

EFDC모형을 이용한 부산신항 개발에 따른 해수유통량의 변화 예측 A Study of the transport rate in Pusan NewPort using the EFDC model

박창욱¹, 엄호식², 강윤구³, 송영재³,
Chang-wook Park¹, Ho-sik Eum², Yoon-gu Kang³ and Young-jae Song³

1. 서 론

공업화 이후 전세계적으로 오존층 파괴, 지구온난화, 산성비, 해양오염 증대 등의 지구촌 환경문제가 대두됨에 따라 '92년 UN 환경개발위원회에서는 리우선언과 의제 21(Agenda 21)을 채택하였으며, 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development : ESSD) 개념이 전 세계적인 관심사로 등장하였다. 이에 각국은 생태적·자연적 환경을 보호하고 환경측면의 국제경쟁력 확보를 위하여 끊임없는 노력을 하고 있다. 특히, 세계의 주요 항만은 지속적인 항만경쟁력을 확보하고자 항만의 환경보존을 위한 노력을 기울이고 있다.

반면, 우리나라 항만은 지속적인 항만개발과는 달리 각 항만은 폐쇄되어 있는 항내의 해수오염(주로 악취, 쓰레기)으로 항만을 찾은 시민에게 쾌적함보다는 혐오감을 주고 있는 실정이다(주문진항, 대변항, 마산항 등 대부분의 항만).

아직도 사전사후 환경영향평가에 대한 관심부족으로 효과적이고 체계적인 환경에의 악영향 저감방안에 대한 대책수립은 미진하여, 적극적으로 환경오염 저감대책을 수립하기 보다는 기존의 보고서 등을 형식적으로 인용하여 대책을 수립하고 있는 수준이다.

항만 건설 및 운영에 따른 환경영향 중 수질악화, 해저오염, 해양연안 생태계 변화 등은 항내 해수의 교환율과 밀접한 관계를 보인다. 항내 발생 오염물질은 일반적인 자정능력을 초과하므로 상대적으로 깨끗한 외해수와의 교환을 통해

개선될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 국내 최대규모의 항만건설사업인 부산신항에 대하여 개발에 따른 해수순환 변화를 수치모형을 통해 예측해 보았으며, 특히 항내 해수 유통량 변화와 교환율의 산정을 통해 항내 오염의 가능성을 검토하였다.

2. 수치실험

2.1 모델 개요

본 연구에서 사용한 수치모델은 미국 VIMS (Virginia Institute of Marine Science)에서 개발한 EFDC(Environmental Fluids Dynamics Code)로서 연안, 하구, 호소, 습지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모델링 시스템이다. 현재는 공개판으로 개발되어 대학, 연구기관, 국가기관, 사설연구기관 등에서 널리 사용되고 있으며, Tetra Tech Inc.에서 미국 환경청(US EPA)의 지원을 받아 지속적인 유지, 관리 및 향상을 하고 있다. 또한 EFDC는 미국 환경청(US EPA) 공인 모델로 지정되어 있다.

EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열염보존 방정식, 그리고 퇴적물을 포함한 물질보존방정식들로 구성되어 있다. 염 및 열보존 방정식은 밀도차에 의한 경압력에 의하여 운동방정식과 연계되어 있다. 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고 수평방향으로는 직교 또는 곡선직교좌표계를 사용한다. Mellor & Yamada level 2.5 turbulent closure scheme 사용하며, Mass

1 발표자: (주)삼성물산 건설기술연구소

2 (주)지오시스템리서치 수환경연구소

3 (주)삼성물산 항만팀

conservation scheme을 사용한 조건대 처리가 가능하다. 수평와동 점성계수로 Smagorinsky type diffusivity 사용하고, 유체정역학적 근사와 Boussinesq 근사 적용하였다.

본 모델은 staggered grid에 속하는 Arakawa C grid를 사용하였다. 기본방정식의 수치해는 유한차분법과 질량 및 부피보존을 위한 유한체적법을 사용하여 표현하였다. 수심, 잉여압력, 해저면 경사구배의 차분화시 2차 정확도를 갖는 중앙차분법을 사용하였다. 운동방정식에서 Coriolis 와 curvature항은 2차 정확도를 갖는 에너지 보존 기법(Arakawa and Lamb, 1977)을 사용하였으며, 외부모드 계산시 옆방향으로, 내부모드 계산시 수직방향으로 음해법을 적용하여 계산상 효율을 높였다.

