

강화도 남단 조간대에서의 수온 및 염분 변동양상 분석 Water Temperature and Salinity Variation Analysis in the Inter-Tidal Zone, South of Ganghwado, Korea

조홍연* · 구본주**

Hong Yeon, Cho* and Bon Joo, Koo**

요 지 : 조간대가 발달한 강화도 남단 여차리, 동막리, 동검도에서의 정점 CTD 관측 자료를 이용하여 수온 및 염분변동 양상 및 원인 분석을 수행하였다. 조간대 관측 자료는 조간대의 침수기간동안의 자료만을 이용하였다. 침수기간동안의 기온자료와 수온자료를 비교분석한 결과 상관관계가 매우 작은 것으로 파악되었으며, 수온변화는 조위의 상승하강과 반대되는 양상을 뚜렷하게 보여 주었다. 반면, 장기적인 지하수 유입의 영향으로 조석주기 동안 해수에서의 염분경사는 해안선에서 바다방향으로 갈수록 증가하는 경향(수온의 경우에는 해안선에서 바다방향으로 갈수록 수온이 감소)이 있기 때문에 수온과는 반대되는 변화양상을 보이고 있다. 즉 조석의 침수기간동안의 염분변화는 침수시점을 기준으로 조위가 상승하여 고조에 도달할 때 까지 증가하고, 조위가 감소하여 노출되는 시점까지 다시 염분이 감소하는 뚜렷한 양상을 보이고 있는 것으로 파악되었다.

핵심용어 : 조간대, 노출 및 침수, 염분, 강화도, 연안 지하수

Abstract : Water temperature and salinity variation patterns were analysed using the CTD data measured in the Yeochari, Dongmakri and Donggeomdo intertidal zone, south of Ganghwado. Only the data during the submersion period of the measurement stations were used in this analysis. It is clearly shown that the correlation between air and water temperatures is very low and the water temperature variation shows clearly the opposite patterns as the tidal elevation increases and decreases. Whereas, the salinity change shows the similar pattern of the tidal elevation change pattern because the salinity change pattern could be described as the increasing function from the shoreline to offshore regions due to the continuous ground-water inflow in the adjacent watersheds. The salinity is increased from the submersion time to the high tide and decreased from the high tide to the exposure time.

Keywords : inter-tidal zone, exposure and submersion, salinity, Ganghwado, coastal ground-water

1. 서 론

조간대는 다양한 생물서식 공간으로서 매우 중요한 가치를 가지고 있다. 그러나 조간대는 조위변화에 따라 노출(exposure)과 침수(submersion)가 반복되는 환경을 가지고 있기 때문에 조석 주기 동안의 급격한 온도 변화 및 염분변화에 적응할 수 있는 생물이 서식하고 있다. 조간대 서식생물을 결정하는 인자는 주로 노출시간, 조간대 퇴

적물의 입도에 영향을 받고 있으나 기본적으로 해양생물이기 때문에 염분농도도 매우 중요한 인자로 간주된다(Pugh, 2004; 안·고, 1992, 손·윤, 2004).

해수의 염분 농도 변화에 영향을 미치는 요인은 기본적으로 담수(freshwater)이다. 조간대로 유입되는 담수는 일시적으로는 강수에 의한 유입, 인위적인 유입(배수갑문 개방 등)이 가능하며, 지속적으로는 유역에서의 지표수(하천) 및 지하수를 통한 유입이 가능하다(Bear, 1979; Gupta,

*한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원(Corresponding author: Hong Yeon Cho, Coastal Development Research Department, KORDI, Ansan PO Box 29, Seoul, 425-600, Korea, hycho@kordi.re.kr) 건국대학교 겸임교수

**한국해양연구원 해양자원연구본부 선임연구원(KORDI)

1989). 그러나 하천이 발달되어 있지 않은 조간대 영역에서는 강수에 의한 일시적인 영향과 지하수의 유입에 의한 영향으로 제한할 수 있다(Knowles, 2002). 한편 유역에서의 지속적인 담수 유입 및 해수유동-혼합과정에 의하여 형성되는 해수의 염분경사(salinity gradient)도 조간대 고정관측에 대한 이동요인으로 작용하여 염분변화를 유발할 수 있다.

본 연구에서는 조간대가 발달한 강화도 남단 여차리, 동막리, 동검도 조간대에서의 정점 CTD(Conductivity, Temperature, Depth, 이하 CTD) 관측 자료를 바탕으로 조간대의 염도 변화 양상 및 원인분석을 수행하였으며, 환경변화에 따른 조간대 염분변화 예측모형의 구성·적용을 위한 과학적인 근거를 제시하였다.

2. 강화도 조간대 수온 및 염분 관측

강화도 남단 조간대의 CTD 계류지점은 여차리, 동막리, 동검도 지점으로 관측기간은 30일 이상이다. 관측은 2006년 여름철(7월)에는 4개 지점에서 수행하였으며, 2007년 봄철(4월~5월)에는 3개 지점에서 수행하였다. 2007년

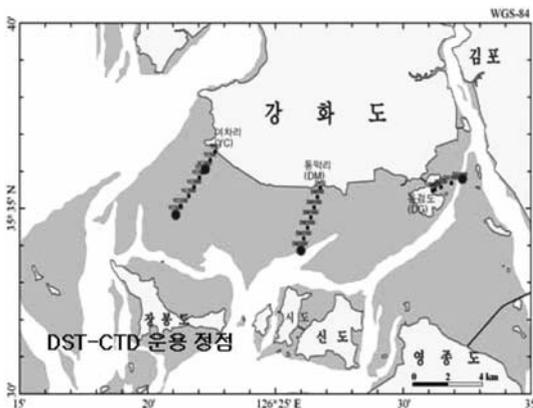


Fig. 1. CTD measurement stations in Ganghwa.

