

# 해수교환방파제 설치에 따른 주문진항 수질개선 예측

소재귀<sup>1)</sup>, 이달수<sup>1)</sup>, 손민석<sup>1)</sup>

## 1. 서론

개발과 보전이 점차 중요시되고 삶의 질 향상에 대한 욕구가 점증함에 따라 항만도 이제는 국민에게 친숙한 생활공간으로 변화되어야 한다. 그러기 위해서는 우선 항 내의 수질을 보전함으로써 쾌적한 생활환경을 제공하여야 하고 악화된 수질을 개선하기 위한 공법을 적극 도입하여야 할 것이다.

우리 나라 동해안은 서해안과 남해안에 비해 조차가 작아 대부분의 항이 해수유통부족으로 수질이 매우 악화되어 있으며, 이 가운데 특히 주문진항은 수질이 가장 악화된 항 중 하나로 평가되고 있다. 주문진항의 수질이 이렇게 악화된 원인은 1차적으로 오염원을 무분별하게 항 내로 투기함에 있으나 항의 평면 형상이 항 내·외의 해수유통에 매우 불리하다는 데에도 상당한 원인이 있다고 하겠다. 항이 좁고 긴 형상으로 되어 있어 항 입구와 항 사이의 거리가 매우 멀다. 따라서, 항 내 수질을 개선하기 위해서는 우선 오염원의 항 내 투기를 억제하는 방법과 항 내·외의 해수교환을 촉진시키는 공법의 도입이 시급하다. 본 연구에서는 수질개선 대책의 하나로 최근 검토되고 있는 해수교환 방파제의 설치를 가정하여 신선한 외해수를 항 내에 유입함으로써 이에 따른 수질개선 효과를 검토하였다(해양수산부, 1999).

## 2. 본론

수치실험에 사용된 수치모형은 Maa(1990)가 제시한 기본방정식과 ADI 수치기법을 사용하는 수심적분 2차원 해수유통 및 오염확산 모형이며 수질자료로는 관측된 항내 12개 지점 및 항외 3개 지점 수질자료를 사용하였다. 수치모형의 지배방정식은 다음과 같다.

---

1) 한국해양연구원 연안항만공학본부

운동량보존 방정식:

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} = -\frac{\partial q_x^2/d}{\partial x} - \frac{\partial q_x q_y/d}{\partial y} - \frac{d}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - g d \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{d}{\rho} \frac{\partial \tau_l}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{xs} - \tau_{xb}) + f q_y \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} = -\frac{\partial q_x q_y/d}{\partial x} - \frac{\partial q_y^2/d}{\partial y} - \frac{d}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - g d \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{d}{\rho} \frac{\partial \tau_l}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{ys} - \tau_{yb}) - f q_x \quad (2)$$

연속방정식:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

여기서

$q_x, q_y$ :  $x, y$ 방향의 유속(流束: water discharge) 성분,  $h$ : 정수면 수심,  $\eta$ : 해수면 변동,  $d$  :

총 수심 ( $d = h + \eta$ ),  $p$ : 대기압,  $\rho$ : 해수밀도,  $t$ : 시간,  $g$  중력상수,

$f$ : Coriolis계수 ( $= 2\Omega \sin \phi$ ),  $\Omega$ : 지구회전 각속도,  $\phi$ : 대상해역의 위도,

$\tau$ : 전단응력(첨자  $x, y$ : 응력의 방향,  $s$ : 해수면,  $b$ : 해저면,  $l$ : 측면마찰)이다.

수치모형 격자의 크기는  $\Delta x = \Delta y = 5m$ 로 정방형 균일 격자이다. 수치모형 격자망과 투입된 수심(기본수준면 기준)은 그림 1과 같다. 각 격자의 수심은 한국해양조사원 발행 해도 No.165(축척: 1/5,000)를 사용하여 투입하였으며, 평균해수면은 해도에 제시된 0.20m로 하였다. 항 내의 수심은 알아서 대부분 7m 이내이다. 수치모형의 외해 경계조건으로는 조위조건을 주었으며, 관측된 조석자료 조화분석 결과중 주요 7개 분조(M2, S2, O1, K1, N2, Mm, Msf)의 조화상수를 해당 격자에 동일한 값을 부과하였다. 항 입구가 좁기 때문에 동일한 값을 부과하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단하였다. 계산시간 간격  $\Delta t$ 는 2.0초로 하였으며, Coriolis 계수 부과 시 위도의 기준은 37° N으로 하였다. Darcy-Weisbach 마찰계수( $f_d$ )는 Maa(1990)가 사용한 0.015를 그대로 전 영역에 걸쳐 일정하게 주었다.

