜 0과 $\alpha\delta t$ 사이

에 있으면 그 입자는 소멸된 것으로 취급하고 $\alpha\delta t$ 와 1사이에 있으면 계속 부유하고 있는 것으로 취급하였다.

부유토사는 중력에 의해 시간이 지나면 아래로 침강한다. 침강속도는 주로 입자의 크기와 비중에 의해 결정되는데 입자의 크기와 비중이 크면 클수록 침강 속도가 빠르다. 수온 $20^\circ C$ 해수에서 비중이 2.65인 부유토사의 입자 크기에 따른 침강속도를 표 3에 나타내었다 (Buller와 McManus, 1979).

TABLE 3. SS sinking rate with particle size (temp. : $20^\circ C$, specific volume : 2.65)

Φ	size (mm)	sinking rate (cm/s)	sinking time over 10m
4	0.063	0.345	0.80 (hour)
5	0.0213	0.086	3.30 (hour)
6	0.0156	0.0216	12.80 (hour)
7	0.0078	0.00538	2.15 (day)
8	0.0039	0.00135	8.50 (day)
9	0.00195	0.00034	34.00 (day)
10	0.00098	0.000085	136.00 (day)

3. 위성영상

미국의 지구관측위성인 LANDSAT의 TM 감지기가 1997년 5월 17일 관측한 red, green, blue band 자료를 조합하여 낙동강 주변에서 부유현탁물질의 분포를 추정하였다(그림 2).

미국의 해양수색 위성인 Orbview-2에 탑재된 SeaWiFS 감지기가 2001년 8월 1일 관측한 한국근해의 공간 해상도 1km의 영상자료로부터 부유성 고형물질(SS) 분포와 밀접한 관련성을 가진 nLw(normalized water leaving radiance)의 490nm 및 555nm의 비 값(nLw490/nLw555)을 나타내었다(그림 3). 또한 부유성 고형물질 중 유기물질의 대부분을 차지하는 식물플랑크톤량이 해류의 유동에 밀접한 관련성을 보임을 나타내기 위해 식(14)와 같은 SeaBAM(SeaWiFS Bio-optical Mini-workshop)의 OC2 클로로필-a 추정 알고리즘(O'Reilly 등, 1998)을 사용하

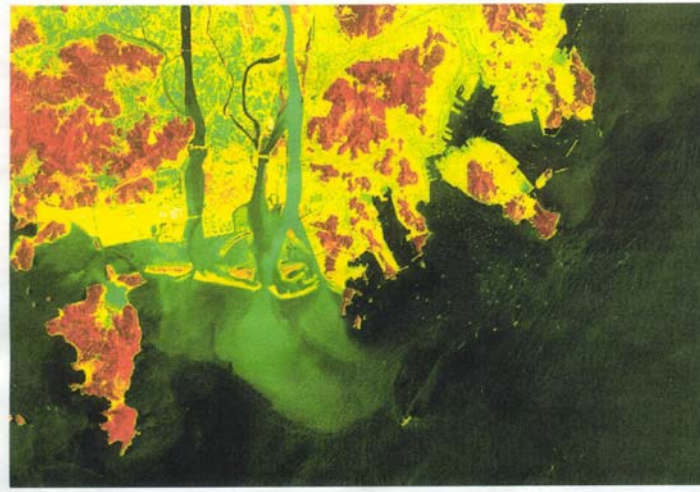


FIGURE 2. Composite imagery using the band ratio 5/3/2 of TM on Landsat in May 17th, 1997. Turbid water from the Nakdong River ran toward the southeastern coastal area

