

새만금 간척지구 담수호 건설에 따른 담수배출의 영향범위 예측

Prediction of Influence of Polluted Water Discharged from Saemankeum Lake

김 대 근* / 서 일 원** / 백 경 오*** / 선 우 중 호****

Kim, Dea Gun / Seo, Il Won / Back, Kyung Ou / Sonu, Jung Ho

Abstract

The influence of polluted water discharged from the Saemankeum Lake is predicted by using two-dimensional finite element model. The simulation results show that influence of the polluted water to the northern part of the Kokunsan Islands is small during flood time. The reason is because lock gates are located in the south of the Kokunsan Islands so that tidal current directing north is blocked by these Islands. However, during the ebb time, the influence of the polluted water is extended to the whole southern part of the Kokunsan Islands. When the amount of ten percent of the total volume of polluted water is discharged from the Saemankeum Lake, equi-concentration contour line of one tenth of initial discharge concentration includes the inner area surrounded by Sinsi Island, Munyeo Island, Bian Island, and Daehang-Li. In general, peak concentration near the lock gates is found out to be higher during the spring tide than the neap tide.

Keywords: Saemankeum lake, finite element model, influence of pollutant, concentration

요 지

새만금 지구에 2차원 유한요소모형을 적용하여, 새만금 담수호의 오염된 담수를 방류하였을 경우 이의 영향을 예측하였다. 예측 결과, 창조시에는 오염물질이 고군산군도의 북쪽해역에 미치는 영향은 크지 않은데, 그 이유는 새만금 담수호의 배수갑문들이 고군산군도의 남쪽에 위치하고 있어서 창조시의 북향조류의 흐름을 차단하기 때문이다. 그러나 낙조시에는 오염물질의 영향범위가 고군산군도의 남쪽 전 영역에 미치고 있음이 밝혀졌다. 새만금 담수호의 총 저류량 중 10%를 방류하였을 경우, 방류초기농도의 1/10 등농도선의 범위는 신시도, 무너도, 비안도, 대항리를 연결하는 선의 내부영역이 될 것이다. 또한 전체적으로 배수갑문 주위의 침투농도는 대조기에 소조기보다 높은 것으로 밝혀졌다.

핵심용어: 새만금호, 유한요소법, 오염물질 영향, 농도

* 서울대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 서울대학교 토목공학과 부교수

*** 서울대학교 대학원 토목공학과 석사과정

**** 서울대학교 총장

1. 서 론

우리 나라의 서남해안은 간만의 차가 크고 간석지가 넓으며 굴곡이 심한 리아스식 해안을 형성하고 있으며 크고 작은 섬들이 산재해 있다. 또한 서해안으로 흐르는 하천의 퇴적작용이 활발해서 간척에 있어 천혜의 조건을 갖추고 있다. 특히 새만금사업지구는 서남해안 간척대상지구중에서 기술적, 경제적 타당성이 가장 높게 평가되고 있는 간척지구로서 우리 나라 중서부인 만경강과 동진강의 하구에 광활하게 발달된 간사지를 개발하는 것이다. 본 사업지구의 배후에는 군산시를 비롯한 이리, 전주, 김제, 정주시가 있으며, 변산 해수욕장과 자연경관이 뛰어난 변산 국립공원이 인접하여 있다. 새만금간척사업에서는 부안군 산내면 대정리에서 두리도, 신시도, 아미도, 오식도를 축으로 하는 총길이 34 km의 방조제를 축조함으로써, 42,000 ha에 달하는 국토를 확장하여 29,000 ha의 농경지를 조성한다. 또한 13,000 ha의 면적에 약 5억 9천만 m³의 담수를 이용할 수 있는 광대한 담수호를 조성하여 수자원의 확보 및 홍수위의 적절한 조절로 만경강, 동진강유역 수해상습지역의 배수개선효과를 가져올 것으로 기대된다(농림수산부와 농어촌진흥공사, 1988). 그러나 시화호의 경우에서 나타났듯이, 방조제의 건설로 인해 담수호 내부로의 해수유입이 차단되어 수체를 정체시키게 되고, 도시화 및 산업화에 따라 유역의 오염부하량이 증가하게 되어 담수호의 수질이 급격히 악화되는 경우가 발생할 수 있다. 수질이 악화된 담수를 연안에 방류하게 되면 주변해역에 심각한 환경영향을 미치게 된다(한국물학술단체연합회, 1996).

본 연구에서는 수치모형을 이용하여 새만금지구에 조성될 담수호가 오염될 경우, 배출된 방류수가 외해에 미치는 영향범위를 예측하였다. 수치모형에 의해 계산된 조류속 결과는 수리모형실험의 결과를 이용하여 검증 및 검증작업을 수행하였다. 방조제 축조후의 조류속의 자료를 오염물질의 이송·확산방정식의 입력자료로 사용하여 방조제의 배수갑문을 통해 방출되는 오염된 담수의 영향범위를 예측하였다.

2. 수치모형

본 연구에서는 2차원 유한요소모형인 Boss SMS를 사용하여 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 계속적인 개정작업을 거쳤다(Brigham Young University, 1995). Boss SMS의 질량이동모형은 RMA-4 모형을 근간으로 한다. 따라서 본 연구에서 사용된 프로그램은 2차원 수심평균 흐름해석과 보존성 및 비보존성 오염물질의 확산거동을 모의할 수 있다.