도에는 동검도와 동막리 지점은 관측지점을 유지하였으며, 여차리 지점은 1개 지점을 줄이면서 2006년 2개 관측지점의 중간부분에 1개의 기기를 설치하여 관측을 수행하였다. 관측기기 계류지점의 위치 및 고도 등의 기본정보는 Fig. 1, Table 1에 제시하였다.

관측지점의 고도는 DGPS 측량을 이용하여 수준점을 설정하였기 때문에 지오이드 높이의 변화에 따른 오차를 포함할 수 있을 것으로 판단된다(국립해양조사원, 2008; 한국건설기술연구원, 2001; 조규진, 2008). 한편, 관측은 연속적으로 수행되었기 때문에 관측지점이 위치한 조간대 노출기간의 자료는 분석대상에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서 분석한 CTD 관측자료는 관측지점이 침수되어 있는 기간 동안의 자료이므로 일정기간의 연속적인 관측과 관측중지기간이 반복되는 자료 형태를 보이게 되며, 2006년은 4월~5월 자료로 관측지점은 모두 4개, 2007년은 6월~7월 자료로 관측지점은 모두 3개로 구성된다. 2006년 7월 17일 이후 수심자료는 수심 센서 오작동으로 자료가 불량(0.0 기록)하여 분석에서 제외하였다. 관측기간 동안의 전체적인 지점별 수온, 염분, 수심변화 양상을 파악하기 위하여 관측기간 동안의 지점별, 항목별 변화 양상을 Fig. 2~Fig. 4에 도시하였으며, 자료의 기본적인 통계정보는 Table 2에 정리하여 제시하였다.

본 연구에서의 CTD 관측기간을 모두 포함하는 2006년(6.27~7.29), 2007년(4.19~5.19)의 인천 및 강화 기상대의 평균기온은 각각 22.2°C, 21.9°C(표준편차는 각각 2.3, 2.4°C); 14.4°C, 13.8°C(표준편차는 각각 2.9, 3.4°C) 정도로 파악되었으며, 강우는 인천, 강화 기상대 각각 2006년에는 633.5(mm), 796.3(mm); 2007년에는 120.5(mm), 96.1(mm)로 파악되었다. 기상대의 기온 및 강수량 변화는 기상청(www.kma.go.kr)에서 제공하는 시간간격 자료를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Basic information of the CTD measurement stations

Stations Code	Measurement Periods	Elevation (Elevation, m) (included sensor height)	Inter-tidal location	Description
DG2006-15(DG)	2006. 6.26~7.28	1.807 (=1.657+0.150)	Donggeomdo coast	
DG2007-15(DG)	2007. 4.20~5.19	1.807 (=1.657+0.150)	Donggeomdo coast	
DM2006-30(DM)	2006. 6.27~7.26	-1.955 (= -2.105+0.150)	Domgmak beach	
DM2007-30(DM)	2007. 4.19~5.18	-1.955 (= -2.105+0.150)	Domgmak beach	
YC2006-12(YC1)	2006. 6.28~7.25	1.125 (=0.975+0.150)	Yeochari coast	
YC2006-35(YC2)	2006. 6.28~7.25	-0.739 (= -0.939+0.200)	Yeochari coast	
YC2007-25(YC12)	2007. 4.20~5.19	0.466 (=0.266+0.200)	Yeochari coast	

Ref. *Elevation is based on the MSL(mean sea level).

