

유한요소법에 의한 호소의 수질예측모형

(삼교 담수호에 적용하여)

유 병로*, 안 상진**

Water Quality Prediction Model in a Lake by Finite Element Method

(Application to Sapkyo Lake)

Ryu, Byong Ro*, Ahn, Sang Jin**

Abstract

A 2-dimensional pollutant transport phenomenon in shallow reservoirs was analyzed by using a finite element method. The Galerkin's weighted residual method, based on linear interpolation, was used and a triangle was adopted as an element. The two dimensional Stock's equation and the advection-diffusion equation integrated over depth were used as governing equations. Also the Newton-Raphson method was introduced to solve the non-linear terms of the equation.

The results calculated by the model are in good agreement with the analytical solution for a simplified channel where a known solution is available.

An actual application of the model is attempted for Sapkyo Lake with a consideration of the influx of the Sapkyo Chun, the Muhan Chun and kogkyo Chun.

Further refined research is needed to evaluate the water quality in the other reservoirs.

서 론

호소의 수질관리를 위한 대책수립에는 무엇보다도 먼저 호소의 현재 및 장래수질을 정확히 아는것이 선행되어야 한다. 일반적으로 자연수역에서의 흐름과 오염물의 확산이송 현상은 시간과 공간에 따라 변화하는 3차원 흐름으로 이 현상을 해석하는 데는 실제 관측하거나 물리적 모형 또는 수치모형을 사용한다. 물리적 모형의 경우, 막대한 비용과 많은 시간을 요하므로 근래에는 수치 모형을 많이 사용하고

있다. 수치모델 기법은 수체의 이동을 표현하는 지배 방정식인 Navier-Stokes의 운동량 방정식과 연속방정식의 편미분 방정식에 적당한 초기조건과 경계조건을 대입하여 그 해를 수치적으로 구하는 것과 오염물의 확산이송현상을 표현하는 기본방정식인 물질이송 방정식을 이용하여 그 해를 수치적으로 구하는 것이다. 수치적 기법에도 응용되는 모델의 차원에 따라 1차원, 2차원, 3차원 모델로 구분할수 있으며, 해석하는 방법에 따라 유한 차분법, 유한요소법, 경계요소법등으로 구분된다. 국내에서 지금까지 사용해온

* 대전전문대학 환경관리과

** 충북대학교 공과대학 토목공학과

호소의 수질 모형은 물의 흐름과 오염물의 이송이 흐름의 임의 단면에 대해 완전 혼합 되었다고 가정 한 수심방향의 1차원 모형인 WQRRS와 종방향 1차원 모형으로 하천에 주로 적용되는 QUAL-2, MITNIT와 호소 전체를 하나의 BOX로 생각하는 무차원 BOX 모형이다.¹⁾ 그러나 하구 담수호는 수심이 작고 또한 연직방향의 흐름이 매우 작으므로 WQRRS 모형의 적용은 부적합하다. 따라서 호수면의 이용 및 관리 대책수립을 위하여는 수평방향의 2차원 모형이나, 3차원 모형이 요구된다.²⁾ 3차원 모형은 실제의 흐름 현상에는 잘 부합되나 실무에 적용 하기에는 상당한 시간과 노력을 요한다. 본 연구는 유한요소법을 사용하고 수심에 대해 평균을 취한 수심평균 2차원 수치 모형을 개발하고 삼교천 하구 담수호의 수질을 예측 하므로써 실제 적용성을 검토하고자 하였다. 삼교천은 삼교천지구 농업종합 개발사업의 일환으로 건설된 다목적 호수로서 호서지방의 중요한 수자원이다. 그러나 상류 유역으로부터 오염원의 유입량이 증가되고 있으며 오염물의 호수내 침적이 계속되면서 수질은 악화 되고 있는 실정이다.³⁾

1. 기본 방정식

비압축성 점성 유체의 운동을 나타내는 지배 방정식인 3차원 Navier-Stokes 방정식을 2차원으로 하기 위하여는 다음의 가정을 하고 식을 유도한다. 즉 흐름의 연직유속성분과 가속성분을 무시하고, 연직방향의 속도 구배와 밀도구배는 아주 작으며 압력분포는 정수압분포로 가정한다. 또 바람에 의한 영향이나 지구자전에 의한 영향을 무시하며 깊이에 따른 변동성분을 표현하는데는 평균치로 대표한다.

1-1. 수체이동의 기본방정식

물을 비압축성이라 가정했으므로 밀도ρ가 일정 할때 Navier-Stokes 운동량 방정식의 2차원적 표현은 다음과 같다.^(4,5)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{1}{\rho h} Z_{bx} - \epsilon \nabla^2 u = 0 \dots (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial y} + \frac{1}{\rho h} Z_{by} - \epsilon \nabla^2 v = 0 \dots (2)$$

여기서 u, v는 수심방향에 평균된 x-, y- 방향의 유속성분이며 수심n와h는 그림 1의 좌표계에서와 같이 임의 기준면에서부터 수면까지의 거리와 임

의 기준면에서 하상까지의 거리를 각각 나타낸다. 또P는 물의 밀도, t는 시간, g는 중력가속도, ε는 와점성계수 (eddy viscosity coefficient)를 나타내고, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 이다.