2.1 수학적모형

RMA-2모형이 사용하는 지배방정식은 2차원 수심적분된 연속방정식과 운동방정식으로 다음과 같다(Brigham Young University, 1995).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{g n^2}{(1.486 h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{g n^2}{(1.486 h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi + 2h\omega u \sin \phi = 0 \quad (3)$$

여기서 h 는 수심, u , v 는 직교좌표계에서의 유속, x , y , t 는 직교좌표와 시간, ρ 는 밀도, E_{xx} , E_{xy} , E_{yx} , E_{yy} 는 각 방향의 와점성계수, g 는 중력가속도, a 는 바다면의 높이, n 은 Manning의 조도계수, ζ 는 바람에 의한 전단응력계수, V_a 는 풍속, Ψ 는 풍향, ω 는 지구의 자전각속도, ϕ 는 위도이다.

RMA-4모형의 지배방정식으로 사용되는 수심적분된 이송·확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \sigma + kC = 0 \quad (4)$$

여기서 C 는 임의의 오염물질의 농도, D_x 는 x 방향의 분산계수, D_y 는 y 방향의 분산계수, σ 는 오염물질의 생성 또는 소멸항, k 는 오염물질의 반응상수이다.

2.2 격자의 구성

새만금지구의 격자계는 외해경계를 새만금지구 수리 실험 및 파랑관측보고서(1995)의 수리모형실험의 외해 경계와 일치시켰다. 본 모형의 계산영역으로 유입하는 하천으로는 금강, 만경강, 동진강이 있는데 본 연구에서는 유입유량이 없는 것으로 계산을 수행하였다. 계산영역으로 금강은 금강하구언담까지 연장하였으며, 만경강과 동진강유역은 전주포내와 동진포내까지 설정하였다. 또한 군장지구의 매립공사가 진행 중이므로 이를 고려하여 공사가 완료된 후의 지형을 참조하여 계산격자를 구성하였다.

본 수치모형의 계산격자를 구성하는 기초자료로 사용된 수리모형실험의 모형평면도는 Fig. 1과 같다. 모형평면도에 상응하는 해도를 이용하여 계산격자로 구성된 것이 Fig. 2이다. 계산영역의 규모는 횡방향으로 약 40 km이며 최대수심은 고군산군도 외해에서 약 40 m에 이르고 있다.

이 계산격자는 방조제가 축조되면서 변화하게 되므로 방조제가 축조되지 않은 현상태의 본 격자를 편의상 PRESENT라고 하였다. 방조제가 완전히 설치되어 방조제 내부에 담수호가 형성되어 배수갑문을 통해서만 담수의 배수가 가능한 경우의 계산격자(편의상 FUTURE라고 칭함)는 Fig. 3과 같다.

2.3 외해경계조건

외해경계는 방조제가 설치된 후에도 조석변동이 발생하지 않을 정도로 충분히 먼 외해에 설정하여 방조제

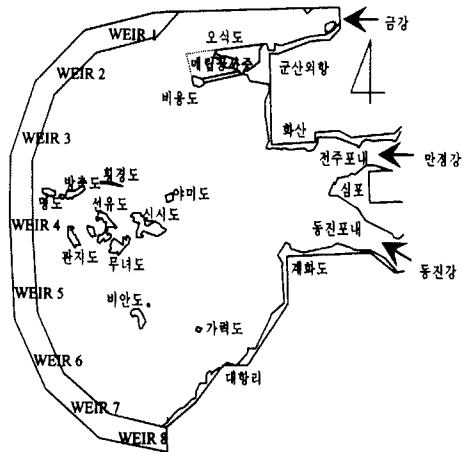


Fig. 1 Plan View of Study Area

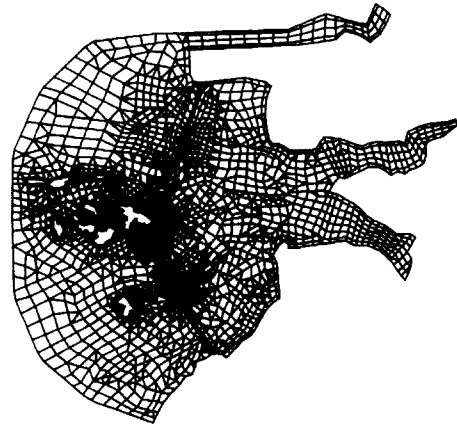


Fig. 2 Finite Element Computational Grid (Present)

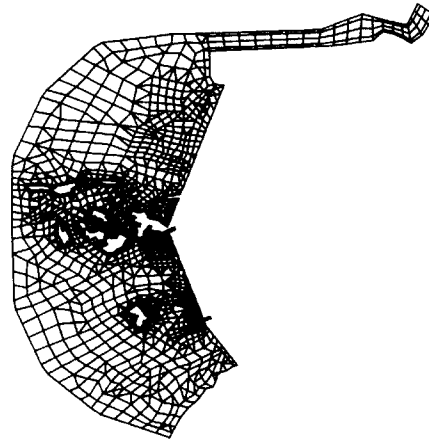


Fig. 3 Finite Element Computational Grid (Future)

설치 이후의 현상을 해석하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 조석변동 영향범위에 대한 불명확성 및 계산 결과의 검증 및 검증작업의 용이함을 고려하여 농림수산부와 농어촌진흥공사(1995)에서 수리모형실험을 수행하는데 사용한 자료를 이용하여 외해경계를 부여하였다. 이 자료는 현장에서 관측된 조위자료를 이용하여 외해경계에서 8개의 위어를 이용하여 조위경계를 부여하도록 구성되어 있다. 외해경계부근에서 방조제 설치로 인한 조석의 변동량을 검토할 필요가 있어 외해경계 내측 약 1,000 m 지점에서의 조위의 변동을 고찰하였다.

