

배수갑문 운용에 따른 시화호의 수온과 염분 변화

최정훈^{1,*} · 김계영² · 홍대벽¹

¹농업기반공사 농어촌연구원 농촌환경연구실, 425-170 경기도 안산시 사동 1031-7

²군산대학교 새만금환경연구센터, 573-701 전라북도 군산시 미룡동 산 68번지

Impact of Seawater Inflow on the Temperature and Salinity in Shihwa Lake, Korea

Jung-Hoon Choi^{1,*} · Kye-Young Kim² · Dae-Byuk Hong¹

¹Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Rural Research Institute, Ansan 425-170, Korea

²Saemankeum Environmental Research Center, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

Abstract: The variations of physical properties due to inflow of seawater by sluice gates operation were observed in Shihwa Lake. The distributions of salinity and temperature were investigated at 11 stations during February, 1997 to July, 1998.

The salinity of water mass in Shihwa Lake before gate operation was ranged below 15psu and strong stratification due to inflow of seawater was observed at the depth of 11 m. In July 1997, temperature difference of 10℃ was occurred between the surface and bottom water due to strong solar radiation. During October 1997 to February 1998, inversion of temperature distribution, which the temperature of bottom water was higher than that of surface water, was observed. In July 1997, temperature, salinity, current speed and current direction were investigated by RCM-7 at St.3 for 56 days. When sea water was intruded in Shihwa Lake, the symmetric distribution of temperature and salinity was observed and it seems to be resulted from inflow of seawater with low temperature and high salinity. After January 1998, salinity of Shihwa Lake was increased over 30psu due to continuous gate operation and the stratification was weakened.

Key words: Shihwa Lake, salinity, temperature, stratification

요약: 1997년 2월부터 1998년 7월까지 총 33회에 걸쳐 시화호내 11개 정점에서 장기간 관측한 수온, 염분 자료를 이용하여 배수갑문운용에 따른 시화호의 물성변화를 파악하였다. 배수갑문을 통한 해수유입이 없었던 1997년 3월부터 1997년 6월까지 시화호내의 염분은 15psu 이하로 나타났으며, 약 11m 수심을 경계로 염분에 의한 강한 성층이 관측되었다. 배수갑문을 통한 해수유입이 시작된 1997년 7월에는 태양복사열의 증가로 표층수온이 급격히 상승하여 표층과 저층의 수온차가 약 10℃ 이상으로 나타났으며, 1997년 10월~12월에는 표층에 비해 저층 수온이 상대적으로 높은 수온역전현상이 발생하였다. 1997년 7월 배수갑문 개폐시기를 전·후로 배수갑문 내측에 위치한 정점에서 장기간 수온, 염분, 유속 및 유향을 조사한 결과, 해수 유입시 수온과 염분이 대칭적인 분포를 나타내었으며, 이는 외해로부터 해수 유입시마다 저온, 고염의 해수가 시화호 내로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다. 1998년 1월 이후에는 지속적인 배수갑문 개폐의 영향으로 시화호의 염분이 30psu 이상으로 해수화되었으며, 배수갑문 개폐 이전에 비해 성층이 크게 약화된 것으로 나타났다.

주요어: 시화호, 수온, 염분, 성층

서론

시화호는 수도권외의 인구 분산을 유도하고 공업용지와 농지의 확보 및 수자원공급을 위하여 1987년부터

1994년까지 물막이 공사로 형성되었으며, 1994년 1월에는 방조제가 완전 체제되어 해수 유입을 억제한 상태로 담수화가 추진되었다. 그러나 방조제 완공 후에 안산시 유역을 경유하는 6개 하천과 반월공단 등 주변

* E-mail: cjh5181@karico.co.kr

공단으로부터 고농도의 유기물과 영양염을 포함하는 오·폐수가 유입되었고, 농촌지역의 가축사육도 꾸준히 증가하여 유역으로부터 유입된 오염물질이 담수호 내에 축적되어 오염이 진전되었다. 담수화과정에서 체류 시간의 증가에 따라 물이 장기간 정체되면서 다양한 수질오염 현상이 관찰되었다(허성희·오임상, 1997). 오염된 호소수의 해양방류시 해양생태계에의 악영향이 우려되자(박용철 등, 1997; 한명우 등, 1997), 결국 1997년 7월부터 해수 유입을 시작하여 시화호는 다시 해수화 되었으며, 이와 같은 해수의 유·출입은 유역 내의 수질개선대책이 완료되는 시점까지의 단기적인 수질대책으로 수행되고 있다.

한편, 시화호가 담수호 시기였던 1994년~1997년의 기존 연구결과는 다음과 같다. 박용철 등(1997)은 6m 이하의 수심에 잔존하는 저층해수로 인해 강한 밀도성층이 발달되어 있다고 보고하였다. 또한, 이러한 성층구조하에서 환원상태인 퇴적물의 공극수를 통해 납과 암모니아가 용출되어 저층의 수질이 더욱 악화되었다(한명우 등, 1997). 그리고 저서동물이 감소하고 오염지표종이 일시적으로 대량번식하다가 소멸하여 무생물대가 확산하는 경향을 보였다(류종성 등, 1997). 또한, 식물플랑크톤의 대증식이 사계절에 걸쳐 계속 발생하고, 부영양화된 시화호 상층은 다른 연안 환경에 비해 박테리아의 개체수와 생산력이 높게 나타났다(최동한 등, 1997). 염분의 변화와 높은 오염부하는 동물플랑크톤의 종조성에 영향을 미쳐, 생태적으로 불안정한 상태를 만들었다(박철·허성희, 1997). 암모니아 농도, 수온, pH 등 물리화학적 인자들은 시화호에 분포하는 어류의 종조성에 큰 영향을 주었다(이태원 등, 1997).

기존의 시화호를 대상으로 한 물성특성 및 수질자료는 주로 계절별 자료이거나 단편적이다. 또한 배수갑문 운용에 따른 연구결과는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 인위적으로 조성된 독특한 환경에서 1997년 2월부터 1998년 7월까지의 장기간 관측한 수온, 염분 자료를 이용하여 배수갑문개폐로 인해 시화호가 담수호 상태에서 점차 해수화가 진행되는 과정의 성층수괴 분포특성과 이에 따른 물성변화를 파악함으로써 향후 수질을 평가하고 생태계 변화를 연구하는 데 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 본다.