앞의 가정에서 지구자전에 의한 힘을 나타내는 coriolis force항이 생략되었고, Z_{bx}, Z_{by} 는 각각 x, y방향의 하상마찰 응력항으로 다음과 같이 표현 된다.

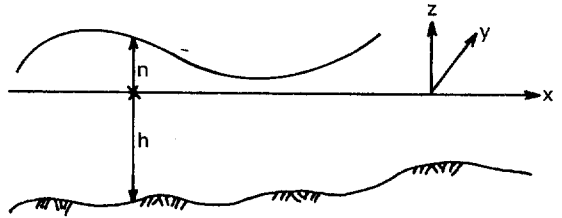


Fig. 1. Coordinate System

$$Z_{bx} = \frac{gu}{(h+n)c_c} \sqrt{u^2 + v^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$Z_{by} = \frac{gv}{(h+n)c_c} \sqrt{u^2 + v^2} \dots \dots \dots (4)$$

수체단위체적에서의 질량보존을 나타내는 2차원 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

여기서 H는 그림1에서와 같이 $H = h + \eta$ 이다.

1-2. 오염물 이송의 기본방정식

오염물의 확산 이송을 나타내는 2차원 물질 평형 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial c}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial c}{\partial y}) = b \dots (6)$$

여기서 D_x, D_y 는 각각 X,Y 방향의 확산 계수이고 b는 오염물의 생성과 소멸, 생화학적 작용을 나타내는 항이며, c는 깊이에 대해 평균을 취한 농도로 다음과 같다.

$$C = \frac{1}{h+n} \int_{-h}^n C dz \dots \dots \dots (7)$$

2. 유한요소식의 유도

수체이동의 기본방정식인 식(1),(2)와(5) 그리고 오염물 이송의 기본방정식인 식(6)을 유한요소식으로 나타내는데는 Galerkin기법을 적용한다. 기본함수 $\phi(x,y)$ 를 사용하면 유속, 수면변위, 농도에 대한 근사해는 다음과 같다.⁶⁾

$$\begin{aligned} \hat{u} &\cong \sum_{j=1}^M u_j(t) \phi_j(x, y) \\ \hat{v} &\cong \sum_{j=1}^M v_j(t) \phi_j(x, y) \\ \hat{h} &\cong \sum_{j=1}^M n_j(t) \phi_j(x, y) \dots\dots\dots (8) \\ \hat{c} &\cong \sum_{j=1}^M c_j(t) \phi_j(x, y) \\ \hat{h} &\cong \sum_{j=1}^M h_j \phi_j(x, y) \end{aligned}$$

여기서 M은 유한요소 영역내의 절점의 수이고 $\phi_j(x,y)$ 는 공간을 나타내는 기본 함수이다. 본 연구에서는 농도, 유속, 수심에 대한 기본함수로 선형함수(linear function)을 이용했고 유한요소로는 삼각형 단순요소를 이용했다. Galerkin의 가중잔차 기법은 기본함수인 $\phi_j(x,y)$ 를 가중함수로 취하고 식(8)로 표현되는 근사해를 기본방정식 (1),(2),(5),(6)에 대입했을때의 잔차와 가중함수의 내적(inner product)이 0이되는 것이므로⁶⁾이 방법을 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^M \iint \frac{du_i}{dt} \phi_j \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial x} c_i \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M v_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial y} c_i \phi_i \\ &+ gn_j \frac{\partial \phi_j}{\partial x} \phi_i + \frac{fr \left(\left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^M v_k \phi_k \right)^2 \right)^{1/2}}{\sum_{k=1}^M (n_k + h_k) \phi_k} u_j \phi_j \phi_i \\ &- \epsilon \left(\frac{\partial^2 \phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial y^2} \right) u_j \phi_i \mid dx dy = 0 \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^M \iint \left\{ \frac{dv_j}{dt} \phi_i \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M U_k \phi_k \right) V_j \frac{\partial \phi_j}{\partial x} \phi_i \right. \\ &+ \left. \left(\sum_{k=1}^M V_k \phi_k \right) V_j \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \phi_i + gn_j \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \phi_i \right. \\ &+ \frac{fr \left(\left(\sum_{k=1}^M U_k \phi_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^M V_k \phi_k \right)^2 \right)^{1/2}}{\sum_{k=1}^M (\eta_k + h_k) \phi_k} \cdot V_j \phi_j \phi_i \\ &- \epsilon \left(\frac{\partial^2 \phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial y^2} \right) V_j \phi_i \mid dx dy = 0 \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^M \iint \left\{ \frac{dn_j}{dt} \phi_i \phi_i + \frac{\partial}{\partial x} \left((\eta_i + h_i) \phi_i \left(\sum_{k=1}^M U_k \phi_k \right) \right) \phi_i \right.$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial y} \left((\eta_i + h_i) \phi_i \left(\sum_{k=1}^M U_k \phi_k \right) \right) \phi_i \right\} dx dy = 0 \dots\dots\dots (11)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^M \iint \left\{ \frac{du_j}{dt} \phi_j \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial x} c_i \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M v_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial y} c_i \phi_i \right. \\ &- D_x \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial x^2} \phi_i - D_y \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial y^2} \phi_i - b \phi_i \mid dx dy = 0 \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

