

論 文

# 부산신항 연결잔교부의 해저수심변화 시나리오에 의한 물질수송량 해석

이영복\* · 류승우\*\* · 류청로\*\* · Attapon Tawaret\*\*\* · 윤한삼\*\*\*\*

\* (주)메이텍엔지니어링, \*\* 부경대학교 해양공학과, \*\*\* 부경대학교 해양산업개발연구소

## Analysis of the material transportation under water-depth variation scenario at pier-bridge of Busan New-port

Young Bok Lee\* · Seung Woo Ryu\*\* · Cheong Ro Ryu\*\* · Attapon Tawaret\*\*\* · Han Sam Yoon\*\*\*\*

\* Meitec Engineering Co., Ltd. Busan, 611-825, Korea

\*\* Dept. of ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

\*\*\*, \*\*\*\* Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 부산신항과 낙동강 하구역의 점점인 연결잔교를 통해 소통되는 해수의 수리적인 특성을 파악하고 현장관측결과와 수치모형실험을 통해 연결잔교부를 통한 물질수송특성을 파악하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 현장조사를 통한 해수수송량 관측결과는 1차 관측기간 동안 단위시간당 해수수송량은 184.71 m<sup>3</sup>/sec이고, 잔차해수수송량은 59.74 m<sup>3</sup>/sec로 신항만에서 낙동강 하구역 방향으로 유출되었다. 또한 2차 관측기간 동안 단위시간당 해수수송량은 331.15 m<sup>3</sup>/sec이고, 잔차해수수송량은 28.88 m<sup>3</sup>/sec로 낙동강 하구역에서 신항만 방향으로 유출되었다. 연결잔교 주변의 수심변화를 고려한 3가지 시나리오의 수치모의 결과에서 신항만 지역에 항내매몰로 수심이 저감된 경우에는 약 0.7~18.4% 물질수송량이 저감하게 되며, 해수소통 향상을 위해 낙동강 하구역 지역에 수로준설(수심 5 m 가정)을 할 경우 약 3.5~21.9%의 물질수송량이 증가하였다.

**핵심용어 :** 부산신항, 낙동강 하구역, 물질수송량, 수치모의, 시나리오

**ABSTRACT :** This study analyzes the characteristics of material transportation between Busan new-port and Nakdong river estuary. Measurements of water temperate, salinity, turbidity, and tide is also analyzed to determine the characteristics of sea water and described the tidal current between two regions. For the purpose of indicating characteristics of tidal current numerical modeling is used. From the observed results, the total volume transport of sea water calculations revealed 184.71 m<sup>3</sup>/sec and residual volume transport was (+)59.74 m<sup>3</sup>/sec during the 1st field measurement, and the total volume transport was 331.15 m<sup>3</sup>/sec and residual volume transport was (-)28.88 m<sup>3</sup>/sec during the 2nd. The numerical simulation for three different topography cases are calculated. The results are summarized as follows: 1) The volume of material transportation about 0.7~18.4 % is decreased as the depth of Busan new-port decrease (10 m). 2) The volume of material transportation about 3.5~21.9 % is increased, as channel(water depth is 5 m) constructed to the Nakdong river estuary direction.

**KEY WORDS :** Busan New-port, Nakdong river estuary, material transportation, numerical simulation, scenario

### 1. 서 론

신항은 자연 해안을 매립하여 접안시설 건설, 외해 입사 파랑을 막기 위해 방파제 등을 축조함으로써 인근 주변 해역의 해수유동 변화 및 퇴적환경의 변화, 공사 중 또는 완료 후 오염물질 확산 양상의 변화가 예상되는 곳으로 특히, 신항의 경우 인근에 낙동강 하구역을 끼고 있어 신항의 건설로 인해 낙동강 하구역 환경의 변화에 지대한 영향을 미칠 것으로 보여진다(현, 1997). 또한 우리나라 대표적인 감소하천인 낙동강 하구역의 경우 하구둑 건설, 녹산/명지 택지조성 등 각종 산업시설 및

주거시설 건설 등으로 해양환경변화가 예상되는 지역으로서 상술한 바와 같이 신항 건설로 인해 그 변화양상은 더욱 복잡하게 발생될 지역으로 평가받고 있다(윤 등, 2005).

