

환경친화적 항만건설을 위한 항내 희석률 예측

정미훈 · 박석순

이화여자대학교 공과대학 환경학과

Prediction of a Flushing Rate in an Embayment System for Construction of an Environmentally Sound Harbor

Jeong, Mi-Hoon · Park, Seok-Soon

Department of Environmental Science and Engineering
College of Engineering, Ewha Womans University

Abstract

This paper presents a novel method to predict a flushing rate in an embayment system, which can be utilized to assess an environmental impact caused by harbor construction. The method was successfully applied to the Ulsan-Onsan coastal area. The flushing rate was computed on the basis of water quality changes predicted by US Army Corps of Engineers' RMA-2/RMA-4 models. After calibration and verification to the measured tidal elevation and current velocity, the model was used to estimate the flushing rate in the proposed harbor. The water quality was simulated for 96 hours and the flushing rate was computed. The results indicated that the proposed harbor would significantly reduce the flushing rate in the Onsan harbor, especially at the small embayment area near the south breakwater. The flushing rate was evaluated for several alternatives, of which the tidal flow channel of 1,000 m² in the south pier appeared to be the best mitigation measure. This study proposes that the prediction of flushing rate would be a novel method to assess a water quality impact caused by harbor construction.

Keyword: flushing rate, harbor construction, coastal embayment, environmental impact, tidal flow, modeling

I. 서론

하구나 항만에는 육지로부터 오염물질이 계속

해서 유입되고 이것은 창조시 밀려들어온 해수에 의해 희석되어 낙조시 바다로 나간다. 하구나 항

만에서 나타나는 조석에 의한 희석현상은 폐쇄해역의 경우 가장 중요한 자정 기작이 되고 있으며 해수교환율(Sea Water Exchange Ratio) 또는 희석률(Flushing Rate)로 정량화될 수 있다.⁹⁾ 방파제나 매립 그리고 선박접안 시설과 같이 해안 구조물이 폐쇄해역에 축조될 경우 조석조류가 변하고 이로 인하여 희석현상이 변화된다. 따라서, 이러한 구조물을 건설하기 위해서는 인접한 폐쇄해역에서 야기되는 해수교환율이나 희석률 변화를 예측하고 감소할 경우 이를 방지하기 위한 적절한 대책이 마련되어야 한다.³⁾

지금까지 사용되어온 해수교환율 예측 방법을 보면 준설이나 매립과 같이 직접적으로 수심이나 항내 체적에 변화를 야기할 경우 만조시와 간조시의 항내 해수용적 차이를 교환량으로 계산하기도 하며,¹⁾ 해양모델에서 가상의 입자들이 항내 체류하는 시간을 바탕으로 교환율을 산정하는 입자추적방법이 이용되기도 한다.⁵⁾ 그러나 항만 건설에서 흔히 이루어지는 방파제 축조는 매립이나 준설과는 달리 통수 단면의 변화가 해수교환율 감소의 주원인이 되기 때문에 교환량을 이용한 방법으로는 교환율 변화를 예측할 수 없다.

또한, 오염물질의 수송에는 이류(advection)와 확산(diffusion)이 모두 관여하게 되며 조석조류가 미약한 경우에는 이류보다 확산이 폐쇄해역 내 오염물질이 정화되는 과정에 더욱 중요한 역할을 하게 된다.⁸⁾ 입자추적방법은 이류현상이 항내 오염물질 정화기작의 주가 되기 때문에 조석현상이 미약하여 확산의 역할이 중요한 곳에서는 예측에 한계가 있다. 조석현상에 의한 항내 정화능력을 평가하기 위해서는 이류와 확산이 모두 고려되어야 한다. 이를 고려할 수 있는 방법으로 항내 오염물질이 조석현상에 의한 이류와 확산을 통하여 희석되어 가는 정도를 산정하여 사업에 따른 영향을 예측할 수 있다. 항내 오염물질이 희석되어 가는 과정은 일반적으로 이용되는 해수유동모델과 해양수질모델을 대상 해역에 적용하여

시뮬레이션할 수 있다.

본 연구는 조석현상이 미약한 항만에서 자정능력 변화를 예측하기 위하여 이류와 확산을 모두 고려하는 방법을 개발하고 이를 현장에 적용하였다. 연구대상 해역은 울산 신항만 건설 예정해역이며 계획중인 신항만이 온산항과 울산항에 미치는 영향을 예측하고 대안들을 설정하여 비교 평가함으로써 사업으로 인한 항내 자정능력 변화를 최소화하는 최적안을 도출하였다.

II. 연구방법

1. 대상해역

본 연구 대상인 울산항은 동해안 남부 방어진의 서쪽에 위치한 폭 900~2,000 m, 길이 약 6.6 km의 만으로 태화강(유역면적 626 km²) 하구와 연결되며 수면적은 6.3 km²이고 수심은 만의 중앙수로에서 남부의 20 m로부터 점차 얕아져 북부에서는 10 m를 유지하고 있다.⁶⁾ 원래 소어항이었으나 북내항을 개발하기 시작하여 현재는 40,000톤급의 선박까지 접안할 수 있게 되었으며 만 입구에는 1991년에 서방파제(4,000 m)와 동방파제(646 m)가 설치되어 있다.

온산항은 울산항의 남측에 위치하며 외항강의 하구로 이루어져 있다. 1978년과 1979년에 각각 남방파제와 북방파제가 완공되어 항내 수체가 정온하나 육지에서 유입된 오염물질이 외해로 빠져나가지 못하고 정체되고 있다. 항내 해수면적은 약 4.5 km²이고 평균 수심은 8.5 m이며 조석과 외항강 수량에 따라 4.5에서 18.0 m로 변화한다. 대상 해역의 평균해면은 30.4 cm이며 대조차는 48.2 cm, 소조차는 17.0 cm이고 조석 형태수는 0.26으로서 반일주조가 우세한 혼합조형이며 약간의 일조부등이 있다. 대상해역의 지리적 개요는 그림 1에 제시되어 있다.¹⁵⁾

