

# 서산 부남호 수문을 통한 오염물질 확산 모델링

한두희<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>청운대학교 건축공학과

## Computer Simulation of Water Pollution by Opening the Water Gate of Bunam Lake in Seosan City.

Doo Hee Han<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture Engineering, Chungwoon University

**요약** 본 논문은 호수 바닥이 오염된 서산 부남호의 수문을 개방했을 때 예상되는 오염물질의 확산에 관한 것으로 토사 부유물의 확산과 오염물질의 확산으로 나누어 모사하였다. 부남호의 수문을 열었던 예를 기준으로 극한 상황의 몇 가지 각분을 가지고 컴퓨터 모사를 한 결과 방수량 100톤/s를 기준으로 부유물은 50ppm의 농도로 3시간 방류하면 19시간 후 원상태로 회복되며, 극단적인 COD 8인 상태로 1시간 방류하다 중단하면 천수만에 위치한 가두리 양식장에 지장이 없음을 알았다.

검색어: 수질 오염, 수질환경, 모사

**Abstract** We studied sea water pollution by opening the water gate of Bunam Lake in Seosan City. SS and COD were simulated. If we control the flow rate to 100ton/s, and the gate opening time to 3 hours, SS of 50ppm can be clear with in 19hours. Also, COD of 8ppm can flow for 1 hour without damaging total sea water(COD less than 2ppm). Thus, If we control the flow rate and flow time, the fish cultivation will be free from danger of water pollution.

**Key Words** : Water Pollution, Water Environment, Simulation

### 1. 서론

부남호의 배수갑문은 총길이 35.6m이고 4개의 갑문(6.5×4×4련)으로 이루어져 있으며 바닥표고는 -4.0m이다. 부남호 앞의 바다 지형은 부남호 중심축방향으로 길게 수심 10m 이상의 골이 형성되어 있지만 배수갑문이 설치된 지역은 수심이 낮은 지역이다. 부남호 배수관문 정면에는 작은 규모사 바위 절벽이 위치하여 유속이 심하게 빠르더라도 완화시키는 역할을 할 수 있도록 되어 있다.

부남호는 담수호의 수위가 일정수준 이상일 경우 방류를 하였으며 그 방법은 3가지로 대별된다. 각각의 경우 유량을 산출하는 방식이 다르며 그 식은 다음과 같다.



[그림 1] 부남호 앞바다(해도DC322)

$$\text{CASE I) } Q = Cbd^2\sqrt{2gt}, C=0.70$$

CASE II)

$$Q = C_1\sqrt{g(t_1+t_2)}(t_2-t_1)b + C_2\sqrt{2gt_2}(H-t_2)b,$$

$$C_1 = 0.60, C_2 = 0.90$$

\*교신저자: 한두희(hanknu@hanmail.net)

접수일 09년 10월 06일

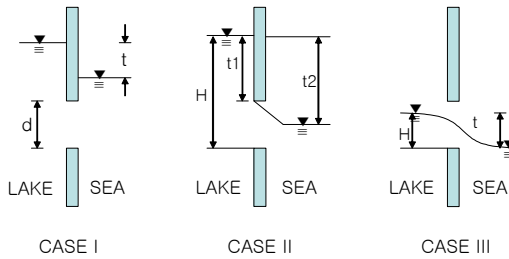
수정일 (1차 10년 01월 20일, 2차 10년 03월 08일)

게재확정일 10년 03월 18일

CASE III)  $Q = C_3 \sqrt{2gt} (H - \frac{t}{3}) b$ ,  $C_3 = 0.80$ ,  $t < H/3$

의 경우

$Q = 1.70 C_4 b H^{\frac{3}{2}}$ ,  $C_4 = 0.80$ ,  $t \geq H/3$ 의 경우



[그림 2] 방류의 유형

한편 1997년 방류 기록을 한 예로 살펴보면, 주로 CASE II의 경우로 배수갑문을 계속 열어놓는 것이 아니라 60-180분 정도로 방류한 후 닫는 방법을 사용하였으며, 이 경우 초당 방류량은 10-90ton/s의 분포를 보이나 40ton/s 부근이 많았던 것을 알 수 있다.

[표 1] 1997년도 방류량 일부 (CASE II)

| 방류 일자 | 작동시간 | 작동시 수위 |       | 개방높이 (m) |     | 방류량 (ton) | 초당 방류량 (ton/s) |
|-------|------|--------|-------|----------|-----|-----------|----------------|
|       |      | 담수호    | 바다    | No1      | No2 |           |                |
| 3.14  | 60분  | -2.81  | -2.95 | 0.8      | 0.8 | 43,414    | 12             |
|       | 90분  | -2.81  | -3.80 | 0.8      | 0.8 | 190,978   | 35             |
| 3.25  | 110분 | -2.80  | -3.50 | 0.8      | 0.8 | 283,764   | 43             |
|       | 120분 | -2.82  | -3.64 | 0.8      | 0.8 | 216,504   | 30             |
| 4.05  | 50분  | -2.76  | -3.33 | 0.8      | 0.8 | 105,300   | 35             |
|       | 120분 | -2.77  | -3.51 | 0.8      | 0.8 | 271,728   | 38             |
| 4.08  | 150분 | -2.86  | -4.37 | 0.8      | 0.8 | 651,780   | 72             |
|       | 150분 | -2.88  | -4.53 | 0.8      | 0.8 | 814,860   | 90             |
| 4.10  | 120분 | -2.94  | -3.92 | 0.7      | 0.7 | 214,992   | 30             |
|       | 100분 | -2.96  | -4.15 | 0.7      | 0.7 | 540,792   | 90             |

한편, 부남호 앞바다엔 어민들이 설치한 가두리 양식장이 설치되어 있어 수질이 나빠질 경우 치어들이 폐사하여 막대한 손실을 초래할 수 있다. 농업기반공사 인수관리단에 따르면, 어민들의 허가기간은 끝나가지만 1년 단위의 재계약을 원하고 있어 당분간 가두리 양식장을 관련지어 일을 계획할 필요가 있다[1].