Table 1. Maximum Tide Level Changes due to Construction of Seawall Near Outer Boundary

	WEIR1	WEIR2	WEIR3	WEIR4	WEIR5	WEIR6	WEIR7	WEIR8
Maximum change (cm)	0.85	1.00	0.71	0.34	0.81	0.56	0.54	0.92

Table 1은 방조제 설치전과 설치후의 최대조위변동량을 정리한 것이다. 이 표에 나타난 결과를 참고하여 판단하면 본 연구에서 설정한 외해경계 부근에서의 방조제 설치 전·후의 조위의 변동은 그리 크지 않은 것으로 판단된다.

대상해역의 조석 모의발생을 위한 외해경계에서의 조위에 관한 자료는 분조별 조화상수, 즉 진폭과 위상으로 주어진다. 이와 같은 분조별 진폭과 위상은 경계절점별 장기간의 조석관측을 통해 결정되어야 하지만 이는 현실적으로 불가능하기 때문에 등진폭선과 등위상선으로 나타내어지는 등조석도를 이용하여 결정하기도 한다. 본 연구에서는 1995년도의 새만금지구 수리실험 및 파랑관측 보고서에서 수리모형실험의 외해경계를 결정하기 위하여 도출한 조위자료를 이용하여 수치모형의 외해경계로 삼았다. Fig. 1에 도시된 외해의 8개 위어에서의 8개 분조의 진폭 및 위상을 정리하여 Table 2에 수록하였다.

이상의 조화상수를 이용하여 외해의 조위경계는 다음과 같은 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$h(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n H_i \cos(\omega_i t - g_i) \quad (5)$$

여기서 A_0 는 평균해면이고 H_i , g_i 는 각 분조의 조화상수로 진폭 및 지각이다. 조화상수는 관측위치에 따른 고유한 것으로 조석관측에 의해서만 구할 수 있다. ω_i 는 각 분조의 각속도이다. n 은 계산에 사용된 분조의 수이다. 각속도의 계산은 Table 3에 제시된 각 분조의 주기를 이용하여 구하였다(Pugh, 1964). 여기서 각 분조의 주기는 S_i 분조를 이용하여 정규화해서 나타내었다.

본 연구에서는 수리모형실험의 조석조건과 비슷한 대표조석(소조, 중조, 대조)이 모두 포함되도록 모의시간을 210시간으로 하였으며 각 대표조석동안에 관측된 실험자료와 수치모의 결과를 비교하여 모형의 검정 및 검증 수행하였다. 본 모형의 계산시간간격은 수치실험

Table 2(a). Amplitude of Tidal Constituents at Each Weir (cm)

Tidal constituents	WEIR1	WEIR2	WEIR3	WEIR4	WEIR5	WEIR6	WEIR7	WEIR8
O_1	26.8	26.6	26.4	26.2	26.1	26.1	26.2	26.3
K_1	34.5	34.2	33.9	33.6	33.5	33.4	33.5	33.7
P_1	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
N_2	38.8	38.0	37.5	37.0	36.8	36.6	36.8	37.0
M_2	212.0	209.0	206.0	203.0	201.0	200.0	201.0	202.0
S_2	82.0	80.0	78.0	77.0	76.0	76.0	77.0	78.0
K_2	22.2	21.7	21.3	20.9	20.7	20.6	20.6	20.8
L_2	7.0	6.8	6.6	6.5	6.4	6.4	6.4	6.5

Table 2(b). Phase-Angles of Tidal Constituents at Each Weir (degrees)

Tidal constituents	WEIR1	WEIR2	WEIR3	WEIR4	WEIR5	WEIR6	WEIR7	WEIR8
O_1	245.5	245.2	244.6	244.0	243.0	242.0	241.2	240.5
K_1	273.4	273.0	272.5	271.5	270.5	269.0	267.0	266.0
P_1	264.2	264.2	263.8	262.8	261.8	261.0	260.2	259.0
N_2	61.6	61.5	61.0	60.0	57.5	55.0	52.0	48.0
M_2	79.0	79.0	78.0	76.0	74.0	72.0	70.0	68.0
S_2	125.0	124.0	122.0	120.0	117.0	114.0	113.0	112.0
K_2	121.0	121.0	120.0	117.0	114.0	111.0	107.0	104.0
L_2	95.0	94.5	93.5	91.2	89.0	86.0	83.0	80.0

Table 3. Major Harmonic Tidal Constituents and Their Periods

Tidal constituents	O_1	K_1	P_1	N_2	M_2	S_2	K_2	L_2
Period	1.076	0.997	1.003	0.527	0.518	0.500	0.499	0.508

을 통하여 해의 정확도 및 안정성에 영향을 미치지 않는 시간간격인 0.5시간으로 하였다. Coriolis항을 고려하기 위하여 위도는 본 지구의 중앙위도인 36°를 입력하였다.