수치모형에 사용된 COD 농도는 주문진항 내의 15개 지점(항내 지점은 그림 1 참조)에서 2001년 3월부터 8월까지 매월 1회씩 관측되었다. 항내평균 COD는 7월에 4.73mg/l로 가장 높고 항의 평균도 7월에 2.00mg/l로 가장 높았다. 해수교환방파제의 성능을 검토하는 수치실험에서는 실험조건으로 최악의 상황을 가정하는 것이 타당하므로 실험 시 항 내의 초기 농도분포는 7월 관측치 분포를 가정하였다. 따라서, 해수교환방파제를 통하여 유입되는 해수의 COD농도는 해수교환

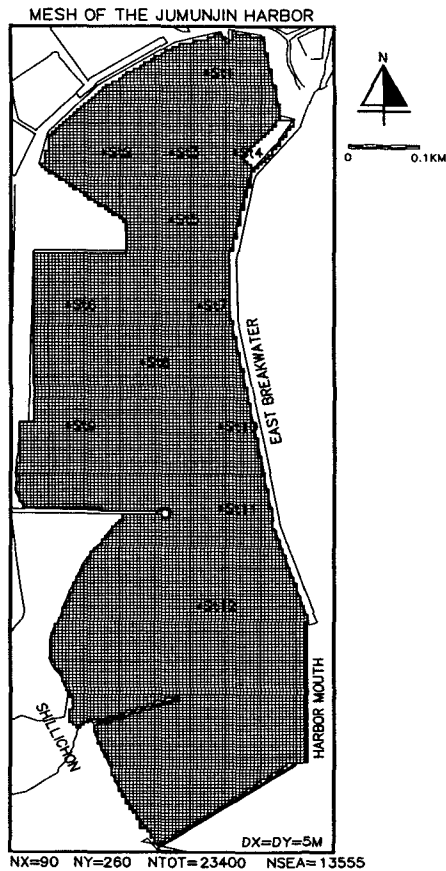


그림 1 수치모형실험 격자망 및 COD 관측정점 위치

해수가 유입되는 [Case A( $1.65m^3/s$ )]와 동일한 양의 해수가 14일만에 유입되는 [Case B( $0.83m^3/s$ )]의 두 가지 안이다. 실험기간은 2001년 7월 1일부터 30일까지의 30일 간으로 하고 이 기간의 실제조석 예측치를 항 입구의 외해경계조건으로 주었다.

### 3. 실험 결과

실험에서 초기농도는 2001년 7월 관측 COD농도이다. 여기에 해저면 용출을 도입하고 분해계수 0.05/일을 균일하게 적용하였다. 초기 항내평균 COD농도는  $4.20mg/l$ 이었으며, 실험이 진행되면서 항내평균 COD농도는 시간에 따라 감소하였다. 7일 후 [Case A]의 농도는  $2.76mg/l$ , [Case

방과제 예정 위치인 동방과제 외측에서 얻은 COD농도  $1.6mg/l$ 을 주었으며, 외해 경계인 항 입구에서의 COD농도는 항구 외측 정점에서 얻은 COD농도  $2.50mg/l$ 을 주었다.

주문진 항내 12개 정점에서 2001년 6월과 8월 2회에 걸쳐 해저면 저질을 채취하여 COD 용출을 및 용출 속도를 실험하여 용출속도를 계산하였다. 용출속도 계산 시 플라스크의 시료 표면 지름은  $10cm$ 로 가정하였으며, 단위 면적당 하루 동안의 용출량을 용출속도로 하였다.

수치실험을 실시하는 2001년 7월의 용출 속도는 6월과 8월의 값을 평균하여 추정하였다. 실험 시에는 해저면에서 7월 추정 용출속도로 COD 용출이 지속되는 것으로 가정하였다. 또한 COD의 비보존성을 고려하여 분해계수를 도입하여 지속적으로 농도가 감소되는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 항내 COD농도가 증가하는 하계의 특성을 감안하여 해수교환이 없을 경우 항내 COD가 약간씩 증가하도록 분해계수 0.05/일을 가정하였다. 부과된 수심을 기준으로 할 때, 항내 총체적은 약  $148만m^3$ 이나 본 연구에서 검토한 실험안은 해수교환방과제를 통하여 7일만에  $100만m^3$  외해