[그림 3] 부남호 앞 가두리 양식장 현황

## 2. 모델링 방법 및 주안점

컴퓨터 모사를 통하여 알아야 할 내용은 부남호 배수관문을 개방했을 때 오염된 부남호의 물이 주위 해역에 미치는 영향과 부남호의 퇴적물을 준설할 경우 발생할 수 있는 부유물을 방류할 때에 인근 해역에 미치는 영향 등 두가지 줄기이다. 오염물 확산 및 부유사 발생에 따른 영향예측을 위하여 적용된 수치 모델은 미국 공병단 수리실험국(U.S. Army Corps of Engineering Waterway Experiment Station)에서 개발된 모델인 GFGEN, RMA2 및 RMA4모형으로 이들을 통합한 SMS(Surface Water Modeling System, Ver. 8.1)를 이용하였다.

### 2.1 모델의 개요

SMS는 1, 2, 3차원 동수역학적 모델링을 위한 복잡하고 정교한 소프트웨어이다. 현재는 Engineering Computer Graphics Laboratory로서 알려진 Brigham Young University의 Environmental Modeling Research Laboratory(EMRL)에서 지속적인 개발과 발전을 하고 있다. 또한 미육군공병단의 수로시험소(U.S. Army Corps of Engineering Computer Waterways Experiment Station, USACE-WES)와 미국 연방도로청(U.S. Federal Highway Administration, FHWA)등과 연계하여 모형의 확장을 구축하고 있다[2].

SMS는 2차원 수리학적 현상을 모사하기 위한 전처리 과정에 입력되는 자료구축과 계산수행의 용이함, 그리고 해석결과의 출력을 표현하는데 있어서 사용자에게 편리한 기능을 가지고 있는 윈도우용 응용프로그램을 제공하고 있다. 적용된 SMS 프로그램에서는 계산수행을 위한 전처리단계인 GFGEN, 하천의 동수역학적 흐름해석을

위한 RMA2, 오염물질의 거동해석을 위한 RMA4, 토사 입자의 이동양상과 하상의 변화를 해석하는 SED2D의 프로그램으로 나누어진다.

본 연구에서는 부남호 배수관문을 통한 부유 토사 및 오염물질의 물리적 확산을 모사하기 위해서 GFGEN, RMA2 및 RMA4 모형을 적용하였다. RMA2는 하천, 하구 또는 항구에 대한 유한요소망의 각 격점에서 수위 및 유속을 계산할 수 있으며, 정상류뿐만 아니라 부정류 상태까지 모사할 수 있다. 수심평균을 위한 2차원 천수방정식은 자유 수면을 가진 물의 운동을 기술하는 3차원 Navier-Stokes 방정식의 일반식을 수심방향으로 적분함으로써 유도될 수 있으며, 이를 위해 연직방향의 가속도 항은 무시하여 압력항을 정수압 분포로 처리하며, 유체는 비압축성이라고 가정한다[3-6].

2차원 천수방정식의 연속방정식과 운동량방정식은 아래와 같다.

- 연속방정식

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

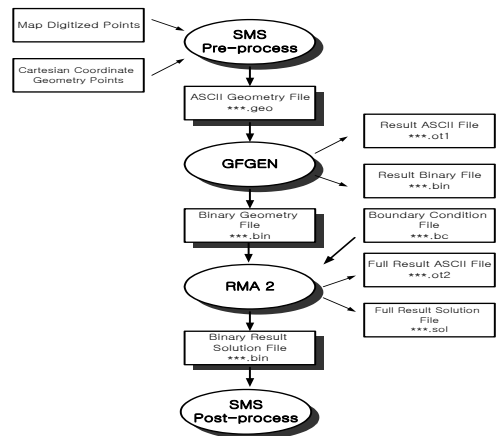
- 운동량방정식

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} (\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) + gh \left( \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2huv \sin \Phi = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} (\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} +$$

$$+ \frac{gvn^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2huv \sin \Phi = 0$$

여기서, h: 수심, x, y, t: 좌표축과 시간, g: 중력가속도, u, v : x, y 방향의 수심평균유속, ρ : 물의밀도, a : 하상 표고, ε : 확산계수, n: Manning 조도계수, 1.486: 단위 환산계수, ξ : 경험적인 바람 전단 응력계수, V<sub>a</sub>: 풍속, ψ : 풍향, w : 지구의 각속도, Φ : 대상구간 평균 위도를 나타내 준다. 그림 4는 RMA2 모형의 수행 흐름도를 나타내 준다.



[그림 4] RMA2 모형의 수행 흐름도

RMA4 프로그램은 하천, 호수, 하구, 항만, 해안 등의 다양한 수환경에서 부유물질과 용해성 물질의 혼합 및 이송 등의 물리적 특성을 모사하는데 사용되며, RMA2의 동수역학적인 결과를 이용하여 수심방향으로 적분된 각 지점의 농도를 계산한다. 오염물질 농도 계산을 위한 이송-확산의 지배방정식은 다음과 같다.

$$h \left[ \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right] = 0$$

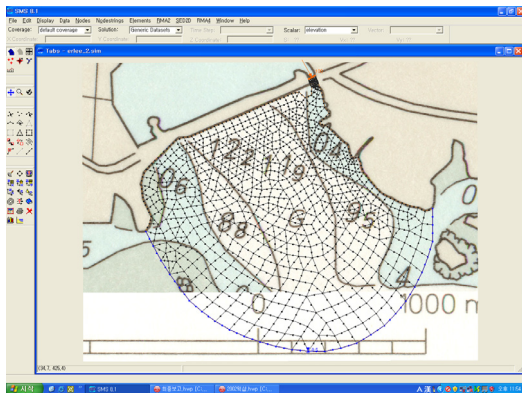
여기서, c: 오염원의 농도(ML<sup>-3</sup>), t: 시간, u: x방향 평균 유속, v: y방향 평균 유속, x: x방향 거리, y: y방향 거리, h: 수심, D<sub>x</sub>, D<sub>y</sub>: x, y방향 외점성계수, σ: 오염원의 생성 또는 소멸, k: 반응계수를 나타낸다.