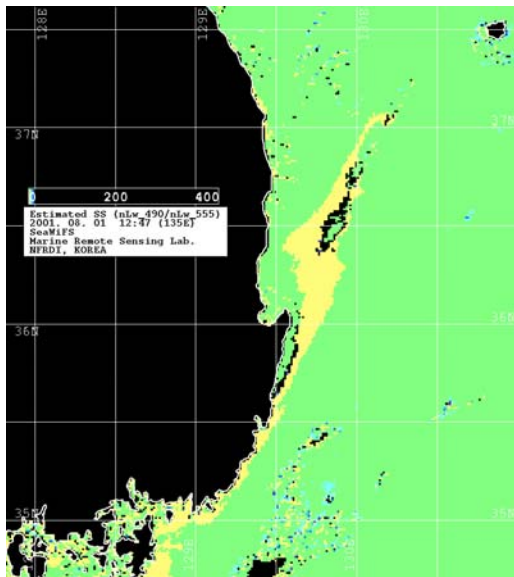


FIGURE 3. Distribution of the normalized water leaving radiance at 490/555nm of SeaWiFS satellite bands related to the suspended solid on August 1, 2001

여 부산근해와 동해남부연안의 클로로필-a 분포도를 작성하였다(그림 4).

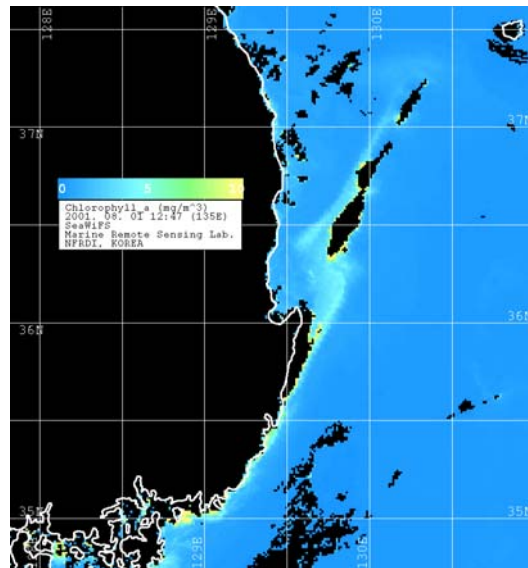


FIGURE 4. Distribution of the estimated chlorophyll-a (mg/m^3) from the SeaWiFS ocean color data on August 1, 2001

chlorophyll-a = $10^{(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3)} + a_4$ (14)
여기서, R은 SeaWiFS 채널의 490nm 와

555nm의 remote sensing reflectance의 비($\log(Rrs490/Rrs555)$)이며, $a_0=0.3410$, $a_1=-3.0010$, $a_2=2.8110$, $a_3=-2.0410$, $a_4=-0.0400$ 의 계수값을 가진다.

결 과

대기중의 미세물질이 바람에 의해 이동하듯이 해수 중에 존재하는 물질도 해수의 흐름에 의해 이동한다. 또한 부유물질이 해수의 흐름에 의해 이동하면서 동시에 확산현상이 발생하므로, 첫째 해수의 주 흐름을 구하고, 둘째 확산은 난류유속을 구하여 최종적으로 두 개의 유속을 더하여 해수 중에 존재하는 물질의 이동경로를 구명할 수 있다. 주 흐름은 유동모델에서 계산되며, 확산은 확산모델에서 계산된다.

모델검증을 위해 1986년과 1987년 수로기술연보에 기재된 수영만에서 관측된 M2조의 조류타원도와 모델수행 후 계산된 조류타원도를 비교하였다(그림 5). 두 조류타원도를 비교해보면 장축과 단축의 방향과 조류의 속도가 비교적 일치함을 알 수 있다.

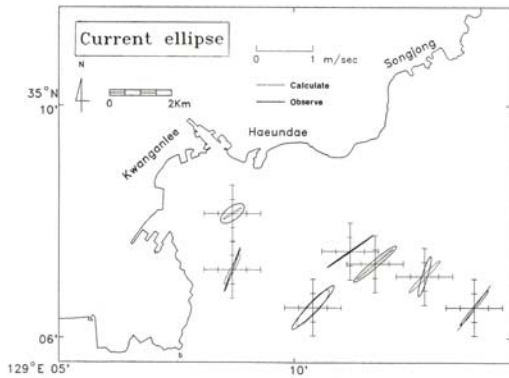


FIGURE 5. Tidal current ellipse in study area (Hwang, 1993)