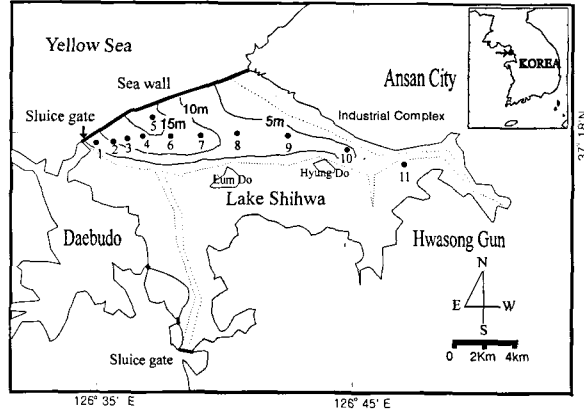


Fig. 1. Bathymetry of the study area and the location of sampling stations. The lightly dotted lines denote old tidal channels.

연구해역 현황 및 연구방법

연구해역 현황

서해 경기만에 위치한 시화호는 약 12.7km에 이르는 방조제로 막혀져 있으며, 시화호의 수심은 작은 가리섬 동쪽부근이 평균수심 15m 이하이며 최고수심 17.9m를 나타낸다(Fig. 1). 오이도, 형도 사이는 평균수심 10m의 범위이며 최고수심 14.2m이고, 음섬 앞의 최고수심은 10.2m, 사리포구앞 수심은 4.0m를 나타냈다(한국수자원공사·농어촌진흥공사, 1995). 시화호 전체 면적은 약 61km²이며, 집수역의 면적은 477km²로서 이 중 절반 정도인 249km²가 육지이다. 시화호의 총 저수량은 약 3억 3천만m³, 유효저수량은 1억 8천만m³으로 추정되고, 현재 저수량은 약 3억m³에 이르며, 인접한 주요하천으로부터 연간 약 3억m³의 담수가 유입된다.

인천기상관측소에서 관측된 1997, 1998년의 월별 총강수량은 1,257.9mm, 1,638.1mm를 나타냈다. 1997년 전국평균 강수량 1,159mm보다 다소 많은 편이다(한국수자원공사, 1999). 특히 1997년 여름철에 5~8월의 강수량이 연간 총강수량의 77%에 해당하는 934.5mm로 집중된 것으로 나타났다(Fig. 2).

시화호로 유입되는 오염원 현황은 다음과 같다. 1995년에 시화호유역 인구는 542,121인이며 소, 돼지를 합

Table 1. Annual variations of pollution loadings in Shihwa watershed.

Year	BOD (kg/day)	COD (kg/day)	T-N (kg/day)	T-P (kg/day)
1987	9,315.9	10,629.0	3,289.1	854.7
1990	15,919.4	17,247.5	4,169.6	1,074.1
1994	30,556.0	35,338.7	7,814.2	2,516.2
1995	35,011.2	40,457.2	8,747.4	2,870.4

Table 2. Inflow and outflow in Shihwa Lake with sluice gate operation.

Date (month)	Outflow (10 ³ m ³)	Counts of gate opening	Inflow (10 ³ m ³)	Counts of gate opening
1997 6	117,357	41	-	-
7	113,312	55	29,913	15
8	92,503	44	57,593	27
9	83,735	44	83,735	37
10	106,122	46	148,981	47
11	7,455	3	30,116	4
12	169,526	34	161,945	33
1998 1	208,824	42	208,824	42
2	335,610	43	325,666	42
3	417,190	41	427,137	32
4	1,025,716	58	1,025,716	58
5	911,824	56	874,887	56
6	414,512	48	380,376	48
7	392,823	50	356,651	46

한 축산두수는 35,463두, 공장폐수는 212,594m³/day, 비점오염원은 186km²로 공장폐수와 생활하수의 오염이 높은 실정이다(홍대벽, 1997). Table 1은 산업폐수에 의한 부하량을 제외한 인구, 가축, 토지이용에 따른 연도별 오염부하량의 변화이다. 1987년에 비해 1995년이 BOD 376%, COD 381%, T-N 266%, T-P 336%가 증가하였다(한국수자원공사, 1998). 최정훈 등(2000)은 1997년 이후 시화호 내 해수유입에 따라 수괴형성 과정을 배수갑문 개방이전, 해수유입과정, 혼합과정으로 나누고 각 시기에 따라 수질의 변화양상을 구분하였다. 각 시기별 표층 COD의 평균 Median 값은 18.8mg/l, 14.0mg/l, 8.2mg/l 로 감소하였고, T-P는 0.212mg/l, 0.222mg/l, 0.094mg/l 를 나타내고, NH₄-N은 1.1mg/l, 0.6mg/l, ND(Not Detected)로 감소하여 전반적으로 수질이 개선된 것으로 나타났다. 시화호 내의 오염

부하량 저감 및 호수의 자정능력 향상을 위하여 해수 유입이 시도되었으며, 구체적인 배수갑문 개폐현황은 Table 2와 같다. 1997년 7월부터 1997년 10월까지의 1회당 약 250만 m³의 해수가 유통되었으며, 1997년 12월부터 1998년 2월까지의 해수유통량을 1회당 약 500만 m³으로 조정 시행한 결과 1998년 1월을 기점으로 큰 폭으로 수질이 개선된 것으로 나타났다(한국수자원공사·농어촌진흥공사, 1998). 1997년 11월 3일부터 12월 6일까지는 인명사고로 인하여 배수갑문 개방을 중단하였다. 1998년 1월 이후 결빙에 의한 수질악화가 우려되자 1998년 2월 이후에 해수유통량을 1회당 750~1,000만 m³으로 상향조정하였고 현재까지 배수갑문을 상시 개폐 혹은 간헐 개폐하여 운영하고 있다.

연구방법

1997년 2월부터 1998년 7월까지 매월 1~5회에 걸쳐 시화호 내 배수갑문으로부터 시화호 상류에 이르기까지 총 11개의 정점을 선정하여 Hydrolab(수질자동측정장비)를 이용하여 수심별 수온, 염분을 측정하였다(Fig. 1). 채수지점은 배수갑문 개·폐 현황의 영향을 가장 많이 받는 St.1 부터 반월, 시화공단과 하천수의 영향을 받는 상류의 St.11 까지 채수하였다. 또한, 1997년 7월의 배수갑문 개폐시기 전후의 물성변화를 파악하기 위하여 1997년 6월 10일부터 1997년 8월 10일까지 약 60일 동안 배수갑문으로부터 약 2km 떨어진 St. 3에서 RCM-7을 이용하여 유속, 유향, 수온, 염분의 자료를 10분 간격으로 관측하였다.

