

막 구조 내부의 담수와 염수의 혼합 Mixing of Freshwater with Seawater inside Boom and Skirt System

오 영 민* / 정 신 택**

Oh, Young Min / Jeong, Shin Taek

Abstract

Korea is one of countries to be predicted short of water in the 21st century. The government has been investigating various alternatives to resolve the problems including construction of reservoirs. Freshwater retention techniques using boom and skirt system is one of them. It is very difficult to intake water in the estuaries of south and west coast of Korea because a big tide penetrates into an upstream river. Thus, means of retaining and keeping separate freshwater from seawater could potentially be helpful in solving the water supply problems. In this study, the proposed means to achieve freshwater retention is by use of floating boom and skirt systems. The hydraulic viability of these systems in taking advantage of natural stratification tendencies between the fresh and seawaters has been investigated through hydraulic experiments. It is found that freshwater retention capacity depends on skirt length and the opening beneath the skirt. The choice of skirt length is very important to optimize freshwater storage because longer skirt lengths cause faster mixing and shorter lengths retain less volume. Results show that the freshwater retention volume generally increases as the length of the skirt increases. However, they show that water storage might be insufficient if skirts were either too long or too short.

key words : boom and skirt, freshwater retention techniques, separating freshwater from seawater, skirt length, opening beneath the skirts

요 지

우리 나라는 21세기에 물 부족이 예상되는 국가 중의 하나이다. 정부에서는 이를 해결하기 위하여 단순히 댐을 건설하는 방법 이외에 여러 가지 대안을 마련하고 있는데 막 구조물을 이용한 담수저장기술은 그 중의 하나가 될 수 있다. 우리 나라의 서남해안은 조수간만의 차가 심해 염수가 하천 상류로 깊숙이 침입하기 때문에 하류에서는 농공업용수를 위한 취수가 불가능한 실정이다 따라서, 기수역에서 담수와 염수를 분리할 수만 있다면 용수문제 해결에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 수리실험을 통하여 염수와 담수를 분리하는 방안을 수립하였는데 담수저장효율은 막의 길이 및 바닥의 개폐 정도에 좌우되었다. 막이 길면 바닥의 유속이 빨라져 혼합이 활발하고 반면에 너무 짧으면 저장량이 너무 작아서 효율성이 없으므로 적절한 길이의 선정이 매우 중요하다. 또한, 바닥은 많이 닫힐수록 담수저장효율이 좋으나 막의 길이가 너무 짧거나 긴 경우에는 별로 차이를 보이지 않았다.

핵심용어 : 막 구조, 담수저장기술, 담수와 염수의 분리, 막의 길이, 바닥의 개폐

* 한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 책임연구원

Principal Researcher, Coastal and Harbor Engrg Research Center, Korea Ocean Research and Development Inst., Ansan, Kyonggi 425-170, Korea, ymoh@kordi.re.kr

** 원광대학교 토목환경공학과 부교수

Associated Prof, Dept. of Civil and Envir Engrg., Wonkwang Univ, Iksan, Chonbuk 570-749, Korea, sljeong@wonkwang.ac.kr

1. 서론

정부의 수자원 장기종합계획에 의하면 2011년에는 전국적으로 약 20억 톤의 물 부족이 예상되고 있으며 (국무총리실, 1998), 지금도 수도권 주변에서는 물이 부족하여 용인, 김포, 남양주 등 여러 지역에서 택지나 단지부지를 확보해도 허가가 나오지 않는 실정이다. 정부는 이를 해결하기 위하여 다수의 중소규모 댐 건설을 계획하였으나 댐 건설에 따른 수몰지역 보상비가 폭등하여 수자원 개발 단가가 '70년대에 비하여 '90년대는 30배 이상 증가하였다. 이와 함께 '80년대 말 우리 사회의 자유화 바람으로 이른바 NIMBY현상이 가속화되었으며 또한, 환경보전을 강조하는 시대적 조류로 댐 건설이 사실상 제대로 추진되지 못하고 있다. 2000년대의 물 부족 문제를 해결하기 위한 정부의 대책은 오직 댐이나 소규모 저수지를 건설하는 것뿐인데 이는 잘 아는 바와 같이 엄청난 토지 보상비와 주민 및 환경단체의 반대로 원활한 사업추진이 어려운 것은 명약관화하다. 최근 영월 다목적댐 건설을 둘러싼 정부와 민간단체와의 마찰은 이러한 추세를 잘 반영하고 있다. 따라서, 이제부터라도 용수공급방안의 다각화를 수립하지 않으면 장차 용수공급 대란이 발생할 것은 분명하다.