식 (9),(10),(12)의 피적분항중에는 2계 편미분이 포함되어 있어 선형보간 함수의 적용이 어려우므로 이 항들은 Green의 정리를 이용하여 전개하면 2계 편미분이 1계로 바뀌어 적용이 용이하다. 이상의 식을 행렬형태로 조합하면 다음과 같다.

$$[M] \left\{ \frac{dq}{dt} \right\} + [K] \{q\} = \{F_1\} \dots\dots\dots (13)$$

$$[M] \left\{ \frac{dc}{dt} \right\} = [P] \{C\} + \{B\} + \{F_2\} \dots\dots\dots (14)$$

여기서 q는 η, u, v 를 나타내고 {F1}과{F2}는 식(1), (2)의 유효전단응력항과 식(6)의 확산항을 Green정리를 이용하여 2계편미분을 1계로 바꾸었을때 수반되는 선적분을 조합한 벡터이다. 또 행렬[M]의 임의 요소 $M_{ij} = \iint \phi_j \phi_i dA$ 이고, {B}는 식(6)의 우변항 b를 조합한 벡터이다. 식(13)의 행렬[K]의 임의 요소 K_{ij} 는 다음과 같다.

$$[K] = \begin{Bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ K_2 & K_3 & 0 \\ K_3 & 0 & K_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (15)$$

$$\begin{aligned} K_1 &= \iint_A \left\{ \frac{\partial \phi_j}{\partial x} \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \phi_i + \phi_j \left(\sum_{k=1}^M u_k \frac{\partial \phi_k}{\partial x} \right) \phi_i \right. \\ &+ \left. \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \phi_i + \phi_j \left(\sum_{k=1}^M u_k \frac{\partial \phi_k}{\partial y} \right) \phi_i \right\} dA \end{aligned}$$

$$K_2 = \iint_A \left\{ g \frac{\partial \phi_j}{\partial x} \phi_i \mid dA \right.$$

$$\begin{aligned} K_3 &= \iint_A \left\{ \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial x} \phi_i + \left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \phi_i \right. \\ &+ \left. \epsilon \left(\frac{\partial \phi_j}{\partial x} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} + \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \right) \right. \\ &+ \left. \frac{fr \left(\left(\sum_{k=1}^M u_k \phi_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^M v_k \phi_k \right)^2 \right)^{1/2}}{\sum_{k=1}^M (n_k + h_k) \phi_k} \cdot \phi_j \phi_i \mid dA \right. \end{aligned}$$

$$K_4 = \iint_A \left\{ g \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \phi_i \mid dA \right.$$

식(13),(14)는 하나의 요소에 대한 식이므로 전체 영역에 대해 조합한다. 시간적분을 하는데 있어서 식(13)과 같이 비선형항을 포함하고 있을때는 양해법

을 이용하는 것이 계산시간을 줄일 수 있고 정도도 높일수 있는 반면 식(14)의 경우는 음해법을 이용하는 것이 미소시간중분 Δt 를 크게할 수 있고 안정한 값을 얻을 수 있다. 따라서 식(13)을 2단계 Lax-Wendroff 방법을 사용하고 좌변의 행렬 $[M]$ 을 질량집중행렬로 대치하여 완전 양해법으로 나타내면 다음과 같이 된다.²⁾

$$[\bar{M}_c] Q^{n+1/2} = [M_c] Q^n - \frac{\Delta t}{2} [K_c] Q^n \dots \dots \dots (16)$$

$$[\bar{M}_c] Q^{n+1} = [M_c] Q^n - \Delta t [K_c] Q^{n+1/2} \dots \dots \dots (17)$$

여기서 n 은 시간대(time level)을 의미한다. 또 식(14)는 음해법중 Crank-Nicolson 방법을 사용하여 나타내면 다음과 같다.

$$\left((1 - \frac{\Delta t}{2} r) [M_c] - \frac{\Delta t}{2} [P_c] \right) C_{\Delta t} =$$

$$\left((1 + \frac{\Delta t}{2} r) [M_c] + \frac{\Delta t}{2} [P_c] \right) C_0 + \Delta t \{B_c\} \dots \dots \dots (18)$$

여기서 r 은 오염물의 생성 또는 감소율이고 벡터 $\{B_c\}$ 는 상수항 b' 를 전영역에 조합한 것이다. 식(16),(17)에 적절한 초기조건과 경계조건을 대입하여 각 시간대의 유속성분과 수심을 계산하고 이를 이용하여 식(18)로부터 그 시간대의 농도를 구한다.