결과 및 고찰

장기간 수심별 수온 및 염분 변화

배수갑문 개폐에 따른 시화호 내의 수온 및 염분변화를 파악하기 위하여 배수갑문 개폐시기 및 해수유입량에 따라 시기별로 수온 및 염분의 수직적 분포를 도시하였다(Fig. 3). 관측정점은 시화호에서 수심이 비교적 깊은 하류 쪽에 위치한 St. 6이며, 관측수심은 약 12m 내외이다(Fig. 1). 배수갑문을 통한 해수유입이 없었던 1997년 3월부터 1997년 6월까지의 수심별 수온변화가 크지 않은 것으로 나타났으며, 하계로 접어들면서 표층과 저층의 수온차가 점차 크게 나타났다(Fig. 3a).

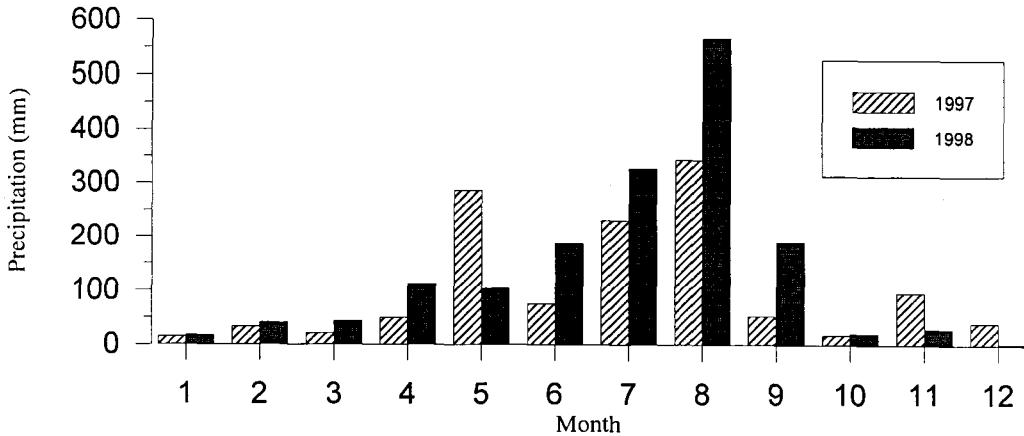


Fig. 2. Monthly variations of total precipitation at Incheon Weather Station during 1997 to 1998.

동기간 중에는 해수의 유입이 없는 상태에서 담수가 지속적으로 유입되어 염분이 점차 낮아지고, 수직적으로는 비교적 균일한 분포를 나타냈으나, 수심 11m 이하에는 상대적으로 고염의 해수가 존재하는 것으로 나타났다(Fig. 3b). 김은수 등(1998)은 해수 유입이 없었던 1996년 6월에서 11월 동안 총 5회에 걸쳐 본 연구 정점인 St.6과 유사한 정점에서의 수직적인 염분분포를 분석한 결과 표층수와 저층수가 혼합되지 않은 강한 성층이 4~9m에서 지속된 것으로 나타났다. 박용철 등(1997)은 1995년 10월에서 1996년 8월 동안 총 4회에 걸쳐 수온과 염분자료를 분석한 결과 시화호는 동계에도 저층에 잔존하는 높은 염분으로 인하여 강력한 성층이 유지되어 수직 혼합이 일어나지 않으며 이와 같은 밀도 성층기작을 온도의존형이 아닌 염분의존형인 것으로 보고하였다.

배수갑문을 통한 해수유입이 시작된 1997년 7월에는 태양복사열의 증가로 표층수온이 급격히 상승하여 표층과 저층의 수온차가 약 10℃ 이상으로 나타났으며, 9월 이후에는 점차 수온이 낮아졌다. 한편, 1997년 10월에서 1998년 2월까지 표층에 비해 저층 수온이 상대적으로 높은 수온역전현상이 발생하였다(Fig. 3c, 3e). 박용철 등(1997)에 의하면 시화호 내에서 해수의 유입이 없었던 1995년 10월부터 1996년 3월까지의 수심별 수온자료로부터 저층수온이 높은 수온역전현상이 발생하였는데 이러한 현상은 겨울철 수온 강하가 표층에서 먼저 일어나며 저염 표층수가 고염 저층수의 열손실을 막고 있기 때문인 것으로 해석하였다. 그러나 본 연구

기간 동안은 해수를 유입시킨 기간으로 저층 고온수의 염분이 높은 것을 고려하면 상대적으로 고온 고염의 해수가 밀려드는 것으로 해석된다. 배수갑문을 통한 지속적인 해수유입으로 인해 1997년 7월에 각각 8psu, 14psu 였던 표층과 저층의 염분은 1997년 11월에는 약 24psu, 28psu로 크게 증가하였다(Fig. 3d).

해수유입이 크게 증가된 1998년 1월에는 전 수층의 수온이 약 0℃로 균일한 분포를 나타냈으며, 하계로 갈수록 태양복사량이 증가함에 따라 전 수층의 수온도 함께 증가하였다(Fig. 3e). 또한, 이 시기부터는 전 수층의 염분이 약 31~32psu로 거의 균일하게 나타나(Fig. 3f), 지속적인 해수유입으로 인해 시화호의 해수화가 거의 마무리된 것으로 판단된다.

수괴성층변화

Fig. 4은 시화호의 하류수역의 중심부에 위치한 St. 6의 염분, 온도, Sigma-t의 변화를 나타낸 것이다. 1997년 3월부터 6월까지의 해수의 유입이 없는 상태에서 담수가 인근하천으로부터 지속적으로 유입되었으며, 표층수의 밀도변화가 크지 않고 밀도성층도 나타나지 않았다. 배수갑문을 개방한 1997년 7월 22일부터는 밀도성층이 수심 4~5m에서 형성되어 10월까지 지속되었다.

한편, 연구해역 내의 해수물성의 수직적인 분포특성을 파악하기 위해 St. 4~8에 5지점의 자료로부터 potential energy anomaly(Simpson *et al.*, 1978)를 계산하여 해수 성층 정도를 판별하였다.