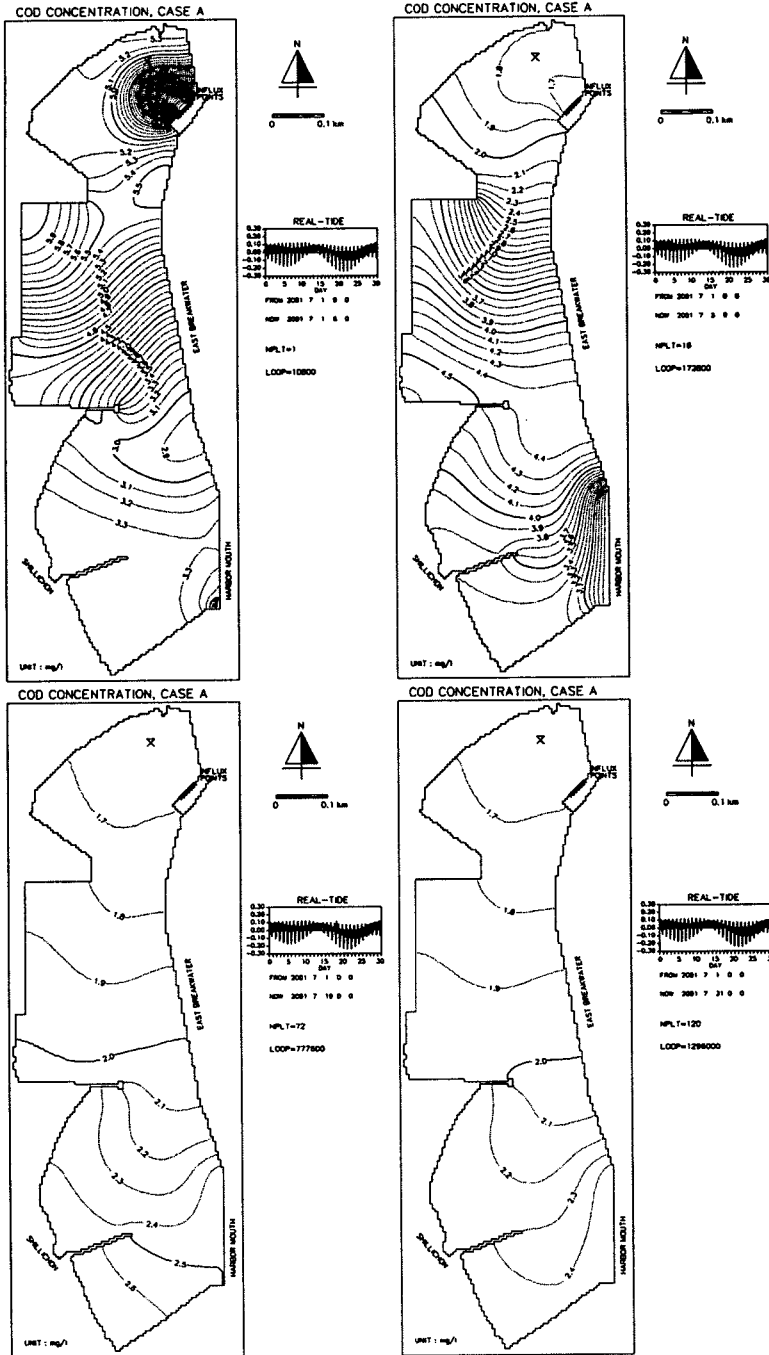


그림 2. Case A의 COD 농도 분포 변화

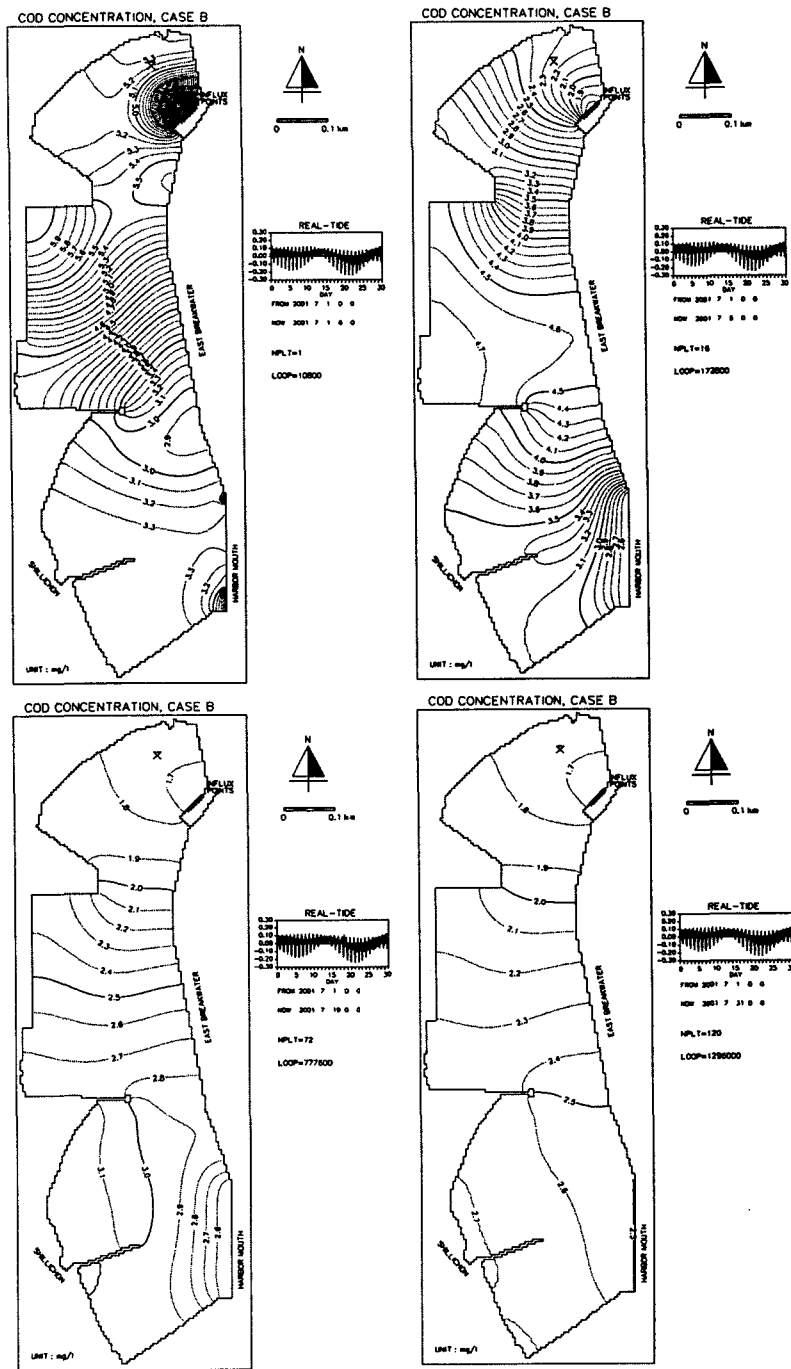


그림 3. Case B의 COD 농도 분포 변화

B]의 농도는  $3.38\text{mg/l}$ 이었으며, 14일 후 [Case A]의 농도는  $2.14\text{mg/l}$ , [Case B]의 농도는  $2.73\text{mg/l}$ 이었다. [Case A]의 경우 21일째부터는  $2.00\text{mg/l}$ 로 평형상태에 도달하였으며, [Case B]의 경우는 30일째에도  $2.28\text{mg/l}$ 로 아직 평형상태에 도달하지 못하였다. 그림 2 에는 [Case A]의 시간에 따른 항내 COD농도 분포를 제시하였으며, 그림 3 에는 [Case B]의 COD농도 분포를 제시하였다.

#### 4. 결론

해수유동 및 확산모델을 이용한 수치모형실험을 통하여, 해수교환방과제 설치 규모별 해수 유입량을 대상으로 항내 유속장의 변화를 예측하였으며, 수질 및 저질조사 자료를 이용하여 항내 COD 농도의 변화양상을 예측하였다. 주문진항에서는 조류에 의한 해수교환은 거의 이루어지지 않고 있으며 해수교환방과제 설치에 따른 해수교환율은 대폭 상승할 것으로 예측되었다. 