

# 새만금 간척지구 방조제 건설에 따른 조석변동과 환경영향 평가

○김대근\*, 백경오\*\*, 서일원\*\*\*, 선우중호\*\*\*\*

## 1. 서론

새만금지구에는 방조제의 건설로 약 13,000 ha 면적의 광대한 담수호가 생성되어 5억 9천만 m<sup>3</sup>의 담수를 이용할 수 있게 된다. 방조제 건설에 따른 수리 및 환경영향으로는 첫째, 간척지구 내부로의 해수유입이 차단되어 인접해역의 조위특성이 변할 수 있다. 둘째, 시화호의 경우와 같이 방조제의 건설로 인해 수체가 정체되고 유역의 도시화 및 산업화에 따라 오염부하량이 증가하게 되어 담수호의 수질이 급격히 악화되는 경우가 발생할 수 있다. 수질이 악화된 담수를 연안에 방류하게 되면 주변해역에 심각한 환경영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 방조제 축조 후의 조위 및 조류속의 변동양상을 수치모형을 이용하여 비교·검토하였다. 이렇게 계산된 유동장 자료는 오염물질의 이송·확산방정식의 입력자료로 사용되어 방조제의 배수갑문을 통해 방출되는 오염된 담수의 영향범위를 평가하는데 사용되었다.

## 2. 수치모형

### 2.1 개요

본 연구에서는 2차원 유한요소모형인 Boss SMS를 사용하여 자유수면을 가지는 수심적분된 2차원 유동 및 물질이동을 해석하였다. Boss SMS의 흐름모형은 RMA-2 모형을 근간으로 하는데 Resource Management Associates, Inc. 의 Norton 등에 의해 개발되어 Waterways Experiment Station(WES)에서 지속적인 개정작업을 거쳤다(Brigham Young University, 1995). RMA-2모형이 사용하는 지배방정식은 2차원 수심적분된 연속방정식과 운동방정식이다. Boss SMS의 질량이동모형은 2차원 수심적분된 질량이동방정식을 지배방정식으로 하는 RMA-4 모형을 근간으로 한다. 본 모형은 2차원 흐름 및 보존성, 비보존성 오염물질의 확산거동을 모의할 수 있다.

### 2.2 격자의 구성 및 경계조건

새만금지구의 격자계는 외해경계를 새만금지구 수리실험 및 파랑관측보고서(1995)의 수리모형 실험의 외해경계와 일치시켰다. 본 모형의 계산영역으로 유입하는 하천으로는 금강, 만경강, 동진강이 있다. 금강은 금강하구연담까지 연장하였으며, 만경강과 동진강유역은 전주포내와 동진포내까지를 계산영역으로 설정하였다. 또한 군장지구의 매립공사가 진행 중이므로 이를 고려하여 공사가 완료된 후의 지형을 참조하여 계산격자를 구성하였다. 외해경계로는 1995년도의 새만금지구 수리실험 및 파랑관측 보고서에서 수리모형실험의 외해경계를 결정하기 위하여 도출한 조위자료

\* 서울대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\* 서울대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\*\* 서울대학교 토목공학과 부교수

\*\*\*\* 서울대학교 총장

를 이용하였다.

### 2.3 매개변수의 결정

본 모형의 계산시간간격은 수치실험을 통하여 계산시간간격이 해의 정확도 및 안정성에 영향을 미치지 않는 시간간격인 0.5시간으로 하였으며 Coriolis항을 고려하기 위한 위도는 본 지구의 대략적인 중앙위도인 36°를 이용하였다.

와점성계수의 결정은 다음과 같이 정의되는 Peclet 수( $P$ )에 의하여 지배된다.

$$P = \frac{\rho U \Delta x}{E} \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $U$ 는 요소(element)의 평균속도,  $\Delta x$ 는 흐름방향으로의 요소의 길이,  $E$ 는 와점성계수이다. 본 모형은 Peclet수가 50이내에서 안정하게 되는데 통상 와점성계수는 모형이 수렴하는 범위에서 최소의 값을 선정하게 된다. 본 연구에서의 와점성계수는 수치실험을 통하여 모형이 수렴하는 최소의 값인 100,000으로 하였다.

