

대청호내 흐름 및 유입 부유사 확산 모델링

정태성⁽¹⁾, 황정화⁽²⁾

Modeling of Water Circulation and Suspended Sediment Transport in Lake Daecheong

by

Tae Sung Jung⁽¹⁾ and Jung Hwa Hwang⁽²⁾

요 약

해양, 하천, 호수 등에서 퇴적물 수송과정을 모의할 수 있는 2차원 모형을 수립하였으며, 홍수시 대청호로 유입되는 입자성 오염물질의 이동경로를 파악하기 위하여 부유퇴적물 이동-확산 모델링을 시도하였다. 또한, 복잡한 지형을 가진 대청호의 흐름특성을 파악하고, 퇴적물 수송모형의 입력자료로 이용하기 위하여 2차원 흐름모델링을 수행하였다. 홍수시 모의된 수위변화는 관측결과와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 평상시는 유속이 5 cm/sec 이하였으나, 최대유량이 3,852 CMS에 달하는 홍수시 대청호 유입수로에서 최강유속은 최대 약 120 cm/sec까지 증가하였다. 대청호로 유입되는 세립질 부유사는 홍수시는 대청댐까지 강한 유속에 의해 도달하나 유속이 약한 평상시에는 대청댐까지 도달하지 못하고 대부분 유입수로에 침전하였다. 모의결과는 대청호 수질관리대책을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract

A 2-dimensional hydrodynamic model has been applied to understand water circulation pattern in Lake Deacheong. The simulation results have been used in sediment transport modeling. A sediment transport model using a particle tracking method has been developed to simulate sediment transport in the ocean, river and reservoir. The model was applied to estimate transport track of particulate pollutants in the lake. The hydrodynamic model was verified for water level variations and showed good agreements. Through the results we found out that water velocity is less than 5 cm/sec for mean yearly flow and more than 120 cm/sec at some points for the simulated flood flow. The incoming sediment particles in flood season reached into the Daecheong Dam. But the incoming sediment particles in the mean flow were settled down at riverbed and didn't move into the dam. These results can be used in setting up water quality management plan in the lake.

Keywords: 대청호, 부유사 확산, 입자추적, Suspended Sediment, Particle-tracking method.

(1) 정희원, 한남대학교

(2) 한남대학교

1. 서 론

연안해역에서 퇴적물의 침식 및 퇴적, 항만 및 항로의 매몰, 저수지 퇴사, 하천 하상의 침식 및 퇴적, 높은 탁도 발생에 의한 생태계의 교란, 부유사에 흡착되어 함께 이동하는 오염물질의 이송-확산 등의 현상을 규명하고 예측하기 위하여 퇴적물 수송에 관한 연구가 널리 진행되어 왔다. 특히, 세립 퇴적물은 점착성으로 인하여 침식, 퇴적, 응집, 침강 등의 과정이 매우 복잡하며, 그 수송과정을 정확히 이해하기 어렵다. 연안해역, 저수지 등에서 발생하는 수질오염은 오염물을 흡착한 퇴적물의 수송과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 개발로 인한 퇴적 및 침식환경 변화가 곳곳에서 발생함에 따라 퇴적물 수송 현상에 관한 연구의 중요성은 점점 증가하고 있는 실정이다. 특히 퇴적물 수송과정을 모의할 수 있는 수치모형의 개발과 퇴적물의 응집, 침전, 침식, 압밀 등의 과정을 정확히 이해하기 위한 현장조사 및 실험에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다 (Mehta[1993]).

대청호는 대전 및 충청지역에 생활용수와 공업용수를 공급하는 중요한 수자원이다. 매년 수질오염 특히 부영양화 문제로 고통을 받고 있으며, 이에 따른 조류의 과잉 발생으로 수돗물에서 냄새가 유발되는 등 상수원에 대한 불신이 높아지고 있는 실정이다. 이러한 대청호의 수질악화 원인은 대청호 상류지역의 각종 오염원으로부터 배출되는 오염물질이 미처리 상태로 대청호에 홍수시 다량으로 유입되기 때문이다. 특히 상류에서 입자성 형태로 유입되는 영양염류와 유입 후 대청호 바닥에 퇴적되어 영양염류를 용출하는 퇴적물이 주요 원인인 것으로 알려져 있다 (이와 이[2000], 서[1997]). 따라서 대청호의 수질 관리를 위해서는 유역 및 수계에서 물의 순환과정과 오염물질의 이동과정을 바르게 이해하여야 한다. 대청호는 복잡한 육지경계선 및 수심분포를 가지고 있으며, 저수지내 흐름현상에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 저수지내 흐름현상에 대한 이해부족은 정확하게 수질변화의 원인과 결과를 규명하는 데 있어서 장애요인으로 작용하여 왔다. 이에 따라 최근에 대청호 흐름에 대한 연구가 시도되고 있다. 이와 이[2001]과 한국수자원공사[2000]는 유속분포를 관측한 바 있으며, 이와 이[2002]는 직사각형 격자를 사용하는 유한

차분모형을 사용하여 대청호 흐름에 대한 모의를 시도한 바 있다. 그러나 현장조사는 관측점수의 부족 및 홍수기간이 제외된 관측으로 인하여 호소내 흐름을 정확히 파악하지 못하였으며, 사용한 유한차분모형은 직사각형 격자를 사용함으로써 인하여 대청호의 복잡한 육지경계를 정확히 표현하지 못 하였다. 특히, 홍수시 흐름분포에 대한 조사는 악기상으로 인한 관측 어려움으로 인하여 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 홍수시 대청호로 유입되는 오염물질의 이동과정을 규명하고, 대청호내 흐름을 이해하기 위해 대청호 흐름에 대해 수치모의하였다.