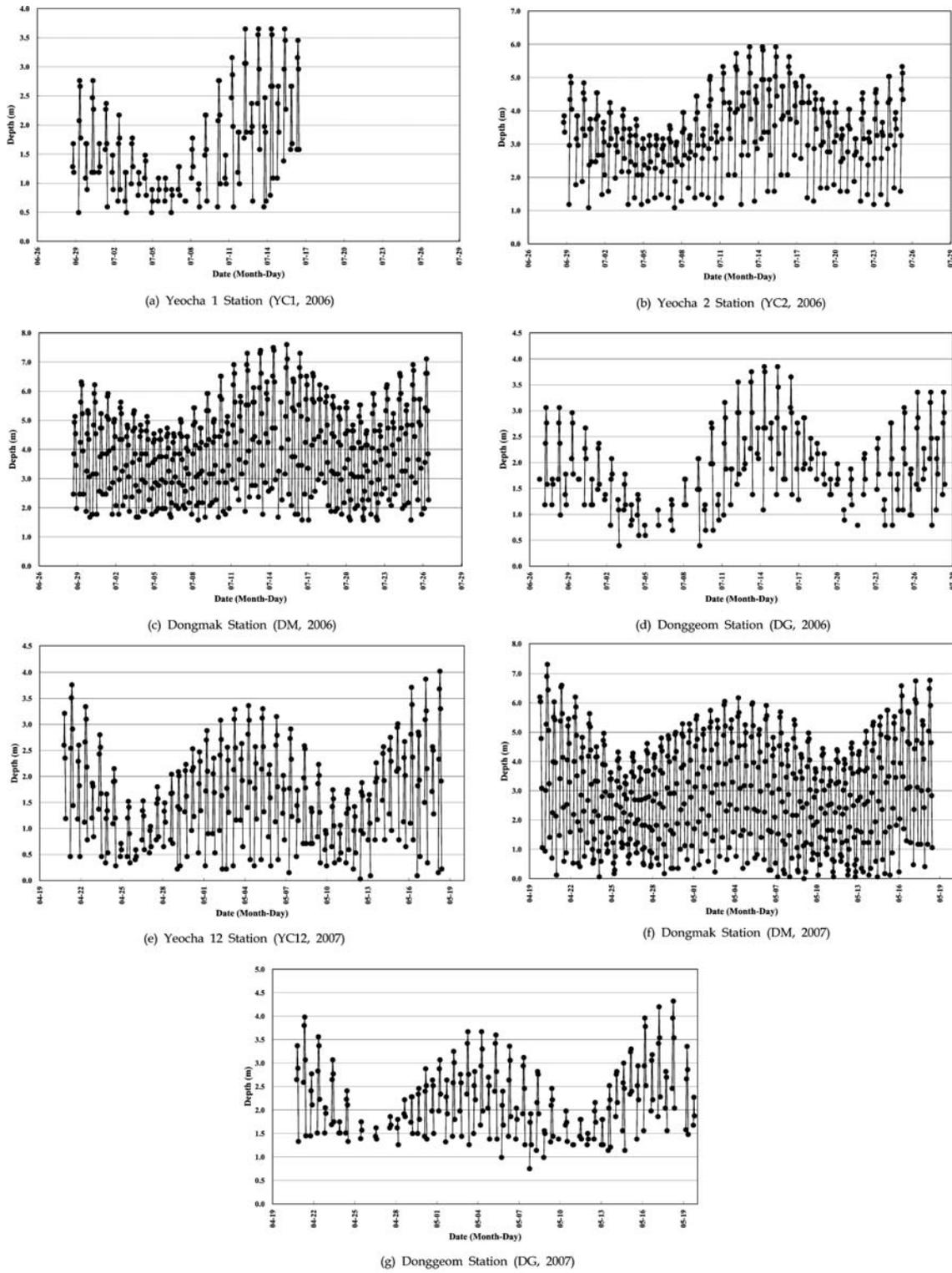


Fig. 2. Depth change patterns.

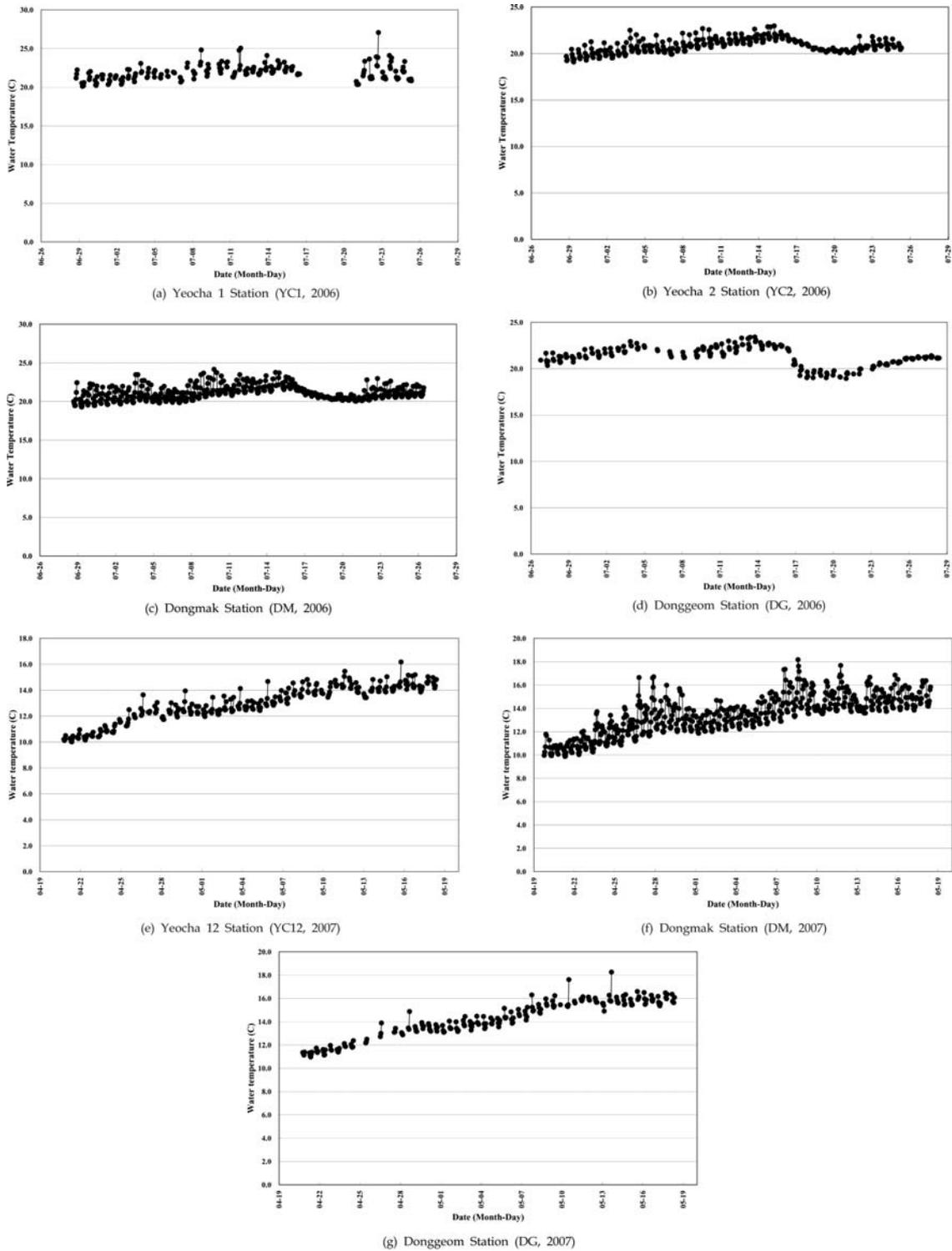


Fig. 3. Water temperature change patterns.