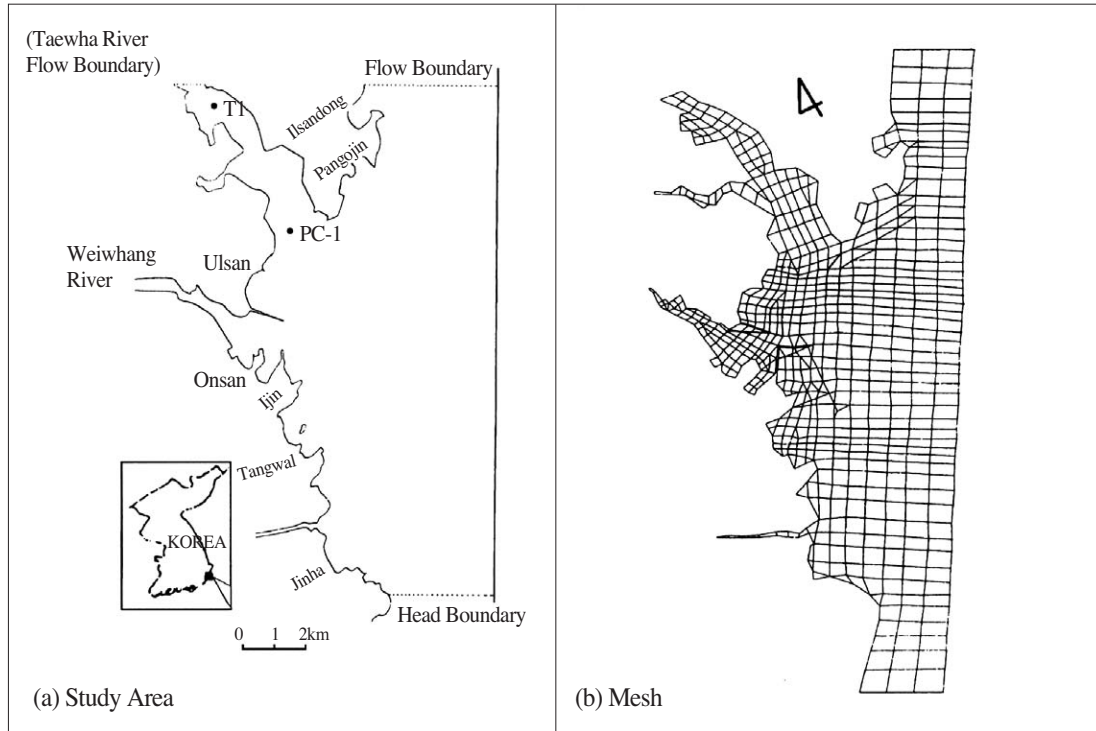


그림 1. 연구 대상해역 및 격자망 구성도.

2. 해수유동 및 수질 모델 개요

본 연구에 사용된 RMA-2/RMA-4 모델은 해수유동변화 및 그에 따른 수질변화를 예측할 수 있도록 미국 공병단에서 개발한 모델이다.^{13,14)} 지금까지 방파제 건설이나 매립으로 인한 조석조류 변화를 예측하고 토사유출로 인한 수질 변화를 예측하는데 국내 및 국외에서 널리 사용되어 왔다.^{3,10,11,12)} 유한요소법(Finite Element Method)으로 프로그램되어 지형이 복잡한 항만이나 하구에 적합하다.²⁾

해수 유동 및 조위 변화를 계산할 수 있는 RMA-2의 지배방정식은 물질수지(Mass Balance) 원리에 바탕을 둔 연속방정식(Continuity Equation)과 운동량 수지(Momentum Balance)원리에 기초한 운동방정식(Equation of Motion)이다. 연속방정식에서 시간에 따른 수위 변화 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

여기서, x 는 x 축상 거리[L], u 는 x 축 방향의 수심 평균 유속[L/T], y 는 y 축상 거리[L], v 는 y 축 방향의 수심 평균 유속[L/T], h 는 수심[L], 그리고 t 는 시간[T]이다.

운동방정식은 x 와 y 방향으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) \\ - \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{g^v}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) \\ - \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{g^v}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, g 는 중력 가속도[L/T²], a_0 는 해상 고

도[L], ρ 는 해수 밀도 [M/L^3], ε_{xx} 와 ε_{yy} 는 각각 x 와 y 축 방향으로의 normal 난류교환계수 [$M/(TL)$], ε_{xy} 와 ε_{yx} 는 각각 x 와 y 축 방향으로의 tangential 난류교환계수 [$M/(TL)$], 그리고 C 는 Manning 계수로 계산될 수 있는 Chezy 조도계수이다 [$L^{2/3}/T$].

RMA-4 모델은 RMA-2의 조석조류 변화 시뮬레이션 결과에 기초하여, 오염 부하량과 위치, 그리고 침강 등을 고려하여 시간에 따른 수질분포를 예측한다. RMA-4의 해를 구하는 기본식은 2차원 이류확산식으로 다음과 같다.

$$h\left(\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + v\frac{\partial C}{\partial y} - D_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \sigma + kC\right) = 0 \quad (4)$$

여기서 C 는 오염물질의 농도 [M/L^3], D_x 와 D_y 는 각각 x 축, y 축 방향으로의 확산 계수 [L^2/T], σ 는 오염물질의 발생이나 소멸원 [$M/(TL^2)$], 그리고 k 는 오염물질의 사멸계수 [$1/T$]이다.

3. 모델 적용 및 회석률 예측

연구대상 해역을 RMA-2와 RMA-4 모델 원리에 적합하게 그림 1(b)와 같이 2,197개의 Node와 668개의 Element로 격자망을 구성하였다. 모델의 경계부근 21개의 element는 입력되는 조위 및 조속 변화를 안정되도록 하기 위해 추가된 것이다. 지형은 해양수산부에서 발행한 해도를 이용하였으며,⁶⁾ 수심은 기준면으로부터 높이로 환산하여 입력하였다.⁷⁾ 경계조건으로는 태화강 부근의 담수 유입량과 진하 부근의 수위변화 및 일산동 부근의 조랑변화로 설정하였다. 태화강의 유량은 평수기로 가정하였고, 수위변화는 해양수산부에서 발행한 조석표를 이용하였으며 유량 경계조건(Flow Boundary Condition)에서 주어진 조랑변화는 조속변화와 수로단면적에 기초하여 보정한 값을 적용하였다. RMA-4 모델에서 확산계수는 해수 유동속도와 수심 그리고 격자크기가 고려될 수 있는 다음식에 의해 계산되도록 하였다.⁷⁾

$$E = K_1 (K_2 Du_* + 10^{-5} l^2) \quad (5)$$

여기서 l 은 격자크기, K_1 및 K_2 는 상수, D 는 수심, u_* 는 전단속도이다.