3. 모형의 검증

본모형의 검정을 위하여는 2차원이 고려된 실측자료를 사용하는 것이 바람직하나, 실제 수역에서 충분한 실측자료는 구하기 어려우므로, 해석해를 얻을 수 있는 1차원수로에 대해 수치해를 구하고, 해석해와 비교하는 간접적인 방법을 택하였다. 그림2와 같은 1차원 수로에 대하여 수심 및 유속을 Brebbia는 다음과 같이 나타냈다.

$$n = \frac{a}{\cos\left(\frac{w \ell}{\sqrt{gh}}\right)} \cdot \cos\left\{ \frac{w \ell}{\sqrt{gh}} \left(\frac{x}{l} - 1 \right) \right\} \sin w t \dots \dots \dots (19)$$

$$u = - \frac{a \sqrt{gh}}{h \cos\left(\frac{w \ell}{\sqrt{gh}}\right)} \sin\left\{ \frac{w \ell}{\sqrt{gh}} \left(\frac{x}{l} - 1 \right) \right\} \cos w t \dots \dots \dots (20)$$

여기서 x 는 수로입구로부터의 거리, a 는 진폭, w 는 파동의 각속도($2\pi/T$), ℓ 은 수로의 길이, h 는 수심, T

는 주기를 나타낸다. 경계조건으로는 수로 입구의 수면변위를 식(21)에 의해 대입하고 초기조건으로는 일반적으로 초기에 알려지지 않은 실제문제에 부합시키기 위해 cold start($n=0, u=0$)을 적용한다.

$$n = a \sin w t \dots \dots \dots (21)$$

본 점정실험에서는 주기 $T=600\text{sec}$, $a=1\text{m}$ 를 취했으며 CFL의 안정조건에 맞는 $\Delta t=1\text{sec}$ 를 취하였고, 유효전단응력계수 $\epsilon=2.0\text{m/sec}$ 를 사용했다.

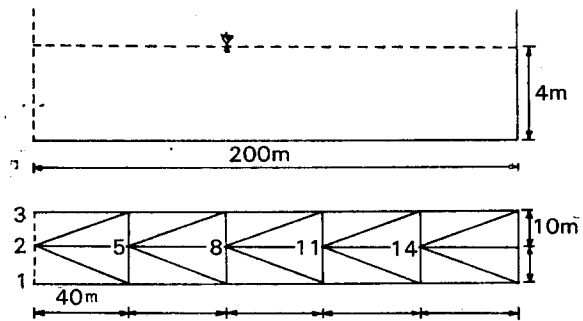


Fig. 2. Finite Element Network of One Dimensional Rectangular Channel

검정결과 3주기(1800sec) 동안의 수치해와 해석해는 그림(3)에 도시하였다. 그림에서 수치해는 해석해에 거의 일치하여 실수역에서의 수체이동 해석에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

또 오염물의 확산이송 1차원 방정식에 대한 해석해는 Kennedy등에 의해 다음식으로 표현되었다.

$$\frac{C}{C_{in}} = \frac{1}{2} \left\{ \exp\left[\frac{ux}{2Dx} (1 + \sqrt{1+a}) \right] \text{erfc}\left(\frac{x+ut\sqrt{1+a}}{2\sqrt{Dx \cdot t}} \right) + \exp\left[\frac{ux}{2Dx} (1 - \sqrt{1+a}) \right] \text{erfc}\left(\frac{x-ut\sqrt{1+a}}{2\sqrt{Dx \cdot t}} \right) \right\} \dots \dots (22)$$

여기서 $a=4rDx/u^2$ 이다 Error Function

$$\text{Erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-\beta^2} d\beta \text{ 이고, } \text{Erfc}(x) = 1 - \text{Erf}(x) \text{이다.}$$