신항과 낙동강 하구역간 해수소통이 이루어지는 해역은 Fig. 1과 같이 신항 북컨테이너 부두와 남컨테이너 부두를 연결하는 연결 잔교(Pier bridge)이다. 신항에 설치된 연결잔교는 잔교의 기본적인 기능뿐만 아니라 신항과 하구역을 연결하는 해수소통로 역할도 함께 수행한다. 특히 연결잔교는 두 해역의 유일한 해수 소통구로서 신항만이 건설되기 전과 비교하여 변화된 지형과 감소된 통수단면적으로 인해 발생하는 해수유동변화는 주변 해

\* 대표저자 : snemftm@nate.com, 051)851-6906

\*\*\*\* 교신저자 : 정희원, yoonhans@pknu.ac.kr, 051)629-7375

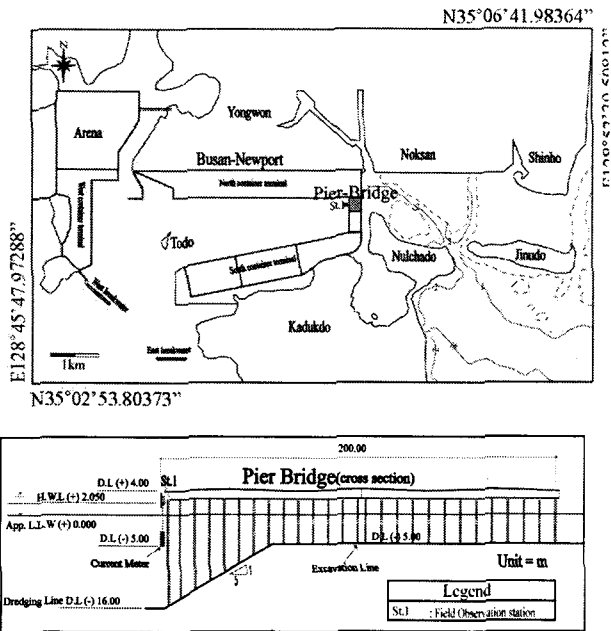


Fig. 1. The station of pier bridge in Busan Newport and the sampling location of cross-sectional pier bridge.

양환경변화에 다양한 영향을 미칠 것으로 판단되므로 낙동강 하구역과 신항 해역간의 해수소통능을 평가하기 위한 연구가 요구되어진다.

현재 본 연구의 대상해역에 인접한 부산 신항은 컨테이너 부두건설과 항로유지를 위해서 대규모 매립 및 준설이 실시되고 있고, 아울러 낙동강 하구역은 하천으로부터 지속적으로 퇴적물이 유입되고 있는 지역이다. 전술한 바와 같이 연결잔교는 이러한 두 해역의 유일한 해수소통구로서 대규모 매립 및 준설을 통해 급속하게 변화되고 있는 지역의 중앙에 위치하고 있다.

현재 신항만 주변해역은 퇴적 및 침식, 해수유동장 변화가 불가피한 지역이며 이는 향후 신항만에서 발생할 수 있는 항내 매물 문제와 오염물질 확산양상의 변화에 직·간접적인 영향을 미칠 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 신항만 건설로 인해 발생할 수 있는 여러 가지 문제점들을 이해하고 신속하게 대처하기 위한 기초자료를 만들고자 하는데 그 목적이 있으며, 특히 두 해역의 유일한 소통구인 연결잔교를 통해 유·출입되는 해수의 물질수송량을 파악하고자 한다. 이에 현장관측을 실시하여 연결잔교 지역의 유속 및 수온, 염분, 탁도를 조사에 따른 시계열 분석을 실시하고, 수치모의실험을 통해 신항건설 후의 해수유동장을 재현하여 연결잔교부 주변의 수심변화에 따른 몇가지 시나리오를 가정하여 잔교를 통해 소통되는 물질수송의 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연결잔교부의 해양물리관측

현장 유속관측은 파랑이나 바람에 의한 해수면 교란현상을 제외한 조류를 관측하기 위해 유속계 계측 수심을 결정하고 20

일간 장기관측을 실시하였다. 유속계는 Fig. 1의 St.1 정점(전체 수심의 20~30 %)에서 전체 수심의 30 % 지점인 약최저저조면으로부터 수면하 5 m인 지점에 계류하여 유속관측을 실시하였다. 관측된 유속자료를 이용하여 Stick vector diagram, 조류분산도를 작성하여 해수 흐름패턴을 파악하였다. 또한 현장관측 결과를 바탕으로 하여 남북방향을 기준으로 동편 유속 값은 신항만에서 낙동강 방향의 유속, 서편 유속 값은 낙동강에서 신항만 방향의 유속으로 판단하여 연결잔교를 통한 해수수송량을 계산하였다. 해수의 수송량 계산(Isobe, 1994)은 식(1)과 같다.