모형에서 사용할 Manning의 조도계수를 결정하기 위하여 농립수산부와 농어촌진흥공사(1995)의 수리모형실험의 결과를 이용하였다. 결정된 조도계수는 0.025이다. 이렇게 결정된 모형의 매개변수를 이용한 계산결과를 농립수산부와 농어촌진흥공사(1995)에서 수행한 실험결과를 이용하여 검증을 수행하였다.

### 3. 방조제에 의한 유동장 변화

수치모의 결과를 분석하여 보면, 방조제 축조 후에 방조제 주변해역의 유속이 전반적으로 감소하며 사수역이 크게 증가하고 있다. 또한 주된 조류속의 방향이 동서방향에서 남북방향으로 변하며, 방조제 주변부에 사수역이 발생하는 곳에서는 토사의 퇴적이 예상된다.

Fig. 1은 방조제 설치 전·후의 조위, 조류속, 조류방향의 변동양상을 관측하기 위하여 설치한 관측점의 위치를 나타내고 있다. 조위는 P15, P16, P17, P18, P19위치에서 다른 위치에 비해 상대적으로 크게 변하고 있는데, 조위의 변화량을 정량적으로 고찰하기 위하여 Table 1에 그 변화량을 정리하였다. 조위의 변화는 방조제 축조후의 조위에서 방조제 축조전의 조위를 뺀 것으로 양의 값은 방조제를 축조함으로써 조위가 상승함을 의미하고 음의 값은 조위가 하강함을 의미한다.

Table 1 Tide level variation due to construction of seawall

Tidal level		P15 (cm)	P16 (cm)	P17 (cm)	P18 (cm)	P19 (cm)
Neap	at High water level	-2.55	-3.97	-4.07	-3.79	-2.76
	at Low water level	2.04	3.17	3.17	2.77	2.02
	Maximum neg. difference	-4.60	-6.68	-5.61	-4.24	-3.47
	Maximum pos. difference	4.36	6.73	5.32	3.38	3.82
Mean	at High water level	-3.89	-6.13	-6.99	-6.64	-4.72
	at Low water level	3.86	6.12	5.71	4.86	3.47
	Maximum neg. difference	-9.90	-14.69	-13.90	-9.78	-8.32
	Maximum pos. difference	11.70	18.92	17.32	11.53	11.10
Spring	at High water level	-3.10	-5.44	-6.46	-6.67	-4.20
	at Low water level	3.95	6.41	4.68	5.25	3.98
	Maximum neg. difference	-13.18	-18.79	-19.14	-12.43	-10.77
	Maximum pos. difference	17.60	28.83	27.70	18.94	17.53

Table 1에서 고조기의 조위는 대체로 방조제 축조 후에 최대 약 6.5 cm가량 하강하고 있으며 저조기에는 최대 약 6.5 cm가량 상승하고 있음을 알 수 있다. 즉, 방조제 축조 후에 조차가 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 방조제 축조전과 비교하여 방조제 축조후의 대조기에 발생하는 조위의 변동이 최대 29 cm에 이르는 경우가 있음을 알 수 있다.

유속은 주어진 관측점의 화살표 방향을 양의 유속으로 하고 그 반대를 음의 유속으로 하였으며 크기는 평면 2차원 유속의 절대값으로 계산하였다. 유향은 관측점의 화살표 방향을 원점으로 하여 반시계방향으로 측정하였다. 이상의 관측점에서 조사된 자료의 분석결과 P3, P5, P6, P7, P16, P17, P18, P19위치에서는 유속이 전체적으로 감소하며 특히 P16, P18, P19는 흐름의 정체현상까지 보이고 있다. 이러한 위치는 유사의 퇴적 발생 가능성이 높은 곳이다. P12위치에서는 유속이 도리어 증가하는 양상을 보이며 P17, P20위치에서는 유속의 방향이 반대로 바뀌고 있다.

#### 4. 배수갑문에 의한 담수배출

##### 4.1 방류경계조건

새만금지구 담수호에는 배수갑문이 2곳에 위치한다. 갑문 1은 동진강측 담수호에 위치하며 폭이 28.9 m인 갑문이 8개가 있으며 갑문 2는 만경강측 담수호에 위치하며 폭이 28.9 m인 갑문이 10개가 위치한다. 갑문의 Sill 표고는 El. -6.5 m이며 담수호의 관리수위는 El. -1.5 m, 홍수수위는 El. 1.0 m이다. 갑문을 통한 담수의 방류량 산정은 권순국과 나정우(1986)의 연구결과를 이용하였다.