2.2 모델링 입력 자료 구성

해류에 영향을 미치는 인자는 바람, 조수간만, 지구자전에 의한 코리올리력, 담수유입에 의한 밀도경사, 온도 등 복잡하다. 부남호 앞바다는 천수만의 복단으로 수심이 많아 바다지형의 마찰의 영향을 많이 받으며, 안면도가 원안해류를 막아주고 있어 조수간만이나 바람에 의한 취송류의 영향이 클 것으로 판단된다. 하지만 고려하는 지역이 동서북이 단혀있고 남동방향으로 열려 있기 때문에 서풍에 의한 영향은 작을 것으로 생각되며, 조수간만에 영향이 없는 시간 대역이라면 외적 요인에 의한 조류는 작다고 판단된다. 따라서 모델링의 기본은 부남호 앞바다를 정상상태로 생각하고 하루 두 차례의 만조 및 간조효과는 모사는 할 수 있지만 생략하였다. 또한 하안에서 고려하여야 할 사항은 민물과 바닷물의 밀도 차에 의한 밀도류를 고려할 수 있으나 이것은 연직 순환류의 변화에 의한 부분적인 수평 흐름이 일어나기 때문에 모사에서 생략하였다.

### 2.2.1 지형자료 구성

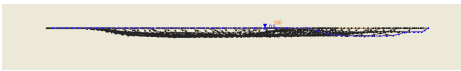
지형자료는 해도(DC322)를 참고하여 인근지역을 스캔하여 사용하였고, 해저에 관한 정보는 해저지도에 나타난 수치를 적용하였다. 배쉬를 만드는 방법은 스케일이 표시된 지도를 배경으로 놓고, 고려하는 지역을 4개의 node string으로 구성한 후 유한요소망을 구성하였다. 만들어진 유한요소망에 해도의 해저정보를 입력하여 3차원 유한요소망을 구성하였다. 그림 5는 부남호 앞바다의 유한요소망을 나타내고 있다.



x-y 면

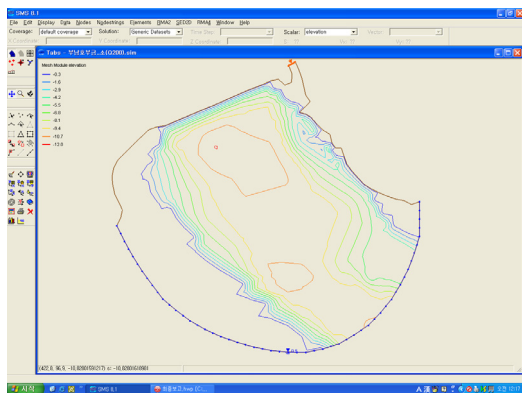


y-z 면



x-z 면

[그림 5] 부남호 앞바다의 유한 요소망 구성



[그림 6] 유한요소망에 사용한 지형 구배

### 2.2.2 유입유량 산정

대상지역의 유동조건을 위하여 1997년 방류량을 참고로 하였으며, 방류량을 10, 20, 50, 100ton/s인 경우를 고려하였다.

### 2.2.3 모델 입력 계수

RMA2 모사를 위해 요구되는 입력계수로 와점성계수 (eddy viscosity)와 Manning의 조도계수를 들 수 있다. 표 2는 USACE-WES에서 제시하고 있는 와점성계수를 나타내고 있으며, 본 모사에서는 와점성계수로 15,000을 사용하여 모사하였다. 표 3은 모사하고자 하는 유체의 특성에 따른 Manning의 조도계수 범위를 나타내고 있으며, 본 모사에서는 0.025를 적용하였다. 선택된 수치는 배수관문 앞 지역을 깊은 하구보다 조금 초과된 것으로 선택하였다.

[표 2] 와점성계수의 범위

| 흐름 상태                 | $\epsilon$ 값<br>[N·sec/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|---|
| 천수하천흐름(저유속)           | 240-1200                                |
| 천수하천흐름(고유속)           | 1200-2400                               |
| 깊은 하구(작은 격자망)         | 2400-4800                               |
| 깊은 하구(큰 격자망)          | 9500-14400                              |
| 조위에 의한 wetting/drying | 4800-9500                               |
| 구조물에 의한 흐름            | 50-240                                  |

[표 3] Manning의 조도계수의 범위

| 상 태             | n값            |
|-----------------|---------------|
| 하상조건이 양호한 얇은 하천 | 0.025 - 0.035 |
| 깊은 하천           | 0.018 - 0.025 |
| 식생이 없는 얇은 하구    | 0.020 - 0.030 |
| 깊은 하구           | 0.015 - 0.020 |
| 식생이 왕성한 습지      | 0.05 - 0.10   |

### 2.2.4 유속 모사

초기방류량 10, 20, 50, 100ton/s에 대하여 모사를 하였다. 배수관문이 4개의 수문으로 이루어져 있지만 전체로 퍼져나가는 것으로 단순화하였고 방류되는 유속은 배수관문의 수직방향으로 설정하였다. 따라서 배수관문 직후의 와류에 대한 모사는 생략이 되어 있다. 방류 형태에 따라서 방류수의 초기 유속이 달라지지만, 이 경우도 일률적인 수면 설정을 통하여 단순화하였다. 따라서 초기 방류속도는 실제와 다를 수 있지만 출발 후 20여 m 이후부터는 별 영향을 끼치지 못한다. 초기 방류량에 따라 유속 분포는 다르지만 대체로 배수관문 통과 후 왼쪽에 와

류가 생긴다.