그림(4)와 같은 1차원 구형수로의 전 영역에 유속이 2m/sec로 분포되어 있고 상류 1-3 단면에 연속적

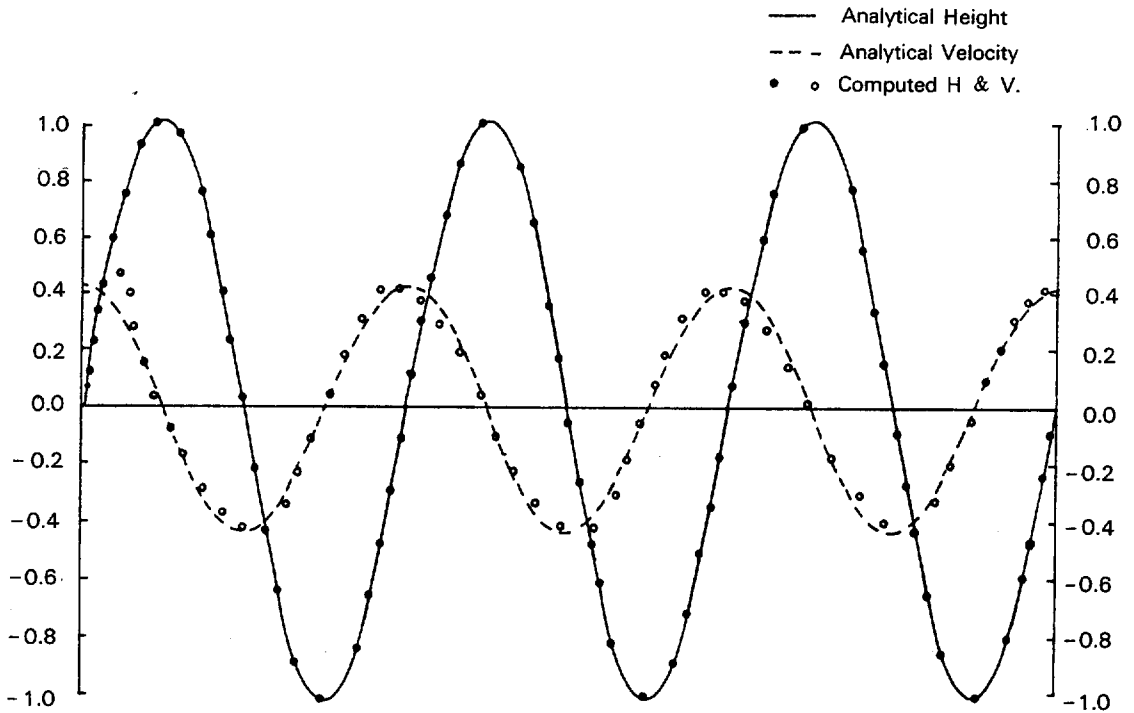


Fig. 3. Model Calibration

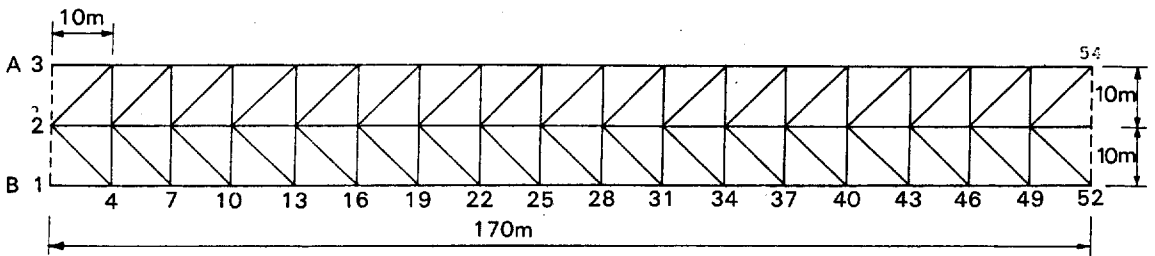


Fig. 4. Finite Element Representation for One Dimensional Problem

으로 C_{in} 의 농도가 주입되었을때 해석해인 식(22)의 해와 수치해를 비교하면 그림(5)와 같다. 그림에서 수치해는 해석해와 거의 일치됨을 알 수 있다.

이상의 결과에서 식(16), (17)로부터 유속과 수심을 구한 후 식(18)을 이용하여, 오염물의 확산이송을 해석할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 모형의 적용 및 결과분석

본 연구에서 유도된 모형은 삼교호에 적용하였다. 적용 대상수역은 예산군 삼교읍 두리에서 삼교 방조제까지 약 18km구간이다. 그림(6)은 수역을 209개의 삼각형 요소와 138개의 절점으로 분할한 것이다. 대

상수역의 하상단면자료는 “삼교천 수계 수해원인 및 항구대책 수립조사 보고서”의 “중형단측량 성과도를 이용하였다. 각 소구간의 평균 하상경사는 종단측량 자료를 이용하였고 Manning의 조도계수는 0.02를 취

하였다. 모의 시기는 연중 비교적 하천유량이 적고 수질이 악화된 갈수기인 5월과 6월을 선택하였으며 실측자료가 있는 1987년을 택하였고 유입량의 변화가 적으므로 정상상태 흐름으로 계산하였다.

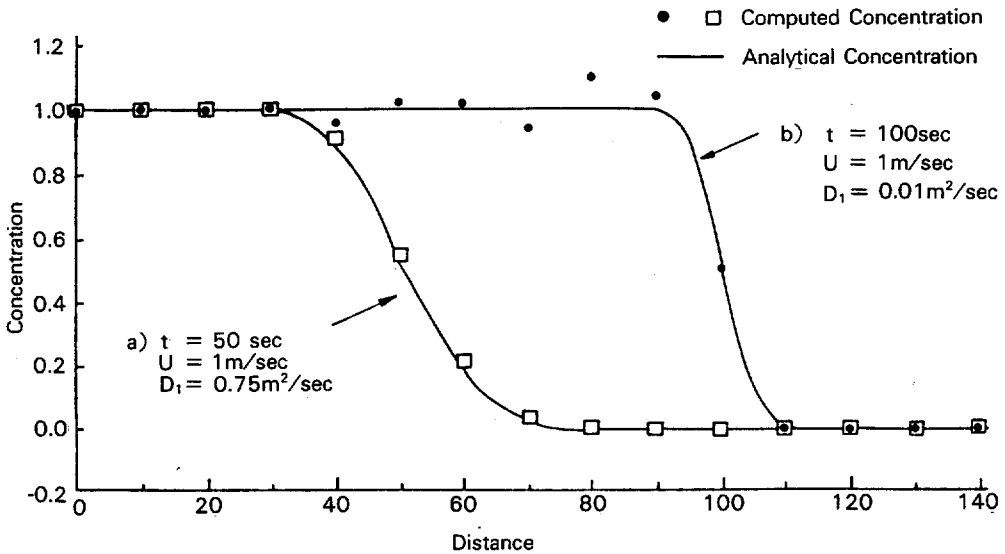


Fig. 5. Concentration Profiles Obtained by the Finite Element Method

삼교호는 비교적 수심이 깊지않아 수온 및 염분의 성층현상이 일어나지 않고있으며 평수시의 염분농도는 235-250 $\mu\text{hos/cm}$ 로 안정된 상태에 있다.