본 연구에서는 담수호의 총 유량중 약 10%인 6천 8백만 m<sup>3</sup>을 방류했을 경우에 주변해역에 미치는 영향을 검토하였다. 6천 8백만 m<sup>3</sup>을 방류하는 방법으로는 아래의 Table 2에 제시한 바와 같이 다섯 가지 방법을 선정하였다.

Table 2 Cases of discharge boundary condition

Case No.	Level of freshwater lake	Tide	Discharge time (Hr.)	Total Discharge flow (m <sup>3</sup> )	Remarks
CASE 1	Management level	Mean	145.75 - 148.75	67,889,684	
CASE 2	Management level	Spring	196.00 - 198.25	67,879,006	
CASE 3	Flood level	Neap	60.00 - 61.25	68,861,024	
CASE 4	Flood level	Mean	146.00 - 147.25	68,861,024	
CASE 5	Flood level	Spring	196.00 - 197.25	68,861,024	

##### 4.2 RMA-4모형의 매개변수 결정

Fischer 등(1979)은 하구에서의 1차원 종방향 분산계수를 정리하였는데 일반적으로 약 100-300 m<sup>2</sup>/sec의 값이 많이 나타나고 있음을 알 수 있다. 본 연구의 대상유역은 하천이나 하구와는 달리 연안이므로 주된 흐름방향이 존재하지 않으므로 종방향 및 횡방향 분산계수를 공히 200 m<sup>2</sup>/sec로 하였다.

모형의 반응률상수는 흐름조건 및 수역의 정체정도, 수온등에 의해 다양한 값을 가지게 된다 (조건에 따라 0에서 0.3정도의 값을 가지는 것으로 알려짐). 하지만 새만금해역의 반응률상수를 산정할만한 자료는 구할 수 없어 본 연구에서는 서동일(1996)이 시화호 COD의 반응률상수로 제안한 0.005 day<sup>-1</sup>를 사용했는데 이 값은 외해에 개방되어 있어 순환이 자유로운 해역에 적용하기에는 작은 값으로 판단되나 안정적으로 계산하기 위하여 채택하였다.

### 4.3 담수의 영향범위

담수의 영향범위를 산정하기 위해 흐름장을 계산하고 그 결과를 이용하여 이송·확산방정식을 계산하였다. Fig. 2 - Fig. 3은 배수갑문을 통하여 오염된 담수를 위해 방류할 경우 오염물질(비보존성)의 확산범위를 도시한 것이다. 창조시에 북으로 향하는 유속으로 인해 무너도와 신시도 사이로 농도장이 이동하여 고군산군도의 북측 일부에 오염물질의 영향이 미치는 형태를 보이며 낙조시에는 남쪽을 향하는 유속으로 고군산군도 남쪽의 거의 전 영역에 걸쳐 오염물질이 확산되는 결과를 보인다. 즉, 고군산군도의 남쪽에 2개의 배수갑문이 위치하고 있어 창조시에는 고군산군도가 흐름의 차단막 역할을 하여 담수의 영향이 북쪽으로는 많은 영향을 미치지 못하는 반면에 낙조시에는 고군산군도의 남쪽 전 영역에 걸쳐 상대적으로 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 담수호의 수질이 나빠지게 되어 이를 방류하게 되면 자연경관이 좋은 남쪽의 부안 및 변산 국립공원에 영향을 미치게 될 가능성이 있다. Fig. 4는 시간에 따른 농도장의 변동추이를 살펴보기 위한 관측점들의 위치를 도시한 것이다. Fig. 5는 관리수위를 유지하면서 중조기와 대조기에 방류하는 경우를 비교하여 도시한 것이다. C1위치는 고군산군도 북측으로 거의 농도장의 영향을 받지 않고 있다. C6는 갑문의 전면부에 위치하는 경우로 한꺼번에 많은 유량이 방류되는 대조기때의 침투농도가 중조기때보다 높은 결과를 보이고 있다. 이와 비슷한 거동을 보이는 곳은 C5, C8 위치이다. C10위치는 시간의 추이에 따라 농도장의 변화가 거의 없는데 이는 분산과정과 반응과정을 통한 농도의 희석작용과 고농도를 유지하고 있는 갑문위치에서의 농도장의 확산으로 인한 농도의 보급이 평형을 이루고 있는 위치라고 생각할 수 있다. C10과 비슷한 거동을 보이는 위치는 C11, C12, C13이다. 즉, C10, C11, C12, C13을 경계로 갑문위치에 가까운 곳은 침투농도가 발생한 후로 차차 농도가 하강하는 형태를 보일 것이며 더 먼 곳에서는 시간의 추이에 따라 침투농도가 도리어 증가하는 추세를 보일 것이다. C7위치는 두 갑문의 중앙부로 고밀도의 농도가 오랫동안 지체할 것으로 여겨진다. C14, C16, C20은 남쪽방향 경계로 바로 변산 국립공원으로 연결되는 곳이다. 갑문위치에서 상당히 떨어진 곳이지만 낙조시에는 거의 0.1 등농도선의 영향권 안에 들게 된다. 중조기와 대조기 각각의 방류시의 특징을 비교하면 담수가 방류되는 갑문에 가까운 곳에서는 한꺼번에 많은 담수가 방류되는 대조기의 침투농도가 중조기의 침투농도보다 높으나 그 외에는 비슷한 거동을 보인다.