3. 모형의 검정 및 검증

3.1 RMA-2모형 매개변수의 결정

와점성계수의 결정은 다음과 같은 Peclet 수(P)에 의하여 지배된다.

$$P = \frac{\rho U \Delta x}{E} \quad (6)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, U 는 요소(element)의 평균 속도, Δx 는 흐름방향으로의 요소의 길이, E 는 와점성계수이다. 단, 본 모형의 경우 와점성계수는 물리적인 의미를 가지는 와점성계수에 수치적인 안정성을 확보하기 위해 수치와점성계수가 더해져서 하나의 점성계수로서 표현된다. 본 연구에서 사용하는 흐름모형인 RMA-2 모형은 Peclet수가 50이내에서 안정하다(Brigham Young University, 1995). 따라서 요소의 평균속도 및 격자의 크기가 커지게 되면 수치모형의 해의 안정성을 위하여 와점성계수의 값을 증대시켜야 하는데 와점성계수의 값이 지나치게 커지면 해의 정확성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 모형의 사용지침서에는 해가 안정한 범위에서 최소의 와점성계수를 사용할 것을 권하고 있다. 본 연구에서는 수치실험을 수행하여 와점성계수에 따른 본 모형의 수렴여부를 조사하였다. 그 결과 와점성계수를 모형이 수렴하는 최소의 값인 100,000 Pa·s로 하였다. 따라서 Peclet 수는 최대 10을 넘지 않는다.

모형에서 사용할 Manning의 조도계수를 결정하기 위하여 모형의 검정을 수행하였다. 검정방법은 Fig. 4에 표시된 위치에서의 대조, 중조, 소조기의 실험최대유속 및 방조제 내·외의 최대수위차의 실험치와 수치실험을 통하여 얻은 자료의 SSE(sum of square error)를 비교하는 방법을 이용하였으며 검정 결과 Manning의 조도계수는 0.025로 결정되었다.

3.2 모형의 검증

전 절에서 결정한 모형의 와점성계수와 조도계수의

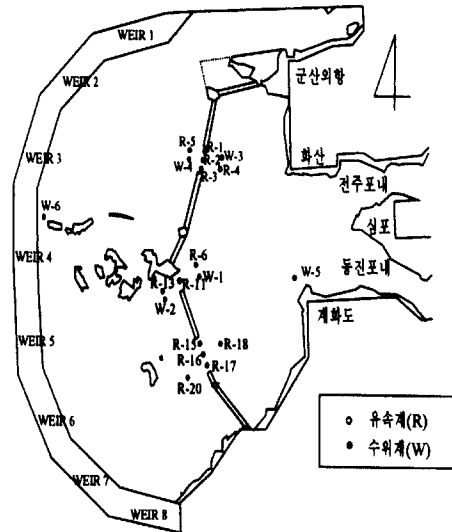


Fig. 4. Plan View of Study Area and Location of Gauge in Hydraulic Model

검증을 위하여 수리모형실험의 결과를 이용하였다. 모형의 검증을 위한 수리모형실험은 3.1절에서 모형의 검정에 사용한 실험과 비교하여 방조제의 체절정도가 달라진 경우의 실험자료를 이용하였다. 검증방법은 전 절의 모형매개변수의 검정과정과 동일한 과정을 거쳤다. 각 위치에서의 실험치와 계산치의 최대유속과 방조제 내·외의 수위차를 비교·도시한 것은 Fig. 5와 Fig. 6이다. 이상의 결과를 살펴보면 전 절에서 결정한 모형의 와점성계수와 조도계수는 타당한 값이라 사료된다.

4. 배수갑문에 의한 담수배출

4.1 방류량계산

갑문을 통한 담수의 방류량 산정은 권순국과 나정우(1986)의 연구결과를 이용하였다. 이들의 실험연구 결과인 광정위어에서의 방류량은 다음과 같은 공식으로 구할 수 있다.

$$Q = \mu B H_1 \sqrt{2gH_1} \quad (7)$$

여기서 μ 는 실험으로 결정되는 유량계수이고 B 는

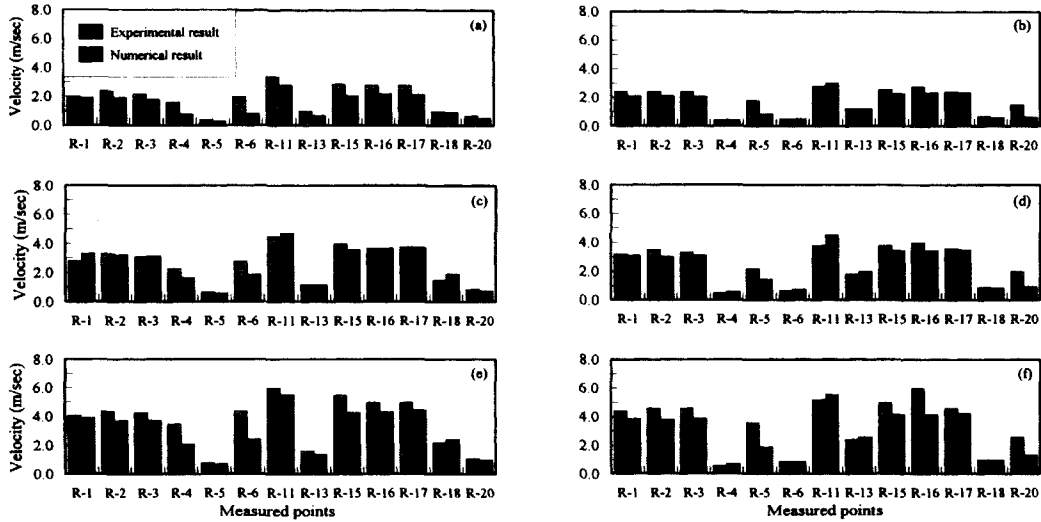


Fig. 5. Comparison of Experimental and Numerical Results of Maximum Velocity Magnitude for Model Verification : (a) neap, flood; (b) neap, ebb; (c) mean, flood; (d) mean, ebb; (e) spring, flood; (f) spring, ebb.