홍수시 유입된 부유 퇴적물 중 입자크기가 커서 무거운 조립퇴적물은 인근 하천에 바로 침강되지만 입자크기가 작은 세립퇴적물은 멀리까지 이송-확산한다. 특히, 세립퇴적물은 스스로 탁도를 발생시킬 뿐만 아니라 점착성을 가지고 있어 각종 오염물질을 부착하고 이동하므로 환경적인 관점에서 매우 중요하다. 따라서 세립퇴적물에 흡착되어 이동하는 오염물질 이동-확산, 퇴적물의 침식 및 퇴적 문제, 이로 인한 부영양화 문제와 관련하여 부유 세립퇴적물의 이송-확산에 관한 연구가 널리 진행되어 왔다(Chroneer et al.[1995]). 윤[1982]은 2차원 부유사모형을 사용하여 부산항에서 조류에 의한 부유사 확산을 모의하였고, 이와 이[1984]는 연직 2차원 모형을 도입하여 하구언에서 조류의 시간변화에 따른 농도변화를 모의하였다. 강과 카알지글러[1989]과 염[1988]은 2차원 부유사 모형을 사용하여 각각 하구언과 연근해역에서 부유사 확산을 모의하였다. 김과 이[1993]과 신[1996]은 3차원 모형을 이용하여 부유사 확산과정을 모의하였다. 그러나, 위에서 언급한 모형들은 Eulerian 모형으로 농도가 급격히 변하는 부분에서 수치분산과 불안정이 발생하고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 최근에는 수치분산을 저감하기 위한 Lagrangian 모형이 널리 개발되고 있다. 특히 대표적인 Lagrangian 모형인 입자추적모형은 이송-확산방정식의 이송항 차분화과정에서 발생하는 수치분산을 저감할 수 있어 부유사 확산문제 해석에 널리 사용되고 있다. 이와 김[1995]은 2차원 입자추적모형을 개발하고 해석해와 비교검증하였고, 서[1996]는 Lagrangian 방법인 입자추적모형과 Eulerian 방법인 유한요소법을 결합한 Eulerian-Lagrangian 모형을 수립하여 부유사

확산을 모의한 바 있다. 부유사 확산에 관한 국내의 연구동향은 Metha[1993], 이와 이[1998]에 잘 고찰되어 있다.

본 연구에서는 복잡한 대청호내 홍수시 흐름 특성을 파악하기 위한 기초연구로 복잡한 지형을 잘 고려할 수 있는 2차원 유한요소모형을 수립하여 적용하였으며, 수치불안정을 저감할 수 있는 입자추적 퇴적물 수송 확산모형을 수립하여 해석해와 검증한 후에 홍수시와 평상시 부유상태로 대청호로 유입되는 세립 및 조립 부유사의 이동경로를 모의하였다. 본 연구에서 개발된 퇴적물 수송모형은 연안해역, 하천, 저수지 등에서 부유사 확산, 퇴적물의 퇴적 과정을 모의하는데 널리 활용될 수 있다.

2. 저수지 흐름 및 부유사 확산모형

2.1 흐름모형

본 연구에서 사용한 2차원 흐름모형의 지배방정식과 수치해석방법은 다음과 같다. Boussinesq 근사와 정수압 가정에 유도된 직교좌표계에서 2차원 연속방정식과 운동량방정식을 Galerkin의 유한요소법(Chung[1978])을 사용하여 해석한다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{\partial(UUH)}{\partial x} + \frac{\partial(UVH)}{\partial y} + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - F_x \\ = \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VH}{\partial t} + \frac{\partial(UVH)}{\partial x} + \frac{\partial(VVH)}{\partial y} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - F_y \\ = \frac{\tau_{sy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, t 는 시간, η 는 자유수면변위, H 는 총수심, U, V 는 x, y 방향의 수심평균유속, F_x, F_y 는 각각 x, y 방향의 수평확산항이다.

상기 식들을 삼각형 요소를 사용하는 유한요소법에 의하여 수치적분한 후에 양해법으로 계산하였다(정[1998]).

2.2 부유사 확산모형

본 연구에서는 수심적분된 2차원 부유사 확산방정식을 지배방정식으로 하는 입자추적 수치모형을 수립하였다. 수심적분된 2차원 물질 이송-확산방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Hc}{\partial t} + \frac{\partial UHc}{\partial x} + \frac{\partial VHc}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial x} (HD_{xx} \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x} (HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial y}) \\ + \frac{\partial}{\partial y} (HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (HD_{yy} \frac{\partial c}{\partial y}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, c 는 농도, D_{xx}, D_{xy}, D_{yy} 는 확산계수이다.

위식의 양변에 아래와 같은 항을 양변에 더하여 정리한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial(D_{xx}H)}{\partial x} c \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial(D_{xy}H)}{\partial y} c \right] \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial(D_{xy}H)}{\partial x} c \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial(D_{yy}H)}{\partial y} c \right] \end{aligned} \quad (5)$$

식(4)의 양변에 (5)를 더하여 정리하고, source 항을 고려하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (C) + \frac{\partial}{\partial x} (U_1 C) + \frac{\partial}{\partial y} (V_1 C) = \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D_{xx} C) + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (D_{xy} C) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (D_{yy} C) \\ + Q_s + Q_{sb} \end{aligned} \quad (6)$$

$$U_1 = U + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \quad (7)$$

$$V_1 = V + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{yy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \quad (8)$$

여기서, C 는 수심적분농도, Q_s 는 단위시간당 부유사 발생량, Q_{sb} 는 바닥 경계층을 통한 퇴적물 수송량으로 $E - D$, E 는 침식량, D 는 퇴적량이다.

$\vec{X} = \vec{X}(t)$ 에 있는 부유입자는 확정론적인 부분인 이송과정과 불규칙하게 움직이는 확산과정에 따라 Δt 시간 후 위치 $\vec{X}(t + \Delta t)$ 는 다음과 같다.

$$\vec{X}(t + \Delta t) = \vec{X}(t) + \vec{V}\Delta t + \vec{d} \quad (9)$$

\vec{d} 는 분산에 의한 이동으로 i 방향 성분은 다음과 같다.

$$d_i = v_i \Delta t = \sqrt{2D_i / \Delta t} \cdot RAN \cdot \Delta t \quad (10)$$

여기서, v_i 는 i 방향 분산속도, D_i 는 i 방향 분산계수, RAN은 평균치 0, 분산 1인 정규분포를 만족하는 -1과 1사이에서 변하는 난수이다.

Elder[1959]에 의하면, 종방향 확산계수 D_L 은 다음과 같다.

$$D_L = 5.93H U_* \quad (11)$$

여기서, U_* 는 마찰속도로 다음과 같다.

$$U_* = \frac{\sqrt{g}}{C} \sqrt{U^2 + V^2} \quad (12)$$

여기서, C 는 Chezy의 마찰계수 ($= \frac{1}{n} H^{\frac{1}{6}}$), n 은 Manning 조도계수이다.

횡방향 확산계수는 다음과 같다(Fischer et al.[1979]).

$$D_T = 0.15HU_* \quad (13)$$

흐름 종방향 분산속도 v_L 과 횡방향 분산속도 v_T 는 다음과 같다.

$$v_L = \sqrt{2D_L / \Delta t} \cdot RAN \quad (14)$$

$$v_T = \sqrt{2D_T / \Delta t} \cdot RAN \quad (15)$$

분산속도의 x , y 방향 성분 v_x 와 v_y 는 다음과 같다.

$$v_x = v_L \cos \theta - v_T \sin \theta \quad (16)$$

$$v_y = v_L \sin \theta + v_T \cos \theta \quad (17)$$

여기서, $\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$ 이다.

