

Random Walk 모형에 의한 내만의 해수교환능 평가

이 종 섭 · 김 호 진

1. 서 론

해수교환에 대한 연구는 내만의 심각한 오염문제가 제기된 1970년대를 시초로 시작되었으며, Parker *et al.*(1972)는 조석교환계수라는 개념으로 해수교환을 표현하였다. 만내로 하천 유입이 있는 경우를 포함한 해수교류에 대한 기초적 연구(中村, 1976)가 이루어 졌다. 그 후 1980년대에 이르러 그 연구가 활발히 이루어져 용어에 대한 정립과 아울러 해수교환을 산정하는 기법, 교환기구의 해석에 있어 대다수의 연구가 이루어졌다. 그 대표적인 연구로서 해수교환의 개념과 교환율에 대한 연구(柏井, 1984)가 있었으며, 그 교환율을 산정하는 방법에 대한 연구로서 해역을 적절한 구역으로 나누는 Box model에 의해 해수교환량을 추산한 연구(木村, 1984)와 좁은 만을 통한 해수교환을 3차원적 수치실험을 통해 산정한 연구결과(Imasato *et al.*, 1994)가 있다. 한편, 국내에서는 현장관측에 의해 가막만에서 해수의 유량과 유동범위로 부터 해수교환율을 추정한 연구(이·장, 1982)와 거제만(김·장, 1985)과 마산만(김, 1987)에서는 만구단면에서 Euler적인 연속관측에 의해 교환율을 추정한 연구가 있다. 또한, 교환기구해석에 있어서도 만구부 유입수피의 이동과 해수교환기구(上嶋, 1981), 연안성 해양전선의 변동에 기인해 일어나는 해수교환과정을 수치실험으로 조사한 바(Akitomo, 1988) 있으며, 만구를 통한 해수혼합의 난류 효과에 대한 연구 결과가 있다.(Awaji, 1982)

해수교환을 산정하는 방법으로는 크게 나누어 Box model, Flux model, Lagrange model이 있다. Box model은 만전체의 해수가 어떤 기간내에 어느 정도 바뀌는가를 평가하는 방법이며 장시간의 시간 scale이 요구된다. 그리고, Flux model은 만구단면을 통한 염분 flux를 직접 측정하여 교환량을 평가하는 방법이다. 그러나, 현지에서 직접 측정을 행한다는 것은 용이하지 않으며 현재 수치계산방법이 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 정량적인 해수교환을 산정을 위해 수치모형을 도입하여 만의 형상에 따른 해수교환강도 및 해수교환율을 산정하여 해수교환을 원활하게 시키는 최적의 만의 형상을 결정하고 만구부근에서 도류제 배치에 의한 장기적인 해수교환능력의 평가에 그 목적이 있다.

2. 해수교환을 산정방법

* 부산수산대학교 토목공학과

조류는 왕복류이므로 해수의 전입자가 단순한 왕복운동을 해서 1조석 주기후에 원래 출발점으로 돌아오는 경우 해수교환은 일어나지 않을 것이다. 그러나, 실제 해역에서 입자는 해수유동의 비선형성 또는 지형적인 요인에 의한 조석잔차 성분에 의해 원래의 출발점으로 돌아오지 않고 Net transport를 가져온다.

일정 수심의 단순한 지형을 가지는 모형수조에 반일주조류가 유입해 오는 경우의 수치실험에서 수평 2차원의 조류장을 가정하여 2개의 해역으로 나뉘는 좁은 수로부에 경계를 설정해서 개경계를 포함한 쪽이 외해측 해역, 반대편을 내만측이라 하고 만내에 다수개의 입자를 추적하면, 초기 만내에 배치된 입자가 어떻게 이동하는가를 알 수 있다. 1조석 주기후 해수입자가 초기의 위치로 되돌아오지 않고 경계선에서 외해로 나간 개수만큼 교환이 일어나게 된다.

