담수와 염수의 혼합에 관한 수치모형연구

오 영 민 (한국해양연구소 연안공학연구부 선임연구원)

1. 서 론

하구부근에서는 일반적으로 염수의 영향으로 하천수를 관계용수나 식수공급용으로 사용하기가 어려운 실정이므로 먼 지역으로부터 파이프를 통하여 용수공급을 하고 있는데 많은 비용이 소요된다. 따라서 하구부근에서는 적은 비용으로 해수의 유입을 효과적으로 차단하여 하천수를 직접 취수할 수 있는 방안 마련이 시급하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기름 확산을 차단하거나 해양 준설시에 이용되는 막(膜)구조물을 담수 저장용 탱크로 이용하는 방안을 강구하였다. 담수저장 원리는 일단 초기에 막구조물 사이에 하천수가 저장되면 밀도차에 의하여 해수는 아래로 흐르고 담수는 위에 머문다는 것이다. 물론 바람이나 파랑에 의하여 구조물 위로 해수가 월파하여 오염될 수도 있으나 월파(越波)를 방지할 수 있다고 가정하면 담수는 오직 해수와의 경계층에서의 혼합에 의하여 오염이 된다. 이 시스템은 고정식이 아니라 설치와 철수가 매우 용이한 부유식이며 하부를 통한 흐름이 허용되므로 흐름의 차단에 의한 오염의 가능성도 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 경계층에서의 혼합속도가 빠르지 않다면 이러한 시스템은 해수의 영향으로 용수공급에 어려움을 겪는 하구지역에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

온도나 염도의 차에 의하여 형성되는 밀도경계층은 호수나 저수지 및 하구에서 쉽게 발견되는데 이러한 경계층은 층간의 흐름을 차단하여 오염을 가속화시키는 원인이 되기도 한다. 호수나 저수지에서는 상층수가 더운 반면 하층수는 차가워서 밀도경계층을 형성하며 또한 발전소의 냉각수는 주위의 해수와의 온도차로 인하여 밀도경계층을 형성하는데 이는 두 층간의 물질교환을 방해하여 생태계에 많은 악영향을 끼친다. 본 연구에서는 밀도경계층이 층간의 교환을 어렵게 한다는 원리를 이용하여 조석에 의한 해수의 영향을 받는 하천에서 바닥이 없는 단순한 탱크 형태의 막구조물을 이용하여 하천수를 해수와 분리하여 저장하는 사업의 첫 단계로서 저장된 담수와 유입해수와의 반응형태 및 혼합속도 등을 연구하였다. 이를 위하여 FLUENT라는 상업용 프로그램을 이용하여 혼합현상을 재현하였는데 이 프로그램은 단일유체의 난류흐름은 물론이고 성질이 서로 다른 유체의 혼합특성도 재현할 수 있으며 3차원 해석도 가능하다.

2. 수치모델, FLUENT

2.1 개 요

FLUENT는 유체의 흐름, 열전달 및 화학반응 등을 모형화할 수 있도록 만들어진 프로그램이다. 이를 이용하면 복잡한 계산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 문제를 쉽게 해석할 수 있다. 따라서 FLUENT는 항공기 설계, 다굴절 파이프 설계, 건축설계 등을 위한 흐름해석에 폭넓게 적용할 수 있다. 또한 FLUENT는 그래픽 기능이 첨가되어 결과를 한눈에 볼 수 있으며 다양한 경계조건의 입력이 가능하여 벽면경계의 이동이나 회전, 유속이나 압력에 의한 흐름발생, 주기적으로 변화하는 벽면경계 등의 입력이 가능하다. FLUENT는 층류흐름도 계산할 수 있으나 주로 난류흐름을 계산하기 위하여 만들어진 프

로그램이다. 난류흐름을 계산하는 방법에는 난류 에너지 k와 난류 에너지 감쇄율 ϵ의 전달 방정식을 도입한 $k-\epsilon$ 모형과 이를 개선하여 계산시간을 단축시키고 수렴속도를 빨리한 ReNormalization Group (RNG) $k-\epsilon$ 모형 및 강한 회전류를 계산할 수 있는 Reynolds Stress(RS) 모형이 있는데 문제에 따라 선택적으로 사용할 수 있다.