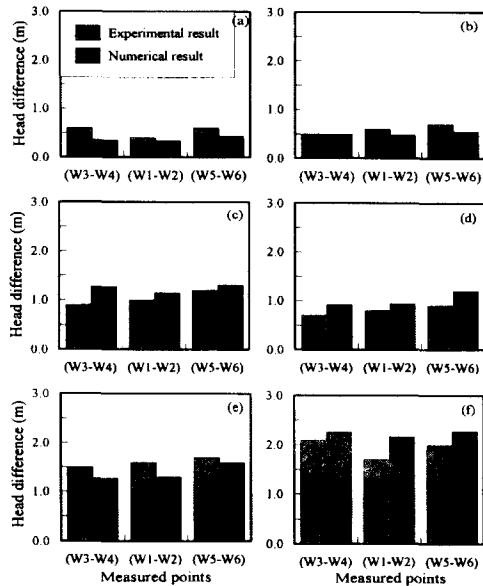


Fig. 6. Comparison of Experimental and Numerical Results of Head Difference for Model Verification : (a) neap, flood; (b) neap, ebb; (c) mean, flood; (d) mean, ebb; (e) spring, flood; (f) spring, ebb.

위어의 폭, H_1 은 상류의 수심이고 g 는 중력가속도이다. 식 (7)은 하류수심의 영향을 받지 않는 완전월류인 경우에만 적용할 수 있는 식이나 권순국과 나정우(1986)는 수리모형실험을 통하여 상류와 하류의 수심비인 잠수도(submergence ratio)에 따른 유량계수의 회귀식을 이용함으로써 잠류(submerged flow)인 경우에도 이용할 수 있도록 하였다. 이들이 제안한 유량계수의 회귀식은 다음과 같다. 단, 본 연구에서는 외해의 수위가 높아 흐름이 담수호쪽으로 생기는 경우에는 갑문을 닫아 방류량이 0이 된다.

$$\mu = 0.35, \quad S \leq 0.8$$

$$0.99 - 0.81S, \quad 0.8 < S < 1.0 \quad (8)$$

여기서 $S = \text{잠수도} = H_1/H_2$, $H_2 = \text{하류의 수심}$ 이다. 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. 따라서 H_1 은 관리수위인 경우 5.0 m이고 홍수수위인 경우 7.5 m가 된다. 잠수도를 구하기 위해서는 방조제 외측의 수위를 알아야 하는데 이를 구하기 위해 갑문을 통한 방류

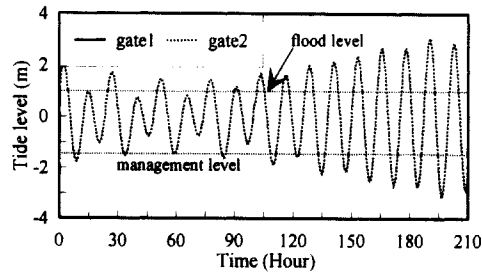


Fig. 7. Tide Level of Outer Sea at the Lock Gates

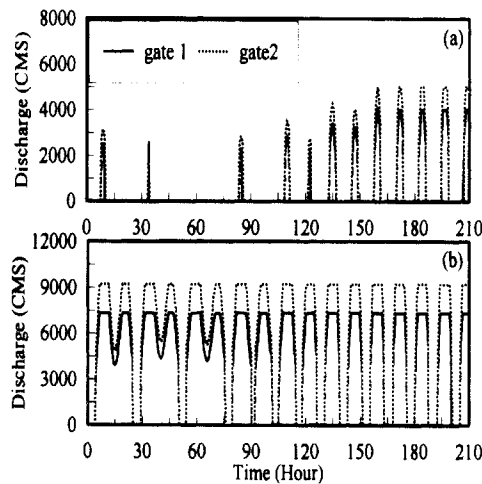


Fig. 8. Discharge at the Lock Gates :
(a) Management Level (EI. -1.5 m),
(b) Flood Level (EI. 1.0 m)

량이 없는 조건에서의 조위계산을 수행하였다. 계산결과 각각의 갑문위치에서 외해쪽으로 약 500 m 떨어진 위치의 조위를 도시한 것이 Fig. 7이다. 갑문1(가령도 북측)과 갑문2(신시도 남측)의 조위는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 계산의 수행결과로 얻어진 조위를 이용하여 잠수도를 결정하고 식 (8)를 이용하여 유량계수를 산정한 후 식 (7)을 이용하여 방류유량을 결정하였다. 단, 담수호의 수위는 방류로 인한 수위의 변동이 없는 것으로 가정하였다. 방류유량은 평시에 관리수위를 유지하는 경우와 홍수시의 홍수수위인 경우의 두 가지 경우에 대해 계산해 보았다. 계산결과는 Fig. 8이다. (a)는 담수호의 수위를 관리수위로 유지하는 경우에 외해의 조위가 관리수위 이하로 내려가는 경우에 방류하는 경우로 소조기에는 낙조시에도 외해의 조위가 관리