### 3. 부유물 방류에 관한 모사

#### 3.1 부유물 발생량 산정

부남호 앞바다는 배수갑문과는 좌로 떨어진 위치에 남동방향으로 깊은 바닥줄기가 위치하여 있고 사방이 열린 구조이고 천수만과 안면도 앞바다의 영향을 입어 해류가 형성되며, 조석 간만의 영향과 바람의 영향등 고려하여야 할 변수가 많고 유한확정적으로 규정짓기가 어렵다. 따라서 이번 모사에서는 바다는 깊은 바닥줄기를 갖는 정상상태의 수조에 배수갑문을 통하여 일정한 흐름이 유입되는 이송과 확산/이송확산이 작용하는 혼합흐름 반응조로 가정하였다.

#### 3.2 부유물 발생량 가정 및 확산 모사 각본

준설 공사중 발생할 부유물의 농도를 2, 3, 4 등급 및 등급 외로 가정하여 모사하였다. 모사에 사용할 부유물의 농도와 시나리오는 다음 표 3과 같다.

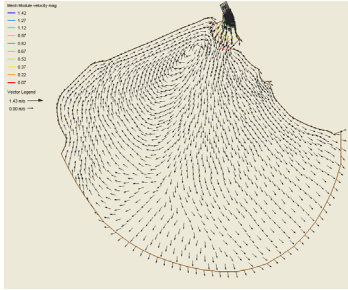
[표 3] 부남호로부터 유출될 부유물질 농도

| 구 분   | 부유사 농도 (ppm) | 확산 모사 시나리오 | 비고 |
|-------|--------------|------------|----|
| 2등급   | 5            | 시나리오1      |    |
| 3,4등급 | 15           | 시나리오2      |    |
| 등급외   | 30           | 시나리오3a     |    |
|       | 50           | 시나리오3b     |    |

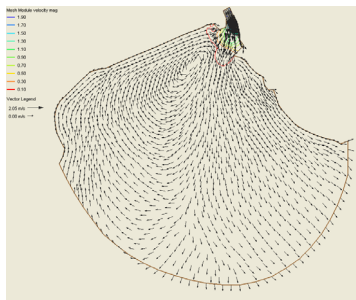
#### 3.3 모사 결과

부유사의 발생은 공사 시작 후 24시간 연속하여 발생하는 경우(a)와, 3시간 발생 후 방류수만 방류하는 경우 (b)를 모사하였다. 그림 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18은 각각의 확산모사 시나리오에 대한 시간별 변화추이를 나타내 준다. 오염 정도는 그림 왼쪽 막대형 스케일에 나타나 있으며 붉은색일수록 오염도가 약하고 푸른색일수록 오염도가 강하다.

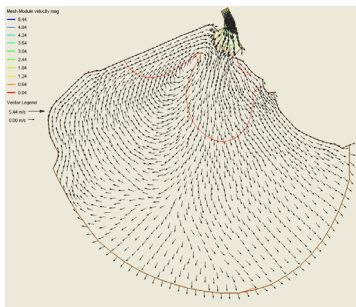
실제 단시간 방류 후 바닷물에 희석된 후 다시 방류하는 방법을 쓰겠지만, 유입되는 방류량이 없을 경우 흐름에 대한 모사가 불가능하기 때문에 단시간 방류는 시간대역별로 분리하여 추정이 가능하다고 본다.