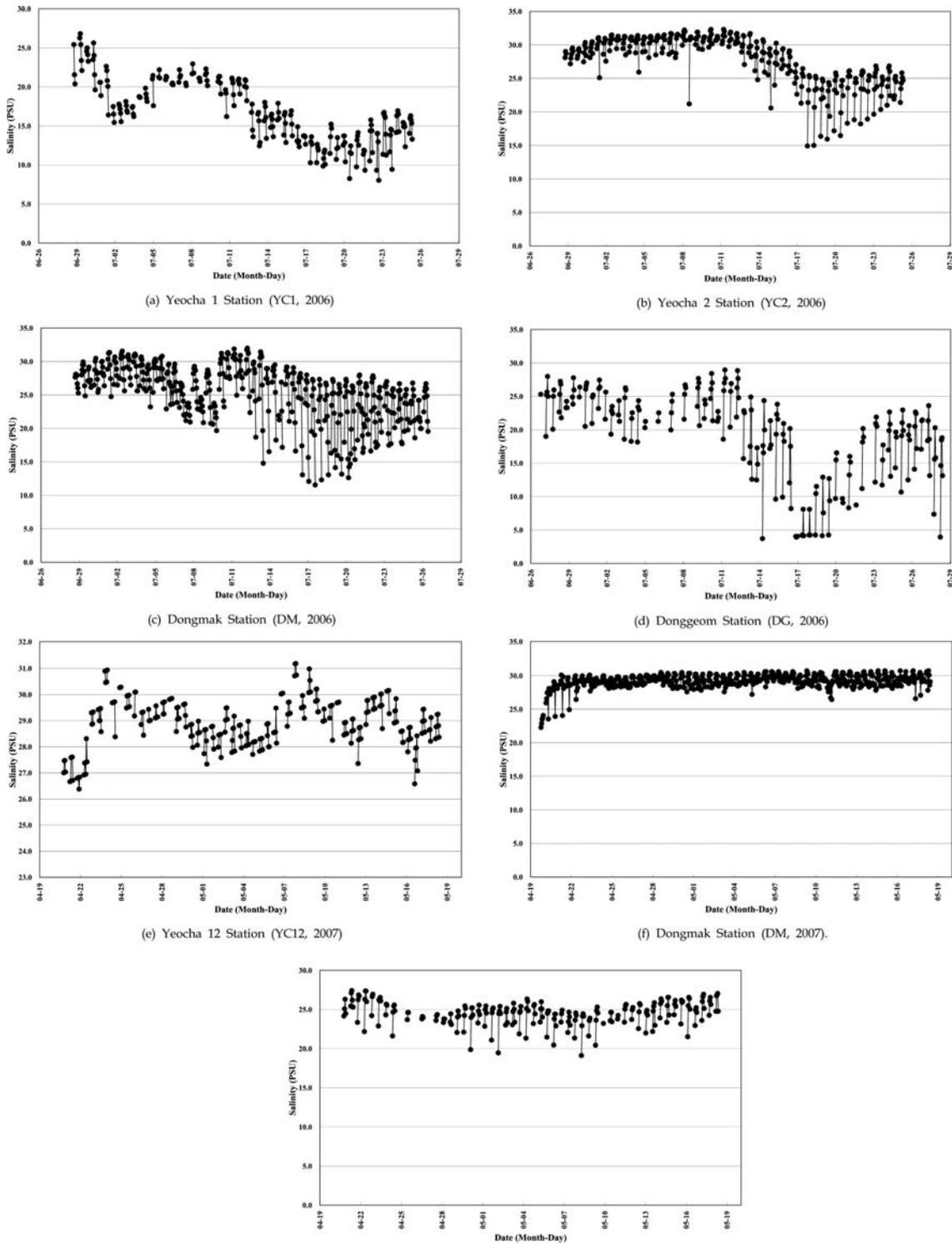


Fig. 4. Salinity change patterns.

Table 2. Basic statistical information of the CTD data in Ganghwado

Year		2006				2007		
Stations		YC 1	YC 2	DM	DG	YC 12	DM	DG
Depth (m)	n	139	303	466	207	279	568	215
	μ	1.7	3.3	4.0	1.9	1.6	2.9	2.2
	SD	0.9	1.1	1.5	0.8	0.9	1.7	0.7
Water temperature (°C)	n	188	303	466	207	279	568	207
	μ	21.9	20.8	21.0	21.3	12.9	13.4	14.2
	SD	1.0	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	1.6
Salinity (PSU)	n	223	303	466	207	279	568	207
	μ	16.8	27.7	25.4	19.2	28.9	29.2	24.5
	SD	4.0	3.7	4.2	6.6	0.9	1.1	1.5

*n=No. of the Data, μ =Mean of the Data, SD = Standard Deviation of the data

3. 조간대 수온 및 염도 변화 분석

3.1 조간대 수심변화 양상 비교·분석

수심변화는 관측 지점의 고도에 따라 동일한 조위에서도 다르기 때문에 공간적인 변화를 비교(자료의 일관성 검토 목적)하기 위해서는 수심자료를 평균해수면 기준고도(elevation, cm)로 환산하여 비교하는 것이 보다 수월하다. 환산방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & (\text{관측지점의 조위} = \text{인천조위 가정, cm}) \\ & = \text{관측지점의 수심(cm)} + \text{관측지점의 고도(elevation, cm)} \\ & + \text{차이(cm)} \end{aligned}$$

인천 검조소 조위와 강화도 남단 조간대의 조위 변화가 유사하다는 가정을 하면, 관측지점의 수심자료를 고도로 환산(조위)하면 그 차이는 미미하여야 한다. 그러나 본 연구에서 인천조위와 관측지점의 조위차이를 분석할 결과 상당한 차이가 발생하는 것으로 파악되었다. CTD 장비를 이용한 조위변화와 인천검조소 조위자료의 차이는 기준면과 지각 차이에 의한 성분으로 구성되고 있는 것으로 파악되었다. 기준면 오차는 GPS 측량에 의한 수준측량오차로 판단할 수 있으며(Strang and Borre, 1997), 지각(phase) 차이에 의한 조위차이는 오차라기보다는 인천과 관측지점과의 지각차이에 의한 차이로 간주할 수 있다. 이 차이는 조위에 따라 증감하는 전형적인 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, 인천검조소와 조위의 조차에 의한 차이도 지각차이에 의한 변동양상을 반영하고 있으며, 크기만을 달리하게 된다.