회석률은 항내 오염물질이 조석조류와 확산에 의해 회석되는 정도로 정의하였으며 초기수질을 설정하고 시간에 따라 외해 수질과 혼합되어 항내 수질이 회석되어 가는 정도를 계산한다. 회석률은 물질수지원리에 기초하여 다음과 같이 유도된다.⁴⁾

$$C = (C_0 - C) \cdot \exp(-\alpha t) + C_i \quad (6)$$

여기서 C 는 t 시간후 회석된 농도, C_0 는 초기 농도, C_i 는 유입수의 농도이며 α 는 회석률로 조석에 의해 유입 유출되는 유량을 항내 부피로 나눈 값과 동일하며 단위는 [$1/T$]이다. 회석률은 항내 오염물질이 체류하는 시간(Flushing Time)의 역수와 동일하다.

대상 해역의 수질에 기초하여 그림 3과 같이 온산항과 울산항내의 초기 COD 농도는 5 mg/l로 외해 농도는 1 mg/l로 가정하였다. 새로 건설되는 북항은 항만 이용으로 인한 오염원 발생이 있고 해수가 정체되는 지역이므로 항내와 동일하게 5 mg/l를 가정하였고 남항은 조류의 방향으로 열려 있기 때문에 1 mg/l를 적용하였다. 또한 회석률은 외해의 해수와 혼합에 의한 수질변화만을 파악하기 때문에 사멸은 이루어지지 않는 것으로 가정하였다.

본 연구 대상인 울산 신항만 건설은 1단계 공사(북항건설)와 2단계 공사(남항건설)로 이루어지게 되며 온산항과 울산항의 항 입구 부분을 차단시켜 항내 유입된 오염물질이 조석조류와 확산현상에 의해 외해로 이동하는 것을 방해하게 한다. 이를 검토하기 위하여 적절한 대안을 설정하고 각 사업 안에 따른 해수유동변화와 항내 수질 회석률 변화를 검토하였다. 대안은 다음의 네가지로 설정하였으며 지형조건을 현황 및 사업안과 그림 2에 비교하였다.

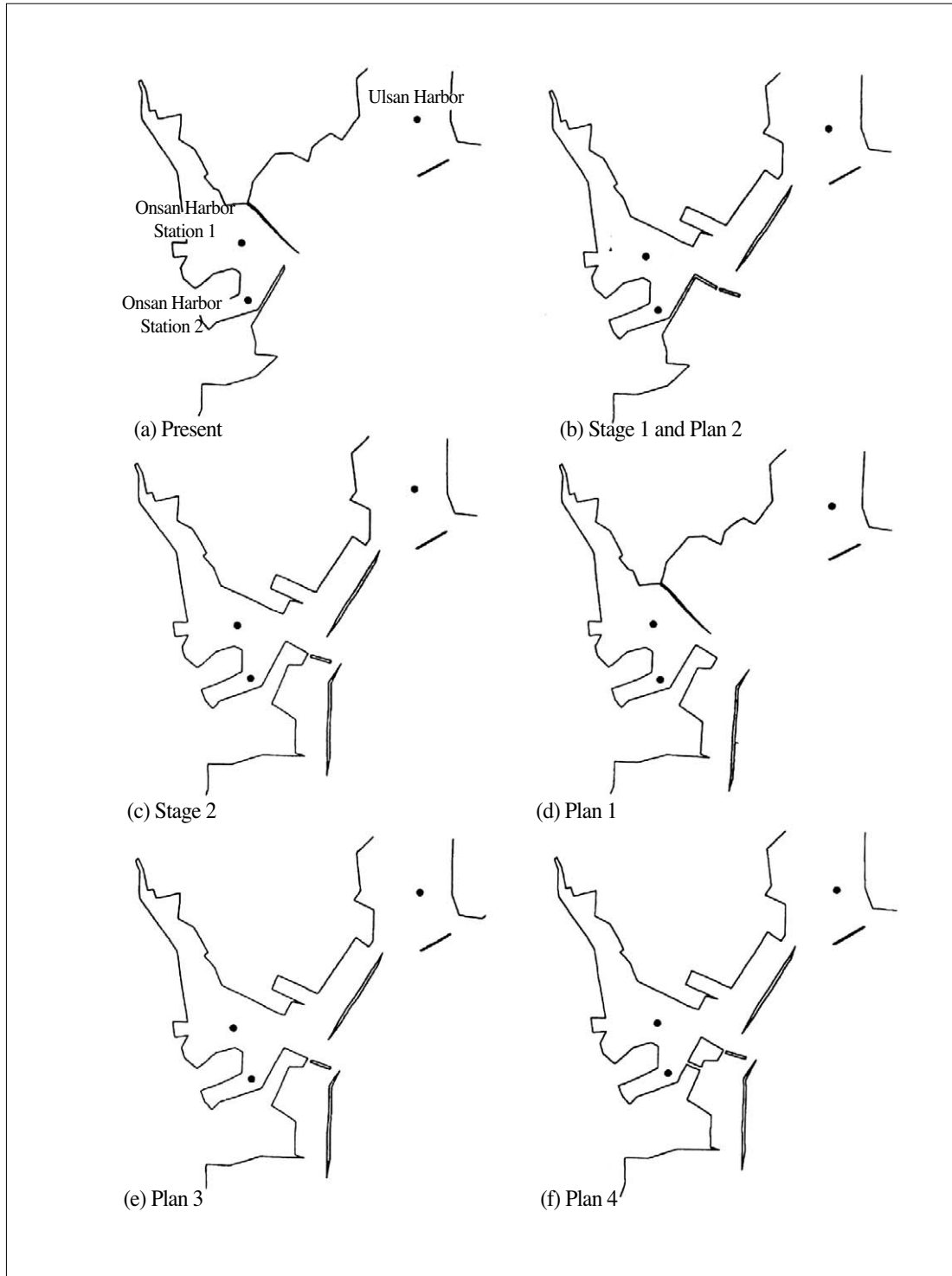


그림 2. 사업안 및 대안별 지형.