수위 이하로 내려가지 않는 경우가 있음을 보여주고 있다. 또한 대조기에는 방조제 외해의 조위가 일정조위 이상 내려가면 방류유량이 일정하게 됨을 보여주고 있다. (b)는 홍수수위를 유지하는 경우로 특이할 만한 것은 대조기보다 소조기에 더 많은 유량이 방류된다는 것이다. 이는 소조기의 창조시에도 조위가 홍수수위보다 낮아 계속 방류가 이루어지며 외해의 조위가 일정조위 이상 내려가면 방류유량이 일정하게 되기 때문이다.

본 연구에서는 Fig. 8을 참조하여 담수호의 총 유량 중 약 10%인 6천 8백만 m^3 을 방류했을 경우에 주변해역에 미치는 영향을 검토하였다. 6천 8백만 m^3 을 방류하는 방법으로는 Table 4에 제시한 바와 같이 다섯 가지 방법을 택하였다. 즉, 담수호의 수위를 관리수위로 유지하면서 방류하는 경우와, 홍수시 홍수수위에서 방류하는 경우로 나누었으며 그 각각에 대해 외해의 조위가 소조, 중조, 대조인 경우에 대해 방류를 시행하였다. 담수호의 수위가 관리수위인 경우 소조기에는 주어진 유량을 조석의 한 주기만에 방류할 수가 없어 계산에서 제외하였다. 담수호의 수위 및 외해의 조석조건에 따라 방류 시간에 차이가 있는데 그 이유는 담수호의 수위 및 외해의 조위에 따라 Fig. 8에서의 같이 시간당 방류유량에 차이가 있기 때문이다. Fig. 9는 위의 5가지 경우에 대해 방류경계조건을 시간에 대해 도시한 것이다. 방류유량은 주어진 시간에 대해 Fig. 9를 적분하면 구할 수 있다.

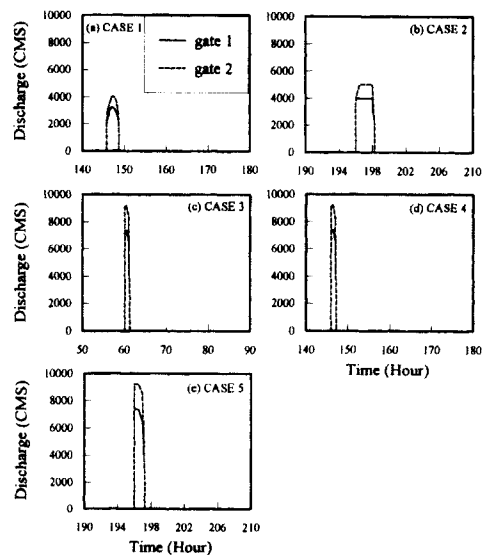


Fig. 9. Discharge Boundary Conditions at Each Case in the Lock Gates

Table 4. Cases of Discharge Boundary Condition

Case No.	Level of freshwater lake	Tide	Discharge time (hr)	Total Discharge flow (m ³)
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

^{*)} El. (-1.5 m)

^{**)} El. (+1.0 m)

단, 계산의 안정성을 확보하기 위하여 Table 4의 방류 시간 외의 시간에는 일정하게 1 m³/sec의 유량이 계속하여 방류되는 것으로 하였는데 방류량 전체규모에 비해 이 정도는 계산에 크게 영향을 미치지 않으리라고 사료된다. 또한 계산의 안정성을 위하여 배수갑문의 Sill 표고를 -10 m로 하였다. 이는 배수갑문에서의 방류유속이 지나치게 크게 되면 계산의 불안정요인이 되기 때문에 방류유속을 줄이기 위한 조치이다. 따라서 모형의 계산시 방류되는 유량 및 오염물질의 질량은 보존되나 운동량은 보존되지 않는다. 이는 방류수로 인한 운동량이 주변해수의 흐름으로 인한 운동량에 비해 지배적인 구간에서는 해에 큰 영향을 미치나 그 이후의 구간에서는 그 영향이 줄게 된다. 본 연구의 경우 전체 모의영역에 비해 갑문의 규모가 매우 작으므로 위의 가정으로 인한 영향은 갑문주변의 한정된 구간에만 미칠 것으로 사료된다.

4.2 갑문을 통한 배수시의 흐름장 계산

담수의 영향범위를 산정하기 위해서는 먼저 흐름장을 계산해야 하는데 계산된 조류속벡터를 Fig. 10에 오염장과 함께 도시하였다.

5. 오염장 모의

5.1 RMA-4모형의 매개변수 결정

난류에 의한 확산 및 전단류에 의한 분산항은 유속과 농도의 시간평균과 공간평균 과정에서 도입되는 항으로, 이러한 혼합과정은 분산계수를 도입하여 처리하며 물질의 혼합과정에서 중요한 역할을 담당하는 인자이다. 따라서 정확한 분산계수를 입력하는 문제는 모형의 정확도와 직결된 문제이지만, 본 연구의 대상지구인 새만금지구의 경우 기 관측된 분산계수의 자료가 없으므로 문헌연구를 통해 추정하였다. Fischer 등(1979)은 하구에서의 1차원 종방향분산계수를 정리하였는데 일반적

으로 약 100-300 m²/sec의 값이 많이 나타나고 있음을 밝힌 바 있다. 본 연구의 경우 대상유역이 하천이나 하구와는 달리 주된 흐름방향이 존재하지 않으므로 종방향 및 횡방향 분산계수를 공히 200 m²/sec로 하였다.