인천검조소와 강화도 남쪽 조간대 관측지점의 조위가 동일하다는 가정을 하면, 관측기간 동안의 평균조위 차이

는 관측지점의 수준점 측량오차로 간주할 수 있다. 이 경우, 예상되는 GPS 고도 측량오차는 지점과 시기에 따라 모두 다르며, 2006년도의 경우 동검지점(DG), 동막지점(DM), 여차1지점(YC1), 여차2지점(YC2) 각각 +99(cm), +96(cm), +27(cm), +64(cm) 정도이며; 2007년도에는 동검(DG), 동막(DM), 여차12지점(YC12) 각각 +151(cm), +28(cm), -5(cm) 정도이다. 관측기간(조간대 침수기간)의 조위차이는 침수시점에서 가장 크게 나타나고, 다시 노출되는 시점에서 가장 작게 나타나는 전형적인 지각차이에 의한 조위차이 변화양상을 보이고 있는 것으로 파악되었다. 또한 공간적인 조위변화 양상이 크지 않은 지점에서의 조위차이 변화정도가 지점에 따라 미미한 변화(비교적 작은 범위의 조위차이 자료의 표준편차, 31~36(cm))를 보이는 것으로부터도 유사한 조석영역에서의 지각차이에 조위차이 오차로 판단할 수 있다.

측량오차로 판단되는 고도 기준점을 조정하기 전·후의 인천 검조소 조위와 관측지점의 조위를 침수기간이 길어서 자료가 비교적 풍부한 대조기 전·후 기간(2006년은 7월 12일~7월 15일, 2007년은 5월 3일~5월 6일) 자료를 비교도시하였다(Fig. 5 참조).

3.2 인천(강화)기상대 기온변화와 조간대 수온변화 양상 비교·분석

조간대 수온변화 양상은 인천기상대의 2006년, 2007년 관측기간의 기온변화 자료를 이용하여 비교분석을 수행하였다. 조간대 관측은 조간대의 침수기간동안에만 수행되기 때문에 침수기간동안의 기온자료와 비교분석을 수행하였으나 상관관계가 매우 작은 것으로 파악되었다. 그러나 조석의 침수기간동안의 수온변화는 침수시점을 기준으로 감소 - 고조시점을 기준으로 다시 증가(이상적인 경우, 즉

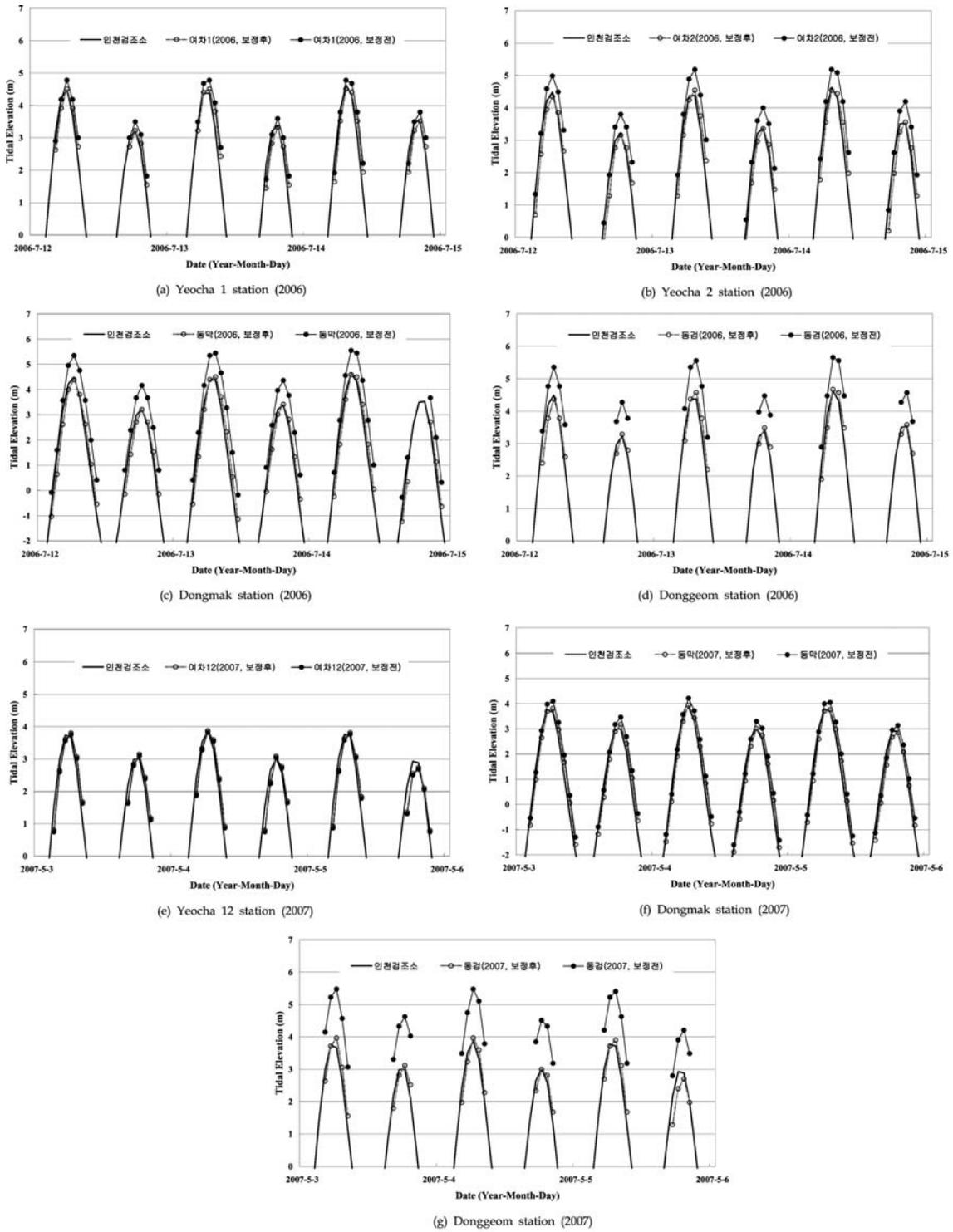


Fig. 5. Tidal elevation comparison before and after adjustment in CTD measurement station using Incheon gauging station data.