2.2 실험절차 및 조건

낙동강 하구에서 가덕도와 진해만을 포함하는 Fig. 1과 같은 영역을 모델 범위로 선정하고, 직교가변격자를 구성하였다. 수평방향 최소격자는 연결잔교 인근에서 50 m이며, 수직격자는 수심에 대해 균등하게 5개 layer로 나누었다.

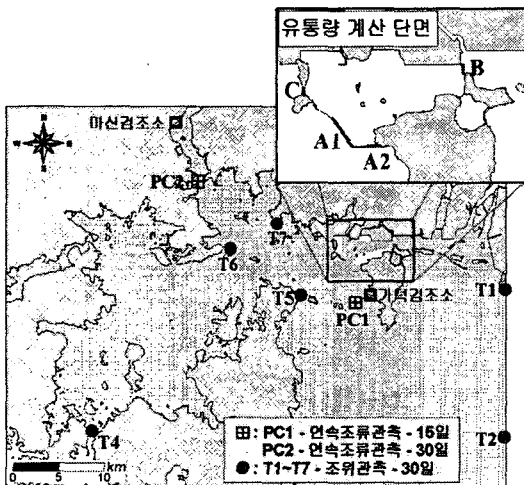


Fig. 1 모델 범위 및 격자망도와 유통량계산 단면

모델 수립 및 검증에 사용된 관측자료는 Table 1과 같으며 위치는 Fig. 1에 표시하였다. 3개의 개방경계에서 관측자료를 조화분해하여 4개 분조(M₂, S₂, K₁, O₁)를 외력으로 고려하였으며, 경계조건으로 사용된 T1~T4를 제외한 나머지 자료에 대하여 모델 결과와 비교 검증하였다.

Table 1 관측자료 목록

항목	정점	관측기간	비고
조석	T1 ~ T7	2006. 2. 23 ~ 3. 24	GeoSR
	가덕검조소		NORI
	마산검조소		
층별 조류	PC1	2006. 2. 15 ~ 3. 8	GeoSR
	PC2	2006. 2. 17 ~ 3. 26	

부산신항 해역의 해수 유통량은 Fig. 1에 표시한 4개의 단면(A₁, A₂, B, C)에서 대소조기를 포함하는 15 일간의 유입, 유출량을 계산하였다.

부산신항 개발 전과 현상태, 그리고 향후 개발계획에 따라 Table 2와 같이 4개 case에 대하여 수치실험을 시행하였으며, 각 단계별로 지형변화 및 항내 준설로 인한 section내 용적의 변화를 고려하여 유통량을 교환율로 환산하여 비교분석하였다.

Table 2 부산신항 개발단계에 따른 실험안

실험안	개발단계	지형조건	용적(m ³)
E-0	개발전 (98년 수치해도)		1.00×10 ⁸
E-1	현상태 (북컨2-1 완공, 부분준설)		1.39×10 ⁸
E-2	남컨부두 완공 (남북컨부두, 박지준설)		1.38×10 ⁸
E-3	부산신항 완공 (서컨부두, 준설 완공)		1.41×10 ⁸

3. 모델 보정 및 검증

동일한 기간동안 관측된 5개 지점의 조석자료에 대하여 조화분석한 4개분조를 모델결과와 비교 검증하였다. Fig. 2에서 보듯이 크기와 위상 모두 좋은 일치치를 보이고 있으며, 상대적으로 작은 일주조(O₁, K₁)의 위상에서 10° 이내의 차이를 보이고 있지만 조위는 2% 내외의 오차로 정확하게 재현하고 있다.