홍수수위를 유지하면서 소조기, 중조기와 대조기에 방류하는 경우는 전체적으로 Fig. 5의 결과와 비슷한 형태를 보이고 있으나 C1, C2, C3, C17, C18, C19, C20과 같이 갑문위치에서 멀리 떨어진 곳에서는 소조기때 방류한 경우에 중조기와 대조기때에 방류하는 경우보다 약간 낮은 농도를 유지하였다. 중조기와 대조기의 결과는 거의 비슷하다. 이는 소조기때의 조류속이 작아서 방류된 담수의 이동이 제한되기 때문인 것으로 사료된다.

중조기에 관리수위와 홍수수위를 유지하면서 방류하는 경우는 전체적으로 관리수위를 유지하면서 방류하는 경우에 침투농도도 낮고 전체적으로 농도가 낮게 나타나고 있다. 이는 수치모형의 방류경계조건 입력시 관리수위의 경우가 홍수수위보다 다소 작은 방류량이 입력되었으며 홍수수위를 유지하며 방류하는 경우 짧은 시간에 많은 유량이 방류되기 때문인 것으로 사료된다.

## 5. 결론

2차원 유한요소모형을 이용하여 방조제 설치후의 해역의 유동장변화를 검토하였다. 그 결과 방조제 설치 후에 방조제가 설치된 위치에서 크게는 약 6-7 cm정도 조위의 진폭이 감소하는 경향을 보였다. 특히 고군산군도 남측에서 조위의 변동이 심하였다. 그리고 방조제 설치 후에 방

조제 주위에 사수역이 크게 증가하였다. 방조제 전 구간에 걸쳐 유속이 크게 저하된 형태를 보이고 있으며 특히 제 1호방조제의 남측과 배수갑이 위치하게 될 신시도와 무녀도 남측, 야미도와 신시도 사이, 제 4호방조제의 중앙부에서 북부 이르는 구간에서 크게 사수역이 형성되고 있다. 따라서 방조제 주변부에 특히 사수역이 발생하는 곳에서는 토사의 퇴적이 예상된다.

담수호의 총 저류량중 약 10%정도를 방류했을 경우 0.1 등농도선의 영향범위에 드는 지역은 대략 신시도, 무녀도, 비안도 및 제 1호 방조제의 시점인 대항리를 연결하는 영역의 내측이 되는 것으로 예측되었다. 전체적으로 소조기때보다 대조기때 방류하는 경우에 갑문 주위에서의 침투농도가 높게 나타나고 있으며, 홍수수위를 유지하면서 방류할 때 보다는 관리수위를 유지하면서 방류하는 경우에 전체적으로 낮은 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

## 6. 참고문헌

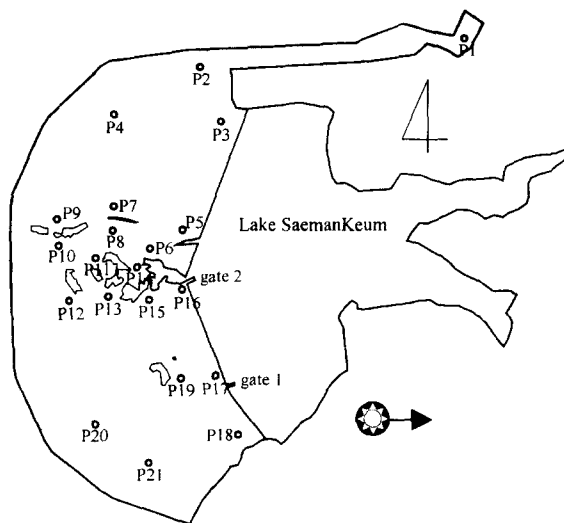
권순국, 나정우 (1986), “배수갑문의 유량계수 결정에 대한 실험적 연구,” 한국농공학회지, 제 28권, 제 1호, pp. 51-59.