본 연구에서는 이러한 요구를 수용할 수 있는 시스템을 건설하기 위한 첫 단계로써 막 구조 내부에 저장되어 있는 담수와 외부의 염수가 혼합되는 과정을 수치모델(오영민, 1998)에 이어 수리실험을 이용하여 연구하고 최적의 막 구조 단면을 제시하고자 한다. 막 구조물은 해상의 기름 유출시나 준설 및 매립공사를 할 때 이용되는 구조물로서 설치 및 해체가 용이하고 고정 구조물이 아니므로 환경에 거의 영향을 주지 않으며 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 이러한 막 구조물은 또한 구조적으로 바닥이 없고 끝단이 자유단이기 때문에 외부로부터 하중을 거의 받지 않는다는 장점이 있다. 참고로 담수저장 시스템의 개념도는 그림 1과 같다.

담수저장 시스템을 설계하기 위해서는 막 구조물 내에서의 해수 유동에 따른 혼합특성 연구가 선행되어야 하며, 이와 병행하여 혼합을 최대한 억제할 수 있는 방안이 연구되어야 한다. 또한, 이러한 개념을 실현시키기 위해서는 현장조사를 통한 담수와 염수의 유입속도, 층의 두께 등을 파악하여야 한다.

경계층에서의 난류혼합에 관한 연구는 Richardson

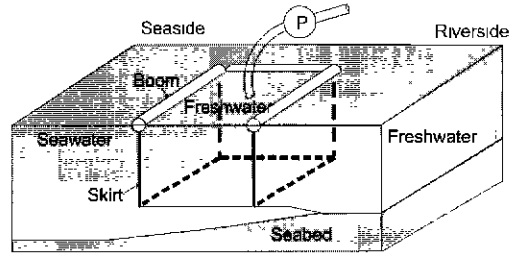


그림 1. 담수저장 시스템의 개념도

(1920)과 Keulegan(1949) 등에 의하여 처음으로 시작되었다. 그 이후 Ellison과 Turner(1959, 1960) 및 Chu와 Baddour(1984)가 염수 위로 흐르는 담수에 의한 난류 혼합에 대하여 연구하였으며 Rajaratnam과 Subramanyan(1986)은 온수와 냉수의 밀도차를 이용하여 온수의 제트유속에 의한 内部跳水(Internal jump)를 재현하였으며 Ali와 Jaefar(1990)는 저수지에서의 혼합을 촉진하기 위한 방안으로 제트를 이용한 혼합특성을 실험적으로 규명하였는데 이들의 연구결과는 실험조건의 차이 등에 의하여 상호 일치하지 않았다. Christodoulou(1986)와 Atkinson(1988)은 Richardson수, R 을 이용하여 기왕의 연구결과를 4개의 영역으로 구분하여 각 영역에 대한 혼합률을 수치화하였으며 이를 하나의 지표로 완성하였다. 밀도가 다른 두 유체 사이에서의 R 은 다음 식으로 나타낸다.

$$R = \frac{g\Delta\rho H}{\rho_0 U^2} \quad (1)$$

여기서, g 는 중력 가속도, $\Delta\rho$ 는 두 물질 사이의 밀도 차, H 는 움직이는 물질의 두께, ρ_0 는 기준이 되는 밀도(보통 이동하는 물질의 밀도), U 는 이동하는 물질(여기서는 염수)의 유속이다. R 은 densimetric Froude 수의 제곱의 역수로서 R 이 1보다 작으면 흐름은 사류(Supercritical flow), 1보다 크면 상류(Subcritical flow)가 된다. 따라서 R 이 매우 작을 경우는 경계층이 제대로 형성되지도 않고 혼합이 매우 빠르다. 그러다가 사류의 범위내에서 R 이 약간 커지면 외류가 발생하여 혼합이 촉진되는데 이를 vortex 혼합이라 한다. R 이 더욱 커져서 상류의 범위가 되면 흐르는 유체 내부에 작은 외류가 발생하여 경계층이 부분적으로 불안정해지면서 cusp 혼합이라 불리는 혼

표 1. 실험조건

실험 항목	경우 수
수십에 대한 막의 길이 비, d/h	1/3, 2/3, 1
막 바닥의 개구율, L/L_0	1, 1/2, 1/3, 1/5
무차원 유속, U/\sqrt{gh}	0.018, 0.032

합현상이 발생한다. 마지막으로 R 이 매우 커지면 난류는 거의 사라지고 분자의 이동에 의한 확산이 지배적으로 된다.