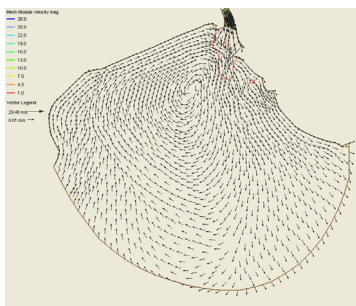
[그림 7] 방류량 10ton/일 경우의 유속분포



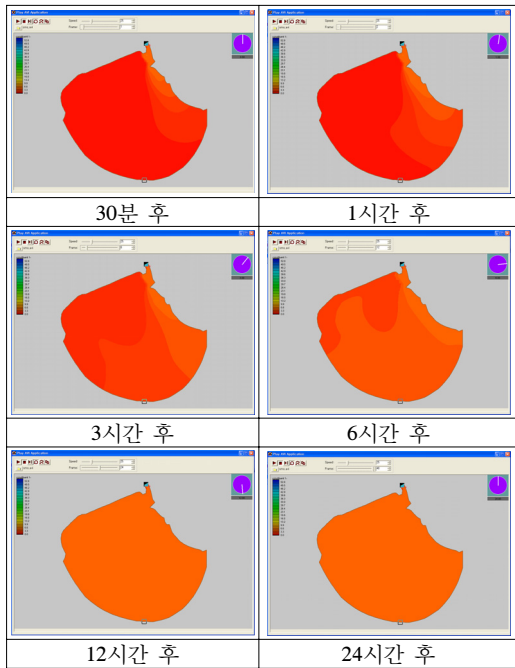
[그림 8] 방류량 20ton/일 경우의 유속분포



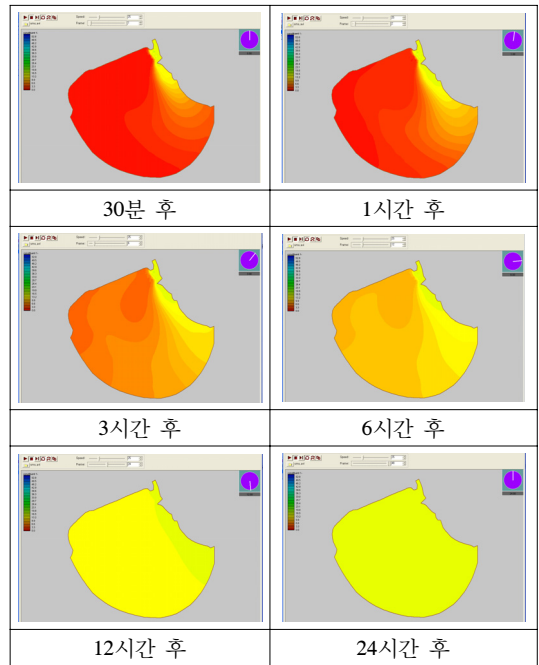
[그림 9] 방류량 50ton/일 경우의 유속분포



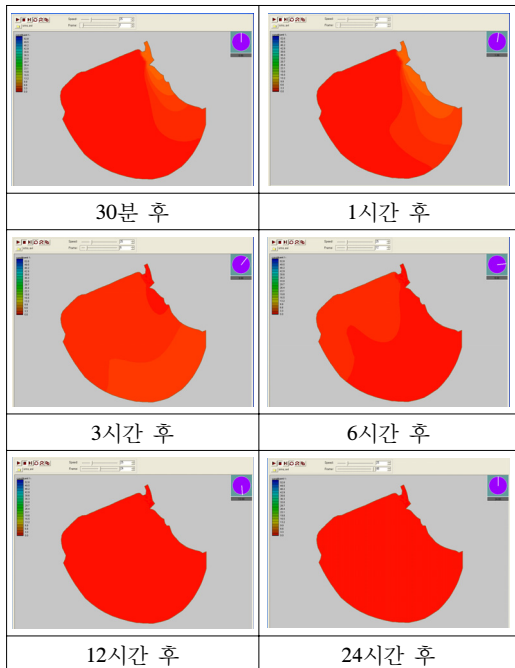
[그림 10] 방류량 100ton/일 경우의 유속분포



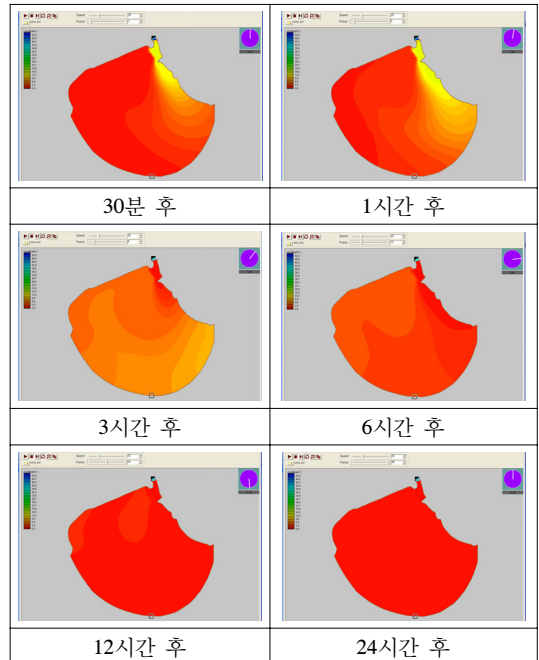
[그림 11] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사5ppm 24시간 방출)



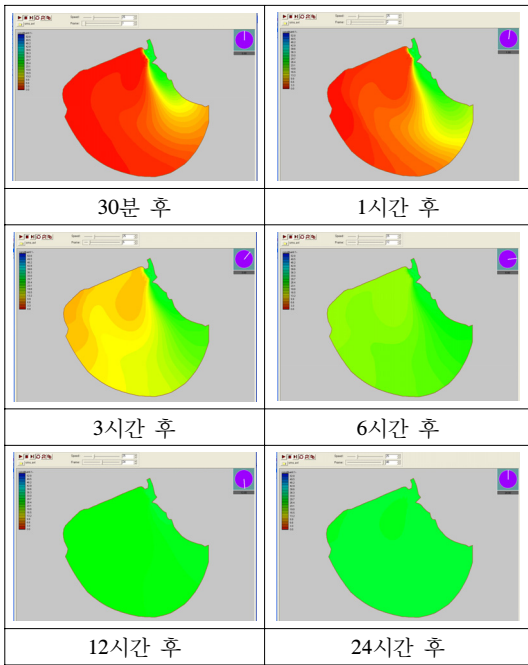
[그림 13] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사15ppm 24시간 방출)



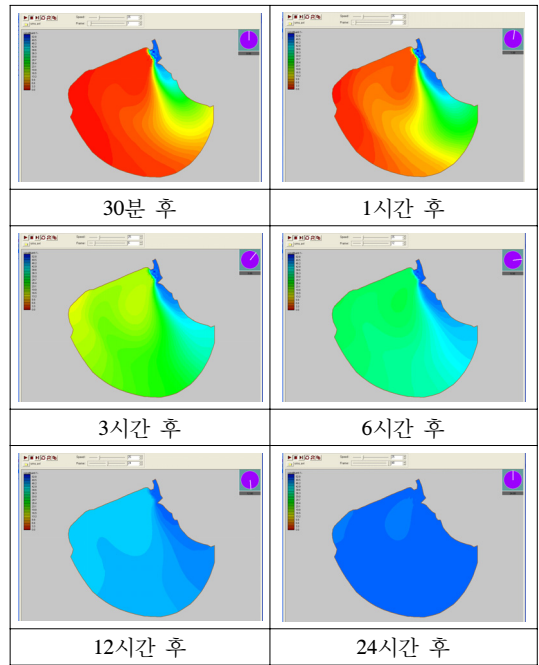
[그림 12] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사 5ppm 3시간 방출후 발류수만 방출)