$$Q(m^3/sec) = A(m^2) \times V(m/sec) \quad (1)$$

여기서 Q는 해수수송량, A는 단면적, V는 유속이며, 단면적은 수위와 잔교 폭의 곱으로 계산하였다. 수위에 조위성분을 고려하기 위해 가덕검조소에서 동일 시점에 조사된 조위 값을 이용하여 조석조화분해 된 27개 주요 분조의 조위 값을 적용하였다. 유속 값은 20분 간격으로 15초 동안 계측된 유속 값을 평균하여 사용하였다. 또한 조위는 대상해역에서 가장 인접한 국립해양조사원(National Oceanographic research institute, Incheon, Korea)의 상시검조소인 가덕검조소에서 계측된 10분 간격 원시조위자료를 사용하였다.

연결잔교의 수괴구조를 분석하기 위해 수온, 염분 및 탁도를 소조기(2007년 6월 9일)와 대조기(2007년 7월 30일) 기간의 매 시간동안(1조석 주기) 수면으로부터 해저면까지 2 m간격으로 층별 관측을 실시하였다. 계측기는 C.T.D(Alec electronics co., LTD., JAPAN)를 사용하여 관측을 실시하였으며, 관측지점은 유속계 설치 지점과 동일한 지점에서 수행하였다.

### 2.2 물질수송예측 수치모의

본 연구의 대상해역인 신항만과 낙동강 하구역이 완만한 해저경사를 보이는 지역이며 조간대가 넓게 분포하는 지형적 조건을 고려하여 조간대를 처리할 수 있고 연직좌표체계로  $\sigma$ -좌표를 사용하는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형을 수치모형실험에 적용하였다. EFDC모형은 연안, 하구, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 모델로서 미국 Virginia Institute of Marine Science에서 개발되었으며, 미국환경청의 공인모델로 지정되어있다. 수평적으로 직교 혹은 곡면(Cartesian or curvilinear) 좌표계를 사용하며 Arakawa C-grid(Arakawa and Lamb, 1997)로 구성되어 있고 수직적으로는  $\sigma$ -좌표계를 사용한다.

수치모형의 계산영역은 진해에서 다대포까지 연구 대상해역인 부산신항만과 낙동강 하구역을 충분히 고려할 수 있도록 동서방향 25.2 km, 남북방향 16.7 km의 계산영역으로 설정하였고, 모형의 격자크기는 가로, 세로 100 m의 정방격자를 사용하였다(Fig. 2). 해안선 및 수심은 전자수치해도(국립해양조사원 2006년)로부터 추출하였으나 현재 신항만 지역의 수심은 준설이 되었거나 진행 중이기 때문에 수심이 수치해도와 상당부분 불일치하였다. 따라서 신항만 지역의 수심은 설계계획수심라인을 참고하여 수심을 보정하여 적용하였으며, 수치모의에 사용된 개방경계는 Fig. 2의 P1~P5지점으로 경계조건은 Table 1에

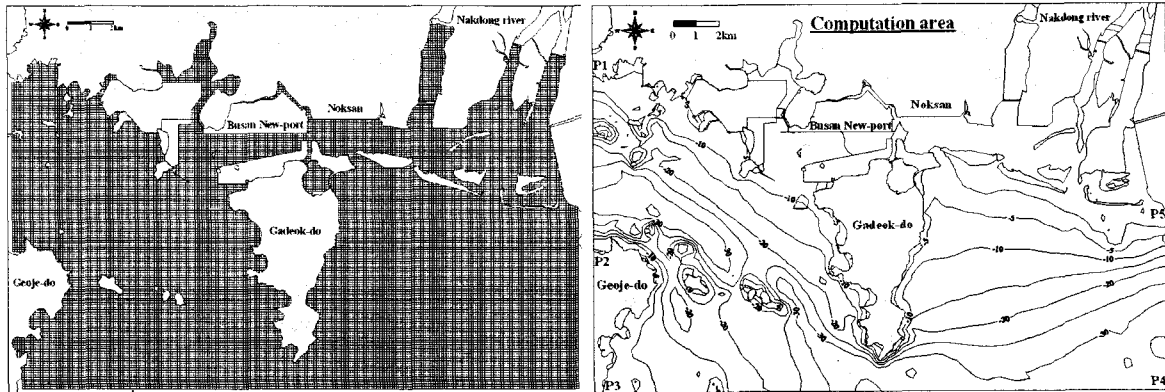


Fig. 2. Horizontal grid system in computation domain and distribution of water depth in computation domain.

나타내었다.