분산속도와 이송속도를 이용해서 각 부유사입자의 새로운 위치를 식(9)로부터 계산한다. 이송속도를 구하기 위해서는 현재 위치에서 유속, 수심이 필요하다. 모형에서 계산된 결과는 삼각형 유한요소의 꼭지점에서 존재하므로 이를 다음과 같이 보간하여 입자의 현재 위치에서 값 Z 를 계산하였다.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{Z_i}{r_i^\beta}}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{r_i^\beta}} \quad (18)$$

$$r_i = \sqrt{d_i^2 + \delta^2} \quad (19)$$

여기서, Z_i = 삼각형 격자의 절점에서 값, r_i = 현재 위치와 유한요소내 삼각형 절점사이의 유효거리, d_i = 현재 위치와 유한요소내 삼각형 절점사이의 거리, β = 가중값, δ = 평활값이다.

Cheng[1997]은 Stokes의 침강속도 식을 개선하여 세립퇴적물과 조립퇴적물을 포함하는 자연상태 퇴적물에 대하여 검증한 결과로부터 퇴적물의 침강속도 w_s 는 Reynolds 수와 무차원 입자변수 사이의 관계가 있음을 밝히고, 다음 식을 제안하였다.

$$w_s = \frac{\nu}{d} [\sqrt{25 + 1.2d_*^2} - 5]^{1.5} \quad (20)$$

여기서, ν = 물의 동점성계수, d = 퇴적물 입자의 직경, d_* = 퇴적물 입자의 입자변수($= d[(s-1)g/\nu^2]^{1/3}$), s = 퇴적물의 비중이다.

세립퇴적물의 침강에 의한 퇴적률 D 는 다음과 같다(Ariathurai and Krone[1976]).

$$D = Pw_s C \quad (21)$$

P 는 퇴적확률로 바닥 마찰응력이 퇴적한계전단응력 τ_{cd} 보다 적은 경우에 발생한다.

대청호내 흐름 및 유입 부유사 확산 모델링

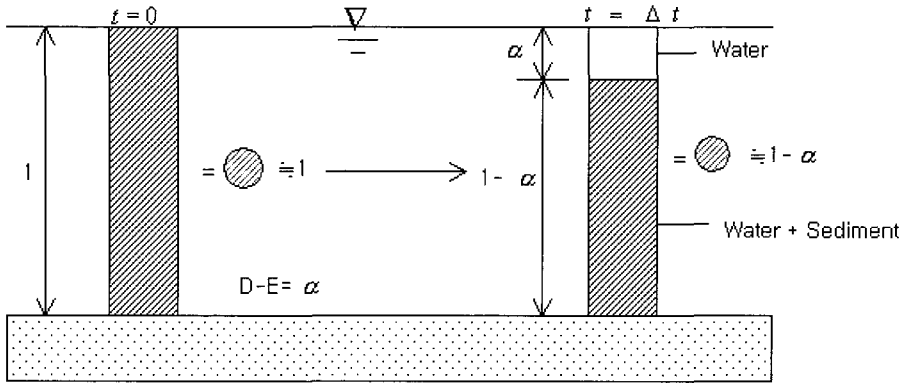


Fig. 1 Schematic diagram of deposition modeling.

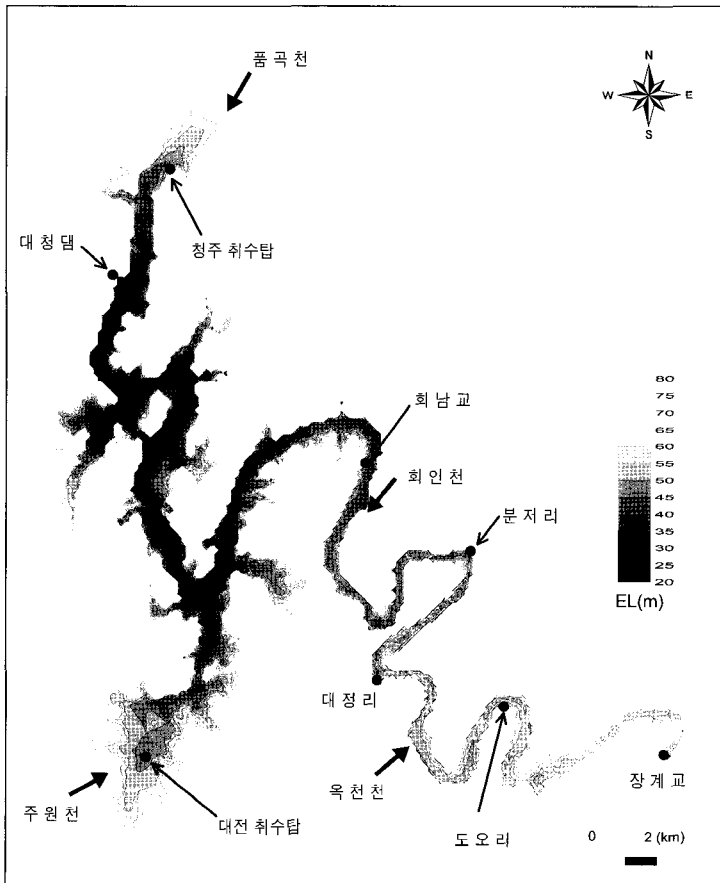


Fig. 2 Complex bathymetry and topography of Lake Daecheong.

$$P = 1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}} \quad (22)$$

퇴적현상의 모의를 위해 원래의 입자질량을 1이라하고 유속이 퇴적한계속도보다 작은 경우는 침강되어 그 질량이 감소한다고 생각하고 계산하였다. 즉 입자가 전체수심에 분포된다고 가정하고 흐름에 의한 전단응력이 한계전단응력보다 작아 침강이 발생하는 경우에 계산 시간간격 Δt 동안 물속에 있는 퇴적물의 $100 \times a\%$ 가 바닥으로 침강하면, 정의된 입자의 질량이 $100 \times a\%$ 감소한다고 정의하였다(Fig. 1).