본 연구에서 다루고자 하는 밀도 경계층에서의 혼합은 앞에서 설명한 이론과는 약간의 차이가 있다. 기왕의 연구는 밀도가 다른 유체 속으로 하나의 유체가 침입하는 형태이지만 여기서는 막으로 보호된 유체 아래로 밀도가 상대적으로 큰 유체가 흐를 때 경계층에서 혼합이 어떻게 진행되는가를 예측하는 문제이기 때문에 기존의 이론을 100% 적용하는 데에는 무리가 따른다. 하지만 바닥이 터져 있는 막으로 보호된 유체 아래로 밀도가 다른 유체가 흐르는 경우에 대한 연구가 미약하므로 위의 결과를 참고로 하여 해석을 하고자 한다. 최근에 Foo 등(1995)은 본 연구에서와 비슷한 경우에 대한 실험연구를 하였는데, 단지 차이점은 막의 재질이 단단하여 움직이지 않는다는 것이다. 따라서, 이 연구결과도 본 연구에 직접 적용하기는 어려우며 참고 자료로써 사용하였다.

막 구조물을 이용하여 담수를 저장하고자 하는 연구는 국내에서는 전무한 상태이며 외국에서도 한 두건에 불과한 미미한 수준이다. 이 연구는 우리 나라 서남해안과 같이 조수간만의 차이가 심해서 염수가 하천으로 깊숙이 침입하기 때문에 하류에서는 농공업용수의 공급을 위한 하천수의 취수가 곤란한 지역에 적합하기 때문에 우리에게 꼭 필요한 기술이라 생각된다.



사진 1 실험장치의 평면도

2. 수리실험방법 및 조건

2.1 실험방법

실험을 위하여 길이 7.6m, 폭 60cm, 높이 40cm의 개수로에서 실험을 수행하였다(사진 1 참조). 수로 내에는 염수를 가득 채우고 막 구조물 안에는 담수를 채운 상태에서 밀물을 가정하여 염수를 계속적으로 유입시킬 때 막 구조 내에서의 담수와 염수의 혼합양상을 염도계로 측정하였다. 실험단면 및 각종 계측기기의 설치형상은 그림 2와 같다. 유입속도와 막 구조물의 바닥에서의 유속을 측정할 수 있도록 자기 유속계 2대를 설치하였으며, 염도계는 연직방향으로 3개 지점에 설치

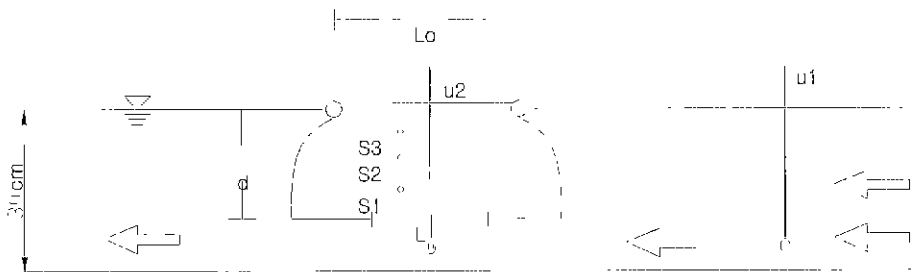


그림 2. 담수저장탱크의 실험 단면도(S:염도계, u:유속계)

하여 연직혼합속도를 측정하는데 이용하였다. 3개의 염도계와 2개의 유속계는 A/D converter에 연결되어, 보내진 analog 신호는 여기서 digital 자료로 변환되고 이를 컴퓨터로 보낸다. 염수의 공급은 펌프에 의하여 지하 저수조에 저장되어 있는 물을 실험구간 내로 보내고 여기를 통과한 물은 다시 저수조로 보내서 계속적으로 순환이 되도록 하였다. 실험시간은 막 구조 내의 담수가 모두 염수로 바뀔 때까지 실시하였는데 엄밀하게 이야기하면 가장 상층에 설치한 염도계 S3가 완전히 염수로 포화될 때까지 실시하였다.