Table 1. Open boundary conditions for computation area

Compon ent	M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>		O <sub>1</sub>	
	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)
P <sub>1</sub>	59.04	240.94	27.43	269.24	6.77	153.35	3.64	131.15
P <sub>2</sub>	58.97	240.95	27.35	269.25	8.32	153.35	4.47	131.15
P <sub>3</sub>	54.54	240.85	25.30	269.15	7.69	153.25	4.14	131.55
P <sub>4</sub>	48.02	240.45	22.27	268.75	6.77	152.85	3.64	131.15
P <sub>5</sub>	47.97	240.45	22.25	268.75	6.76	152.85	3.63	131.15

### 2.3 연결잔교부 시나리오별 물질수송예측

부산 신항만과 낙동강 하구역 사이에 위치하는 연결잔교지역의 물질수송량은 현장관측된 탁도 결과와 수치모의에서 계산된 연결잔교단면의 유속값을 이용하여 소조기와 대조기시로 나누어 계산하였다. 수치모의계산은 3가지의 가상 시나리오를 설정하여 각 Case별 수치모의를 실시하였다. Case1은 신항만 완공 후의 지형, Case2는 신항만지역에 항내매몰이 발생하였다고 가정하여 신항만 지역의 수심을 10 m로 보정한 지형, Case3은 신항만과 낙동강 하구역간에 수심 5m의 수로를 건설한 지형으로 설정하였다.

## 3. 연구결과 및 고찰

### 3.1 연결잔교부의 해양물리특성

관측기간 동안 조석의 평균해면은 1차 관측의 경우 109.89 cm, 2차 관측의 경우 109.66 cm이며 조석형태수 ( $F=(H'+H_0)/(H_m+H_s)$ )를 살펴보면 1차 관측에서  $F=0.30$ 으로 반일주조가 우세한 혼합조형태를 보였고, 2차 관측에서  $F=0.22$ 로 반일주조형태를 보였다. 최강유속은 1차 관측에서 13.18 cm/sec로 신항만에서 낙동강 하구역 방향으로, 2차 관측에서 30.80 cm/sec로 낙동강 하구역에서 신항만 방향으로 나타났으며, 평균유속은 1차 관측에서 3.59 cm/sec, 2차 관측에서 6.32

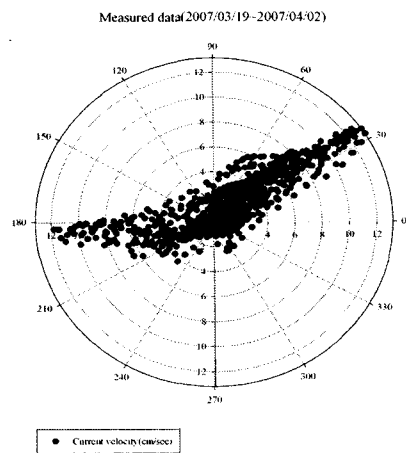


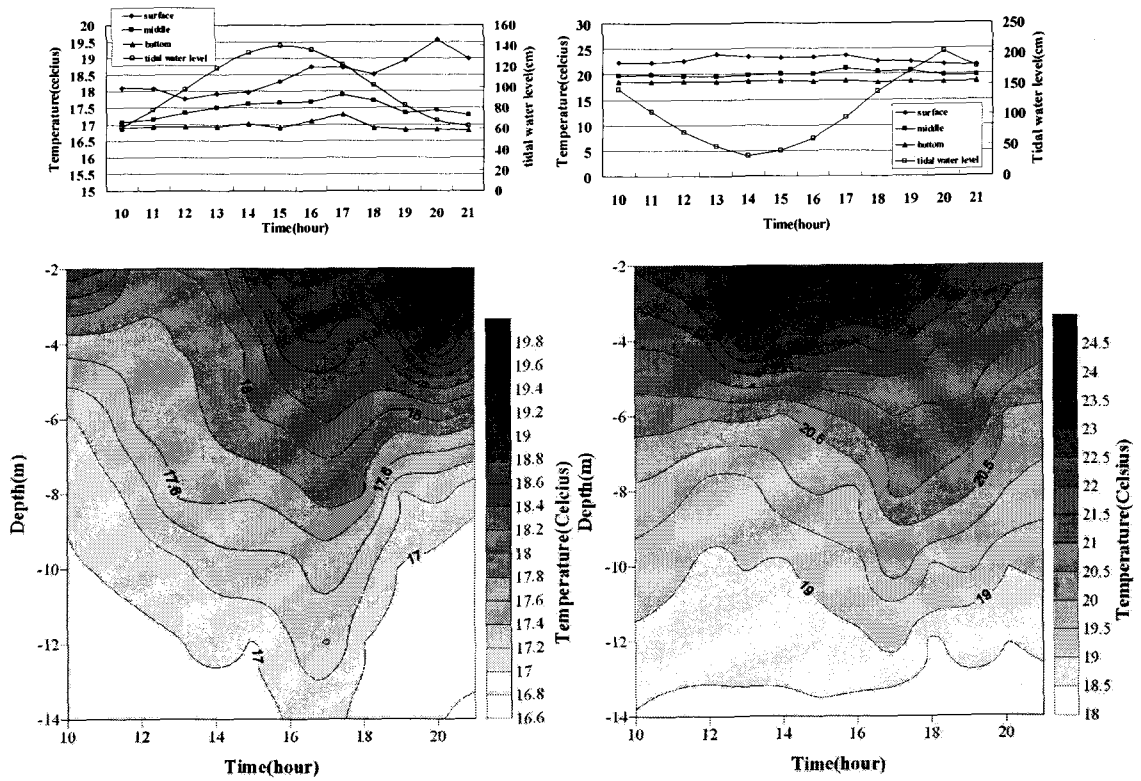
Fig. 3. Scatter diagram of the observed datum at spring tidal period.