3. 모형의 검증

3.1 흐름모형의 검증

Fig. 2와 같은 복잡한 지형과 수심(한국수자원공사[1991])을 가지고 있는 대청호내 흐름현상에 대한 유한요소모형의 적용을 위해 Fig. 3과 같은 삼각형 유한요소 격자망을 구성하였다. 구성된 격자의 최소길이는 65 m, 최대길이는 394 m이다. 모형의 입력자료와 검증자료로 사용한 수위 자료의 관측위치는 Fig. 3에 표시된 정점에서 2001년 6월 27일부터 7월26일까지 약 28일간 관

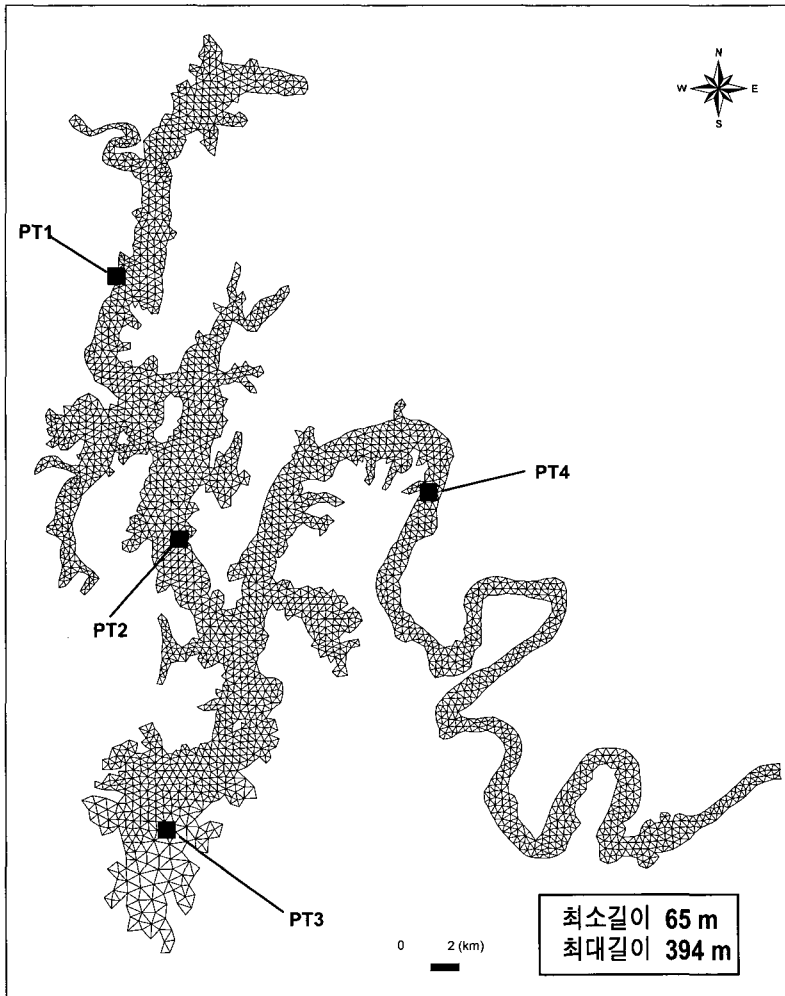


Fig. 3 Finite element grid system for numerical modeling.

대청호내 흐름 및 유입 부유사 확산 모델링

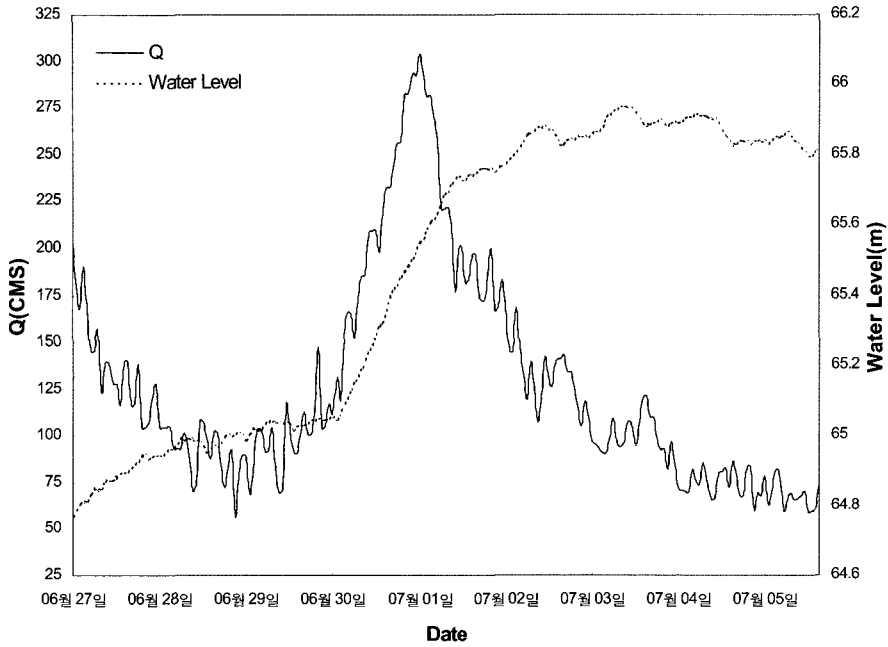


Fig. 4 Boundary conditions for numerical modeling.

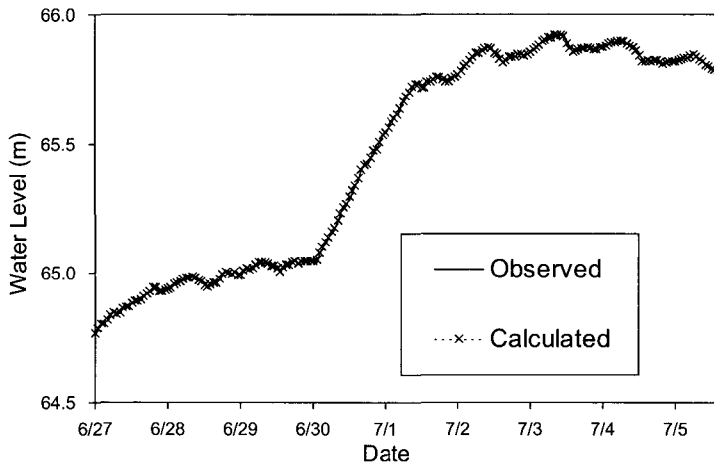


Fig. 5 Comparison of water level change at PT2.