유동모델 계산결과를 보면 창조시(밀물시)는 부산에서 진해만과 거제도 방향으로 해수의 흐름이 발생하였으며(그림 6), 일정한 양의 해수가 진해만으로 들어가고 나오기 때문에

폭이 작은 가덕수로에서 가덕수로를 따라 강한 흐름이 발생하였다. 연안은 외양보다 수심이 낮고 육지에 의한 마찰효과 때문에 유속의 크기는 외양에서 약 1m/s 정도였으며, 연안으로 접근할수록 작아져 연안부근에서는 0.1m/s보다 작은 흐름을 보였다. 낙조시(썰물시)는 창조시와 반대방향인 진해만과 거제도에서 부산방향으로 해수의 흐름이 발생하였다(그림 7). 유속의 크기는 창조때와 마찬가지로 외양에서 연안으로 접근할수록 약해졌다. 12시간 조시평균을 하여 12시간 주기를 가지고 왕복 흐름을 보이는 M2조의 조류를 제거하고 남은 잔차류를 구하였다. 12시간 조시평균에 의한 잔차류는 남서방향에서 북동방향으로 흐름이 우세하게 나타났으며, 가덕도 부근에서 동쪽으로 진행되는 흐름을 보인다(그림 8).

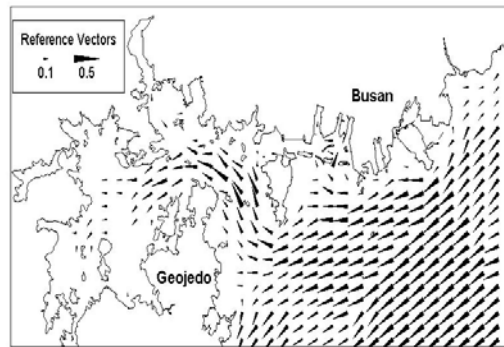


FIGURE 6. Tidal current in flood flow

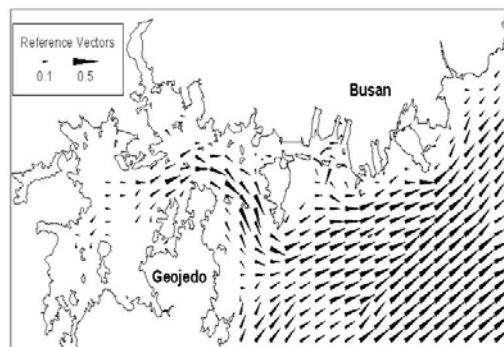


FIGURE 7. Tidal current in ebb flow

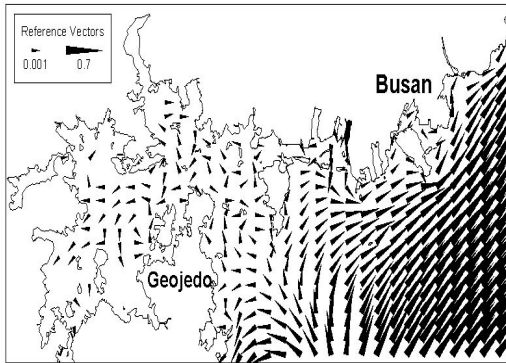


FIGURE 8. Residual current at the study area

수치추적자 방법을 이용한 확산모델 결과를 보면 부유토사는 조시 평균된 잔차류에 의해 진해만으로 이동하지 않고 부산방향으로 이동함을 보였다(그림 9). 이는 LANDSAT 위성으로 본 낙동강 주변해역에서의 분포양상(그림 2)과 유사하였다. 해수색 관측위성 영상에 의하면 잔차류에 의해 부산으로 이동된 부유토사는 쓰시마난류 및 동한난류의 주축으로 유입되어 동해중부 연근해역까지 이동될 수 있는 가능성을 보였다(그림 3, 그림 4).



FIGURE 9. Distribution of suspended solid(SS) at the study area

결론

본 연구를 통해 다음과 같은 현상을 알 수 있었다.