Table 2. Harmonic constants for tidal current

Constituents	1st field measurement (2007/03/19 ~ 2007/04/02)			
	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>
V <sub>E</sub> (cm/sec)	2.66	2.22	1.86	1.43
V <sub>N</sub> (cm/sec)	3.06	0.63	1.93	1.25
Constituents	2nd field measurement (2007/05/17 ~ 2007/05/31)			
	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>
V <sub>E</sub> (cm/sec)	11.74	3.24	5.80	3.96
V <sub>N</sub> (cm/sec)	6.78	1.53	1.86	1.10

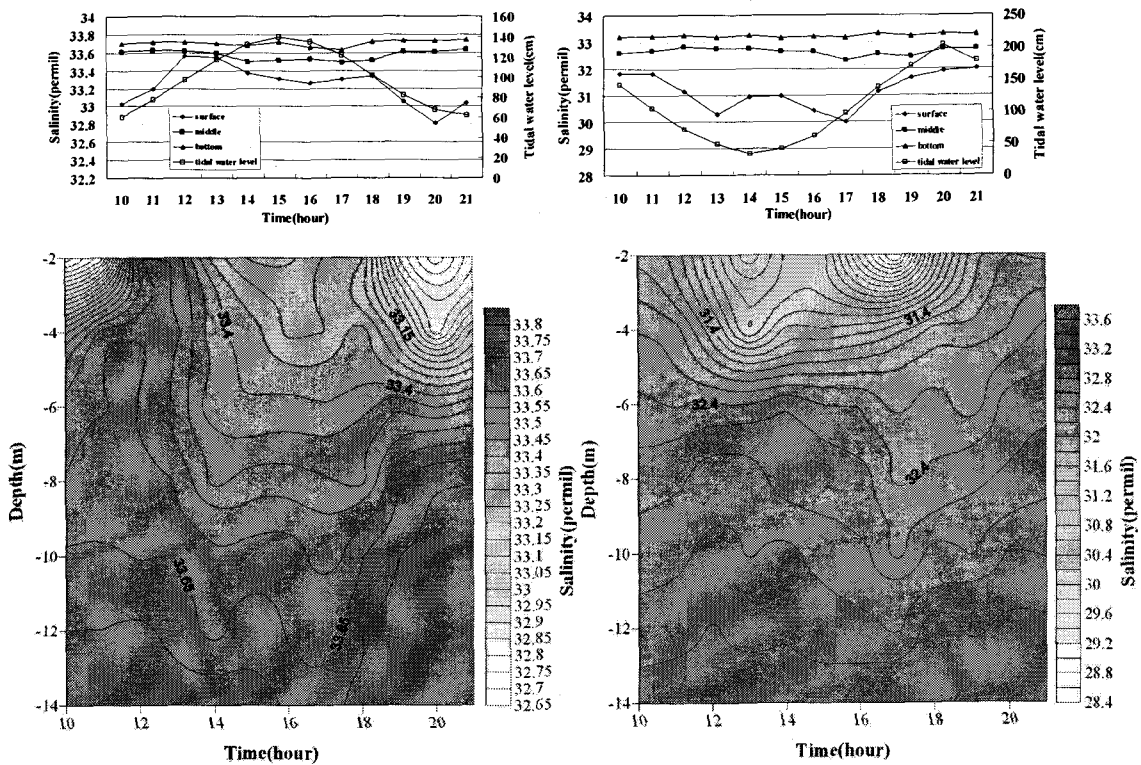
cm/sec로 나타났다. Fig. 3은 조류분산도를 나타내었는데(0°는 동쪽, 90°는 북쪽), 주 흐름은 서남서(WSW)와 동북동(ENE) 방향의 왕복흐름을 나타내었다. 관측기간 동안의 주요 4대분조의 조류조화상수는 Table 2에 나타내었다.