측결과(한국수자원공사[2001]) 중 9일간의 대청
 댐 전면 수위자료와 본류 유입량을 모형 입력조
 건으로 6월 27일에서 7월5일까지 PT2와 PT3에
 서 수위관측 자료를 모형 검증자료로 사용하였
 다. 하류단 경계조건으로 사용한 PT1에서 수위

변화와 댐 상류인 장계교에서 본류 유입량은
 Fig. 4와 같다. 6월 30일 ~ 7월1일 강우시 유입
 량이 약 300 CMS로 증가함에 따라 저수지 수위
 도 약 1 m 증가하였다. 정점 PT2에서 관측치와
 계산치 수위를 비교한 결과 거의 일치하는 양호

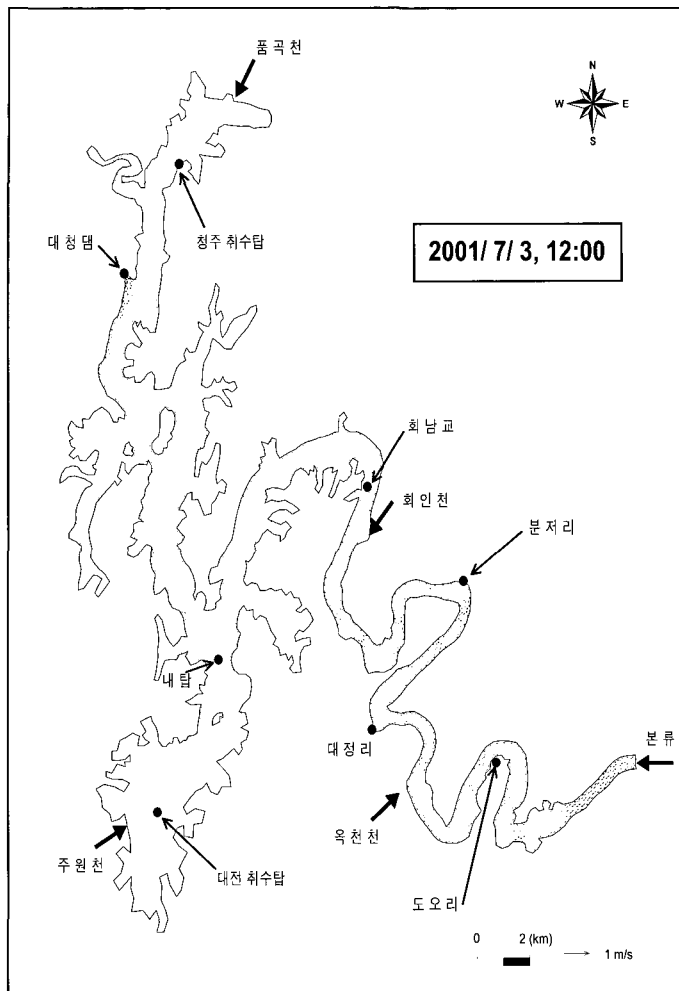


Fig. 6 Velocity distribution calculated by numerical model for model verification.

한 결과를 보였다(Fig. 5). 7월3일 12시 유속분포는 Fig. 6과 같다. 유속은 최대 10 cm/sec로 하폭이 작은 상류에서 크고, 수로폭이 커지는 하류부에서 유속은 최대 4 cm/sec였다.

3.2 부유사 확산모형의 검증

입자추적 모형의 정확성을 평가하기 위하여 2차원 영역에 대해 2차원 이송-확산을 모의하고, 해석해와 비교하였다. 연직방향으로 일정한 농도를 갖는 선오염원이 순간적으로 유입된 경우에 대한 2차원 이송-확산방정식의 해석해는 다음과

같다(Fischer et al.[1979]).

$$C(x, y, t) = \frac{M}{4\pi Dt} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2 + (y-Vt)^2}{4Dt}\right] \quad (23)$$

여기서, D = 확산계수이다.

유속은 0.1 m/sec이며, 확산계수가 1.0 m²/sec로 이송이 우세한 경우(Fig. 7)와 확산계수가 5.0 m²/sec로 확산이 큰 경우(Fig. 8)에 대해 검증한 결과, 모두 해석해와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 모의시 방출입자수는 10,000개, 계산

대전호내 흐름 및 유입 부유사 확산 모델링

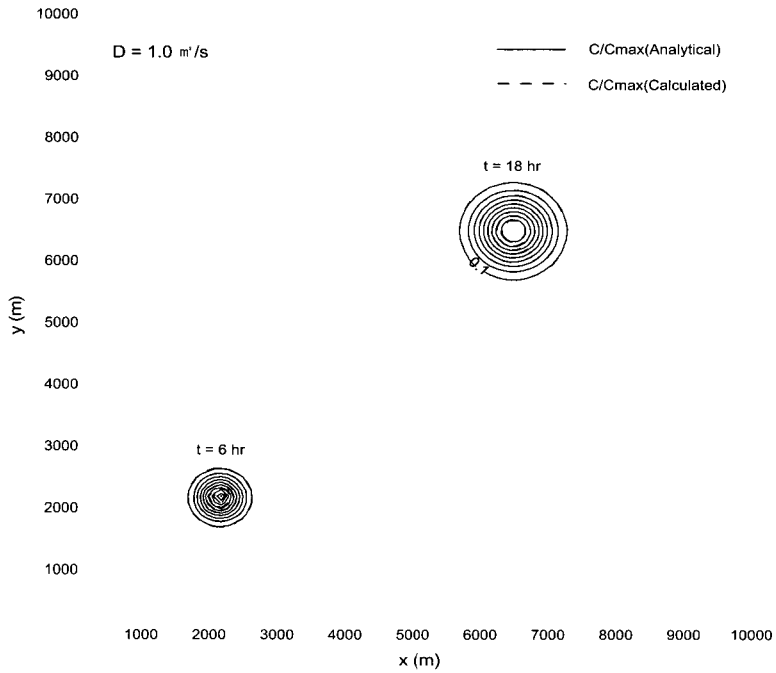


Fig. 7 Verification of particle-tracking model in advection-dominated flow.