모형의 반응상수는 흐름조건 및 수역의 정체정도, 수온등에 의해 다양한 값을 가지게 된다. 조건에 따라 0에서 0.3정도의 값을 가지는 것으로 알려져 있으나 본 연구에서는 서동일(1996)이 시화호 COD의 반응률상수로 제안한 0.005 day⁻¹를 사용했는데 이 값은 외해에 개방되어 있어 순환이 자유로운 해역에 적용하기에는 작은 값으로 판단되나 안정측으로 계산하기 위하여 채택하였다.

5.2 오염물질의 영향범위

전 절에서 구한 흐름장을 이용하여 이송·확산방정식의 계산을 수행하였다. Fig. 10은 CASE 1의 계산결과를 도시한 것으로 (a)는 창조시(153시)의 유속장 및 농도장의 계산결과이다. 여기서 농도장은 각 위치에서의 농도를 배수갑문 지점의 농도로 무차원화해서 나타낸 것이다. 북으로 향하는 유속으로 인해 무너도와 신시도 사이로 오염물질이 이동하고 있는 모습을 보이고 있다. (b)는 낙조시(159시)의 유속장 및 농도장으로 남쪽을 향하는 유속으로 인해 오염물질이 남쪽으로 이동·확산하는 모습을 보이고 있다. (c)는 다시 창조시(166시)의 유속장 및 농도장으로 (a)와 비교하여 저농도인 0.025 및 0.05 등농도선은 넓게 확산되어 있으나 고농도인 0.2 등농도선은 보다 좁아져 있음을 알 수 있다. 이는 방류가 끝난 후에 분산과정에 의해 농도장이 점차 확산되어 가며 반응과정을 통해 오염물질이 희석되어 가기 때문이다. CASE 2, 3, 4, 5에 대한 농도장의 분포는 대체적으로 Fig. 10과 유사하게 나타난다.

이 그림에서 알 수 있는 것은 고군산군도가 새만금지구의 외해를 남북으로 분단하고 있어서 그 북쪽은

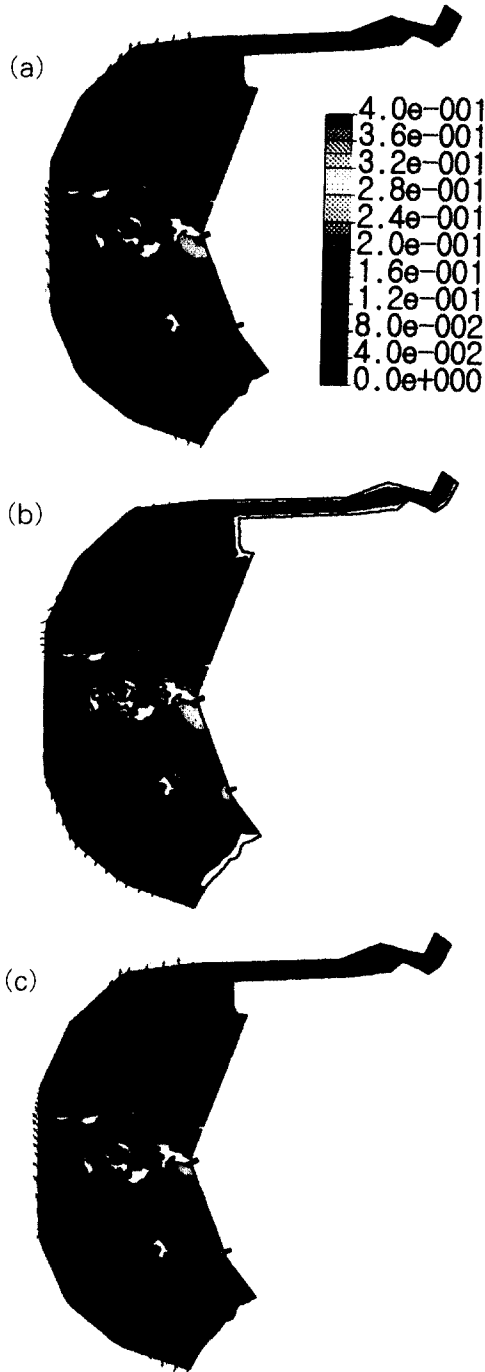


Fig. 10. Velocity and Concentration Field:
 (a) CASE 1, flood, time = 153hr.;
 (b) CASE 1, ebb, time = 159hr.;
 (c) CASE 1, flood, time = 166hr.