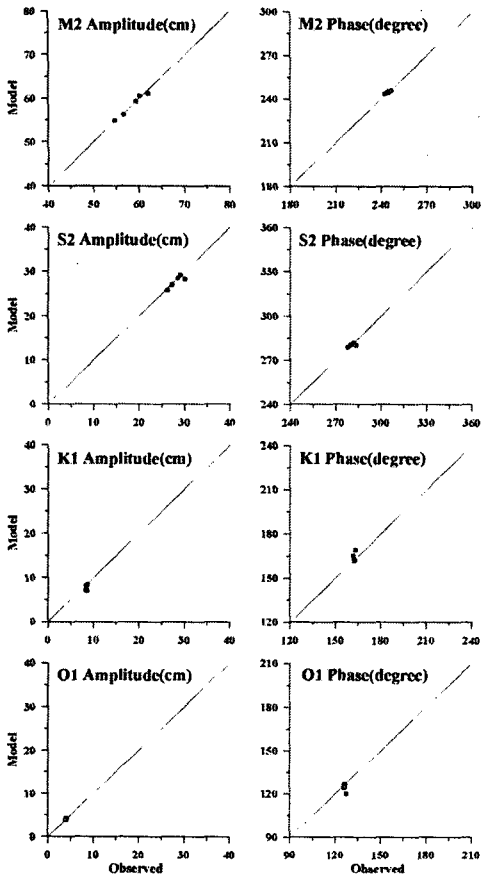


Fig. 2 4개분조(M2, S2, K1, O1) 조석 검증

조류검증을 위해 가덕수로 중앙의 PC1정점에서 관측된 30일 자료를 수심별로 조화분해하여 모델결과와 비교하였다.

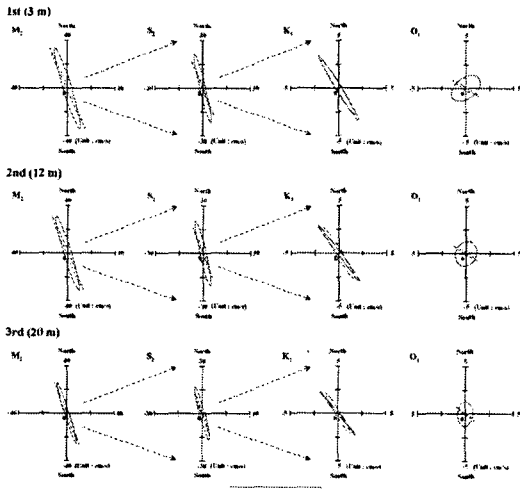


Fig. 3 PC1정점에 대한 조류 검증(표층, 저층)

Fig. 3과 같이 북서-남동 방향의 유향과 유속을 잘 재현하고 있으며, 다만 O₁분조의 경우 유향에서 차이를 보이고 있으나, 이는 소조기에만 일부 유속의 차이를 만들어 내고 있다. 또한 수심별 유속구배도 비교적 정확하게 묘사하고 있는 것으로 판단된다.

4. 계산 결과

2006년 현상태에 대하여 검증한 모델을 이용하여 Table 2의 4개 실험안에 대하여 조석순환을 모의하고 부산신항으로 통하는 해수유통량을 계산하였다.

부산신항 완공(E-4) 후의 조석순환은 Fig. 4-5에서 제시된 최강 창·낙조류와 같이 창조시 A단면을 통해 유입되고 B단면을 통해 유출되며, 낙조시는 반대의 경향을 보인다. 그러나 준설로 깊어진 수심(D.L. 15 m)의 영향으로 항내 유속이 약하므로, A단면으로 유입된 해수가 그대로 B단면으로 이어지지 못하고 있다. 이는 A단면과 B단면의 유통량 시계열을 비교할 때 time lag으로 나타나고 있다.

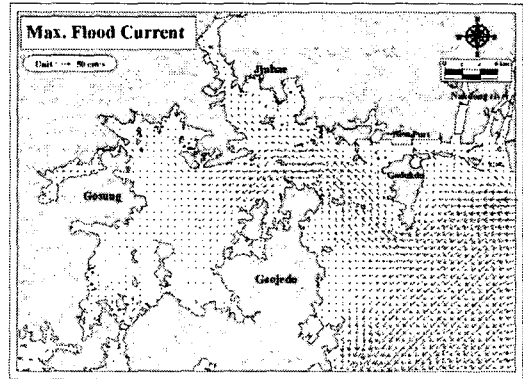


Fig. 4 부산신항 완공후 최강창조류 (연결잔교 기준)

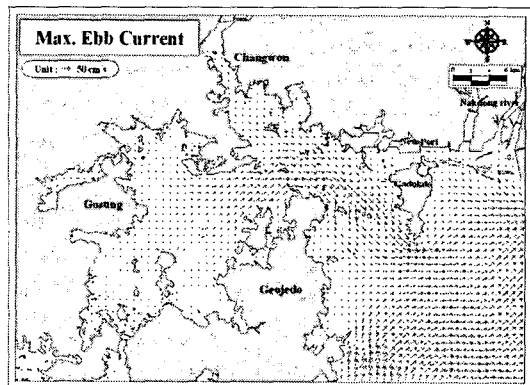


Fig. 5 부산신항 완공후 최강낙조류 (연결잔교 기준)

각 단면의 유통량은 Fig. 6과 같이 조석 주기에 따라 증감하며, 개발단계에 따라서 대체로 감소하는 경향을 보인다.