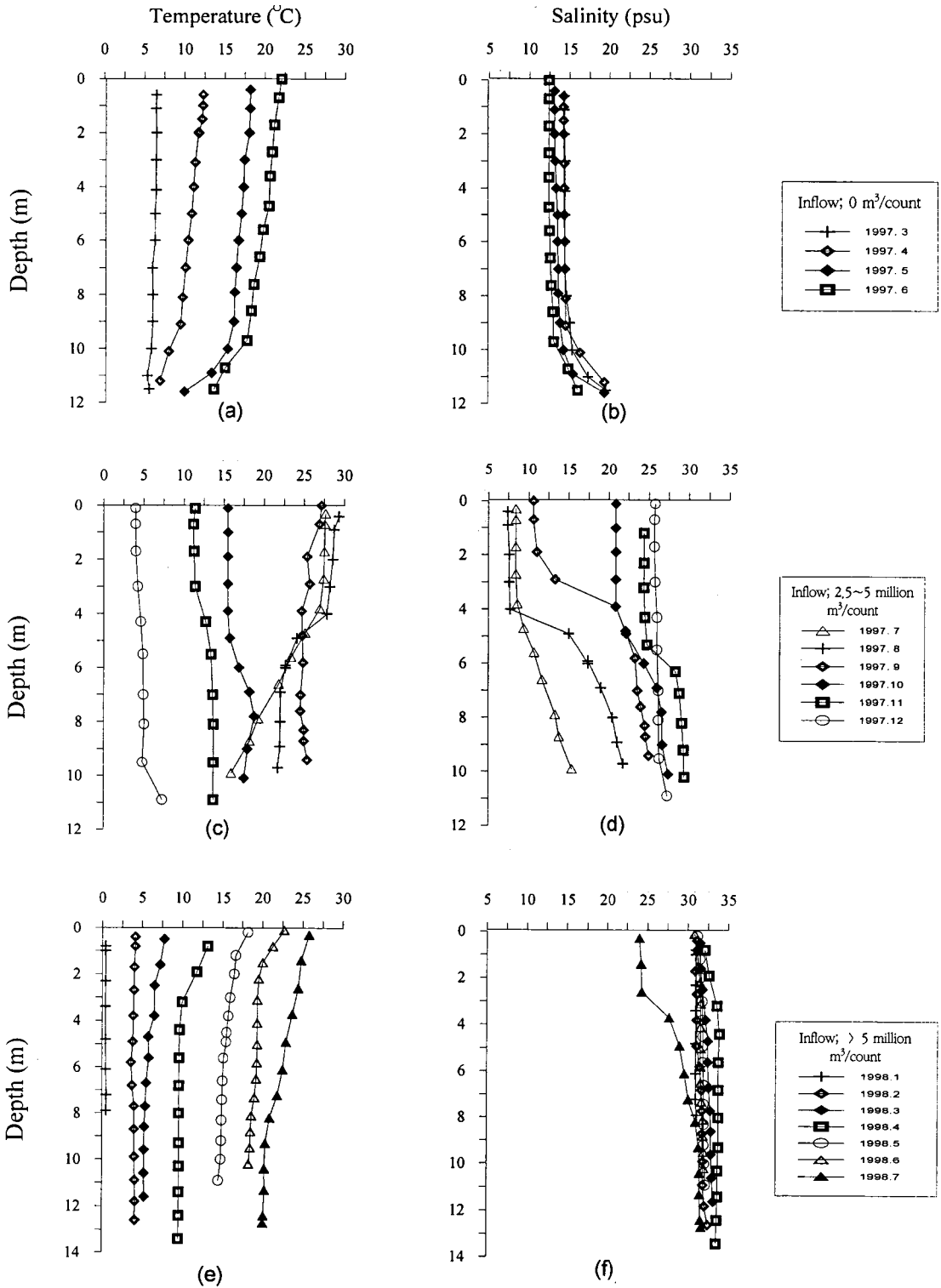


Fig. 3. Vertical distributions of temperature and salinity at St. 6 during March, 1997 to July, 1998.

$$V = \frac{g}{H} \int_{-H}^0 (\rho' - \rho) z dz$$

이때, ρ' 는 수층이 완전히 혼합되었을 경우의 밀도이고, ρ 는 각수층의 밀도이다. H 는 수심(m)을 나타낸다. Potential energy anomaly(V)는 관측된 수층이 지닌 위치에너지와 이 수층이 수직적으로 완전 혼합되었을 경우의 위치에너지의 차(V)로서, V 가 0이면 완전혼합이고

성층이 강할수록 $-V$ 가 커진다. 각 관측지점별 표층과 저층에서의 수온, 염분 및 수층의 성층도는 Table 3a~d에 각각 수록하였다.

배수갑문 개방이전 시기인 1997년 4월 2일에는 $\log(-V)$ 가 $-0.411 \sim 1.893 \text{J/m}^3$ 의 범위를 나타냈으며, St. 5에서 1.893J/m^3 를 나타냈다. 배수갑문을 개방한 1997년 8월 13일에는 $1.552 \sim 2.300 \text{J/m}^3$ 의 범위를 나타