계산한 해수수송량 결과를 살펴보면 1차 관측기간 동안 단위 시간당 해수수송량은 184.71 m<sup>3</sup>/sec이고, 이 때 흐름의 방향을 고려하였을 때 잔차해수수송량은 (+)59.74 m<sup>3</sup>/sec로 신항만에서 낙동강 하구역 방향으로 더 많은 해수가 유출되었다. 2차 관측기간 동안 단위시간당 해수수송량은 332.89 m<sup>3</sup>/sec이고, 이 때 잔차해수수송량은 (-)40.85 m<sup>3</sup>/sec로 낙동강 하구역에서 신항만



(a) Neap tide(9 JUN., 2007) (b) Spring tide(31 JUL., 2007)

Fig. 4. Horizontal and vertical temperature Distribution of at each depth.



(a) Neap tide(9 JUN., 2007) (b) Spring tide(31 JUL., 2007)

Fig. 5. Horizontal and vertical salinity distribution of at each depth.

부산신항 연결잔교부의 해저수심변화 시나리오에 의한 물질수송량 해석

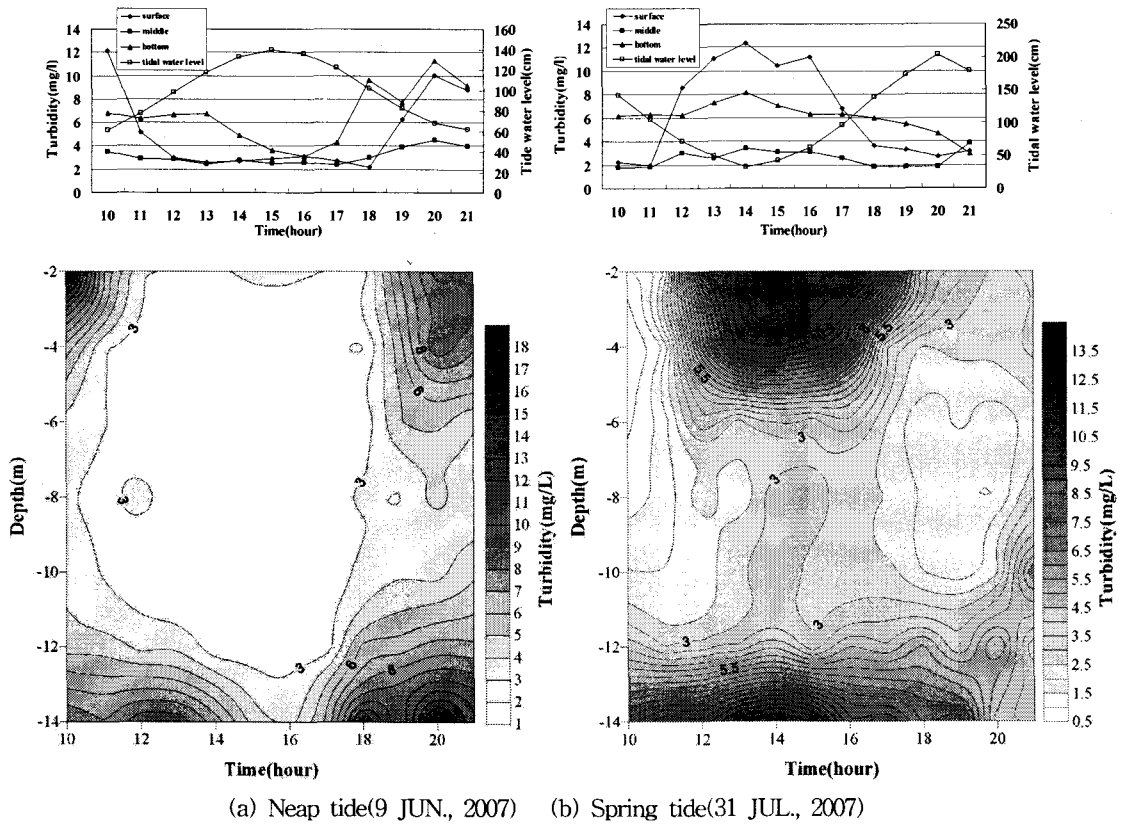


Fig. 6. Horizontal and vertical turbidity distribution of at each depth.