조석에 의한 1주일 후의 공간 평균 교환율은 0.18에 불과하나 해수교환방과제로 1주일간 100만톤의 해수를 유입하는 안에서는 1주일 후의 교환율이 0.66에 이르며 이들이 복합된 현상에서는 1주일 후의 교환율이 0.7 이상이 될 것으로 예측되었다. 2주일 후의 공간 평균 교환율은 조석에만 의한 경우에는 0.33이나 조석과 파랑의 복합작용에 의한 교환율은 0.93으로 예측되었다. 조석에 의한 해수교환은 주로 항의 입구 부근에서 이루어지지만 파랑에 의한 해수교환은 항의 내측에서도 활발하게 이루어진다. COD 농도의 공간적 변화를 비교하면 항내 실제 수질의 개선 측면에서 파랑을 이용하는 해수교환방과제의 기여도는 위에서 제시한 항내 전체 공간을 대상으로 하는 평균의 개념에서 평가한 기여도보다 현저하게 높게 나타났다.

#### 참고문헌

- 해양수산부. 1999. 해수교환방과제의 실용화연구(Ⅱ).
- 동해지방해양수산청. 2001. 주문진항 해수교환시설 실시설계용역 보고서.
- Maa, J.P.-Y. 1990. An efficient horizontal two-dimensional hydrodynamic model. Coastal Engineering, 14(1990) 1-18.