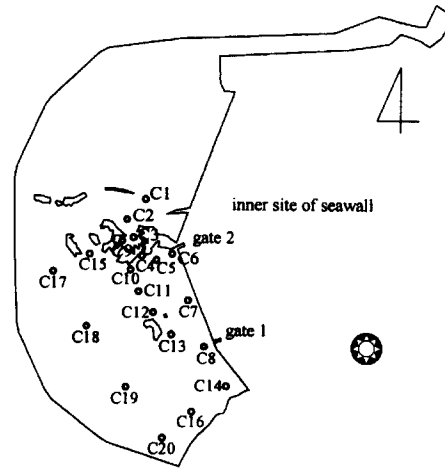


Fig. 11. Check Points of Concentration

갑문을 통해 방류된 담수의 영향이 미미하며 그 남쪽은 상대적으로 그 영향을 크게 받게 된다. 이는 담수호의 수질이 나빠지게 되어 이를 방류하게 되면 자연경관이 좋은 남쪽의 부안 및 변산 국립공원에 악영향을 미치게 될 가능성이 있음을 시사하는 것이다.

Fig. 11은 시간에 따른 농도장의 변동추이를 살펴보기 위한 관측점들의 위치를 도시한 것이다. Fig. 12~Fig. 14는 이상의 관측점에서 관측한 농도장의 변화양상을 도시한 것이다. Fig. 12는 관리수위를 유지하면서 증조기와 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 증조기때보다 높은 결과를 보이고 있다. 이와 비슷한 거동을 보이는 곳은 C5, C8위치이다. 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. C14, C16, C20은 남쪽방향 경계로 바로 변산 국립공원으로 연결

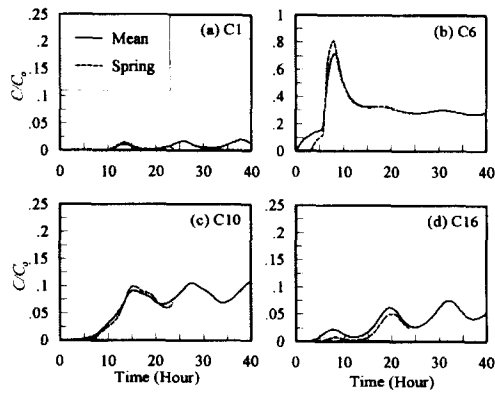


Fig. 12. Comparison of concentration distribution with time at several sites : management level

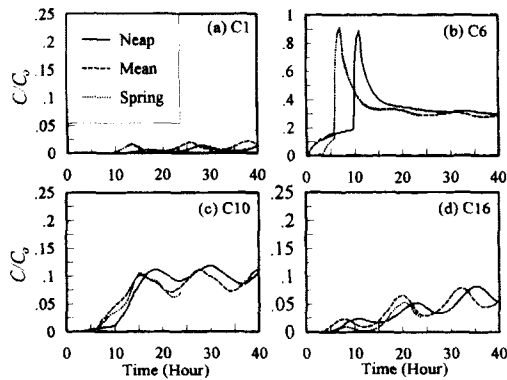


Fig. 13. Comparison of concentration with time at several sites : flood level

되는 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.

Fig. 13은 홍수수위를 유지하면서 소조기, 중조기와 대조기에 방류하는 경우를 비교하여 도시한 것이다. 전체적으로 Fig. 12의 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 낮

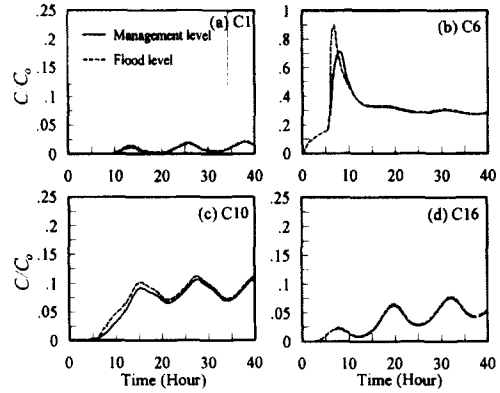


Fig. 14. Comparison of concentration distribution with time at several sites : Mean

은 농도를 유지하였다. 중조기와 대조기의 결과는 거의 비슷하다. 이는 소조기때의 조류속이 작아서 방류된 담수의 이동이 제한되기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 14는 중조기에 관리수위와 홍수수위를 유지하면서 방류하는 경우를 비교하여 도시한 것이다. 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.

6. 결 론

새만금지구에 2차원 유한요소모형을 적용하여 배수갑문을 통하여 오염된 담수를 방류했을 경우에 인근해역에 미치게 될 영향범위를 예측하였다. 본 연구에서 도출한 결과는 다음과 같다.

창조시에 북으로 향하는 유속으로 인해 무녀도와 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 남측 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. 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 될 것이다.

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.

감사의 글

본 연구의 일부는 심재문화재단의 지원으로 이루어졌으며, 지원에 감사를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

권순국, 나정우 (1986). "배수갑문의 유량계수 결정에 대한 실험적 연구." 한국농공학회지, 제28권, 제

1호, pp. 51-59.
 농림수산부, 농어촌진흥공사 (1988). 새만금지구 간척 종합개발사업 기본계획서.
 농림수산부, 농어촌진흥공사 (1995). 95 새만금지구 수리실험 및 파랑관측보고서.
 서동일 (1996). "시화담수호의 수질특성과 관리대책." 한국수자원학회지, 제29권, 제3호, pp. 36-44.
 한국물학술단체연합회 (1996). 시화호를 어떻게 할 것인가?(시화호 수질대책 대토론회).
 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.
 Brigham Young University Engineering computer graphics lab. (1995). *Boss SMS user's manual*.
 Pugh, D.T. (1964). *Tides, surges and mean sea level-a handbook for engineers and scientists*. Great Britain by Bath Press.
 <최종본 접수일 : 1997년 10월 14일>