삼교호에 유입되는 각 지천 및 호수면의 수질은 표 1과 같다.^{8,9)} 호수면에는 선장, 대음, 운정등 대규모의 양수장이

표 1. 삼교호 및 지천의 수질

(단위 : mg/ℓ)

조 사 지 점	BOD			SS			T - N	T - P	COD	FLOW
	'87. 6	'81. 5	'81. 6	'87. 6	'87. 5	'81. 6	'87. 6	'87. 6	'87. 6	'87. 6
삼교천유입점	8.0	4.1	3.5	16.4	20	76	1.50	0.20	10.0	1.16
무한천유입점	8.5	6.5	3.7	20.8	54	87	1.62	0.17	11.4	1.26
곡교천유입점	10.6	10.7	2.6	14.4	24	136	1.01	0.22	13.6	1.68
배 수 갑 문	6.0	4.3	4.3	6.8	16	58	1.46	0.15	7.4	0.22
선 장 양 수 장	8.2	6.4	3.8	16.8	40	88	2.46	0.18	12.4	-1.60
대 음 양 수 장	6.1	4.7	3.4	14.0	30	89	1.46	0.16	8.0	-0.75
운 정 양 수 장	6.0	4.1	4.0	6.4	11	63	1.46	0.15	7.8	-16.7

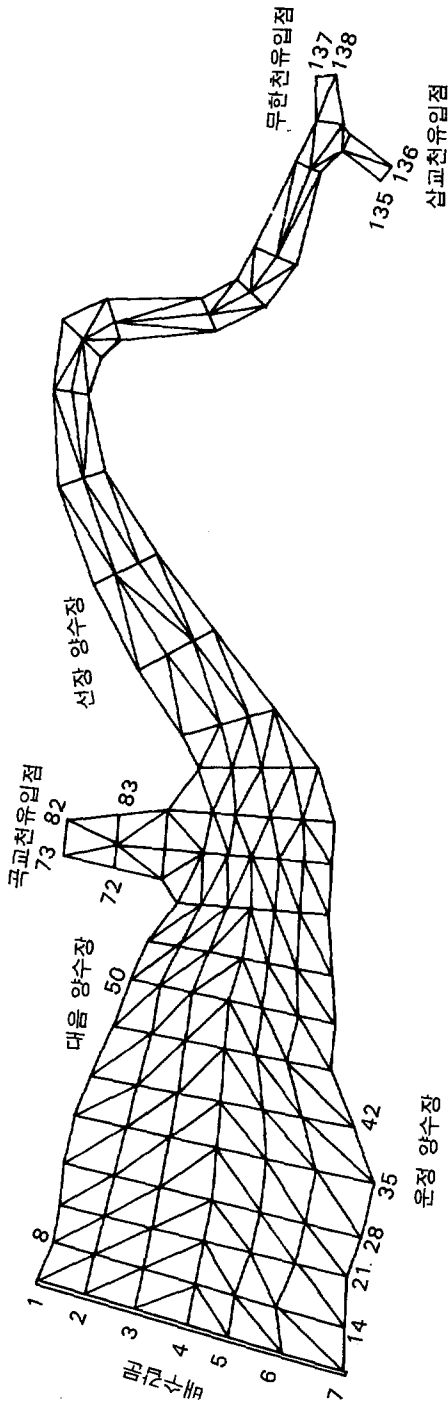


Fig. 6. Finite Element Network for Sapkyo Lake

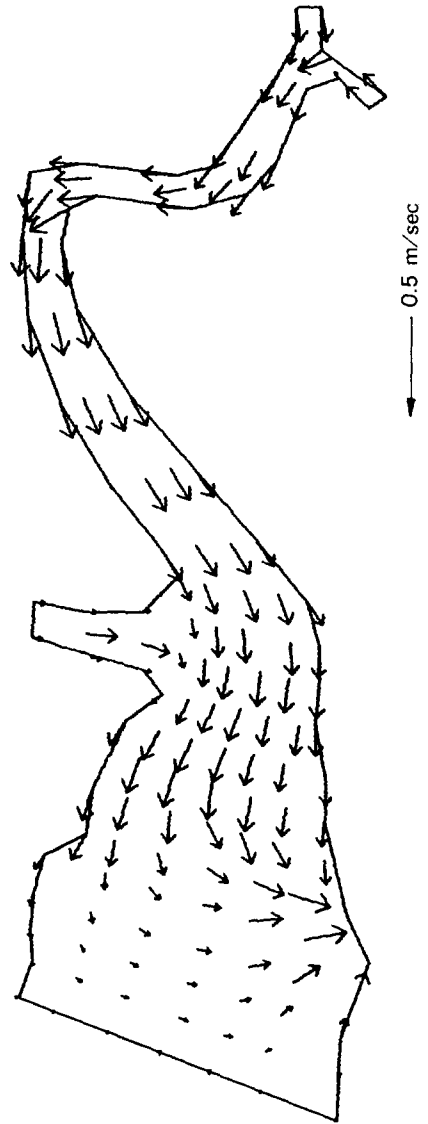


Fig. 7. Velocity Profiles in Steady State

있으며, 생활용수, 공업용수로서 갈수기에도 1일 480 00톤의 용수를 공급하고 있다. 유역내의 수질오염원은 표2와 같이 인구 572,000명, 산업시설 189업체, 소 70,000여마리, 돼지 110,000여마리 등에 의한 폐수와 호 주변의 양식장 폐수가 주종을 이룬다.