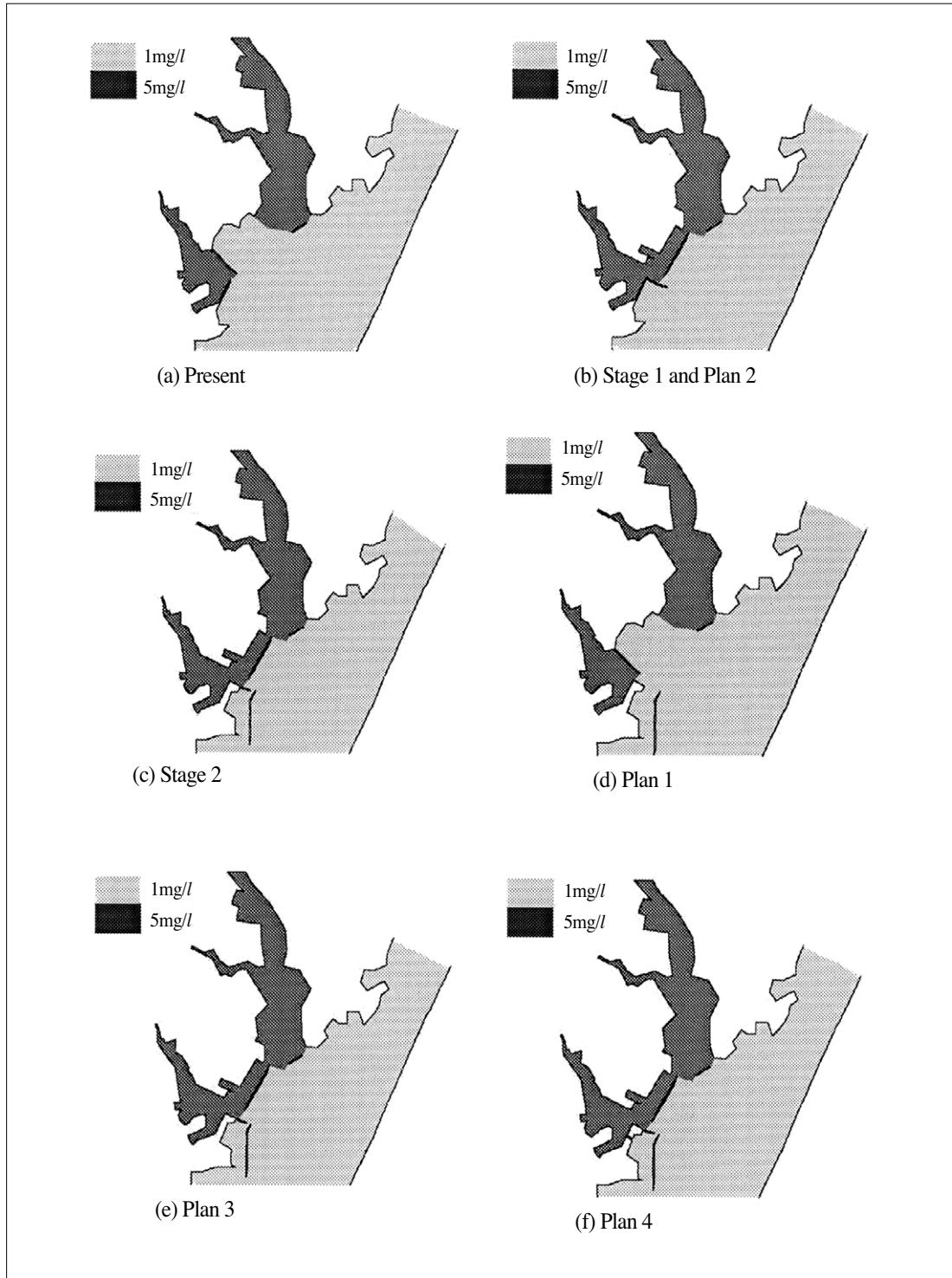


그림 3. 희석률 실험을 위한 초기 농도 분포.

표 1. 희석을 비교를 위해 설정된 대안

대안	설 명	지형(그림2)
1	북방과제 및 북항지역의 사업계획을 제척하는 방안	(d)
2	남방과제 및 남항지역의 사업계획을 제척하는 방안(1단계 공사만 하는 경우)	(b)
3	남방과제 및 남항의 길이를 50m 축소하고 중앙방과제를 남측으로 이동 배치하는 방안	(e)
4	현 남방과제 일부 구간에 해수 교환수로 1000 m ² 를 설치하는 방안	(f)

III. 결과 및 고찰

1. 모델 보정 및 검증

조류속과 조위는 각각 그림 1에 제시한 PC-1 지점과 T1지점에서 1995년 9월 26일 0시부터 24시까지 관측된 자료를 이용하여 보정하였다. 보정 결과, Manning 조도 계수와 난류교환계수

(Turbulent Exchange Coefficient)가 각각 0.015와 9500 Nsec/m²가 가장 적합한 것으로 나타났으며 이는 해양에서 일반적으로 나타나는 범위에 포함되며 우리나라 정제 해역에서 나타나는 값과 유사하다. 조류 및 조위 측정값과 모델 보정 결과를 그림 4에 비교하였다. 보정 결과에서 알 수 있듯이 모델에서 예측된 조류속이 측정치와 유사하게 나타나고 있으며 조위 변화는 실측치와 일치하고

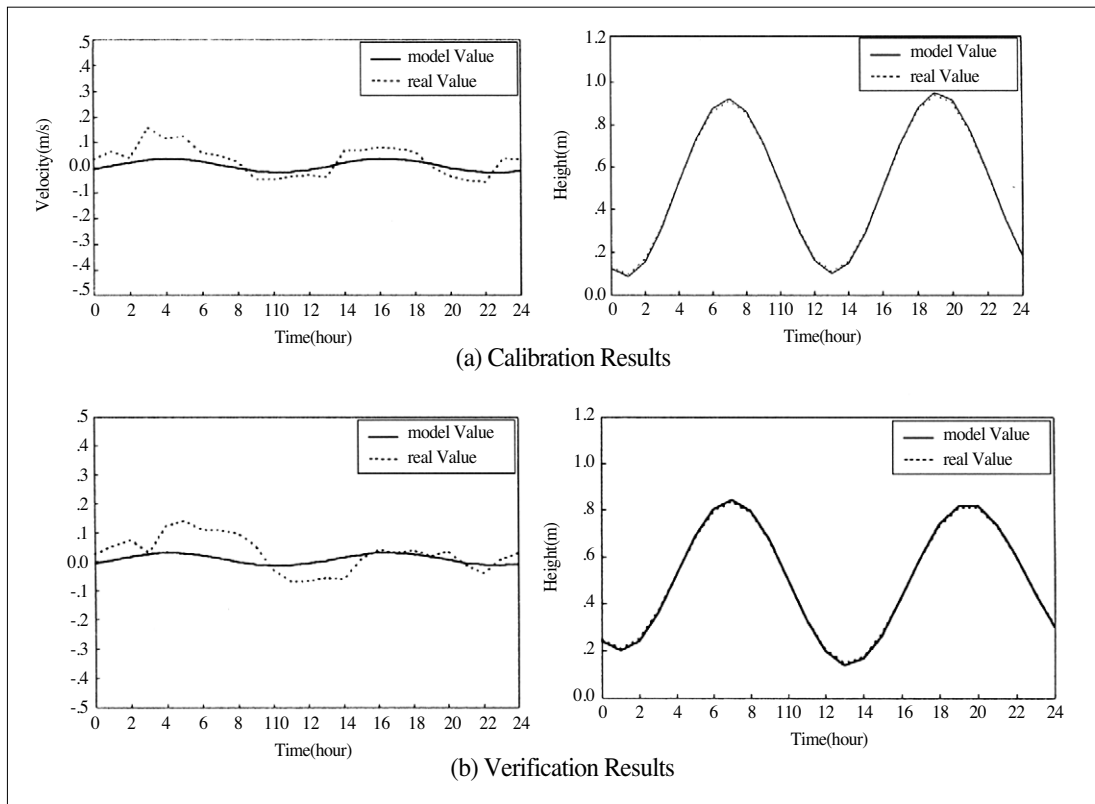


그림 4. 모델 보정 및 검증 결과.