염수의 농도는 대략 2.5% 즉, 담수 1liter에 소금 25g을 희석한 물을 사용하였는데 실험 케이스 별로 약간의 밀도차이는 존재한다. 이는 막 구조 내를 담수 화하기 위하여 표층에서부터 담수를 채우는 방식으로 하였기 때문에 하나의 실험이 끝나면 밀도는 약간 떨어지는 현상이 발생하며 이를 기준농도와 맞추기 위해서는 매번 소금을 보충하여야 하나 번거로운 일이므로 매번 실시하지는 않고 실험 중간 중간에 소금을 보충하였다.

그림 2에서 막의 형상이 불룩한 이유는 담수와 염수의 밀도차 때문인데, 자연적으로 밀도차가 생기면 두 유체가 접하는 위치에서는 막 내부와 외부의 압력이 같으므로 당연히 막 내부의 담수는 막 외부의 염수보다 수위가 높아지게 마련이다. 따라서, 탱크 내부의 수위가 외부에 비하여 더 높기 때문에 압력도 크게 되어 자연히 외부로 작용하는 압력이 발생하여 막은 불룩한 형상을 갖게 된다.

2.2 실험조건

실험은 그림 2에서 보는 바와 같이 막의 길이와 폭은 54cm인 사각형으로 하고 연직 방향길이(d)를 수심(h=30cm)에 대한 비 d/h=1/3, 2/3, 1의 세 종류로 변화시키고, 막 구조물의 바닥을 완전 개방형과 일부 개방형으로 나누어 실시하였다. 또한, 일부 개방형의 경우는 세분하여 막 구조의 폭(Lo)에 대한 바닥의 개방 폭(L)의 비 L/Lo=1/2, 1/3, 1/5의 세 단계로 나누었다.

유속의 입력조건은 무차원 유속 $U/\sqrt{gh}=0.018$, 0.032의 두 가지이지만 막 구조의 연직길이에 따라 막 구조의 아래 부분의 유속이 달라지는데, 길이가 길수록 통수 단면적이 작아지므로 유속은 빨라진다. 따라서, 전체 실험의 경우 수는 유속조건 두 가지에 바닥의 개폐조건이 네 가지, 연직방향길이의 조건 d=10,

표 2. d/h=1/3일 때 바닥의 개구율과 Richardson 수에 따른 혼합시간

(unit : sec)

R S/d L/Lo	91.3		46.6	
	0.25-0.5	0.5-0.75	0.25-0.5	0.5-0.75
1	30	1000	20	15
1/2	30	800	20	15
1/3	30	1000	20	15
1/5	30	1000	20	20

20, 30cm의 세 가지이므로 총 24 가지의 실험을 실시하였다

염도계는 그림 2에서와 같이 수면에서 염도계의 위치 S1, S2, S3까지의 거리를 각각 커튼의 길이로 무차원화 한 S/d=0.75, 0.5, 0.25의 세 지점에 설치하였으며 d=30cm의 경우는 d=20cm의 경우와 같이 각각 수면에서 5cm, 10cm, 15cm 지점에 설치하였다. 이는 d=30cm의 경우 바닥의 유속이 너무 빨라서 혼합이 급속히 진행되기 때문에 아래 부분은 무시하고 중층부터 계속하였다. 유속계는 두 지점에 설치하였는데(u1, u2) 막 외부에는 표층에서 15cm, 막 내부에는 25cm 지점에 설치하였다.