이상의 자료를 이용하여 흐름이 정상상태 일때의 유속분포를 그림(7)에 도시하였으며 COD, BOD, SS, T-N, T-P의 2차원 분포를 해석하였으며, BOD의 농도

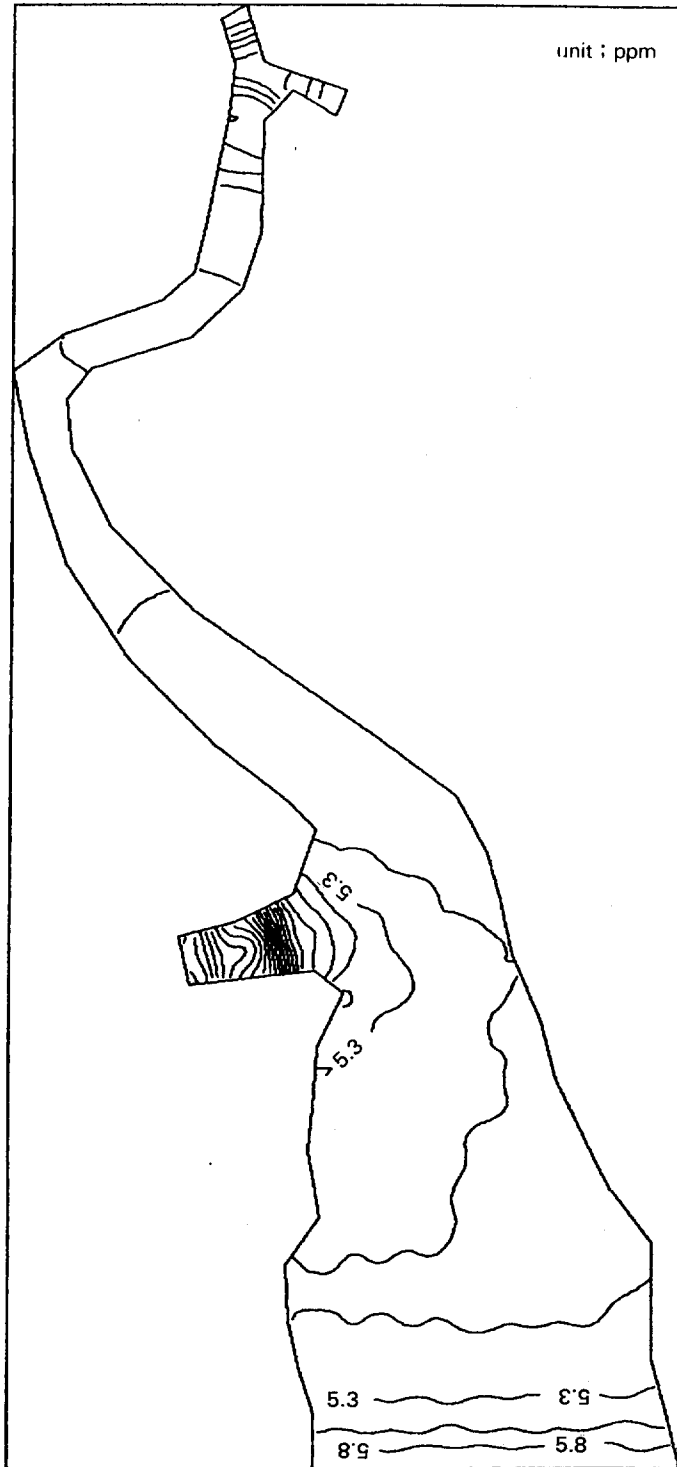


Fig. 8. BOD Concentrations in Steady State

분포를 그림(8)에 제시하였다. 모델링 결과, 계산치는 운정, 대음, 선장 양수장에서 실시 치와 비교하면 대체로 일치하는 경향을 보였다. 표1에서 삼교호의 1987년 수질은 1981년에 비해 매우 악화된 상태에 있다. 그림에서 대체로 하천 유입지점 부근에서의 수질이 특히 나쁜 상태에 있으며, 수질지표로 많이 사용되는 화학적 산소요구량(COD)을 기준으로 환경보전법의 호소 수질기준과 비교하면 대체적으로 호수 전역에 대하여 농업용수의 수질기준(8mg/l 이하)에도 미치지 못하는 수준이다. 총 질소(T-N)는 전 수역에 걸쳐 1.01-2.46ppm의 분포를 보이며, 부영양화 기준 0.5ppm을 크게 초과하고 있으며 농업용수의 기준(일본) 1ppm보다도 높다. 또 총 인(T-P)도 0.15-0.22ppm의 분포를 보여 부영양화 기준 0.04ppm의 50 배를 상회하고 있다.⁹⁾

삼교호의 수질오염 특히, 부영양화의 원인은 하천에서의 오염물질 과다유입, 갈수에 의한 체류시간 증대, 수온상승에 의한 조류 발생량의 증가 등이다. 삼교호의 1981, 1987년 실측자료로부터 T-P가 증가하면 조류의 발생이 증가하고⁹⁾ 그림(9)와 같이 COD가 증가하는 성향을 보이므로, COD를 모의하여 장래의

부영양상태를 예측할 수 있도록 하였다.¹⁰⁾

따라서 장래 오염물질 발생량을 예측하고, 표1, 표2로부터 유출율을 산정하여 본 모형을 적용하면 호수 전 영역에 걸친 2차원 수질을 해석할 수 있다.