있다. 보정된 모델의 재현성을 검토하기 위하여 새로운 조건에서 측정된 조류속과 조위를 검증하였다. 검증시 사용된 자료는 동일지점에서 1995년 9월 29일 15시에서 30일 14시까지 관측된 것이다. 그림 4에 제시된 바와 같이 검증시에도 보정시와 유사한 경향을 보이고 있다. 일반적으로 해양에서 조위측정은 파랑의 영향이 배제된 조건으로 이루어지나 조류속 측정은 파랑의 영향으로 조류속의 방향이 일시적으로 달라지기 때문에 조위는 모델값과 실측값이 매우 잘 일치하나 조류속은 그렇지 못하다. 특히 수심이 얇고 조석현상이 미약한 해역에서는 파랑에 의한 조류속의 일시적 변화가 더욱 심하다.

2. 영향 및 대안 비교평가

보정 및 검증 완료된 모델을 이용하여 여러 가지 설계안에 따른 해수유동 변화와 항내 회석률 변화를 예측하였고 이를 현재 조건에서 나타나는 현상과 비교 검토하였다. 그림 5는 사업지구 주변 해역에서 나타나는 조류의 방향과 세기를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 사업지구 인근 해역의 조속은 0.01~0.05 m/s 정도로 나타났으며 외해에 비하여 북방파제 및 남방파제, 동방파제가 위치한 해역의 유속이 0.02~0.08 m/s로 외해보다 더 빠른 것으로 나타났다. 이는 방파제 부근에서 수심이 얇고 수로가 좁기 때문이다. 1단계 및 2단계 공사후 예상되는 조류와 4가지 대안들에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 5와 그림 6에 제시하였다. 그림에서 보듯이 본 해역이 조석조류변화가 크지 않기 때문에 사업안이나 대안에 따른 조류의 방향과 세기가 크게 변화하지 않는다. 1단계 공사후에는 현재 설치된 북방파제가 일부 제거되어 항입구가 확장되기 때문에 항입구 부분에서 조류속도가 다소 감소된다. 2단계 공사후는 1단계 공사후와 거의 차이가 없으며 북항 계획을 제척하는 대안 1의 경우는 조류속이 현재와 유사하게 나타

났다. 대안 2는 1단계 공사후와 같으며 대안 3은 2단계 공사후 보다 항입구가 더 확장되어 입구 부분의 조속이 더 감소한다. 특히 해수통로를 설치하는 대안 4의 경우는 남항내 해수 유동속도를 증가시켜 온산항뿐만 아니라 남항의 해수 흐름도 원활하게 할 것으로 예측되었다.

주어진 조건에서 하루 경과후 해역에서 나타나는 사업안 및 대안별 수질 분포를 그림 7에 제시하였다. 울산항의 경우 북항 설치를 제척하는 그림 7(d)(대안 1)은 현재와 동일한 수질분포를 보이며 나머지 경우들은 항만건설로 인하여 항입구가 다소 축소되어 현재보다 회석률이 다소 감소된다. 온산항의 경우는 사업으로 인한 농도분포 변화가 보다 크게 나타났으며, 하루후의 결과에서는 남방파제의 일부 구간에 해수교환 수로를 설치하는 대안 4가 항내 수질개선에 효과적인 것으로 나타났다.

사업안과 대안에 따른 온산항과 울산항의 회석률 변화를 정량적으로 검토하기 위하여 그림 2에 제시한 항내 일정지점에서 시간에 따른 수질변화를 그림 8에 제시하였다. 두 항의 회석률을 동일한 조건에서 비교하기 위하여 항 입구에서 유사한 거리에 위치한 지점을 선정하였다. 식(6)을 이용하여 각 안에 따라 산정된 회석률과 현황을 비교한 증감을 표 2에 제시하였다. 울산항은 온산항에 비하여 사업에 의한 영향이 작은 것으로 나타났다. 울산항의 경우 대안 1은 현황과 같은 결과를 나타내며 나머지 대안들은 현황보다 교환율이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 온산항의 경우 대안 3과 대안 4가 현재와 유사하며 나머지 대안들과 사업안은 현재보다 회석률이 감소한다. 특히 대안 4와 같이 해수 교환수로가 설치되면 온산항내의 오염물질이 외해의 물과 접할 수 있는 면적이 증가하게 되어 확산에 의한 회석이 잘 이루어지므로 사업후에도 회석률 감소로 인한 항내 수질 악화를 유발하지 않을 것으로 판단된다. 또한 새로 건설되는 남항내의 흐름까지 보다 원활