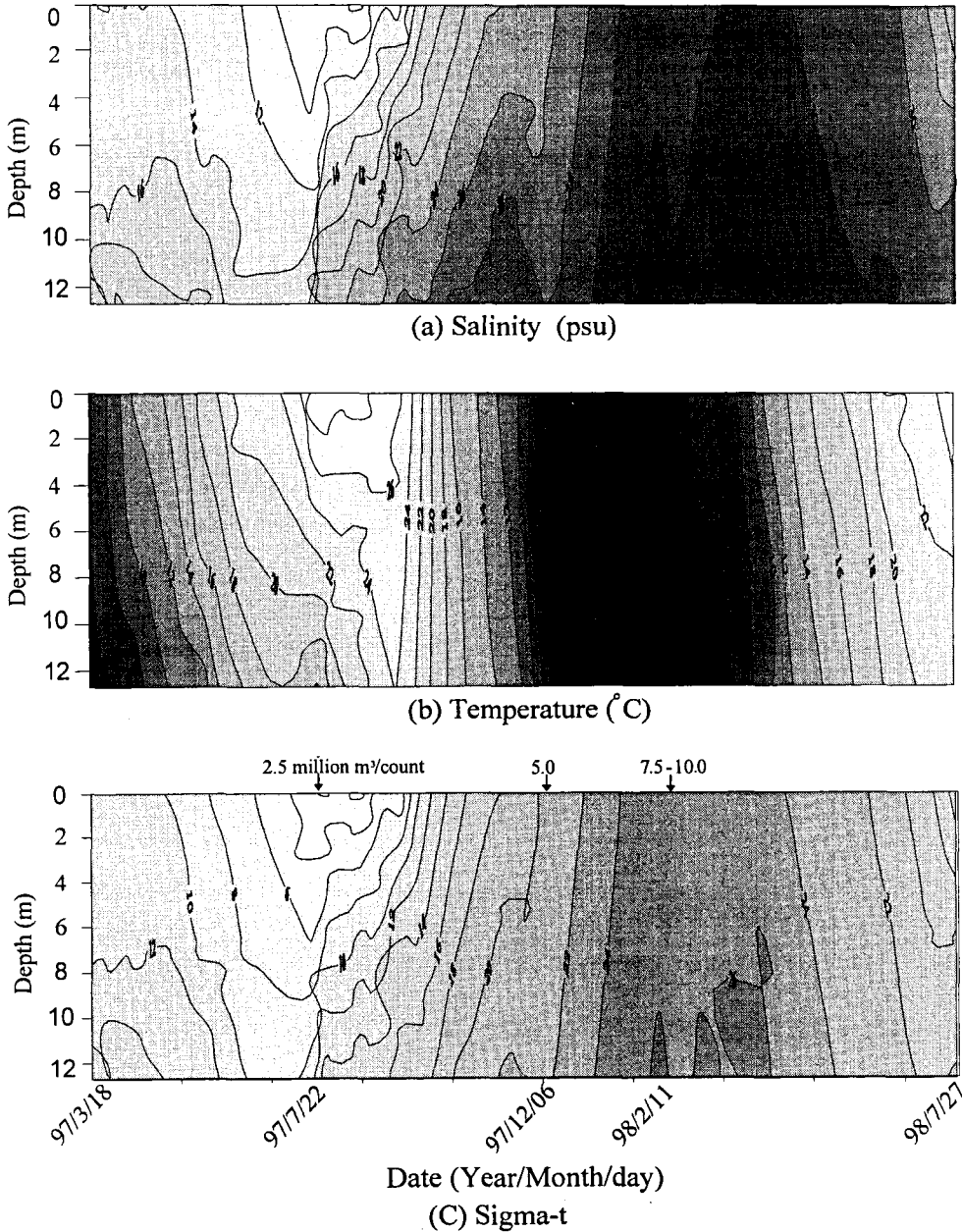


Fig. 4. Variation of (a) salinity, (b) temperature and (c) sigma-t at St. 6 during March, 1997 to July, 1998.

Table 3a. Salinity and temperature stratification parameter (log[-V]) of water column observed in April 2, 1997.

Station No.	Depth(m)	Surface temp.(°C)	Bottom temp.(°C)	Surface sal.(psu)	Bottom sal.(psu)	Stratification parameter (J/m ³)
St. 4	8.8	8.38	7.67	14.3	14.4	-0.411
St. 5	15.1	8.10	6.36	14.3	25.2	1.893
St. 6	11.2	8.14	6.34	14.3	16.5	0.330
St. 7	10.7	8.16	7.24	14.2	14.8	0.557
St. 8	7.6	8.32	7.12	14.1	14.7	0.371

Table 3b. Salinity and temperature stratification parameter (log[-V]) of water column observed in August 13, 1997.

Station No.	Depth(m)	Surface temp.(°C)	Bottom temp.(°C)	Surface sal.(psu)	Bottom sal.(psu)	Stratification parameter (J/m ³)
St. 4	8.3	22.99	21.94	7.4	21.2	2.096
St. 5	12.9	28.66	21.25	7.1	23.1	2.300
St. 6	9.7	29.30	21.70	7.4	21.8	2.076
St. 7	11.5	29.66	21.27	7.1	22.5	2.301
St. 8	5.9	28.76	22.46	7.1	17.2	1.552

Table 3c. Salinity and temperature stratification parameter (log[-V]) of water column observed in November 28, 1997.

Station No.	Depth(m)	Surface temp.(°C)	Bottom temp.(°C)	Surface sal.(psu)	Bottom sal.(psu)	Stratification parameter (J/m ³)
St. 4	10.1	8.71	9.34	25.7	27.6	0.058
St. 5	11.8	8.71	12.33	25.5	28.8	1.008
St. 6	10.9	8.74	11.45	25.7	28.5	0.819
St. 7	12.3	8.85	12.42	25.8	29.2	1.423
St. 8	6.9	8.71	10.05	25.6	26.9	0.468

Table 3d. Salinity and temperature stratification parameter (log[-V]) of water column observed in March 24, 1998.

Station No.	Depth(m)	Surface temp.(°C)	Bottom temp.(°C)	Surface sal.(psu)	Bottom sal.(psu)	Stratification parameter (J/m ³)
St. 4	8.2	6.56	5.74	32.4	32.7	0.235
St. 5	13.0	6.72	5.71	32.2	32.5	0.470
St. 6	12.6	6.84	5.67	32.5	32.6	0.440
St. 7	9.5	6.73	5.82	32.2	32.6	0.400
St. 8	6.5	6.52	5.71	32.2	32.5	0.467

내고 St. 5에서 2.300J/m³ 나타나 이전 시기에 비해 성층정도가 강화되었음을 알 수 있다. 수온역전 시기인 1997년 11월 28일에는 0.058~1.423J/m³의 범위이고 St. 5에서 1.008J/m³로 나타났으며, 1998년 3월 24일에는 0.235~0.470J/m³의 범위이고 St. 5에서 0.470J/m³로 나타나 대부분 전 수층에서 성층 정도가 비슷해졌다.

따라서 본 연구 지역에서는 배수갑문에 의해 해수가 유입됨에 따라 정점별로 염분의 수직적인 차이가 점차 작아지면서 담수화시기에 비해 성층이 크게 약화되었

음을 알 수 있다.

해수유입에 따른 수온 및 염분 변화

배수갑문을 통한 해수유입에 따른 수온 및 염분변화를 파악하기 위하여 1997년 7월의 배수갑문 개폐시기 전·후의 유·출입량, 수온, 염분, 유속 및 유향을 조사하였다(Fig. 5). 관측시기는 1997년 6월 10일부터 1997년 8월 10일까지 약 60 일간이고, 조사정점인 St.3은 배수갑문으로부터 약 2km 안쪽에 위치해 있다(Fig. 1).

1997년 6월 10일부터 7월 21일까지는 배수갑문을 통해 외해 쪽으로 시화호의 담수가 계속 유출되었으며, 7월 21일부터는 낙조류시에 담수가 유출되고, 창조류시에는 시화호내로 해수가 유입되도록 배수갑문의 인위

적인 개폐가 진행되었다(Fig 5a). 동기간 동안 관측된 평균 유속은 약 5cm/sec 이하로 나타났으며(Fig. 5c), 해수유입이 시작된 7월 22일 이후로는 배수갑문 개폐 시기에 따라 유향이 급격히 변화하였다(Fig. 5d).