3. 수리실험결과

3.1 커튼의 무차원 길이 비, d/h=1/3의 경우

염도의 변화는 염분이 S1에서 S2, S2에서 S3에 도달하는 시간으로 구별하여 바닥의 개구율과 유속에 따른 Richardson number의 변화에 따라 표 2에 제시하였다. 이 표에서 알 수 있듯이 바닥의 개구율에 관계없이 S1이 염도를 감지한 시각부터 S2가 염도를 감지하는데 걸리는 시간 및 S2가 염도를 감지한 시각부터 다시 S3가 염도를 감지하는데 걸리는 시간은 거의 일정한데 이는 유속이 다른 경우 ($U/\sqrt{gh}=0.018$), 탱크 내부의 혼합은 바닥의 개폐 형상에 영향을 거의 받지 않는다는 것을 의미한다. 한편, 각 센서의 위치에서 완전히 염분으로 치환되는데 걸리는 시간은 아래에서 위로 갈수록 오래 걸리고 S3의 경우는 바닥이 많이 닫힐수록 시간이 오래 걸린다. 따라서, 엄밀하게 이야기하면 개구율에 따른 변화가 없다고는 할 수 없으며 단지 S2나 S1에서 염도를 감지하는 시간이 거의 같을 뿐이지 염분으로 완전히 치환되는데 걸리는

시간은 다르다고 할 수 있다.

유속이 빠른 경우 ($U/\sqrt{gh}=0.032$)에는 느린 경우에서 나타나는 각 센서 위치별로 완전히 염분으로 대체되는데 걸리는 시간의 차이도 거의 없이 염도의 전파가 매우 빨라서 순식간에 혼합이 일어남을 알 수 있다. 즉, $S/d=0.25-0.5$ 까지 염분이 전파하는데 걸리는 시간이나 $0.5\sim 0.75$ 까지 전파하는데 걸리는 시간이 20초 정도로 거의 동일함을 알 수 있다.

3.2 $d/h=2/3$ 의 경우

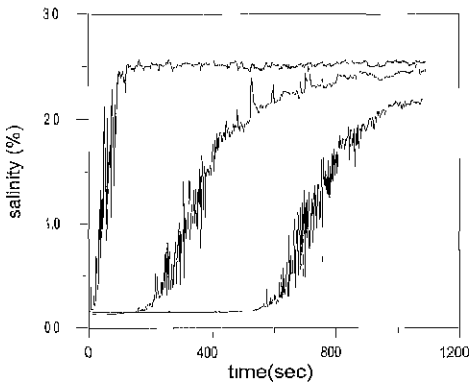
커팅 바닥의 개폐 정도에 따라 염분의 혼합속도가 매우 차이가 남을 알 수 있다(표 3 참조). 유속이 느린 경우, $d/h=1/3$ 의 경우에서와 마찬가지로 S1에서

표 3. $d/h=2/3$ 일 때 바닥의 개구율과 Richardson 수에 따른 혼합시간

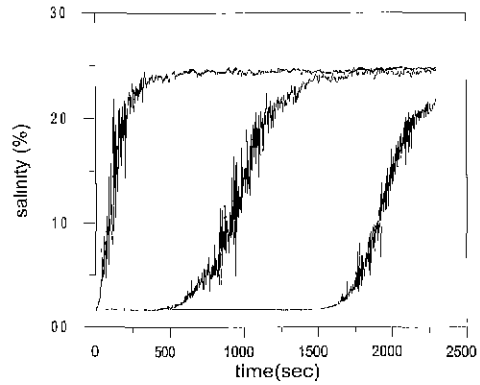
		(unit : sec)			
		4.0		13	
L/L0	S/d	0.25-0.5	0.5-0.75	0.25-0.5	0.5-0.75
	1		200	400	25
1/2		550	1100	70	160
1/3		700	2700	50	180
1/5		1000	3500	50	400

S2까지 염분이 전파하는데 걸리는 시간은 같은 거리이지만 S2에서 S3까지 전파하는데 걸리는 시간에 비하여 배 이상으로 길며 개구율 1/5의 경우에는 무려 3.5