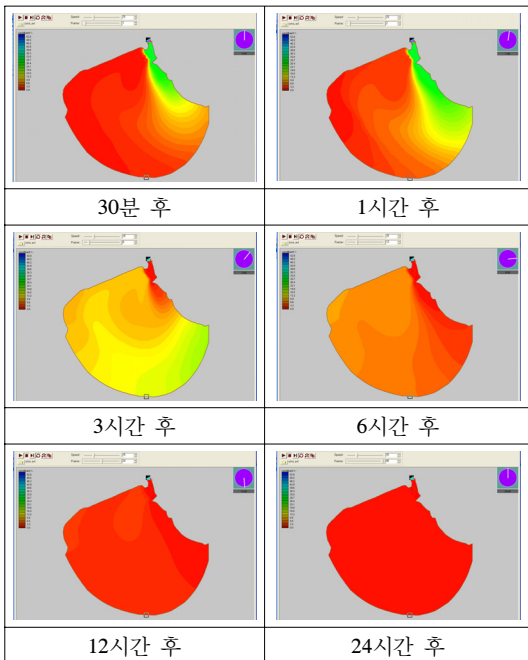
[그림 14] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사15ppm 3시간 방출 후 발류수만 방출)



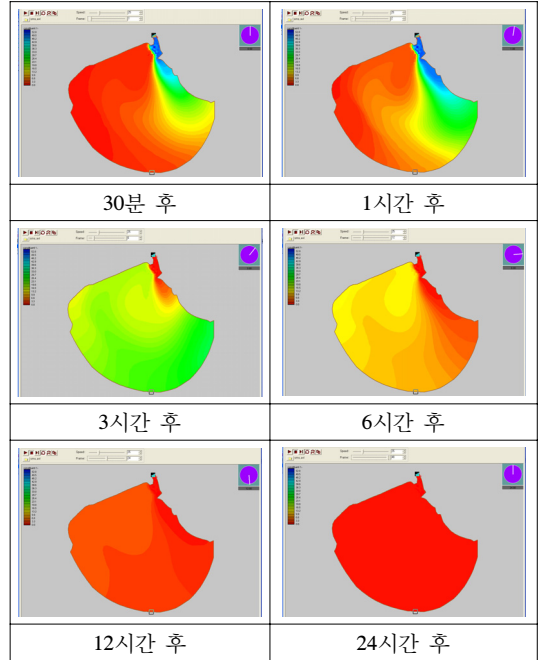
[그림 15] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사30ppm 24시간 방출)



[그림 17] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사50ppm 24시간 방출)



[그림 16] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사30ppm 3시간 방출 후 방류수만 방출)



[그림 18] 부남호 배수관문을 통한 부유사 확산 범위(부유토사50ppm 3시간 방출 후 방류수만 방출)

부유사의 확산은 배수관문에서 방류되는 방류량에 따라서 양상은 달라진다. 앞에서 예상 방류량을 10, 20, 50, 100 ton/s의 경우로 나누어 그 양상을 보았지만 배수관문에 가까운 곳은 방류량에 민감하지만 고려하는 대부분의 지역은 유속은 거의 0에 가까운 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 1997년 방류량의 최고치에 가까운 100ton/s를 대푯값으로 잡아 확산양상을 살펴보았다.

부유물질이 5ppm의 농도로 24시간동안 확산되는 경우, 30분 간격 화면 분석에 의하면 12시간이면 고려하는 전 지역이 5ppm의 농도로 변한다. 5ppm의 농도로 3시간 동안 방류한 후 방류수만 방류하는 경우이며, 7시간이면 처음 상태로 돌아간다. 15ppm의 부유물이 24시간 방류되는 경우, 8시간 후에는 대상구역이 15ppm의 상태로 된다. 15ppm으로 3시간 동안 방류하다가 방류수만 방류하는 경우로 13시간 후엔 초기 상태로 환원된다. 30ppm 농도로 부유물이 24시간 방류될 경우의 12시간이면 대상구역이 30ppm의 농도로 된다. 30ppm의 농도로 부유물을 3시간 방류하다 방류수만 방류할 경우이며 16시간이면 초기상태로 환원된다. 그림 11은 50ppm의 부유물을 24시간동안 방류할 경우이며, 24시간이 지나면 거의 50ppm이 된다. 그림 12는 50ppm 농도의 부유물을 3시간 방류하다가 방류수만 방류할 경우의 모사이며 19시간 후면 원래의 상태로 돌아온다.

#### 4. 오염물질의 천수만 확산 모사

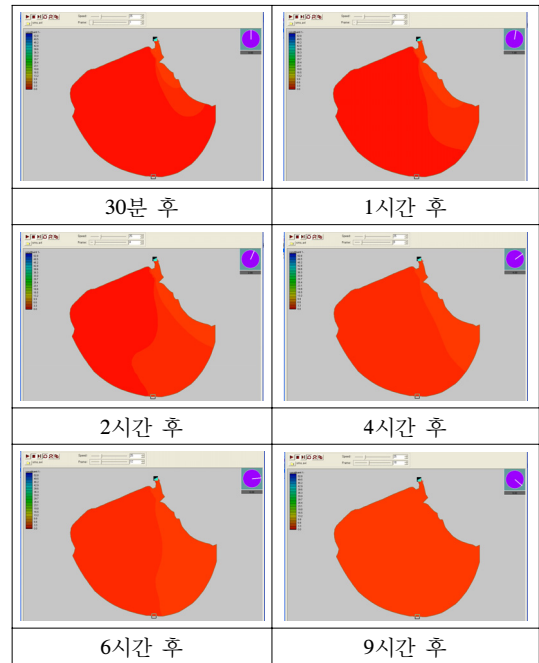
본 확산 모사에서는 확산되는 동안 체류시간이 짧으므로 화학적인 과정은 작다고 판단하여 물리적인 과정만 고려하였다.