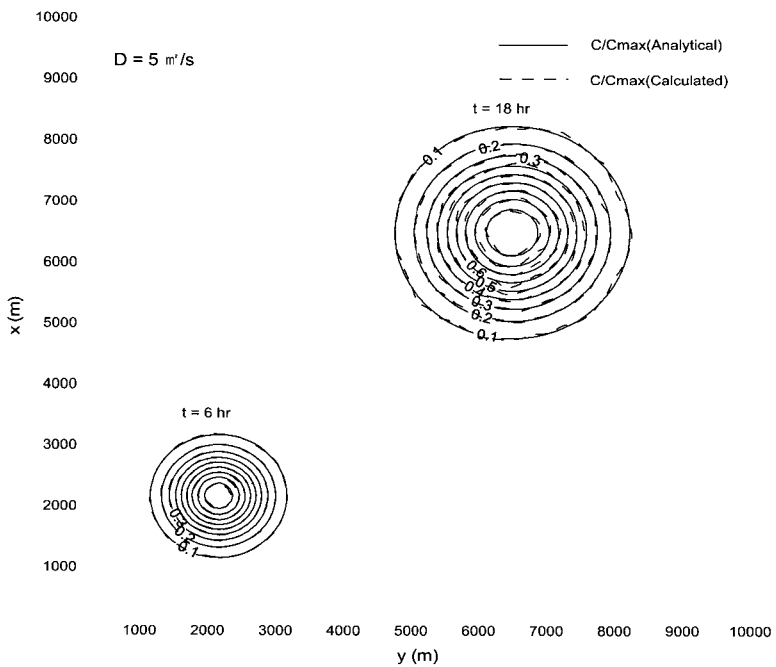


Fig. 8 Verification of particle-tracking model in diffusion-dominated flow.

Table 1 Result of sediment field observation.

일시	장소	입경[$d_{50}(\mu\text{m})$]	농도(mg/l)	일강우량(mm)
2002.6.28	회남교	57.3	1.4	0
	장계교	27.2	4.5	
2002.7.6	회남교	27.1	3.1	12
	도오리	14.2	2.0	
2002.8.6	장계교	27.8	13.4	65
	회남교	258.0	120.6	
	도오리	246.3	143.1	
	장계교	299.0	87.3	

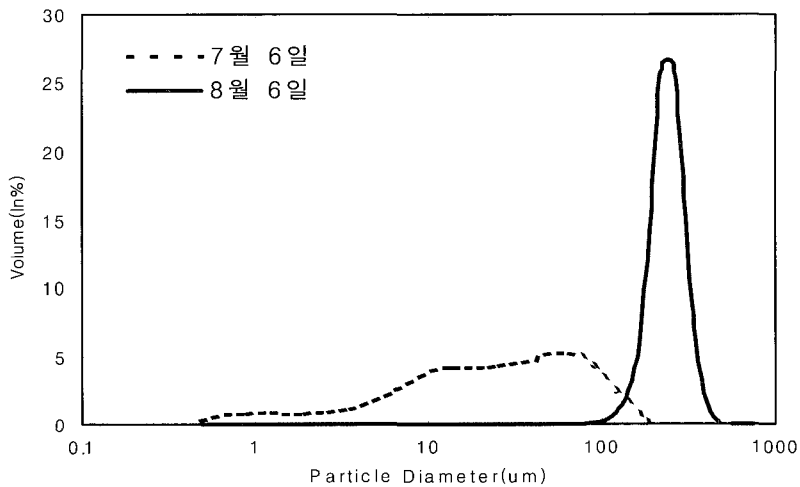


Fig. 9 Observed particle size distribution.

격자간격은 200 m이다.

4. 유입 부유사의 입도분포 관측

대청호로 유입되는 부유토사의 입도분포와 농도를 알기 위하여 Fig. 3 에 표시된 위치에서 현장 조사를 실시하였다(Table 1). 현장에서 시료를 물병에 채수한 후에 실험실에서 레이저 입도분석기(Particle Size Analyzer Mastersizer, Malvern Instruments Ltd)를 이용하여 분석하였다.

회남교에서 채수된 부유사의 입도분포(Fig. 9)

를 보면, 비강우시는 대부분의 입자가 100 μm 이하의 크기였으나 강우시는 수백 μm 크기로 물속에 존재하는 부유퇴적물의 크기가 증가하였다. 홍수시는 평상시 유입하는 작은 입경의 세립퇴적물과 함께 강우시 발생하는 지표수 흐름에 의해 지표에 있던 입경이 큰 퇴적물이 하천으로 유입함을 확인할 수 있었다. 전반적으로 강우량이 적은 경우는 강우량이 증가함에 따라 부유사 입경크기와 농도가 크게 증가하였으나, 강우량이 많은 경우는 항상 그렇지 않았다. 전반적으로 강우가 적거나 없는 경우는 상류에서는 농도가 높고 하류로 갈수록 감소하였다. 회남교에서 농

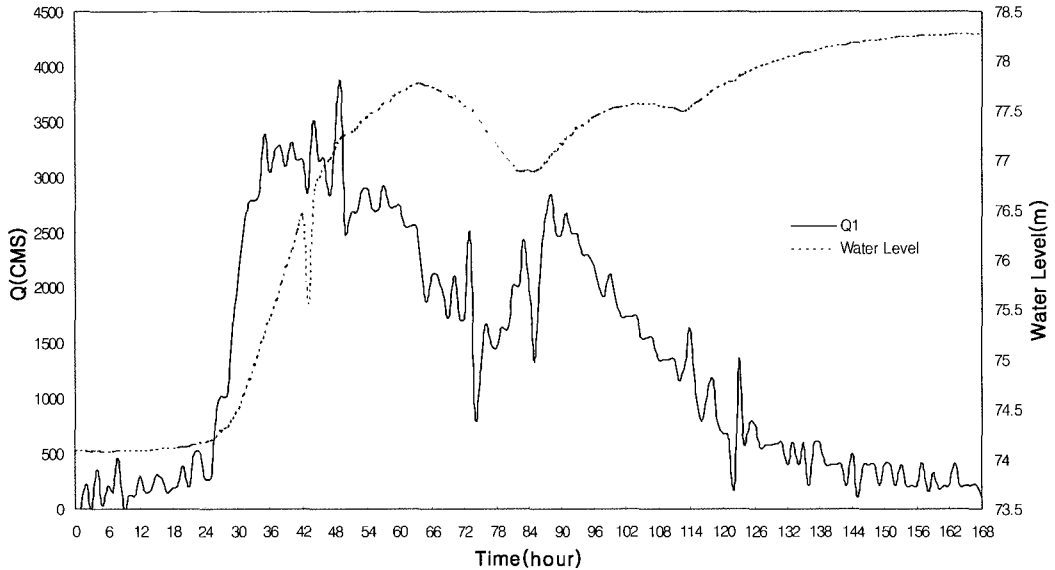


Fig. 10 Boundary conditions for Flood modeling(2000.9).

도가 높아지는 이유는 회인천을 통해 새로운 부유사가 유입되기 때문으로 생각된다.