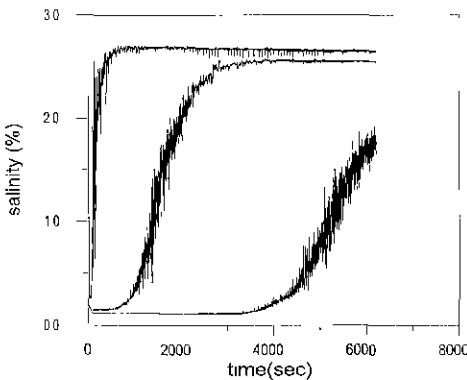
a) $L/L_0 = 1$



b) $L/L_0 = 1/2$



c) $L/L_0 = 1/3$



d) $L/L_0 = 1/5$

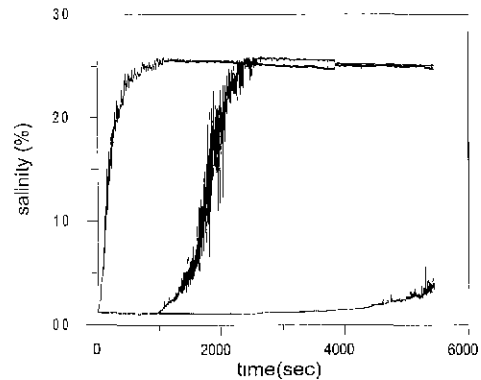


그림 3. 무차원 유입유속 $U/\sqrt{gh}=0.018$ 과 $d/h=2/3$ 일 때 바닥의 개구율에 따른 염도의 시계열 변화 (염도가 빨리 증가하는 순으로 S1, S2, S3)

배까지 걸림으로써 바닥의 개폐정도가 탱크 내부의 염도에 미치는 영향은 커튼의 길이가 짧은 경우보다 훨씬 크다. 이러한 현상은 유속이 빨라져도 동일하게 나타나는데 단지 전파시간이 줄어든다는 것이 다를 뿐이다. 참고로 그림 3와 그림 4에 각각 유속이 느린 경우와 빠른 경우에 바닥의 개폐정도에 따른 염도의 변화를 제시하였다. 이 그림에서 염도변화가 가장 빠른 것이 S1이고 변화가 느린 순서대로 S2, S3를 나타낸다.

$d/h=1/3$ 의 경우보다 전파시간이 긴 이유는 염도계 사이의 거리가 커튼의 길이로 무차원화 했을 때에는 같지만 실제로는 2배의 차이가 나기 때문이라고 생각된다. 하지만 커튼의 길이가 길다고 항상 담수저장 효율이 좋은 것은 아닌데 길이가 길수록 같은 유입유속에 대하여 커튼 아래에서의 유속이 빨라져서 난류의 발생으로 혼합은 더욱 빨라지는 단점이 있다. 이러한

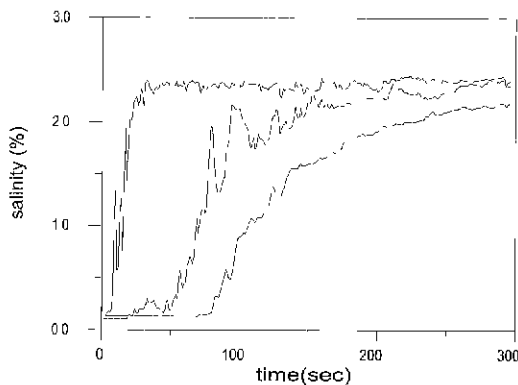
현상은 $d/h=1$ 인 경우에 현저하게 나타난다.

3.3 $d/h=1$ 의 경우

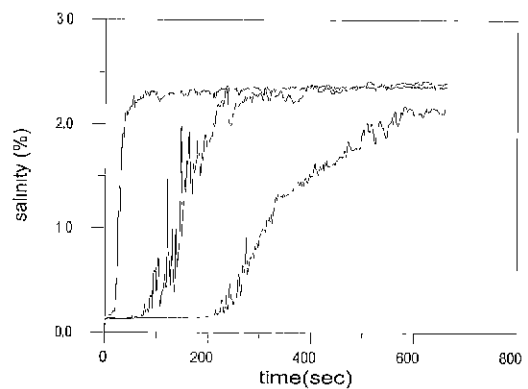
커튼을 바닥에 집지시킨 상태에서 실험을 수행하였다(표 4 참조). 커튼이 접지된 상태에서는 통수 단면적이 작아져서 바닥의 유속이 매우 빨라지기 때문에 염도계의 위치를 전술한 두 경우와 같은 비율로 하지 않고 S1을 중간 수심에 놓고 5cm 간격으로 설치하였다. 이론적으로는 커튼과 바닥 사이의 거리가 영이므로 R 값도 영이 되지만 실제로는 빠른 유속으로 인하여 커튼 아래 부분이 들어 올려지기 때문에 작은 공간이 생긴다. 계측결과 약 1cm 정도의 공간이 발생하므로 이를 기준으로 R 값을 계산하였다. 물론 $d/h=1/3$ 과 $2/3$ 의 경우에도 약간의 길이 변동은 있으나 무시하였다.