中田·平野(1976)은 실제 해양에서 buoy의 방류에 대한 연구를 활발히 진행한 바 있다. 그러나, 다수개의 float군의 동시 추적을 현지 해양에서 행하는 것은 상당한 어려움이 따르므로 이 방법은 수치실험에서 이용하는 편이 여러가지 면에서 편리하며 현재 많이 이용되고 있다. 수치계산에 있어서는 이미 얻어진 유속장에 다수개의 표식 입자를 투입해 그 궤적을 구해서 교환량을 평가하는 방법으로서 본 연구에서는 Random Walk method로서 수행하였다. 그리고 교환량을 평가하는 방법은 다음과 같다.

$$E_v = V_{res} / V_{max}$$

여기서, V_{max} 는 외해측으로 나간 내해수의 체적이 최대가 되었을 때이다. V_{res} 는 1조석 주기후 외해측에 남겨진 내해수의 체적이다.

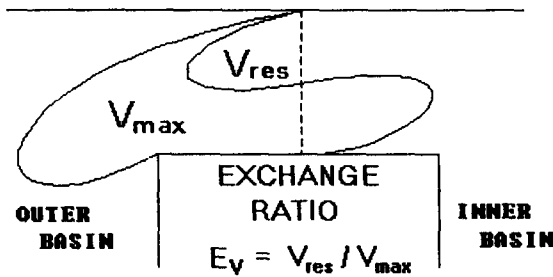


그림1. 조석교환을 E_v 의 정의

3. 해수교환을 산정 수치모형

본 연구에서 해수유동의 수치계산은 Model DIVAST(Falconer, 1986)에 의하여 계산하였다. 그리고, 해수교환을 산정을 위한 입자추적은 Model RANDLEE(이·김, 1995)에 의하여 계산하였다.

4. 해수유동 계산결과

본 모델의 검증을 위해서 (Awaji *et al.*, 1980)에 의해 제안된 모형수조에서의 계산결과와 DIVAST모델의 계산결과와 비교검증을 행하였다. 계산조건은 Δx , Δy (x, y방향의 격자간격) : 1000m, Δt (계산시간간격) : 45sec, 개경계의 진폭 : 90cm, 조석주기 : 12hrs, 수심 : 40m로 주어 계산을 수행하였으며 그림2에 두가지 모델(Awaji *et al.* and DIVAST model)로 계산된 잔차류 성분의 비교를 나타내었다. 그림에서 수로 양안 부근에 각각 시계방향과 반시계방향의 와류가 존재하는데 이것은 지형적인 영향으로 인한 것으로서 Awaji *et al.*(1980)의 연구결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

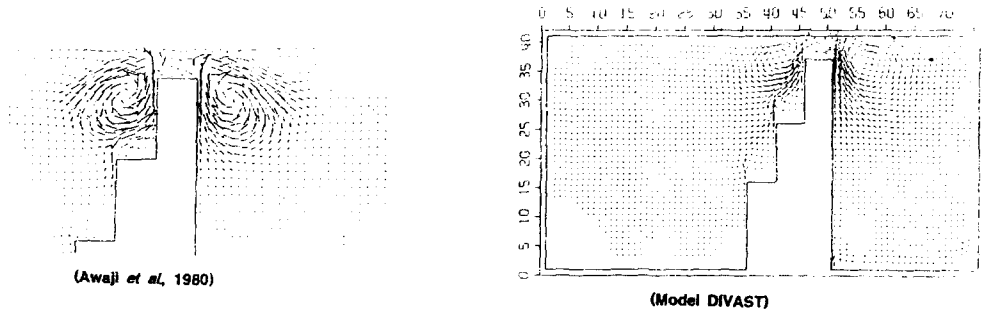


그림2. 조석잔차류 계산결과의 비교

5. 만의 형상과 도류제 설치에 의한 해수교환을 산정

5.1 만구의 형상에 따른 해수교환율

만의 평면형상에 대한 교환율의 변화를 검토하기 위해 우선 만의 길이(Y)를 일정하게 두고 만구폭(b)에 대한 만의 폭(X) X/b를 2, 3, 4로 변화시켜 가면서 계산하였다. 여기서, Case A는 만의 중앙부에 만구가 있는 경우이고 Case B는 만구가 만의 한쪽으로 열려있는 경우이다. 표 1은 계산결과를 나타낸다.