5. 홍수사상에 대한 모형의 적용

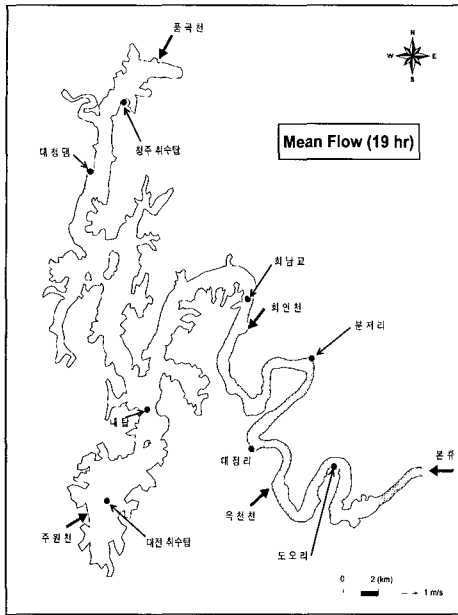
5.1 흐름 모의

홍수사상에 대한 모의는 2000년 9월 13일부터 19일까지 총 7일간에 대해 모형을 적용하였다. 상류단의 하천본류에서는 유입량의 시간변화를, 하류단(대청댐)에서는 수위를 경계조건으로 지정하였다. 모형입력자료로 이용된 유입량과 대청댐 수위변화(한국수자원공사[2000b])는 Fig. 10과 같다. 홍수 발생전에는 유속이 10 cm/sec 미만이 었다(Fig. 11). 그러나 3,852 CMS에 달하는 최대 유량 유입시인 49시에 대한 계산결과는 유속이 국부적으로 최대 120 cm/sec까지 증가하였다(Fig. 11). 모의결과 중 특이사항은 본류로 유입된 하천수가 주로 주수로틀 통해 흐르며, 본류와 연결되어 있는 대전취수탑이 위치해 있는 수역으로는 거의 흘러들어 가지 않았다. 대전취수탑 부근에는 홍수시에도 약한 유속장이 형성되며, 이는 이 지역으로 유입된 오염물질이 정체된 흐름현상으로 인하여 이송-확산되지 못하고 장기간 잔류하는 원인이 될 수 있다. 이는 홍수기 후

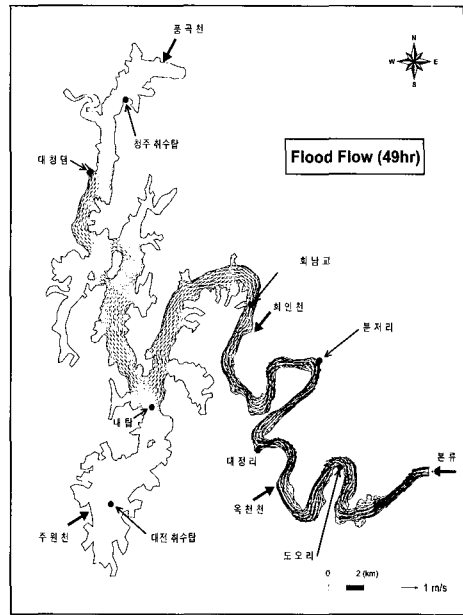
대전취수탑 주위에 종종 발생하는 녹조현상과 무관하지 않다.

5.2 부유사 확산 모의

2000년 9월 홍수시(Fig. 10)의 34시부터 49시까지 총 900개의 퇴적물 입자를 장계교 직하류에 투하한 후 본류를 따른 부유토사의 수송과 퇴적 과정을 모의하였다. 모의시 사용한 퇴적물 입자의 크기는 20 μm , 200 μm 이다. 입경이 20 μm 인 퇴적물에 대한 홍수시 계산결과(Fig. 12)는 입자 방출 1일후 공간분포가 회남교 서측까지 입자가 수송된 모습을 보였으며, 작은 침강속도로 침강이 거의 발생되지 않아 원래 입자크기를 그대로 유지되는 모습을 보였다. 그러나 7일후는 대부분 입자가 호소내에 침전하여 수중에 일부만이 존재하는 모습을 보였으며, 수중에 존재하는 입자의 양도 원래 질량의 20% 미만으로 유입시 질량의 80%가 침전으로 상실하였다. 30일후는 모든 입자가 대청댐 바닥에 퇴적하였다. 입경이 200 μm 로 큰 입자는 1일후 공간분포 대부분 입자가 하천바닥에 침강하여, 수중에는 퇴적물이 거의 존재하지 않았다. 입자크기별 호소 바닥에 퇴적되는 양상은 모의 30일후 20 μm 입자는 분

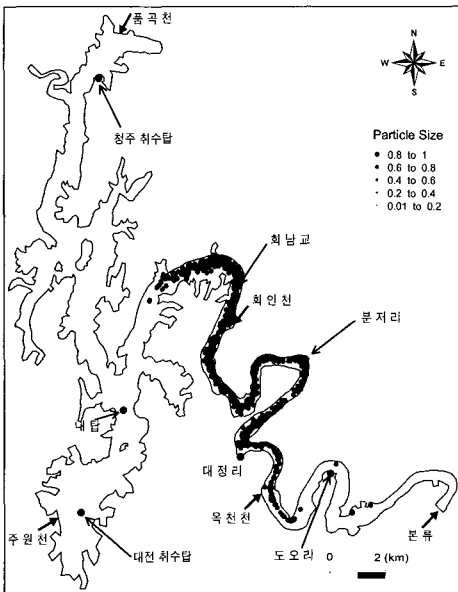


(a) Yearly-averaged flow

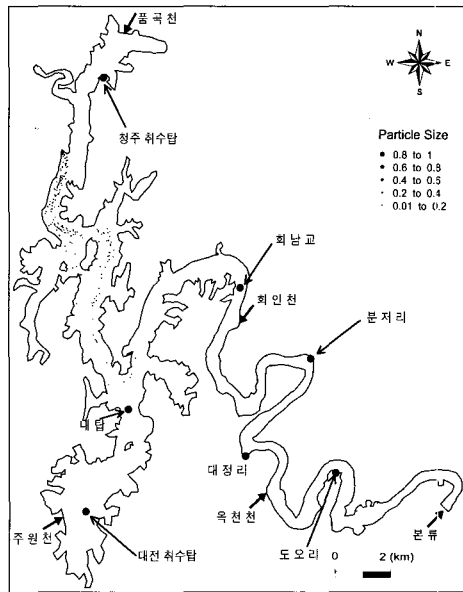


(b) Flood flow

Fig. 11 Velocity distributions calculated by numerical model.