외부의 영향이 없고, 해수의 수온경사가 평형상태에 도달한 경우에는 침수시점의 수온으로 회귀)를 반복하는 뚜렷한 양상을 보이고 있는 바, 전체적인 평균 수온은 계절의 영향이 지배적이나 계절변화 규모에 비하여 일시적인 조석주기 동안의 변화는 조간대 해수의 공간적인 수온 경사의 영향으로 추정할 수 있다(조 등, 2007). 즉, 해안선에서 바다방향으로의 수온경사가 존재하는 경우, 조간대에서 해수의 유입과 유출에 따른 관측지점에서의 수온변화는 해수이동에 의한 수온변화 영향으로 간주할 수 있다. 수온변화 범위는 관측지점의 고도(동일한 조위에서의 노출시간의 차이), 대조-소조의 조위변화(시간에 따른 노출시간의 변화), 해수의 수온경사 정도에 의하여 결정된

다고 할 수 있다. 한편 온도변화는 계절적인 변화 요인이 크기 때문에 관측기간 동안의 수온 및 기온자료는 일정한 변동범위의 영역에 포함되는 자료 군집을 이루고 있음을 알 수 있다(Fig. 6).

수온변화는 2006년, 2007년 자료를 이용하여 비교·분석하였으며, 조석주기동안의 수온변화 분석은 대조시 전·후(2006년은 7월 12일~7월 15일, 2007년은 5월 3일~5월 6일)에 수행하였다. 분석결과 지점별로 차이는 있으나 기온변화와 무관하게 조간대의 수온변화는 감소-증가가 반복되는 동일한 경향을 보이고 있는 것으로 파악되었다 (Fig. 7 참조).

3.3 인천기상대 강우변화와 조간대 염분변화 양상 비교·분석

조간대의 염분변화는 일시적인 강우의 영향과 지속적인 지하수 유입의 영향으로 판단할 수 있다. 그러나 지속적인 지하수 유입이 연안 해수의 장기적인 염분경사 형성에 기여하는 것으로 가정하면, 조간대의 염분변화도 수온변화와 같이 해수 유입-유출에 따른 관측지점에서의 해

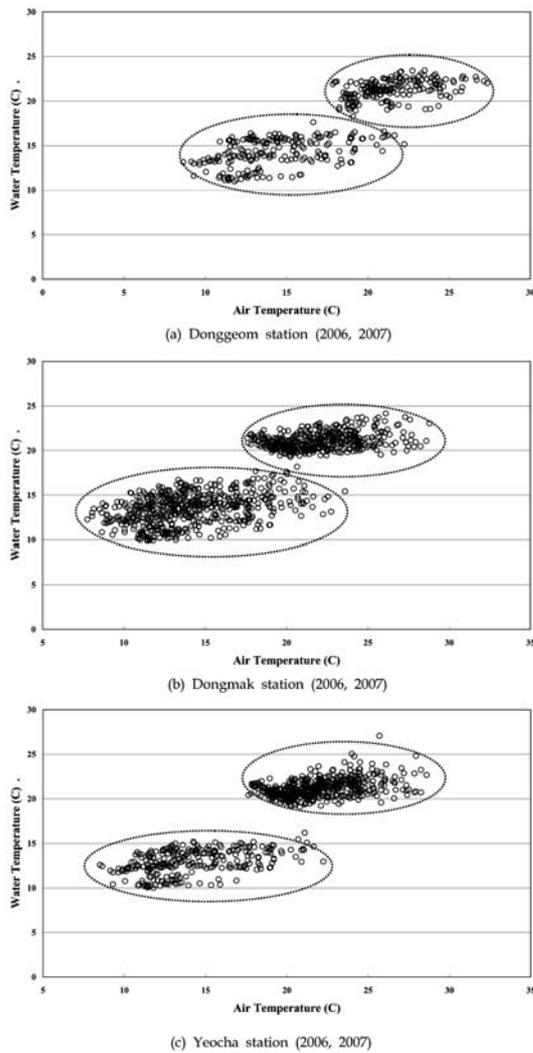


Fig. 6. Air and water temperature scatter plot.

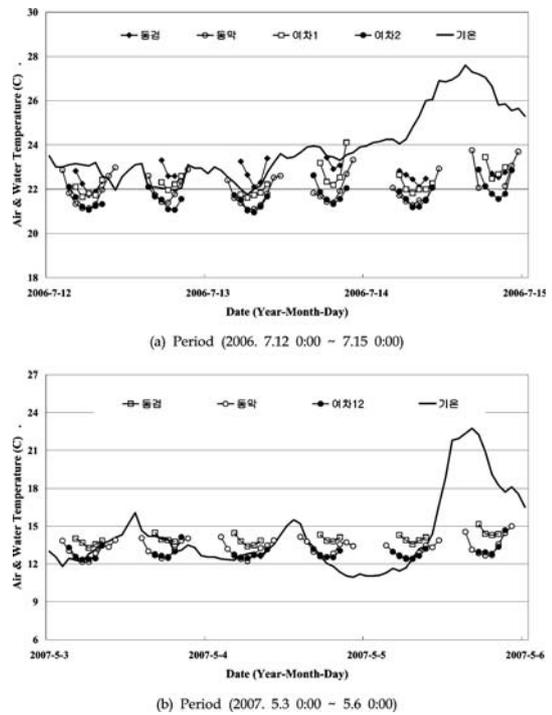


Fig. 7. Air and water temperature change at spring tide period(Continuous solid thick line = air temperature, Lines with symbols = water temperature during the emersion period).