유속이 느린 경우에는 전반적으로 개구율이 작을수

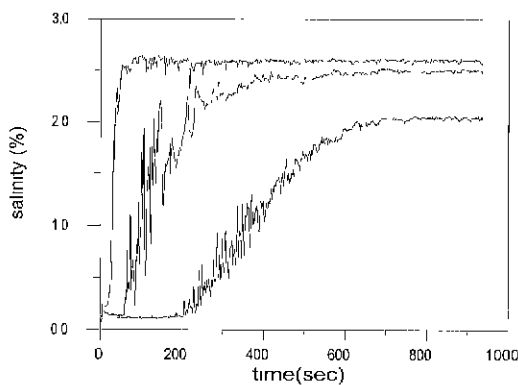
a) $L/L_0 = 1$



b) $L/L_0 = 1/2$



c) $L/L_0 = 1/3$



d) $L/L_0 = 1/5$

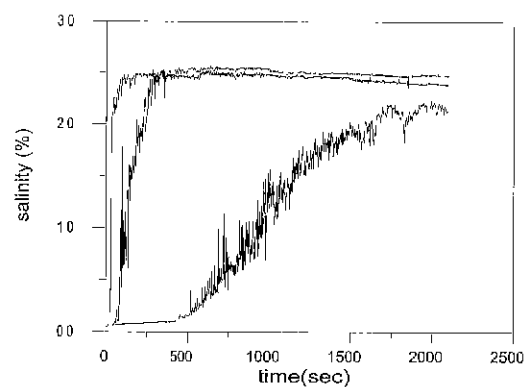


그림 4. 무차원 유입유속 $U/\sqrt{gh}=0.032$ 와 $d/h=2/3$ 일 때 바닥의 개구율에 따른 염도의 시계열 변화 (염도가 빨리 증가하는 순으로 S1, S2, S3)

표 4. $d/h=1$ 일 때 바닥의 개구율과 Richardson 수에 따른 혼합 시간

		(unit : sec)			
		0.13		0.06	
L/L0	R	0.5-0.67	0.67-0.83	0.5-0.67	0.67-0.83
	1	S/d	30	40	10
1/2		80	110	15	20
1/3		180	340	20	20
1/5		40	300	20	50

록 혼합이 느려지지만 워낙 유속이 빠르기 때문에 큰 차이는 나지 않으며 오히려 $L/L_0=1/5$ 의 경우는 혼합이 약간 빨라서 전반적으로 뚜렷한 경향은 보이지 않는다. 빠른 유속에서는 개구율에 관계없이 그리고 염도계의 위치에 관계없이 혼합속도는 거의 일정한 양상을 보이고 있다.

4. 결론 및 차후 연구과제

탱크 외부가 모두 염수인 상태에서 내부의 담수가 얼마나 오랫동안 보존될 수 있는지를 알아보기 위하여 막의 길이 및 바닥의 개구율을 변화시키고 유속도 달리하면서 실험을 실시하였다. 일반적으로는 막의 길이가 길수록 그리고 바닥이 많이 단힐수록 저장효율이 높을 것으로 생각되나 실험결과는 반드시 그렇지는 않았다. 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

가. 담수저장 효율은 막의 길이가 길다고 좋은 것은 아니며 막이 길 경우, 바닥의 유속이 빨라져서 난류의 발생으로 오히려 혼합을 촉진하였다. 그렇다고 길이가 너무 짧을 경우에는 담수저장량이 너무 작아서 효율이 치가 없으므로 적절한 길이를 선정하여야 한다.

나. 바닥의 개폐 여부에 따라서도 혼합시간이 달라지는데 너무 짧거나 바닥에 닿을 정도로 긴 경우에는 큰 변화가 없지만 대개의 경우 바닥이 단힐수록 담수 저장 시간은 길어지는 긍정적 효과를 발휘한다.