방향으로 더 많은 해수가 유출되었다. 이러한 결과는 대·소조 기별 유속 및 유향의 차이 때문인 것으로 생각된다.

연결잔교 지역의 수온, 염분, 탁도를 관측하여 조시별 시계열로 나타낸 것이 Fig. 4~Fig. 6과 같다. 결과적으로 수온 및 염분은 조류속이 빠른 최강 창·낙조시 상하층의 혼합으로 등온 및 등염분선이 거의 연직방향으로 위치하는 혼합형을 나타내었고, 조류속이 느린 고조와 저조에서는 등온 및 등염분선이 거의 수평방향으로 나타나는 성층화된 형태를 보여주었다. 창조시 염분은 증가하고 탁도는 감소하였으며, 낙조시 염분은 감소하고 탁도는 증가하는 결과를 나타내었다.

3.2 물질수송예측 수치모의 결과

조위 및 조류 검증은 모델 영역내에 위치하고 있는 국립해양조사원 가덕 검증소의 자료와 연결잔교에서 계측한 유속자료를 이용하여 각각 검증을 실시하였으며, 조위의 경우 관측값과 계산값의 주요 4대분조의 시계열이 잘 일치하는 결과를 보여주었다. 또한 연결잔교지역 유속계산결과를 조류분산도로 나타내어 본 결과(Fig. 7) 주 흐름이 동북동(ENE)과 서남서(WSW)방향을 왕복하는 현장관측시의 흐름패턴을 잘 나타내었다.

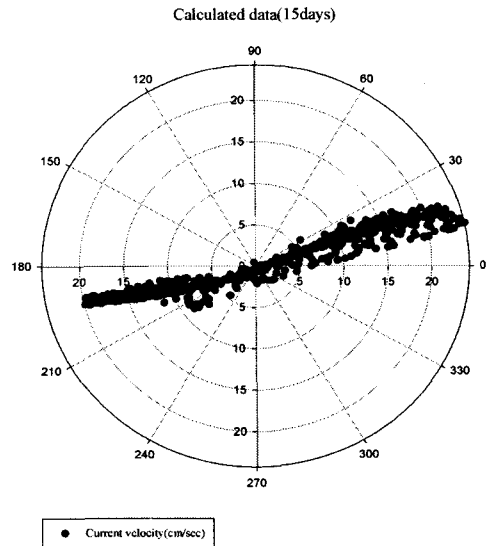


Fig. 7. Distribution of directional velocity for computed data.

대조기시 최강 창·낙조류를 살펴보면 최강 창조시 연결잔교 지역에서는 부산신항만으로부터 낙동강 하구역으로 해수가 유입되는 결과를 보였으며, 최강 낙조시에는 창조시와 반대 방향의 결과를 보여 현장관측결과와 동일한 흐름패턴을 잘 나타내었다(Fig. 8).

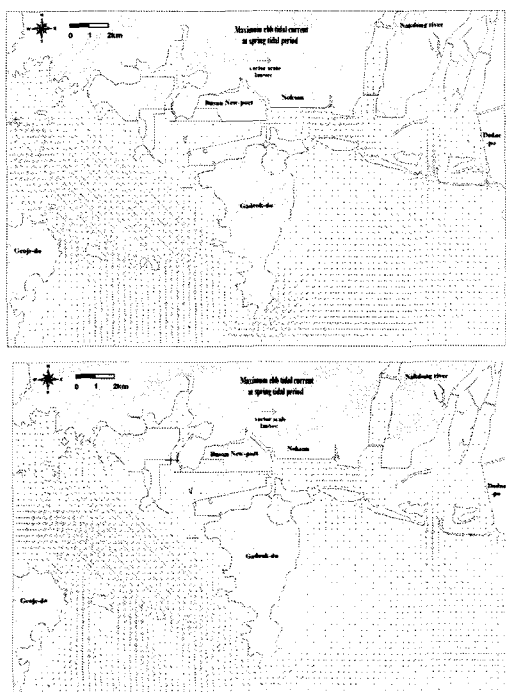


Fig. 8. Flood and ebb current vector at spring tide.