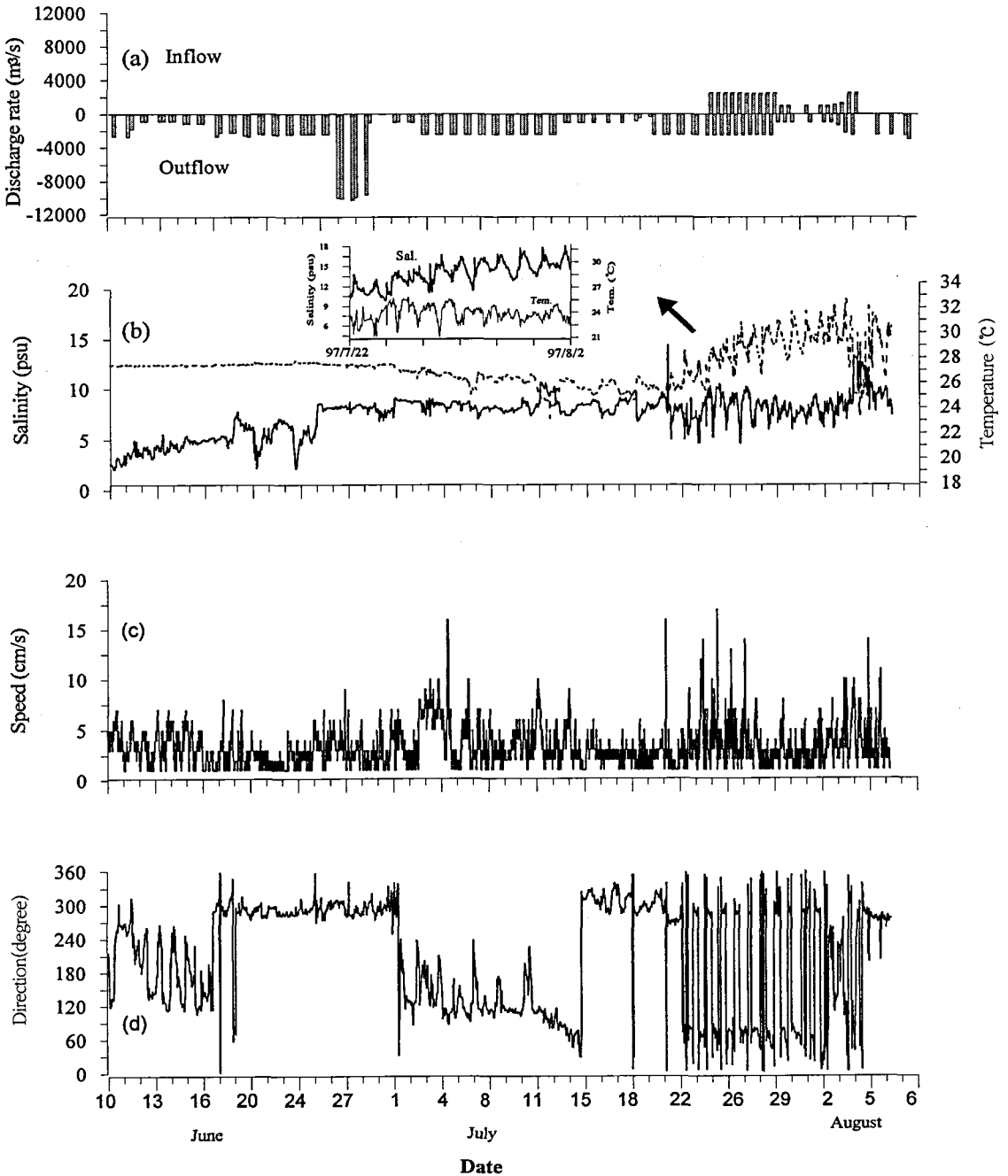


Fig. 5. Variation of (a) Inflow (+) and outflow (-) of Shihwa Lake, (b) salinity (dashed line) and temperature (solid line), (c) current speed and (d) current direction at St. 3 during June 10 to August 6, 1997.

한편, 1997년 6월 9일부터 6월 30일까지는 13~14psu의 염분이 지속적으로 유지되었으며, 7월 초~중순까지는 인접 하천으로부터 유입되는 담수에 의해 염분이 계속 낮아졌다(Fig. 5b). 외해로부터 해수가 유입되기 시작한 7월 22일부터는 해수 유·출입에 따라 염분의 변화 폭이 급격히 커지는 것으로 나타났으며, 동시에 전체적인 평균 염분이 점차 증가하는 것으로 나타났다.

반면 7월 22일부터 8월 2일까지 수온의 일변화폭은 2~5°C에 이르지만, 평균 수온은 거의 변하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 동기간 동안 수온과 염분 분포는 상대적으로 고염일때 저온분포를 나타내고, 저염일때 고온분포를 나타내는 서로 대칭적인 분포 특징을 나타냈는데, 이는 외해로부터 해수 유입 시마다 고염, 저온의 해수가 시화호내로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 해수유입이 잠시 중단된 8월 3일에는 20psu에서 8psu 까지 염분이 급속히 감소하고, 수온이 5°C

이상 급격히 상승하였는데, 이는 시화호 상류부에 자리하고 있던 고온, 저염인 담수의 영향으로 사료된다.

Fig. 6은 1997년 6월 12일부터 1997년 8월 28일까지 총 8회에 걸쳐 시화호의 하류수역의 중심부에 위치한 St. 6과 수심이 가장 깊은 St. 5에서 관측한 수심에 따른 염분, 온도, Sigma-t의 변화이다. 해수의 유입이 없으며, 하천수의 영향을 많이 받았던 1997년 6월 12일, 14일, 17일측정자료와 7월 21일 자료를 비교하면 표층수의 염분이 13psu에서 3psu로 크게 감소하였고, 염분경계층이 수심 11m에서 4m로 변화하였고, 수심 8m보다 깊은 저층수에서의 염분변화는 거의 없었다. 해수를 유입시킨 7월 22일 이후에는 수심 3~4m 이하에서 염분이 지속적으로 증가하였다. 전반적으로 강수량이 많았던 7월에는(Fig. 2) 하천수의 영향으로 표층수의 수평적인 염분변화폭이 크고 수직적인 변화는 적어 표층수와 저층수간에 염분차이가 더욱 크게 나타나 수괴 성층이 강화된 것으로 사료된다.