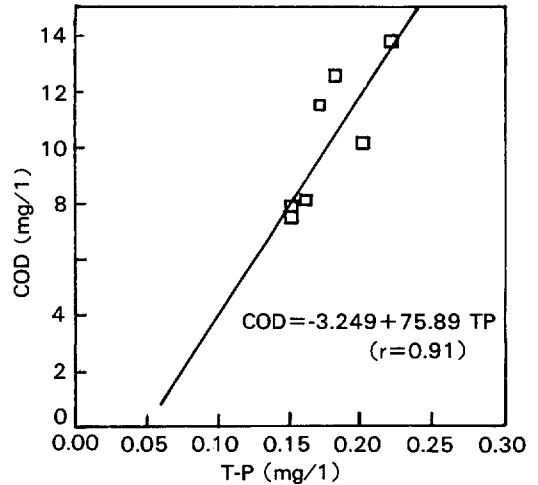


Fig. 9. Simple Correlation of COD and T-P

표 2. 오염원별 분포

행정구역	인구(인)	공업지역 (m ²)	축산(두)		논	비점원(ha)	
			소	돼지		밭	임야
천안시	130,648	720,604	2,698	1,810	1,426.5	1,714.9	4,324.5
온양시	58,511	171,353	849	2,558	1,309.0	150.0	2,402.0
예산군	126,084	18,463	23,395	28,694	12,972.0	5,883.0	28,785.7
아산군	86,485	411,196	19,171	22,694	11,615.0	1,330.0	25,634.6
홍성군	64,933	3,666	6,557	14,827	4,887.5	2,155.4	13,409.9
당진군	55,561	-	7,882	21,212	6,795.0	2,262.0	11,287.0
천원군	25,576	115,301	5,792	11,673	2,670.0	1,540.0	9,101.4
청양군	24,383	1,827	3,193	6,102	2,069.5	928.7	9,296.4
합 계	572,181	1,442,410	69,539	109,572	43,774.5	15,964.0	104,241.5

요 약

본 연구는 호소의 2차원 수질해석을 위해 흐름의 기본 방정식과 확산이송 방정식에 유한요소법을 도입하여 모의한 것으로, 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 단순화된 1차원 수로에서의 모형검정 결과 수치

해와 정확해가 거의 일치하므로 모형의 알고리즘이 잘 구성 되었음이 입증되며, 적용결과 실측치와의 비교에서도 만족할만한 결과가 도출되어 모형의 적용 가능성이 시사되었다.

2. 삼교호의 BOD, COD, T-N, T-P, 및 SS의 농도 분포가 2차원적으로 해석되었다.

3. 비점오염원의 비중이 높아 오염부하량 산정이 어려운 T-N, T-P를 사용하지 않고 COD를 모의 하므로서 부영양상태를 예측할 수 있도록 하였다.

본 연구결과는 하구언 및 방조제 등으로 인한 호수와 같이 수심에 비해 폭이 넓은 자연수역의 수질 해석에 적용될 수 있으며 이를 활용하므로써 용수취수지점의 선택, 하천 방류수의 처리기준 선정등, 수자원의 효율적인 이용 관리와 수질 대책 수립에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 신용배외, (1984) : 대기수질 환경관리 전산모델 연구(2차), 한국과학기술원, BS E615(2)-2134-6.
2. 신용배외, (1985) : 수계별 수질예측 수치모델의 개발(1), 한국과학기술원, BS K-68-2210-6.
3. 환경청, (1986) : 서남해권 환경보전 종합계획사업 수질부문 보고서.
4. Kawahara, M., Nakazwa, S., Ohmori, S., and Tagaki, T. (1980) : Two-Step Explicit Finite Element Methods for Storm Surge Propagation Analysis, *Int. J. for Numerical Method in Engineering*, **15**, pp 1129-1148.
5. Loziuk, L.A., Anderson, J.C., and Belytscho, T. (1972) : Hydrothermal Analysis by Finite Element Method, *J. of Hyd. Div. ASCE*, **98**, No. HY11, Nov., 1983-1988.
6. Zienkiewicz, O.C. (1977) : The Finite Element Method, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co.
7. 대전지방 국토관리청, (1981) : 삼교천 수계 수해 원인 및 항구대책 수립 조사 보고서.
8. 농업진흥공사, (1981) : 삼교호 유역 수질오염 조사 보고서.
9. 농업진흥공사, (1987) : '87 농업용수 수질오염 조사 보고서.
10. Kuo, J.T., Thomann, R.V. (1982) : Phytoplankton Modeling in the Embayments of Lakes, *J. of Environmental Engineering*, **109**, 1311-1332.