### 3.3 연결잔교부 시나리오별 물질수송예측

연결잔교부 주변해역의 3가지 가상 수심변화 시나리오에 따른 수치모의계산 결과는 Table 3과 같이 나타낼 수 있다. Case1과 Case2의 경우 계산 기간 동안의 평균유속은 Case2가 Case1보다 소조기에 약 40%, 대조기에 약 30% 크게 나타났다. 단위시간당 물질수송량은 Case1이 Case2보다 대조기에 약 18.4% 더 많이 수송되는 결과를 보였으며, 소조기에는 Case1이 Case2보다 더 많이 수송되는 결과를 보였다. Case2의 경우 평균 유속은 Case1 보다 크게 나타났지만 단위시간당 총 물질수송량은 Case1이 더 많은 결과를 보였는데 이것은 Case2의 통수단면적이 줄어들었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Case1과 Case3의 경우 계산 기간 동안의 평균유속은 Case3이 Case1보다 소조기에 약 30%, 대조기에 약 12% 크게 나타났다. 단위시간당 물질수송량은 Case3이 Case1보다 소조기에 약 21.9%, 대조기에 약 3.5% 더 많이 수송되는 결과를 보였다. 단위시간당 잔차 물질수송량을 비교해 보면 모든 Case에서 양적인 차이는 있지만 낙동강 하구역에서 신항만으로 물질수송이 더 많이 일어나는 결과를 나타내었다.

이상의 결과를 정리해 보면 신항만 완공후의 시점에서 먼저, 신항만 지역에 항내매물로 수심이 저감된 경우에는 약 0.7~18.4% 물질수송량이 저감하게 되며, 다음으로 해수소통을 위해 낙동강 하구역 지역에 수로준설(수심 5 m 가정)을 할 경우 약 3.5~21.9%의 물질수송량이 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 3. Comparison with calculated results for 3 scenarios

Component	Neap tide		Spring tide	
	Volume of material transportation	Residual volume of material transportation	Volume of material transportation	Residual volume of material transportation
Case1	1,810.94 ton/day (100%)	(-)236.74 ton/day	3,242.59 ton/day (100%)	(-)111.46 ton/day
Case2	1,798.85 ton/day (99.3%)	(-)264.38 ton/day	2,646.43 ton/day (81.6%)	(-)28.51 ton/day
Case3	2,467.76 ton/day (121.9%)	(-)269.57 ton/day	3,355.78 ton/day (103.5%)	(-)24.19 ton/day

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 부산신항과 낙동강 하구역의 접점인 연결잔교를 통해 소통되는 해수의 수리적인 특성을 파악하고 현장관측결과와 수치모형실험을 통해 연결잔교부를 통한 물질수송특성을 파악하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현장조사를 통한 해수수송량 관측결과는 1차 관측기간 동안 단위시간당 해수수송량은 184.71 m<sup>3</sup>/sec이고, 잔차해수수송량은 59.74 m<sup>3</sup>/sec로 신항만에서 낙동강 하구역 방향으로 유출되었다. 또한 2차 관측기간 동안 단위시간당 해수수송량은 331.15 m<sup>3</sup>/sec이고, 잔차해수수송량은 28.88 m<sup>3</sup>/sec로 낙동강 하구역에서 신항만 방향으로 유출되었다.

(2) 연결잔교 주변의 수심변화를 고려한 3가지 시나리오의 수치모의 결과에서 신항만 지역에 항내매물로 수심이 저감된 경우에는 약 0.7~18.4% 물질수송량이 저감하게 되며, 해수소통향상을 위해 낙동강 하구역 지역에 수로준설(수심 5 m 가정)을 할 경우 약 3.5~21.9%의 물질수송량이 증가하였다.

본 연구는 현장관측 결과와 수치모형계산결과를 비교 검토한 것으로 향후 본 연구에서는 현장관측결과와의 정도 향상 및 밀도류를 고려한 오염물질의 입자추적 수치모의를 실시하여 물질수송이 어느 영역까지 영향을 미치는지 그 범위를 파악하고, 물질의 체류시간까지 계산해 낸다면 신항만에서 발생할 수 있는 항내매물과 오염물질의 거동을 보다 정확하게 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

## 후 기

본 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2006-331-D00700) 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 국립해양조사원(2006). 전자수치해도.
- [2] 윤한삼, 이영복, 류청로(2005). "낙동강 하구역과 부산신항만의 물질수송 변화패턴", 한국해양과학기술협의회

공동학술대회 논문집, pp.1871~1875.

- [3] 현도환(1997). 가덕 신항 건설에 따른 주변 해역의 수리환경특성 연구, 부경대학교 석사학위논문.
- [4] Arakawa, A. and Lamb, V.R. (1997). Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model, Method in Computational Physics, 17, pp.174-265.
- [5] Isobe (1994). Seasonal variability in the Tsushima Warm Current, Korea Strait, Continental shelf research, 14(1), pp.23-35.