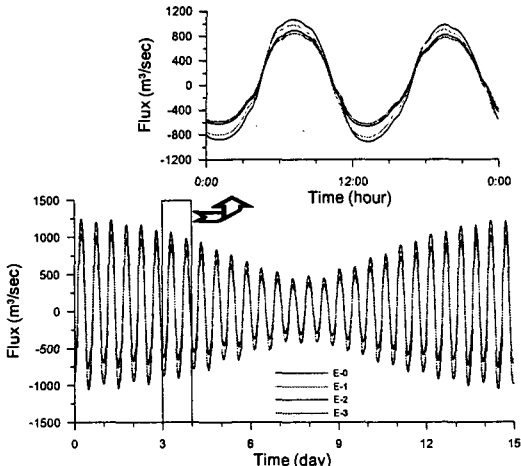


Fig. 6 각 실험안별 A₁단면의 시간별 유통량 변화

유속방향과 상관없이 항내 유입량을 (+)로 유출량을 (-)로 하여, 대조기와 소조기를 포함하는 15일간의 총 유통량(유입량, 유출량, Flux)과 평균유량을 구하였다. Table 3,4에서 볼 수 있듯이 부산신항 건설이 진행될 수록 항내의 해수 교환량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3 실험안별 단면유통량과 유량수지

실험안	E-0				E-1			
	A ₁	A ₂	B	C	A ₁	A ₂	B	C
평균유량 (m ³ /sec)	960.4	574.0	460.0	378.0	801.5	530.9	363.3	422.2
15일간 유통량 (×10 ⁸ m ³)	9.44	3.99	2.03	2.76	9.35	3.68	1.99	2.92
	-8.37	-3.42	-4.27	-2.13	-8.65	-3.18	-3.56	-2.54
	1.06	0.57	-2.24	0.62	0.70	0.49	-1.57	0.38
실험안	E-2				E-3			
	A ₁	A ₂	B	C	A ₁	A ₂	B	C
평균유량 (m ³ /sec)	677.7	447.8	359.8	412.2	560.7	417.8	355.7	-
15일간 유통량 (×10 ⁸ m ³)	9.61	3.35	1.85	2.94	9.63	3.17	1.83	-
	-9.49	-2.46	-3.37	-2.41	-9.06	-2.24	-3.33	-
	0.12	0.89	-1.53	0.53	0.58	0.93	-1.51	-

유입 총량을 기준으로 항내 해수의 체류시간을 구하면 Table 4와 같으며, 추가로 남·북 컨테이너 부두의 연결도로를 잔교로 하지않고 매립하였을 경우(E-4)에 대해서 시뮬레이션해 본 결과 잔교형 시공을 통한 체류시간 단축 효과를 확인할 수 있었다.

Table 4 실험안별 항내 체류시간

실험안	E-0	E-1	E-2	E-3	E-4 ¹⁾
총유입량 (×10 ⁸ m ³)	1.83	1.80	1.77	1.46	1.09
체류시간 (일)	0.82	1.16	1.17	1.45	1.95

¹⁾ E-3실험안+ 연결잔교 구간 폐쇄 조건

5. 결 론

가덕도-연도 구간(section A)와 남·북컨테이너부두의 연결잔교 구간(section B) 그리고 연도-송도 구간(section C)에서 각각 부산신항 개발단계에 따른 유통량 변화를 예측하고, 항만내 해수의 교환율을 산정하여 비교분석하였다.

북컨테이너부두와 남컨테이너부두의 연결구간을 매립이 아닌 잔교형으로 설계·시공함으로써 항내 오염을 상대적으로 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

향후 대규모 항만 개발에 있어서 항내 안정도뿐만 아니라 해수순환에 의한 항내 자연정화능력의 확보는 지속가능한 개발을 위해 그 필요성이 강조되고 있으며, 이를 위한 보다 정확한 예측기술의 적용이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구에 관측자료 사용을 허락해주신 (주)지오시스템리서치에 감사드립니다.

참고문헌

- Arakawa, A., and Lamb, V.R. (1977). *Methods of Computational Physics*. Academic Press, 17, 174-265.
- Hamrick, J.M. (1992) A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects, Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering (SRAMSOE) No. 317, Virginia Institute of Marine Science (VIMS), College of William and Mary, VA.
- Mellor, G.L. and Yamada (1982). Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875.
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91, 99-164.