수리실험 연구에서는 막 구조(Boom/Skirt)를 이용한 담수저장탱크로 담수와 염수가 공존하는 하구의 기수역에서 담수를 저장할 수 있는지의 여부를 조사하는데 목적을 두었다. 그 결과 어느 정도 가능성은 확인하였으나 현장에서 같은 결과를 얻을 수 있다고는 장담할 수 없으며 이를 위해서는 다음과 같은 차후 연구가 필요하다.

가. B/S 시스템은 고정 구조물이 아니고 설치와 이

동이 자유로운 이동 구조물이기 때문에 물의 하중을 별로 받지 않는 경제적인 구조물이다. 흐름이 빠를 경우에도 구조적 특성상 커튼이 들어 올려지므로 대부분의 하중이 커튼에는 거의 작용하지 않고 부이에만 작용하므로 하중을 줄일 수 있다. 하지만 유속이 가장 빠른 홍수기에는 보통 각종 이물질이 상류에서 내려오기 때문에 이러한 이물질에 의하여 막 구조물이 파손될 가능성이 상당히 높다. 따라서, 홍수기에는 구조물을 철거하거나 이물질이 충돌하지 못하도록 유도로를 만드는 방법을 구상해야 한다.

나. 커튼의 길이나 바닥의 개구율과 같은 최적의 B/S 시스템이 결정되면 pumping 방법에 관한 연구가 수행되어야 한다. 현장에서는 하천 수위가 조석, 하천수량에 따라 변하므로 수위를 따라가면서 취수할 수 있는 방안이 수립되어야 하며 저장탱크에서 육지로 양수하는 방법 등이 연구되어야 한다. 예를 들어 잔교를 설치하여 pipe를 육지로 연결하고, 저장탱크 수면에 수위의 변동에 따라 이동할 수 있는 집수정을 설치하면 이러한 문제를 해결할 수도 있을 것으로 생각된다.

다. 담수저장 방법으로 하나의 커다란 탱크가 좋은지 혹은 작은 규모의 탱크를 연속적으로 설치하는 것이 유리한지를 조사해야 한다. 커다란 탱크를 하나 설치하여 담수를 저장할 수 있다면 경제적으로 유리하겠으나 선박의 항해문제 및 통수 단면적의 감소로 주위의 흐름이 빨라져 하천주변의 세굴과 같은 부정적인 영향도 고려하여 신중한 비교검토가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- 국무총리실 수질개선기획단 (1998). 물관리 업무자료.
- 오영민 (1998). "밀도경계층에서의 혼합", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제18권 제II-3호, pp. 223~230
- Ali, K.H.M. and Jaefar, M.R. (1990). "Circulation and mixing in a stratified reservoir," *J. Hyd. Res.*, Vol.24, No 5, pp. 683~697.
- Atkinson, J.F. (1988). "Note on interfacial mixing in stratified flows," *J. Hyd. Res.*,

- Vol.206, No. 1, pp. 27~31.
- Christodoulou, G.C. (1986). "Turbulent mixing in stratified flows," *J. Hyd. Res.*, Vol.24, No.2, pp. 77~02
- Chu, V.H. and Baddour, R.E. (1984). "Turbulent gravity stratified shear flows," *J. Fluid Mech.* Vol.138, pp. 353~378.
- Ellison, T.H. and Turner J.S. (1959). "Turbulent entrainment in stratified flows," *J. Fluid Mech.* Vol.6, Parts 3, pp. 423~448.
- Ellison, T.H. and Turner J.S. (1960). "Mixing of dense fluid in a turbulent pipe flow," Parts 1 and 2, *J. Fluid Mech.* Vol.8, pp. 514~545.
- 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.
- Keulegan, G.H. (1949). *Interfacial instability and mixing in stratified flows*, RP2040, US Nat. Bureau of Standards, Vol.43, pp. 487~500.
- Rajaratnam, N. and Subramanyan, S. (1986). "Plane turbulent denser wall jets and jumps," *J. Hyd. Res.* Vol.24, No.4, pp. 281~296.
- Richardson, L.F. (1920). "The supply of energy from and to atmosphere," *Proc. R. Soc., London*, A97, pp. 354~373.
- (논문번호.99-068/결수.1999.08.28/심사완료.2000.03.09)