##### 4.1 오염물질의 확산모사 시나리오

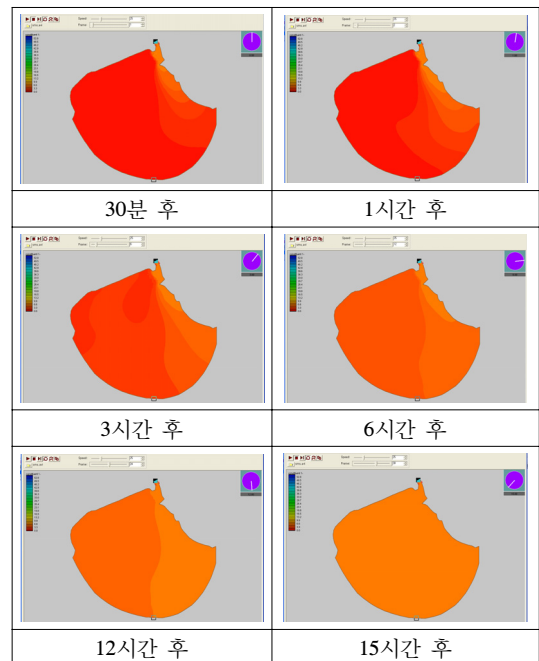
준설 공사중 발생할 부유물의 농도를 2, 3, 4 등급 및 등급 외로 가정하여 모사하였다. 모사에 사용할 부유물의 농도와 모사 시나리오는 다음 표 4와 같다.

[표 4] 부남호로부터 유출될 COD 농도

| 구 분 | 화학적 산소요구량 (ppm) | 모사시나리오 |
|-----|-----------------|--------|
| 2등급 | 3               | 시나리오1  |
| 3등급 | 6               | 시나리오2  |
| 4등급 | 8               | 시나리오3  |
| 5등급 | 10              | 시나리오4  |

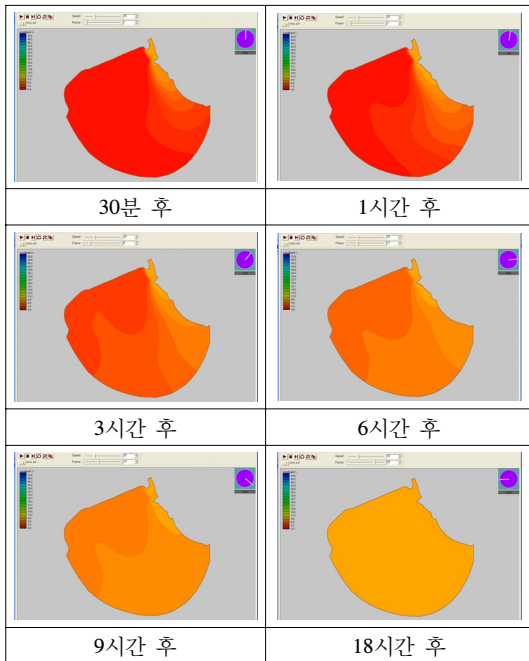


[그림 19] 부남호 배수관문을 통한 오염물질 확산(COD 3)

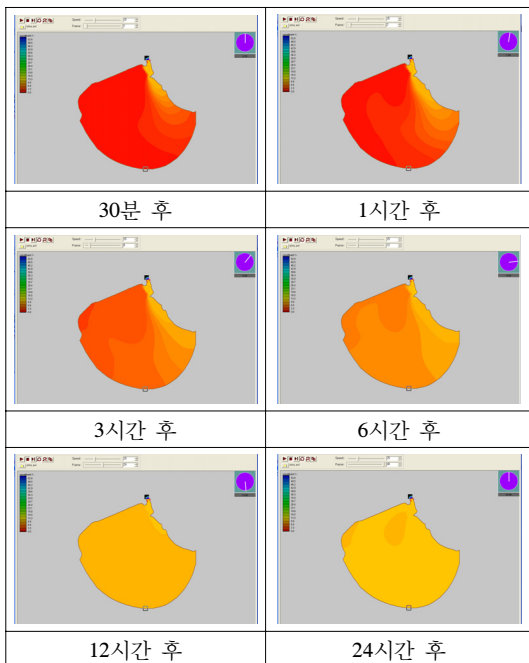


[그림 20] 부남호 배수관문을 통한 오염물질 확산(COD 6)

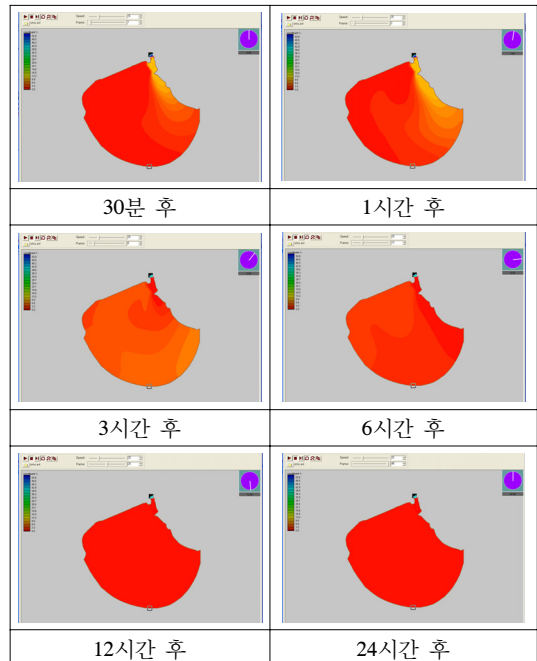




[그림 21] 부남호 배수관문을 통한 오염물질 확산(COD 8)



[그림 22] 부남호 배수관문을 통한 오염물질 확산(COD 10)



[그림 23] 부남호 배수관문을 통한 오염물질 확산 (COD 10 3시간 방류 후 방류수만 방류)

## 5.2 모사 결과

그림 19는 COD 3ppm인 오염물질이 24시간 방류될 때의 모사이며, 이 경우 8시간 만에 대상지역이 3ppm으로 오염된다. 그림 20은 COD 6ppm의 오염물질이 24시간동안 방류될 때의 모사이며, 이 경우 14시간이면 대상 지역 전체가 6ppm으로 오염된다. 그림 21은 COD 8ppm의 오염물질이 계속 방류될 때의 모사이며, 그림 22는 COD 10ppm인 오염물질이 24시간 방류될 때의 모사이다. 그림 23은 COD 10ppm의 오염물질이 3시간동안 방류되다가 깨끗한 방류수가 방류될 때의 모사이다.