FLUENT는 단일위상(Single phase) 뿐 아니라 2개 이상의 복합위상(Multiple phase)간의 상호작용도 해석할 수 있는데 단일위상의 경우는 RNG $k-\epsilon$ 모형, 복합위상의 경우는 $k-\epsilon$ 모형의 사용을 권하고 있고 강한 회전류의 경우는 어느 경우든 RS 모델이 적합하다. 복합위상의 경우는 위상간의 혼합을 허용하느냐 하지 않느냐에 따라 다른 모델을 사용하는데 전자의 경우는 Eulerian 모형, 후자의 경우는 Volume of Fluid(VOF) 모형이 사용된다. VOF 모형은 물과 기름 혹은 공기와 물과 같이 서로 섞이지 않는 위상간의 상호작용을 해석하는데 적합하고 Eulerian 모델은 본 연구에서 다루고자 하는 주제와 같은 담수와 염수의 혼합 등의 해석에 적합하다고 할 수 있다. 또한 이 모델은 모래와 같은 고체 입자의 운동도 해석할 수가 있어서 Scouring이나 Sedimentation의 계산도 가능하다.

3. 담수와 염수의 혼합

3.1 개 요

구조물을 이용하여 성질이 서로 다른 유체를 분리하고자 하는 시도는 여러 가지 목적을 가지고 있어왔다. 열대지방에서는 오수정화를 위한 오수의 가두리 시설을 육상에 설치하는 대신 하구나 연안에 설치하여 오수의 운송에 따른 비용절감은 물론 육지에 혐오시설을 설치할 경우에 따르는 거부감도 없애면서 육지의 이용을 극대화하고 있다. 이 방안은 크게 오수를 가두는 탱크 바닥의 존재유무에 따라 닫힌 시스템과 열린 시스템으로 나눌 수 있는데 전자는 오수를 주위 환경으로부터 차단시킬 수 있다는 점에서 유리하나 비용이 많이 들고 설치가 복잡하다는 단점이 있는 반면 후자는 오수와 해수의 밀도차에 의하여 오수를 탱크 상부에 보관할 수 있고 비용이 적게 든다는 장점이 있어서 이에 대한 연구가 시도되고 있다(Burrows 등, 1994). 또한 바닥이 없는 부유탱크를 이용하여 오수정화 대신에 그 안에 담수를 보관하고자 하는 시도도 있다(Foo 등, 1995). 이는 열린 시스템에서 채택한 개념과 같은데 담수와 염수의 밀도차를 이용하여 밀도가 큰 해수는 탱크아래에 머물고 밀도가 작은 담수는 탱크내에 머물며 단지 난류흐름에 의한 이송과 확산에 의하여 담수가 천천히 염수와 혼합될 것이라는 가정하에 연구를 시작하였다. 본 연구에서도 바닥이 없는 부유탱크를 이용하여 담수를 저장하는 방법을 모색하였다.

3.2 수치모델의 적용 및 결과

담수를 저장하기 위한 탱크 내부에서의 혼합현상을 재현하기 위하여 그림 1과 같은 모형을 설정하였다. 실제문제에 있어서 그림의 왼쪽은 바다와 접하고 있는 강의 하류로 오른쪽은 상류로 가정할 수 있는데 조석작용에 의하여 해수가 강의 상류로 진행함으로써 탱크 내부의 담수와 혼합된다. 이러한 현상을 FLUENT를 이용하여 재현할 수 있는지를 검토하기 위하여 초기에 담수로 가득 차 있는 영역에 해수를 도입하여 유체간의 혼합현상을 재현하였으며 그 결과는 그림 2와 같다. 이 그림은 연직단면도로서 길이 20m, 높이 2m의 계산영역에 50cm/s의 초기유속을 갖는 염수가 들어올때 시간변화에 따른 담수의 체적비를 나타낸 것인데, 체적비는 전체에서 각 유체가 차지하는 공간을 나타낸다. 이 그림은 흑백이라 정확히 구별