농림수산부, 농어촌진흥공사 (1995), 95 새만금지구 수리실험 및 관광관측보고서.

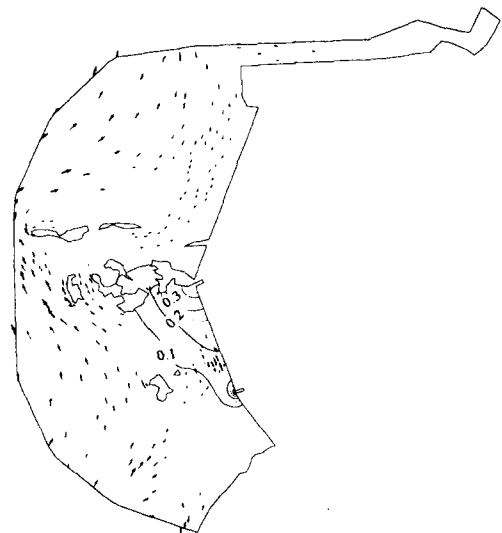
서동일 (1996), “시화담수호의 수질특성과 관리대책,” 한국수자원학회지, 제 29권, 제 3호, pp. 36-44.

Brigham Young University-Engineering computer graphics lab. (1995), Boss SMS user's manual.

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H. (1979), Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press.



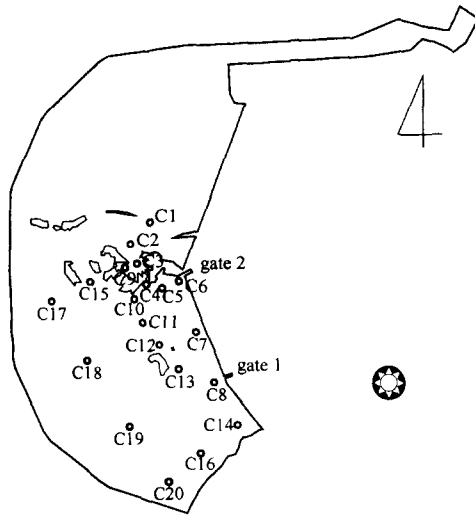
**Fig. 1**  
Measured points  
(tide level, current velocity and direction)



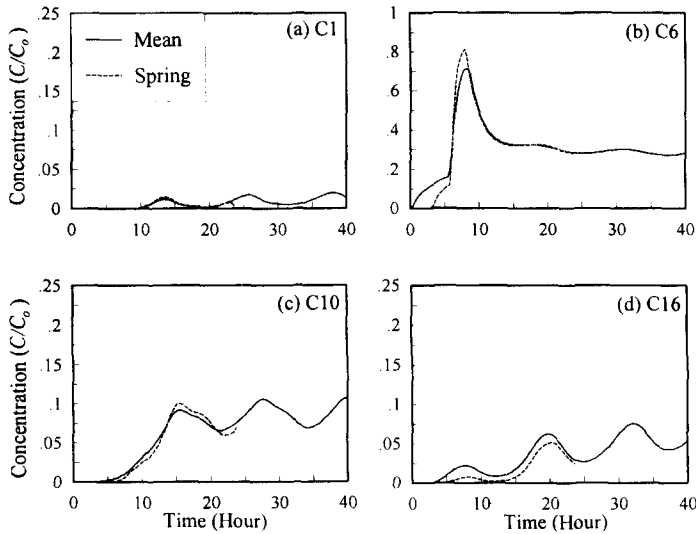
**Fig. 2**  
Velocity and concentration :  
CASE 1, flood, time = 153.0 hr.



**Fig. 3**  
Velocity and concentration :  
CASE 1, ebb, time = 159.0 hr.



**Fig. 4**  
Measured points (concentration)



**Fig. 5**  
Comparison of concentration distribution with time  
at several sites : at the Management level; Mean vs. Spring