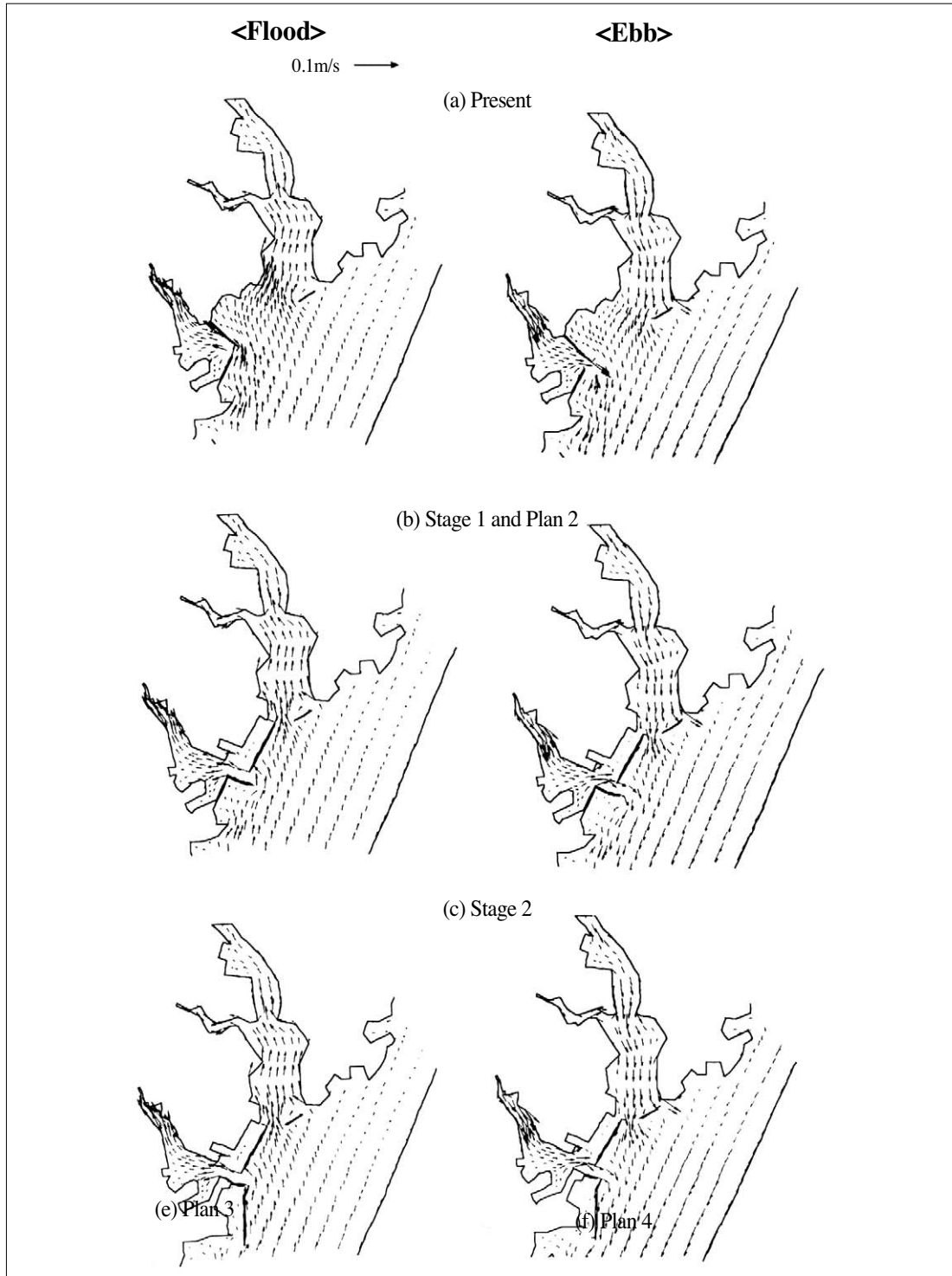


그림 5. 사업안 및 대안에 따른 조류 방향 및 속도 1.

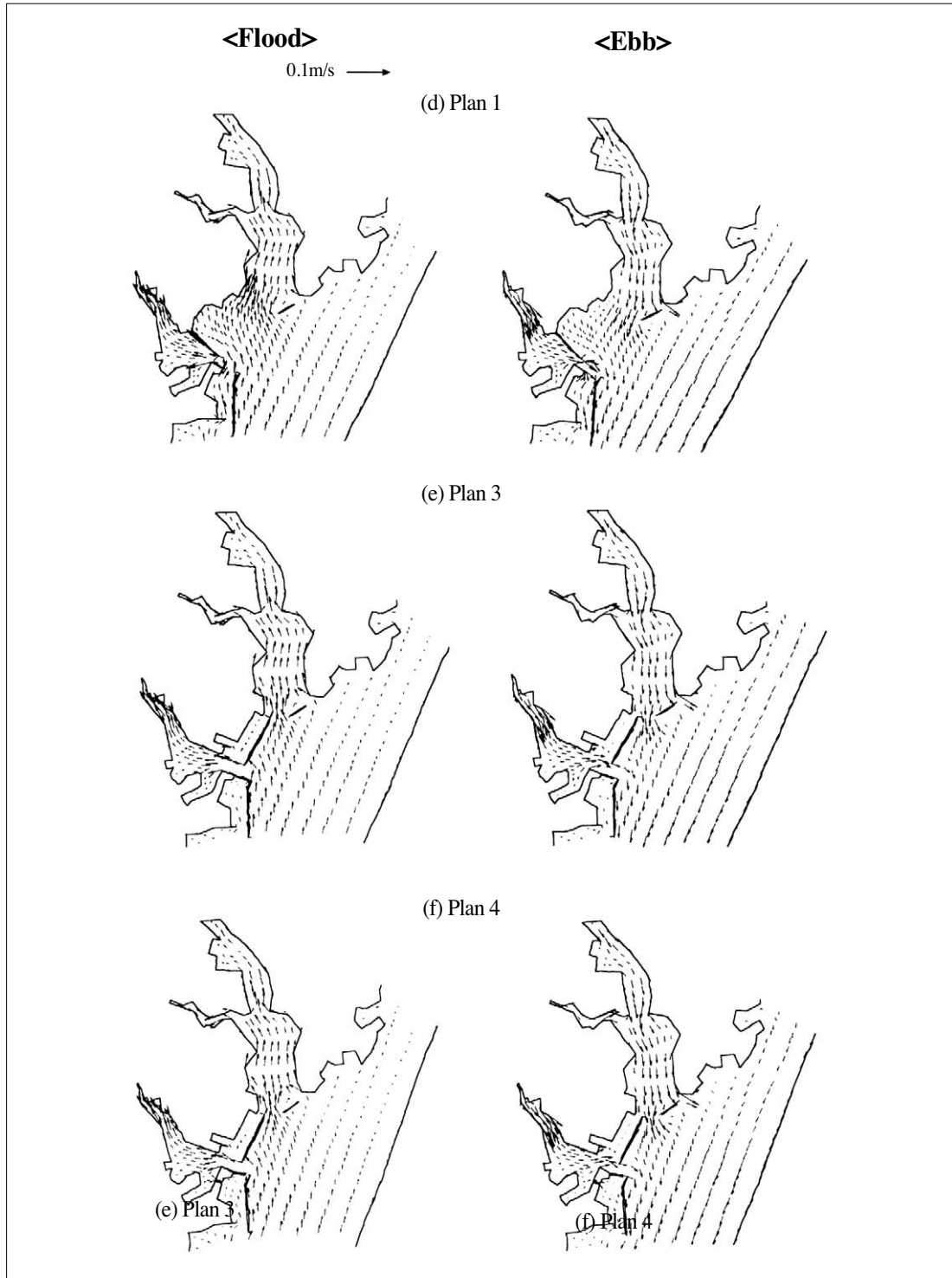


그림 6. 사업안 및 대안에 따른 조류 방향 및 속도 II.