## 5. 결론 및 토의

### 5.1 호수와 바다 수질 기준

호수와 바다의 수질기준이 달라 호수의 오염된 물을 방류할 때 바다의 수질 기준을 고려하여야 한다. 표 5은 호수수질기준을 나타내며, 표 6은 해수수질기준을 나타내준다[7,8].

[표 5] 호수수질기준

| 등급  | 이용목적별 적용대상                 | 기 준     |            |                 |           |           |            |            |
|-----|----------------------------|---------|------------|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|
|     |                            | pH      | COD (mg/ℓ) | SS (mg/ℓ)       | DO (mg/ℓ) | MPN/100ml | T-P (mg/ℓ) | T-N (mg/ℓ) |
| I   | 상수원수1급<br>자연환경보전           | 6.5-8.5 | 1이하        | 1이하             | 7.5이상     | 50이하      | 0.010 이하   | 0.200 이하   |
| II  | 상수원수2급<br>수산용수1급<br>수형용수   | 6.5-8.5 | 3이하        | 5이하             | 5이상       | 1,000 이하  | 0.030 이하   | 0.400 이하   |
| III | 상수원수3급<br>수산용수2급<br>공업용수1급 | 6.5-8.5 | 6이하        | 15이하            | 5이상       | 5,000 이하  | 0.050 이하   | 0.600 이하   |
| IV  | 공업용수2급<br>농업용수             | 6.0-8.5 | 8이하        | 15이하            | 2이상       | -         | 0.100 이하   | 1.0 이하     |
| V   | 공업용수3급<br>생활환경보전           | 6.0-8.5 | 10이하       | 쓰레기 등이 떠있지 않을 것 | 2이상       | -         | 0.150 이하   | 1.5이하      |

[표 6] 해수수질기준

| 등급  | 기 준          |                       |                  |                  |               |            |           |
|-----|--------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------|------------|-----------|
|     | 수소이온 농도 (pH) | 화학적산소 요구량(COD) (mg/ℓ) | 용존산소량(DO) (mg/ℓ) | 대장균수 (MPN/100ml) | 용매추출유분 (mg/ℓ) | 총질소 (mg/ℓ) | 총인 (mg/ℓ) |
| I   | 7.8-8.3      | 1 이하                  | 7.5 이상           | 1000 이하          | 0.01 이하       | 0.3 이하     | 0.03 이하   |
| II  | 6.5-8.5      | 2 이하                  | 5 이상             | 1000 이하          | 0.01 이하       | 0.6 이하     | 0.05 이하   |
| III | 6.5-8.5      | 3 이하                  | 2 이상             |                  |               | 1.0 이하     | 0.09 이하   |

5.2 모사 결과 및 토의

부남호 앞바다는 가두리 양식장에서 송어나 우럭 등을 기르고 있으므로 등급 II의 기준에 적합하여야 한다. 등급 II에서 COD는 2ppm이하를 요구하므로 방류시 모사 구역의 COD가 2ppm이 되기 전 방류를 중단하고 충분한 희석을 한 후 다시 방류하는 간헐적인 방법을 사용한다면 어민들에게 큰 피해가 없을 것이다. 모사에서 사용한 100ton/s의 방류시 COD 2ppm이 되는 시간을 대략적으로 표시하면 표 7과 같다. 이것은 현재의 바다 오염도를 고려하지 않았기 때문에 방류시간은 더 짧게 설정되어야 하지만 모사에서 방류량을 극대로 잡았기 때문에 방류량을 적게 조절하면 방류시간을 적절히 늘일 수 있을 것이다. 부유물질의 퇴적은 수년 이상 계속 방류할 경우 고려할 정도이지만 단기간의 방류에는 모사에 의한 퇴적 영향 측정은 의미를 찾기에 약하다. 다만 부유물질이 천수만으로 확산될 때 직접적으로 양식장에 영향을 줄 수 있는 가능성을 배제할 수 없으므로 확산정도는 충분한 의미를 지닌다.

[표 7] 부남호 앞바다 COD 2 되는 시간

| 방류량      | COD (ppm) | 부남호 앞바다 COD 2 되는 시간 |
|----------|-----------|---------------------|
| 100ton/s | 3         | 3시간                 |
| 100ton/s | 6         | 2시간                 |
| 100ton/s | 8         | 1시간                 |
| 100ton/s | 10        | 30분                 |

참고문헌

- [1] 한두희, “현대콘도 오피스 방류에 따른 영향평가”, 청운대학교 건설환경연구소 논문집 창간호, 2003.
- [2] ems-i, “Two- Dimensional Hydraulic Modeling of Complex Waterways with SMS”, EMS-I Training Manual, ems-i, 2005.
- [3] 한건연 외, “한강 하류부에서 2차원 수질모형 개발 및 적용”, 한국수자원학회논문집, 제35권, 2002.
- [4] 한건연 외, “수치모형과 GIS를 연계한 하천에서의 2차원 동수역학 해석”, 대한토목학회논문집, 제21권, 2001.
- [5] Alam, M.M., et.al, "Collocation finite element simulation of dam-break flows", J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol.121, 1995.
- [6] Hicks, F.E., et.al., "Characteristic dissipative Galerkin scheme for open channel flow", J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol.118, 1992.
- [7] 이영신, 한두희 외, “부남호 수질개선사업 연구용역”, 현대건설 연구용역 최종보고서, 한서대학교, 2005.
- [8] 한두희, “서산 부남호 수문을 통한 오염물질 확산 모델링”, 한국산학기술학회 추계학술발표논문집, 2009.

한 두 희(Doo Hee Han)

[중신회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
- 1996년 8월 ~ 1999년 12월 : 한국전자통신연구원 위촉연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

신재생 에너지, 폐기물 재활용, 물리응용분야