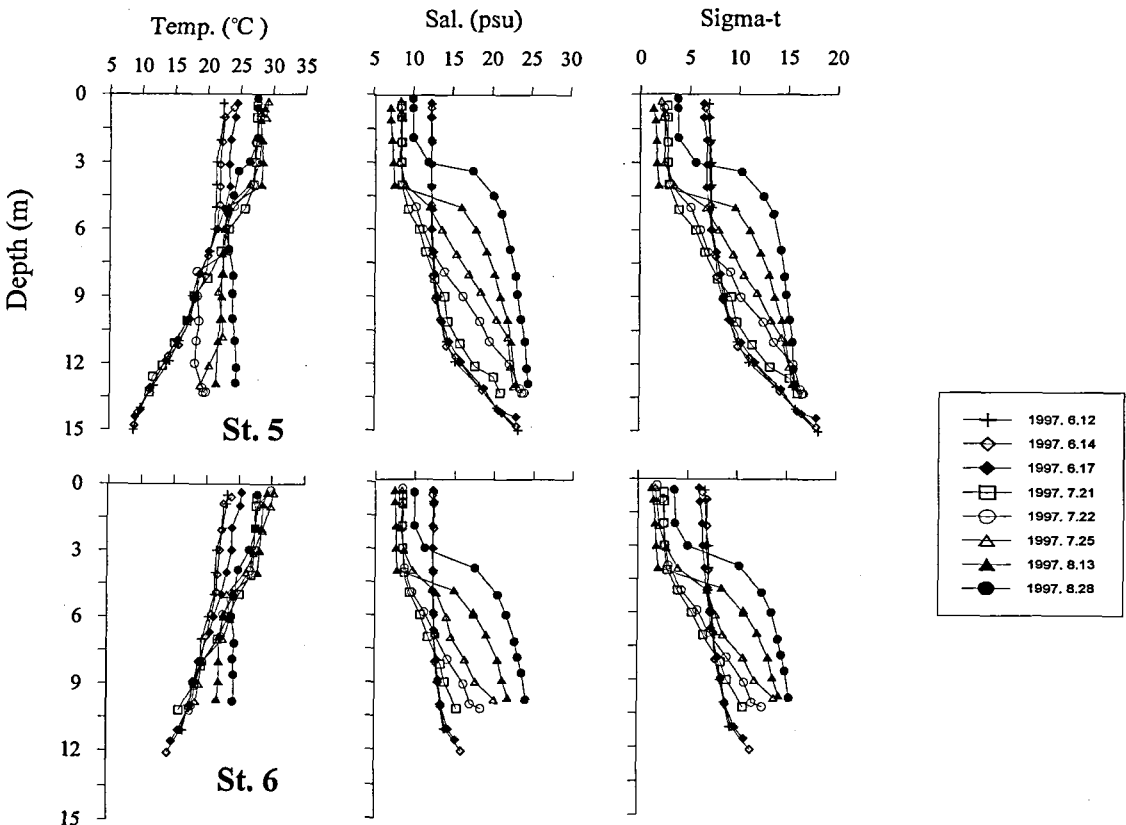


Fig. 6. Vertical distributions of temperature, salinity, sigma-t at Station 5 and Station 6 during June 12 to August 28, 1997.

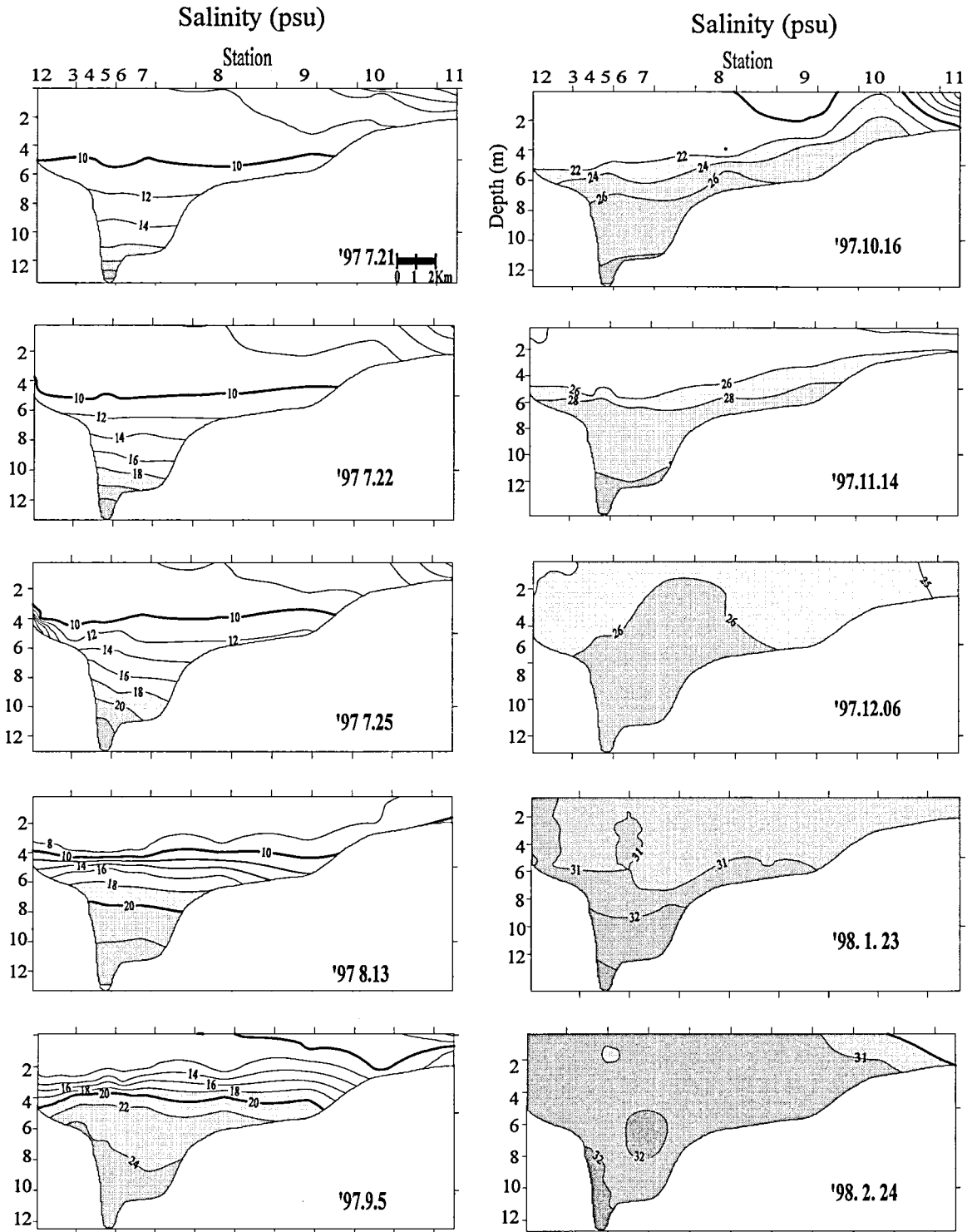


Fig. 7. Vertical section of salinity during June 21, 1997 to February 27, 1998.