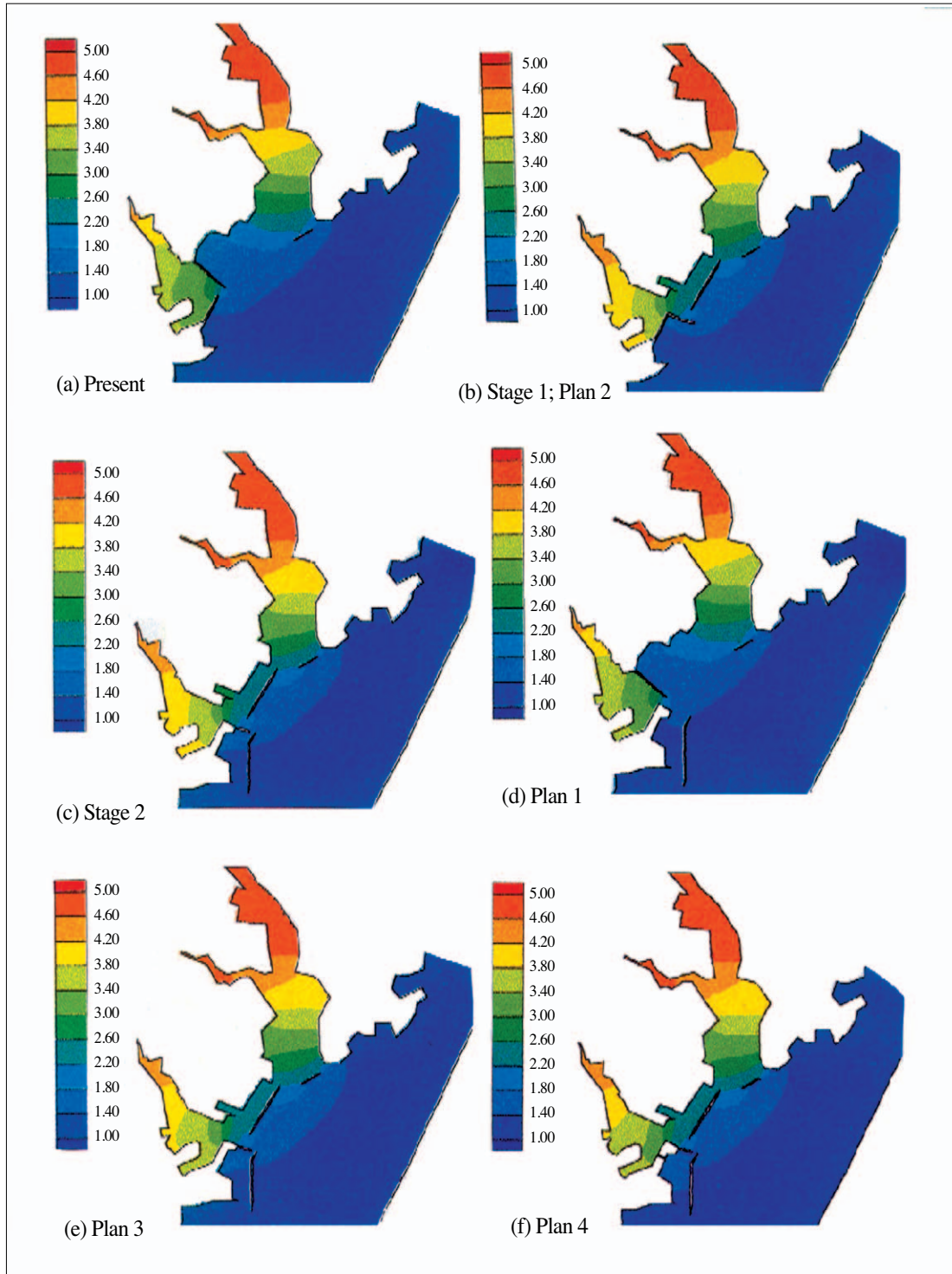


그림 7. 하루 경과후 해역 수질분포 (단위: mg/l)