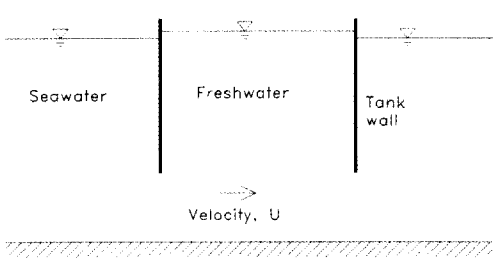

그림 1. 담수저장탱크의 개념도

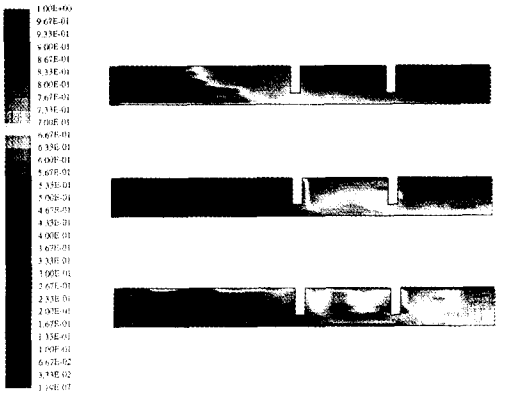

그림 2. 염수의 유입에 따른 담수와 염수의 혼합현상(담수의 체적비)

하기 힘들지만 원도에서는 파란색을 염수로 빨간색을 담수로 나타내어 시간이 지남에 따라 탱크 내부의 담수가 염수와 혼합되어 최종적으로는 염수로 치환되는 과정을 볼 수 있다.

그림 2에서와 같은 혼합현상을 3차원적으로 재현하기 위하여 흐름은 탱크면에 대해서 직각으로 흐르는 것으로 가정하면 폭방향으로는 흐름이 대칭이므로 영역의 반만을 고려하였다. 계산영역은 x, y, z가 각각 50m, 5m, 25m이며 탱크의 크기는 길이 20m, 높이 3m, 폭 15m로 하였으며 유속은 10cm/s로 하였다. 이런 조건에서 200초후의 담수의 체적비를 연직단면도와 평면도로 나타내면 그림 3과 같다.

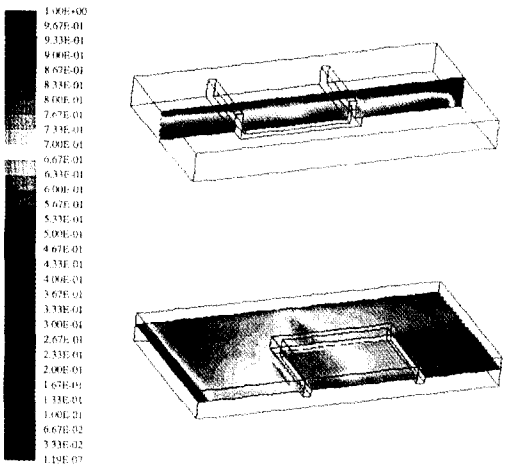

그림 3. 담수와 염수의 3차원적 혼합현상 (담수의 체적비)

4. 맺음말

염수의 영향을 받는 하구나 연안에서 담수를 저장하기 위한 막구조물을 설치하고자 하는 사업의 성공을 위해서는 우선 구조물 내부에서 난류흐름에 의한 염수의 혼합정도를 파악하는 것이 선결과제이다. 이를 위하여 비압축성 난류흐름을 해석할 수 있는 FLUENT라는 상업용 프로그램을 난류혼합문제에 적용할 수 있는지의 여부를 확인하고 차후에 실제문제에 이용하기 위하여 난류혼합을 재현하였다. 수치실험결과에서 보다시피 어느 일정한 시간이 흐르면 저장된 담수는 난류흐름에 의하여 염수와 혼합이 되는데 혼합이 완전히 진행되기 전에 담수를 사용하던지 아니면 혼합속도를 최대한 지연시킬 수 있는 시설을 추가한다면 담수의 안정적 공급이 가능하다.

〈참 고 문 헌〉

Burrows, R., Ali, K.H.M., and Crapper, M. (1994). "Entrainment from a buoyant surface layer created by an under baffle wall-jet." Recent Res. Adv. in the Fluid Mech. of Turbulent Jets and Plumes, pp. 489-501.

Foo, M.H., Shuy, E.B., and Chen, C.N. (1995). "Entrainment across a density interface inside a flume compartment." J. Hyd. Res., Vol. 33, No. 2, pp. 181-196.