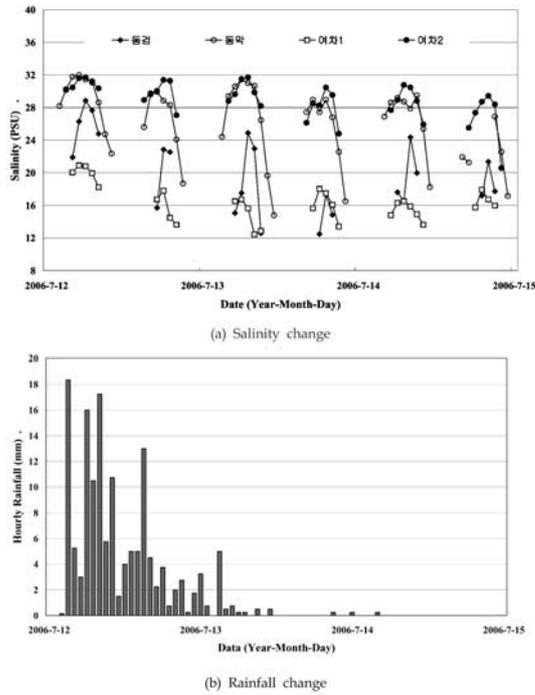


Fig. 8. Salinity variation at heavy rainfall period (2006. 7. 12 0:00 ~ 7. 15 0:00).

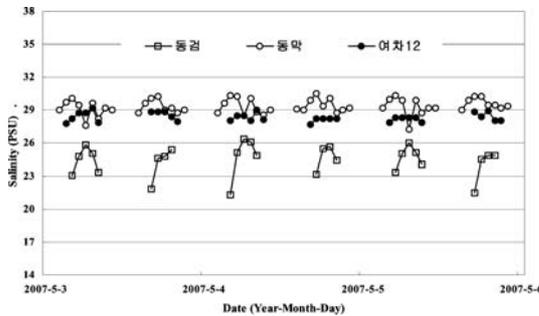


Fig. 9. Salinity variation at no rainfall period (2007. 5. 3 0:00 ~ 5. 6 0:00).

수이동에 따른 염분변화 영향으로 추정할 수 있다. 조석 주기 동안의 해수에서의 염분경사는 해안선에서 바다방향으로 갈수록 증가하는 경향(수온의 경우에는 해안선에서 바다방향으로 수온이 감소)이 있기 때문에 수온과는 반대되는 변화양상을 보이고 있다. 즉 조석의 침수기간동안의 염분변화는 침수시점을 기준으로 점차적으로 증가 - 고조 시점을 기준으로 다시 점차적으로 감소(이상적인 경우, 즉 외부의 영향이 없고, 해수의 수온경사가 평형상태에 도달한 경우에는 침수시점의 염분으로 회귀)를 반복하는 뚜렷한 양상을 보이고 있다(Fig. 8 ~Fig. 9 참조).

3.4 조위변화, 수온변화와 염분변화의 상관관계 분석

조위가 고조에 도달할 때 까지 상승하고 고조 이후 하강하는 기간에 수온은 반대경향(하강하고, 상승하는)을 보이고 있으며, 염분은 상승하고, 하강하는 경향을 보이고 있다. 도식적으로는 뚜렷한 변화양상이 보이지만 변화정도 및 변화속도가 시간차이가 있기 때문에 동일한 시점에서의 상관관계는 크지 않으며 수치만으로는 상관관계가 없는 것으로 판단할 수도 있기 때문에 수치를 이용한 분석은 본 연구에서 생략하였다. 한편 조석주기 규모의 단기간 수온과 염분변화가 조간대를 들고 나는 해수의 영향이 지배적이라면 정점 CTD 관측자료를 이용하여 역으로 해수의 수온경사와 염분 경사를 추정할 수 있다. 즉, 해수의 전선(해안선, 조석에 따라 이동)을 기준으로 바다방향으로 방향을 잡으면 염도는 바다방향으로 증가하며, 수온은 바다방향으로 감소하는 경사를 가지고 있음을 추정할 수 있다. 이 추정이 적용되는 범위는 물론 조간대로 들고 나는 해수이동의 공간적인 영역으로 제한된다. 연안 갯벌지역에서의 지하수 유입-유출 거동은 강우의 영향, 조위의 영향, 조간대 지형의 영향 등이 작용하여 결정되기 때문에 시간적·공간적으로 큰 차이가 발생할 수 있으며, 매우 복잡한 양상을 보일 수 있다(Allet et al., 2002; Chapius et al., 2006; Michael et al., 2005). 따라서 보다 장기적인 관측자료와 모형을 이용한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론 및 제언

조간대의 수온변화 범위는 관측지점의 고도(동일한 조위에서의 노출시간의 차이), 대조-소조의 조위변화(시간에 따른 노출시간의 변화), 해수의 수온경사 정도에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 한편 온도변화는 계절적인 변화요인이 크기 때문에 관측기간 동안의 수온 및 기온자료는 일정한 변동범위의 영역에 포함되는 자료 군집을 이루고 있는 것으로 파악되었다. 한편, 조간대의 염분변화는 일시적인 강우의 영향과 지속적인 지하수의 영향으로 판단할 수 있다. 그러나 지속적인 지하수 유입이 연안 해수의 장기적인 염분경사 형성에 기여하는 것으로 가정하면, 수온변화와 같이 해수 유입-유출에 따른 관측지점에서의 해수이동에 따른 염분변화 영향으로 공간적인 염분경사를 추정할 수 있다. 조간대 침수기간동안의 염분변화는 침수시점을 기준으로 조위가 상승하여 고조에 도달할 때 까지 증가하고, 조위가 감소하여 노출되는 시점까지 다

시 염분이 감소하는 뚜렷한 양상을 보이고 있는 것으로 파악되었다.

본 연구에서 수행한 조간대 CTD 관측 자료 분석결과와 조간대의 지하수 유출양상에 대한 기본적인 이론을 바탕으로 다음과 같은 기본적인 수준의 조간대 염분변화 예측 모형을 구상·제시할 수 있다. 또한 본 조간대 염분변화 예측모형은 단기간 관측자료로는 분석할 수 없으나 모형으로는 재현이 가능한 현상 등도 포함할 수 있다.