표1. 만구의 형상에 따른 해수교환율

Case	Length scale (constant X)	Ratio	Initial number(ea)	V_{max} (ea)	V_{res} (ea)	E_v (%)
A1	X / b	2	30798	5334	1333	25.0
A2		3	30798	5355	2701	50.0
A3		4	30798	3385	990	29.2
B1	X / b	2	30798	5056	1028	20.3
B2		3	30798	4984	1917	38.5
B3		4	30798	4729	2177	46.0

표2. 만의 길이에 따른 해수교환율

Case	Length scale (constant b)	Ratio	Initial number(ea)	V _{max} (ea)	V _{res} (ea)	E _v (%)
C1	X / b	2	20358	3539	1319	37.2
C2		3	30798	5355	2701	50.0
C3		4	41238	7165	3774	52.6
D1	X / b	2	15138	2378	719	30.2
D2		3	22968	2605	1641	45.5
D3		4	30798	4729	2177	46.0

5.2 도류제 설치에 의한 해수교환율

해수교환 능력의 증진 방안으로서 만구부근에 도류제를 설치하여 해수유동 및 해수교환율의 변화를 조사하였다. 그림3은 모형수조A에 도류제를 설치하였을 경우 조석간차류의 계산결과를 나타낸다.

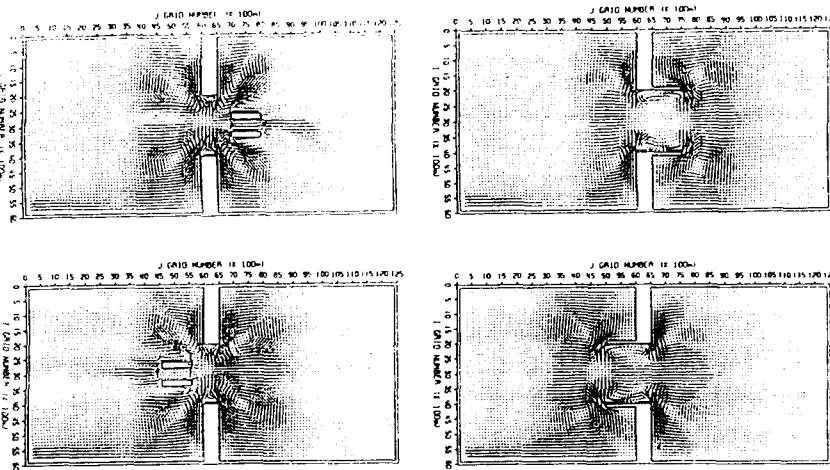


그림3. 모형수조A에서 도류제 설치에 따른 조석간차류의 변화양상
(좌상: A1, 우상: A2, 좌하: A3, 우하: A4)

교환능력의 변화를 파악하기 위하여 초기에 등간격으로 각 격자마다 9개의 입자를 배치한 후 각 조석주기별로 초기에 내만에 배치한 입자개수(N₀)에 대한 각 조석주기별로 내만에 존재하는 입자갯수(N)의 값을 나타내었다.(그림4)

그림4로 부터 약 3조석 주기후 부터 도류제를 설치한 경우의 교환율이 도류제가 없는 경우보다 커짐을 볼 수 있으며, 도류제를 만의 안쪽에 배치한 Case A1과 Case A2가 도류제를 만의 바깥쪽에 배치한 경우보다 교환율이 큰 것으로 나타났다.

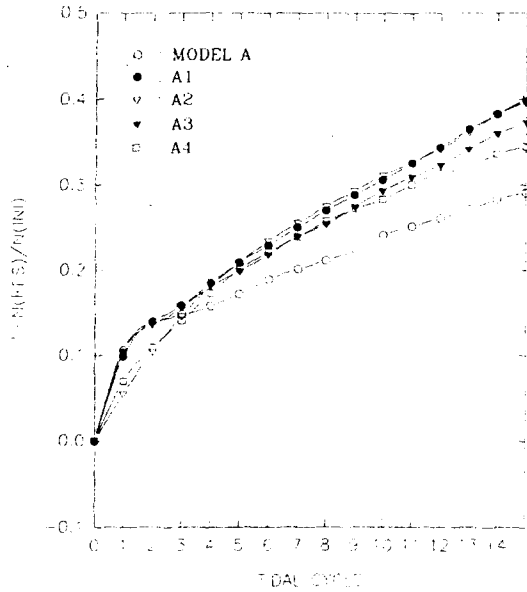


그림4. 모형수조A에서 조석주기별로 교환율 변화

6. 결론

만의 해수교환을 촉진을 통한 수질개선 방안으로서 만구의 형상, 만의 형상 및 만구에 도류제를 설치하였을 경우의 해수유동과 해수교환율에 커다란 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 항만의 설계에 있어서 도류제나 방파제 등을 설치한 경우 항내 정온도 이외에 해수교환율을 고려하여 구조물을 배치할 필요가 있다.