첫째, 유동 및 확산 모델을 통해 낙동강에서 유출된 부유토사는 진해만으로 이동하지 않고 부산 방향으로 이동하며,

둘째, LANDSAT TM 영상을 보면 기원이 다른 부유토사가 혼재하고 있으나 낙동강에서 유출된 부유토사는 역시 부산 방향으로 향하고 있는 것으로 나타났으며,

셋째, 더 나아가 해수색 위성에 의해 부유토사가 쓰시마난류 및 동한난류에 의해 동해중부 연근해역까지 이동될 수 있는 가능성을 보였다.

앞으로 연구 및 개선방향은 수심적분된 2차원 유동모델의 경우 유속이 지수적함수적으로 감소하는 해저경계층이 없거나 매우 작다는 가정이 포함되어 있으므로, 실제 해양상태를 재현하기 위해서는 3차원 모델을 수행할 필요가 있다. 또한 연구에 사용된 조석조화상수는 과거에 관측된 값이기 때문에 실시간 조류를 구하기 위해서는 현재 값으로 변환이 필요한 것으로 생각된다. **KAGIS**

참고문헌

- 서영상, 한상복, 강용균. 1993. NOAA 원격자료에 의한 황해 남동부 투명도의 추정. 대한원격탐사학회지 9(2):1-5.
- 이대인, 김동명, 김형철, 이석모, 박청길. 2000. 낙동강 하구해역의 식물플랑크톤 극대역 변동에 관한 추치시물레이션. 한국환경과학회지 9(5):375-383.
- 이문진. 1991. 연안역 확산 추치모델에 적합한 외확산계수의 추정. 부경대학교 석사학위논문.
- 장선덕, 김차겸, 이종섭. 1993. 진해만 조류의 현장관측 및 수리모형 실험. 한국수산학회

- 지 26(4):346-352.
- 정연철. 1997. 실시간 유출유 확산모델링에 관한 연구. 부경대학교 박사학위논문. 128쪽.
- 정중철. 2001a. 수중 광학측정을 이용한 Landsat TM 밴드비율 알고리즘 검증. 한국지리정보학회지 4(1):18-26.
- 정중철. 2001b. SeaWiFS 자료를 이용한 황해와 동해의 생물광학 특성 비교. 한국지리정보학회지 4(2):38-45.
- 최우정, 박청길, 이석모. 1994. 진해만의 빈산소 수괴 형성에 관한 수치실험. 한국수산학회지 27(4):413-433.
- 황재동. 1993. 수영만으로 유입되는 하천수들이 수영만과 인접해에 미치는 영향. 부경대학교 석사학위논문. 44쪽.
- Baptista, A.E. de M., E.E. Adams and K.D. Stalzinbach. 1984. Eulerian-lagrangian analysis of pollutant transport in shallow water. MIT Rep. MI-R84-11. 140pp.
- Buller, A.T. and J. McManus. 1989. Sediment sampling and analysis. In: K.R. Dyer(ed). Estuarine Hydrography and Sedimentation. Cambridge Univ. Press, pp.87-130.
- Choi, B.H. 1980. A tidal modal of the Yellow sea and eastern China Sea. KORDI Report BSPI 00019(3)-36-2.
- Kang, S.E., S.Y. Lee, and K.D. Yeom. 1991. Tidal computation of the east China Sea, the Yellow sea and the East Sea. In: K. Takano(ed). Oceanography of Asian Marginal Sea. Elsevier Sci. Pub. Co., pp.25-48.
- Larsen, T. 1983. Sea outfall design based on a stochastic transport-dispersion model, In: R.A. Bajura and T.B. Morrow(ed). Modelling of environmental flow systems. pp.19-24.
- Mann, K.H. and J.R.N. Lazier. 1991. Dynamics of marine ecosystems. Blackwell Sci. Pub. Inc. 466pp.
- O'Reilly, J., E. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Graver, M. Kahru and C. McClain. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. J. of Geophys. Research 103(C11):24937-24953.
- Tayfun, M.A. and H. Wang. 1973. Monte Carlo simulation of oil slick movements. J. Waterways, Harbor and Coastal Eng. Div., ASCE. 99:309-324. **KAGIS**