Level I: 해수의 염분경사에 의한 영향 + 염분확산 영향을 포함한 모형

해수의 염분경사만을 고려하는 경우에는 조석주기 동안의 해수에서의 염분확산을 무시하는 경우, 창조시에는 해수의 최전방(관측지점이 침수되는 시점, 밀려오는 해수를 기준으로 하는 경우, 해수의 가장 앞 부분) 염분농도를 감지하는 것을 시작(관측장비 침수)으로 하여 고조시 까지 해수가 계속 이동하여 고조시 해안선과 관측장비의 수평거리에 해당하는 농도를 감지하고, 이어지는 낙조시에는 해수가 계속 후퇴하여 최전방(후퇴의 의미에서는 최후방)의 염분을 감지하는 것을 끝(관측장비의 대기 노출)으로 관측이 중지된다. 해수는 저조시 해안선으로부터 후퇴하고 다시 이어지는 창조시 최전방 염분농도를 감지할 때 까지는 관측은 중지된다. 즉, 관측장비의 조간대에서의 위치 및 조차에 따라 침수-노출시간은 차이가 발생할 수 있으나 해수의 염분경사 (염분분포)가 변화하지 않는 경우에는 해수 선단의 염분(Sf)을 시작으로 관측장비가 감지하는 마지막 농도(침수직후 - 노출 직전, So[고조시 CTD 관측지점의 염분] \geq Sf)를 반복하게 된다. 물론, 일조부등(diurnal inequality) 및 연속되는 조차가 실질적으로 변화하기 때문에 장비침수시점과 장비노출시점의 염분에 차이가 발생할 수 있으며, 그 차이는 조차와 염분경사 정도의 영향을 받을 것으로 판단된다. 한편 염분의 변화양상은 염도경사를 가진 해수의 위치와 관련이 있기 때문에 조간대의 지형적인 형태에 따라 그 형태가 결정된다.

한편, 조석주기 동안의 해수에서의 염분확산 영향은 실질적으로 염분경사를 점진적으로 변화시키기 때문에 반복되는 장비 침수시점과 노출시점 동안의 염분 농도 차이를 유발할 수 있다. 확산의 영향이 반영되면 공간적인 염분농도 경사가 완만해지기 때문에 Sf - So 농도차이가 감소하고, 첫 번째 고조시의 염분농도(So₁), 두 번째 고조시의 염분농도(So₂) 등 연속되는 고조의 농도도 다음과 같이 배경농도로 접근한다.

저조 --> **관측시작** [창조 : 장비 침수, Sf] --> 고조(So)

--> **관측종료** [낙조 : 장비 노출, Sf] --> 저조

--> **관측시작** [창조 : 장비 침수, Sf] --> 고조(So)

--> **관측종료** [낙조 : 장비 노출, Sf] --> (반복)

보다 실질적인 조간대 염분변화 예측모형(Level II)은 다음과 같이 구성할 수 있다. Level II 모형은 Level I 모형에서 모의하는 단기간의 염분변화 양상에 장기적인 염분변화 양상을 모의할 수 있는 과정, 즉 장기적인 지하수 위 변화와 조간대 투수계수를 고려한 지하수 유출모형을 추가하면 가능하다. 따라서 하천유역이 크게 발달하지 않은 조간대 영역에서는 하계와 동계에도 염분변화 양상에는 큰 차이가 없을 것으로 사료되며, 육지에서 유입되는 지하수량에 따라 장기적으로 형성되는 공간적인 염분경사가 조간대 노출-침수에 따른 염분변화 정도(크기)를 반영할 것으로 판단된다. 한편 강화도 연안지역의 해수는 한강에서 유출되는 담수의 영향을 받기 때문에 이 시기에 형성되는 강화도 남단 부근의 염분경사가 조간대 염분변화에 영향을 미칠 수 있으나, 이 영향을 모의하기 위해서는 본 연구에서 제시하는 Level II 모형에 광역 해수유동 모형을 포함하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 하구관리 및 복원기술 개발사업(PE-9811A)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 국립해양조사원(www.nori.re.kr), (2008). 배움바다 - 배움자료실, NORI-05 (정밀 GEOID 계산모형).
- 손민호, 윤성규(역자) (2004). 조간대 생태학(Intertidal Ecology), 아카데미서적.
- 안순모, 고철환 (1992). 서해 만경-동진 조간대의 환경과 저서동물 분포, 한국해양학회지, 27(1), pp.78-90.
- 조규전 (2008). 측량정보공학, 제10장, 양서각.
- 조홍연, 이길하, 조경준, 김준성 (2007). 연안 해역 기온과 수온의 상관관계 및 이력현상 분석, 한국해양공학회지, 19(2), 128-135.
- 한국건설기술연구원(우제윤, 구지희 등), (2001). 세계좌표계 도입에 따른 기준점 구축 및 관리방안, 2000 NGIS 지원연구사업, 건설교통부.
- Alley, W.M., Healy, R.W., LaBaugh, J.W. and Reilly, T.E. (2002). Flow and Storage in Groundwater Systems, Sci-

- ence's Compass, Review, Science, 296(14), pp.1985-1990.
- Bear, J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill Int'l Book Co., Chap. 9.
- Chapuis, R.P., Belanger, C. and Chenaf, D. (2006). Pumping test in a confined aquifer under tidal influence, Technical Note, *Groundwater*, 44(2), pp.300-305.
- Gupta, R.S. (1989). *Hydrology and Hydraulic Systems*, Chap. 5, Prentice Hall.
- Knowles, N. (2002). Natural and management influences on freshwater inflows and salinity in the San Francisco Estuary at monthly to interannual scales, *Water Resources Research*, 38(12), pp.25-1~25-11.
- Michael, H.A., Mulligan, A.E. and Harvey, C.F. (2005). Seasonal oscillations in water exchange between aquifers and the coastal ocean, *Letters, Nature*, 463(25), pp.1145-1148.
- Pugh, D. (2004). *Changing Sea levels, Effects of Tides, Weather and Climate*, Chap. 9, Cambridge Univ. Press.
- Strang, G. and Borre, K. (1997). *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Wellesley - Cambridge Press.
-
- Received May 30, 2008
Accepted June 18, 2008