참고문헌

- Awaji, T. (1982) : Water Mixing in a Tidal Current the Effect of Turbulence on Tidal Exchange through a Strait, *Journal of Physical Oceanography*, Vol.12, 501-514
- Awaji, T., N. Imasato and H. Kunishi (1980) : Tidal Exchange through a Strait : A Numerical Experiment Using a Simple Model Basin, *Journal of Physical Oceanography*, Vol.10, 1499-1509
- Cha-kyum Kim and Jong-sup Lee (1994) : "A Three-dimensional PC-based Hydrodynamic Model Using an ADI Scheme", *Coastal Engineering* 23 1994, pp.271-287.
- Cushman, J.H. (1987) : "Development of Stochastic Partial Differential Equations for Subsurface Hydrology", *Stoch. Hydrol. Hydraul.*, Springer-Verlag, Vol.1, No.4.

- pp.241-262.
- Elder, J.W. (1959) : "The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow" .
J. Fluid Mech., Vol. 5. pp. 544-560.
- Falconer, R.A. (1986) : "A Two-dimensional Mathematical Model Study of the
Nitrate Levels in an Inland Natural Basin" . Proc. Inter. Conf. Water Quality
Modellings in the Inland Natural Environ., BHRA, Fluid Enging. Bournemouth.
Paper J1. pp. 325-344.
- Norihisa Imasato, Shinsou Fujio, Qian Zhang, Toshiyuki Awaji, Kazunori Akitomo
(1994) : Three-Dimensional Numerical Experiments on Tidal Exchange through a
Narrow Strait in a Homogeneous and a Stratified Sea, Journal of Oceanography,
Vol.50, pp 119-139
- Norihisa Imasato, Toshiyuki Awaji, Hideaki Kunishi (1980) : Tidal Exchange
through Naruto, Akashi and Kitan Straits, Journal of the Oceanographical
Society of Japan, Vol.36, pp 151-162
- Parker, D. S., D. P. Morris and A. W. Nelson (1972) : Tidal exchange at Golden
Gate, Proc. Amer. Soc. Civil Eng., 2, pp305-323
- Prickette, T.A. (1981) : Naymik, T.G. and Lonquist, C.G., "A Random Walk
Solute Transport Model for Selected Groundwater Quality Evaluation" , Illinois
State Water Survey, Bulletin 65, 1981, 103p.
- 김종화 · 장선덕 (1985) : 거제만의 해수교환, 한국수산학회지 제18권 제2호 pp 101-108
- 김해룡 (1987) : 마산만의 해수교환, 부산수산대학교 해양공학과 공학석사 학위논문
- 木村晴保 (1984) : 'Box modelに 基づく海水交換量 の推算法', 第31回 海岸工学講演會 論文集,
pp. 680-684
- 木村晴保 (1984) : ボックスモデルに 基づく海水交換量 の 推算法, 第31回 海岸工学 講演會 論文集,
pp. 680-684
- 柏井 誠 (1984) : '海水交換概念과 海水交換率', J. Ocenog. Society of Japan, Vol.40, pp
135-147
- 서일원 · 정태성 (1994) : "2차원 Random-Walk 模型을 이용한 횡확산해석" , 제36회 수공학
연구발표회 논문집, 한국수문학회, pp. 191-198.
- 이명철 · 장선덕 (1982) : 가막만의 해수교환, The Journal of the Oceanological Society of
Korea, Vol.17, No.1, 12-18
- 이종섭 · 김호진 (1995) : Random Work모형에 의한 확산해의 민감도 해석, 대한토목학회논문
집, 15 (5), 1267-1277
- 中村 充 (1976) : '海水交流に 關する 研究', 第23回 海岸工学講演會論文集, pp 507-511