공간적인 염분변화

1997년 7월 22일부터 8월 2일까지 1일 2회씩, 250 만 m³/회의 해수가 유입된 결과, 7월 22일과 25일에는 배수갑문으로부터 약 1km 해역까지 염분이 저층에서 조금씩 증가하였다(Fig. 7) 또한, 1997년 8월 15일부터 11월 2일까지 다시 해수의 유·출입이 실시된 결과, 9월 5일에는 8월 13일에 비해 수심 5m의 염분이 약 5psu 정도 증가하는 것으로 나타났다.

배수갑문 개방시 시화호 외해역에서 부표를 추적하며 공간적·수직적인 수온, 염분자료에 의하면 배수갑문의 영향을 받는 해역까지 수심 3~5m까지 23~30psu를 나타내고 방류 다음날에는 조류의 영향을 지속적으로 받게 되어 전 수층이 31psu 이상으로 수직적으로 큰 차이가 나타나지 않았다(한국수자원공사·한국해양연구소, 1998). 반면 배수갑문을 개방하여 해수를 유입시킨 시화호 내에서는 강한 성층이 지속된 것으로 나타났다.

11월 3일부터 12월 5일까지는 배수갑문운영이 일시 중단되어, 12월 6일에 저층의 염분이 25psu 이하로 감소하는 것으로 나타났으나, 이후 30psu 이상의 염분이 나타났다. 또한 1998년 2월 11일 관측이후로는 1일 2회씩 750~1,000만 m³의 해수가 유입되어 시화호가 지속적으로 해수화되는 것으로 나타났다(Fig. 7).

결론

시화호가 담수호에서 점차 해수화가 진행되는 과정의 성층수괴 분포특성과 이에 따른 물성변화 특성은 다음과 같다.

- (1) 배수갑문을 통한 해수유입이 없었던 1997년 3월부터 1997년 6월까지 시화호 내의 염분은 15psu 이하로 나타났으며, 수심 11m 이하에서 상대적으로 고염의 해수가 존재하였다.
- (2) 1997년 7월의 배수갑문 개폐기시 전·후로 배수갑문으로부터 약 2km 내측에 위치한 정점에서 장기간 수온, 염분, 유속 및 유향을 조사한 결과, 해수유입시 수온과 염분이 서로 대칭적인 분포특성이 뚜렷하게 관측되었다. 이는 시화호의 수온, 염분에 비해 상대적으로 저온, 고염의 해수가 유입되었기 때문이다.

- (3) 하천수의 영향을 많이 받는 시기 동안 표층수의 수평적인 염분변화폭이 크고 수직적인 변화는 적어 표층과 저층간에 염분차이가 더욱 크게 나타나 수괴 성층이 강화된 것으로 나타났다. 그러나 배수갑문에 의해 해수가 유입됨에 따라 정점별로 염분의 수직적인 차이가 점차 작아지면서 담수화 시기에 비해 상대적으로 저층에서의 성층이 크게 약화되었음을 알 수 있다.

향후 연구로는 산화, 환원의 두 개의 수층으로 구분된 시화호 내 수괴에서 해수가 유입됨에 따른 부유물질의 확산과 영양염 및 기타 중금속의 변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

김은수·김경태·조성록, 1998, 시화호 해수 및 표층퇴적물의 생지화학적연구. 해양연구 20: 237-250.
 류종성·최진우·강성길·고철환·허성희, 1997, 시화 방조제 건설 이후 시화호 다모류의 종조성 및 서식밀도 변화. 한국해양학회지, 2(2): 101-109.
 박용철·박준건·한명우·손승규·김문구·허성희, 1997, 시화호 산화·환원 환경하의 용존 유·무기화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지, 2(2): 53-68.
 박철·허성희, 1997, 시화호와 인근해역의 동물플랑크톤 분포에 본 시화호의 생태적 안정성. 한국해양학회지, 2(2): 87-91.
 홍대벽, 1997, 시화호의 환경특성과 동적모형에 의한 수질관리방안에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위논문. 42-47.
 한국수자원공사, 1998, 시화호 수질개선대책에 따른 수질회복추이에 관한 연구(2차년도). 288 p.
 한국수자원공사, 1999, 시화호지간척지종합개발사업 사후환경영향조사보고서. 41-42.
 한국수자원공사·농어촌진흥공사, 1995, 시화호지구 담수호 수질보전 대책수립 수립 조사보고서. 102-165
 한국수자원공사·한국해양연구소, 1998, 시화호 외해 연안 환경영향조사 요약보고서. 92 p.
 이태원·문형태·허성희, 1997, 시화호 수질 악화에 따른 시화호와 주변 해역 어류의 종조성 변화. 한국해양학회지, 2(2): 110-116.
 최동한·강성원·송기돈·허성희·조병철, 1997, 과영양성 시화호에서 박테리아의 분포 및 성장. 한국해양학회지, 2(2): 92-100.
 최정훈·김미옥·홍대벽, 2000, 시화호 배수갑문 운용에 따른

수질변화, 한국관개배수지 제 7월 제 1호, 8-18
한명우·박용철·허성희, 1997, 시화호에서 암모니아와 납의
저층용출. 한국해양학회지, 2(2): 69-77.
허성희·오임상, 1997, 인공호수 시화호와 주변해역의 생태계
연구 : 서문. 한국해양학회지, 2(2): 49-52.

Simpson, J.H., C.M. Allen and N.C.G. Morris, 1978, Fronts on
the continental shelf. *Journal of Geophysical Research*,
83, 4607-4614.

2000년 7월 28일 원고 접수
2000년 9월 4일 수정원고 접수
2000년 10월 7일 원고 채택