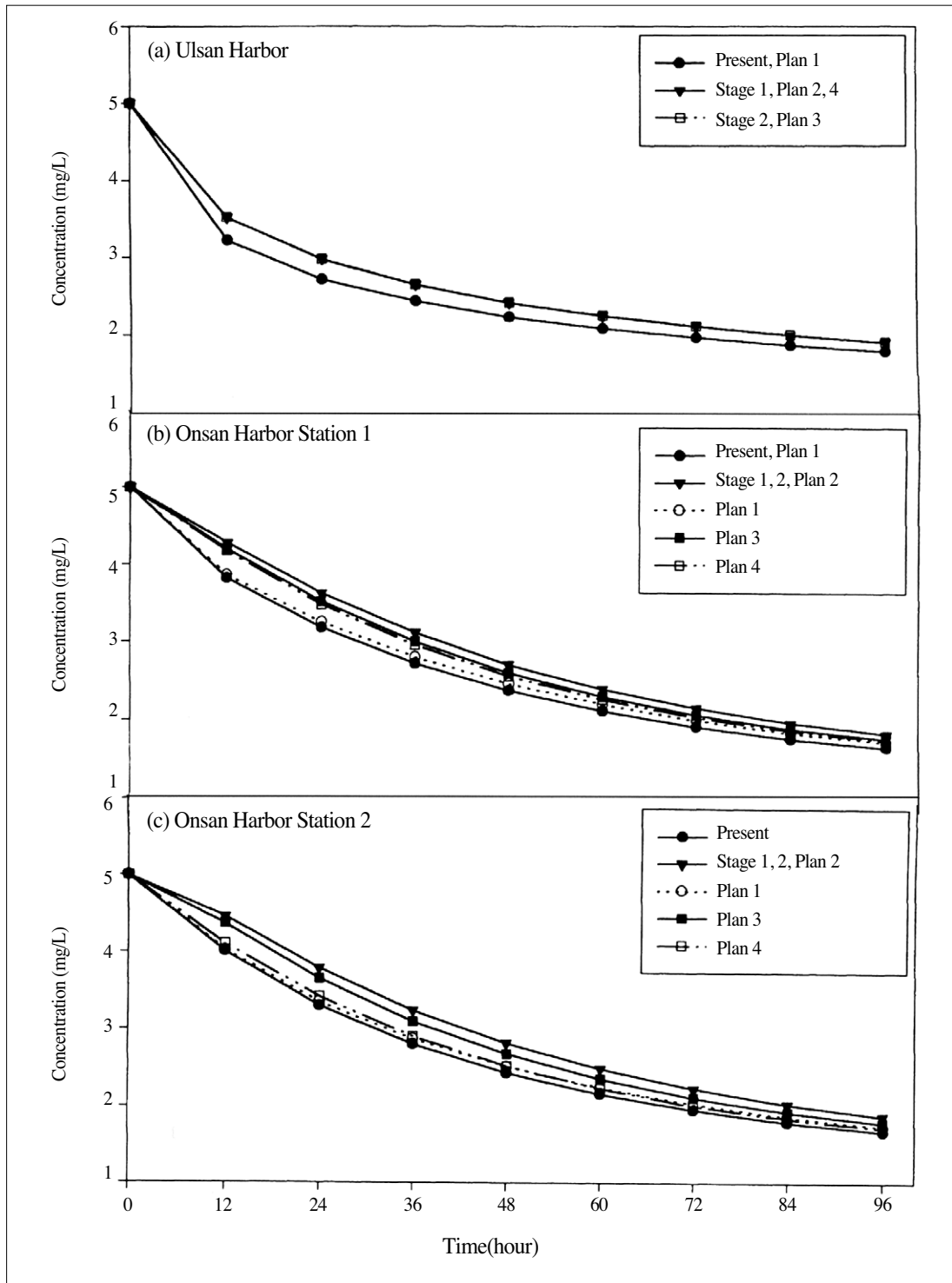


그림 8. 시간에 따른 항내 농도 변화.

표 2. 사업안 및 대안에 따른 희석률 변화

	울산항		온산항			
			지점 1		지점 2	
	희석률(hr^{-1})	증감%	희석률(hr^{-1})	증감%	희석률(hr^{-1})	증감%
현 황	9.1×10^{-3}	100%	11.1×10^{-3}	100%	11.2×10^{-3}	100%
공사 1단계	9.0×10^{-3}	99%	10.6×10^{-3}	96%	10.6×10^{-3}	95%
공사 2단계	8.9×10^{-3}	98%	10.5×10^{-3}	95%	10.5×10^{-3}	94%
대 안 1	9.1×10^{-3}	100%	10.7×10^{-3}	96%	10.8×10^{-3}	96%
대 안 2	9.0×10^{-3}	99%	10.6×10^{-3}	96%	10.6×10^{-3}	95%
대 안 3	8.9×10^{-3}	98%	10.9×10^{-3}	98%	11.1×10^{-3}	99%
대 안 4	9.0×10^{-3}	99%	11.0×10^{-3}	99%	11.1×10^{-3}	99%

하게 될 것으로 예측되었다.

IV. 결 론

본 연구에서 항만 건설로 인한 항내 수질 변화를 예측하기 위하여 해양모델에 기초한 희석률 산정 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 울산항과 온산항 해역에 적용하여 계획안에 대한 영향을 예측하였고, 영향을 최소화하기 위한 대안들을 설정하여 비교 평가하였다. 사업안은 울산항과 온산항의 입구를 축소시켜 해수유동을 변화시키고 항내로 유입된 오염물질이 조석에 의한 자정현상을 감소시킬 것으로 예측되었다.

대상해역은 조석 현상이 크지 않아 사업에 따른 조석조류 변화는 크지 않으나 희석률은 현재 상태하에서도 다른 항만에 비해 크게 떨어지고 계획안에 의해 더욱 심화될 것으로 예측되었다. 특히, 온산항의 경우 심화 정도가 매우 클 것으로 예측되었다. 이러한 영향을 줄이기 위한 대안을 비교한 결과, 남항 건설시 현 남방과제 일부 구간에 해수 통로를 설치할 경우 크게 개선될 것으로 나타났다. 해수통로의 크기를 1000 m^2 로 유지할 경우 희석에 의한 자정이 현재 상태보다 클 것으로 예측되었다. 이는 온산항 남측 해역과 남항내 해수 흐름이 원활해지고 항내 오염물질이 외해와 접할 수 있는 단면적이 증가하게 되기 때문이다.

울산항에서 희석률이 다소 감소하는 것은 불가피한 영향으로 판단되었다. 본 연구에서 제안한 희석률 산정방법은 해안에서 구조물 건설에 의한 영향을 평가하는데 효과적으로 이용될 수 있으며 폐쇄 해역의 자정능력을 예측하는데도 유용할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 (주)동일기술공사와 (주)장안환경의 연구지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 고려석유화학 주식회사, 1997, 온산항 전용부두 축조 및 배후지 조성공사에 따른 환경영향평가.
- 김석철 외 12인, 1998, 사업특성별 환경영향평가를 위한 모델의 비교연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 박석순, 박재우, 1996, "해안매립에 따른 항내 조류변화 예측", 환경영향평가학회지, 5(1): 31-45.
- 박석순, 이용석, 1999, "생명과학자를 위한 전산모형론", 동화기술, 545pp.

5. 해양수산부, 1997, "울산 신항만 방파제 기본 설계 용역 환경영향평가서".
6. 해양수산부 국립해양조사원, 1998, 울산만 해도 No. 119.
7. Brigham Young University-Engineering Computer Graphics Laboratory, 1996, Surface Water Modeling System: User's Manual.
8. Clark, R.B., 1989, Marine Pollution, Oxford Science Publications.
9. Fisher, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H., 1979, Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, New York, 483pp.
10. Heltzel, S. B. and Granat, M. A., 1988, Lower James River Circulation Study, Evaluation of Craney Island Enlargement Alternatives, Technical Report HL-88-8, Waterway Experiment Station, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
11. Park, J. W. and Park, S. S., 1998, "Hydrodynamic Modeling of Tidal Changes due to Land Reclamation in an open-ended Harbor, Pusan, Korea", J. Environ. Sci. Health, A33(5): 877-890.
12. Richards, D. R., 1988, New Haven Harbor Numerical Model Study, Technical Report HL-88-24, Waterway Experiment Station, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
13. US Army Corps of Engineers, 1990, Generalized Computer Program System for open-channel Flow and Sedimentation TABS System: Volume 1, general overview, Vicksburg, MS.
14. US Army Corps of Engineers, 1990, Generalized Computer Program System for open-channel Flow and Sedimentation TABS System: Volume 2, user's manual, Vicksburg, MS.