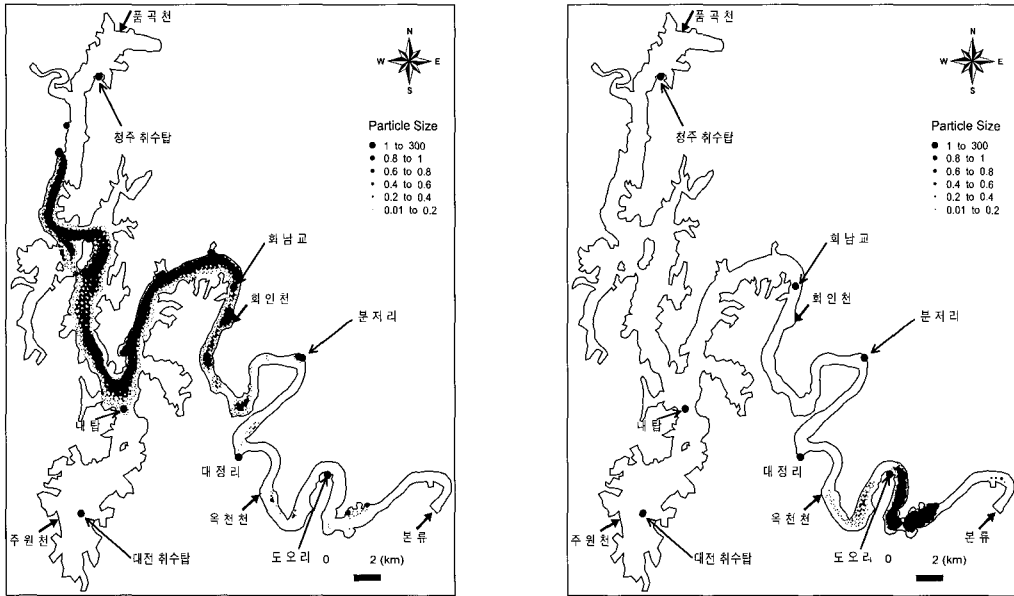


(a) 20 μm (after 1 day)



(b) 20 μm (after 1 week)

Fig. 12 Distributions of simulated suspended sediment particles in flood flow.



(a) 20 μm (after 30 days)

(b) 200 μm (after 1 week)

Fig. 13 Distributions of deposited sediment particles in flood flow.

저리부터 서서히 퇴적되기 시작하여 회인천에서 댐사이 구간에 퇴적하는 모습을 보였으며, 입자 크기가 200 μm 인 경우는 대부분 퇴적물 입자가 옥천천에 도달하기 전에 바다에 퇴적하였다(Fig. 13).

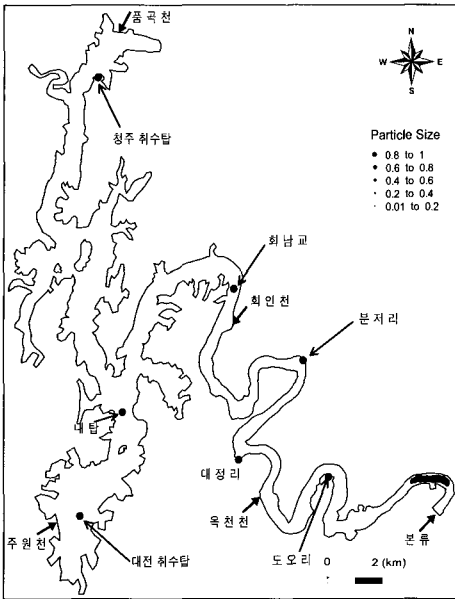
6. 년평균유량 유입시 모형의 적용

2000년도 년평균 유량이 본류로 유입되는 경우에 대해 홍수시와 동일한 수의 입자를 본류에 투입하고 수송 및 퇴적 과정을 조사하였다. 부유 퇴적물 분포(Fig. 14)를 살펴보면, 입경 20 μm 인 입자는 대부분 입자가 유입 일주일 후에 바다에 퇴적하고 일부만이 수중에 잔류하는 모습을 보였다, 이는 평수시 대청호내 유속이 5 cm/sec이하로 매우 느려 본류로 유입된 퇴적물이 유체입자의 자체중량에 의해 침강하면서 느린 속도로 하류로 이동하기 때문이다. 30일후에는 모두 하상에 퇴적하였다. 입경 200 μm 인 입자도 7일후 무거운 무게에 의해 수중에 존재하지 않고 하천 바닥에 퇴적하였다. 퇴적양상은, 입경 20 μm 인

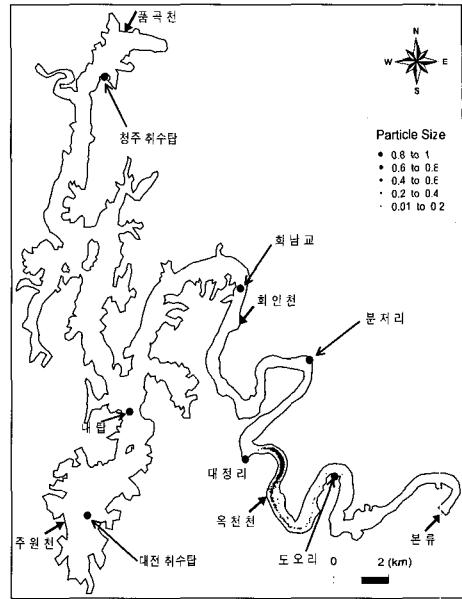
입자는 유입부로부터 대정리 사이구간에 대부분 침전하고 일부만이 그 하류에 퇴적하였으며, 입경 200 μm 인 입자는 장계교 하류 1 ~ 2 km내에 모두 퇴적하였다(Fig. 15). 이상과 같은 모의결과를 종합해 볼 때, 평수시 대청호로 유입된 20 μm 크기 이상의 부유 퇴적물은 회남교에서 대청댐 구간에 도달하지 못하고 하천 바닥에 퇴적한다. 그러나 홍수시는 조립퇴적물은 평수시와 같이 퇴적하나 세립퇴적물은 대청댐 부근까지 이동하여 호소 바닥에 침전한다. 따라서 대청호 수질관리를 위해서는 평수시보다 홍수시 유입되는 세립퇴적물을 중점적으로 관리해야 할 것이다.

7. 결 론

본 연구에서는 연안해역, 호소 등에서 퇴적물 수송과정을 모의할 수 있는 2차원 모형을 수립하고, 대청호를 대상으로 수리특성 파악을 위한 흐름 모델링, 입자추적모형을 이용한 입자성 부유물질의 이동경로를 추정하였다. 흐름 모델링 결과에 의하면, 대청호로 유입되는 하천에서 유속

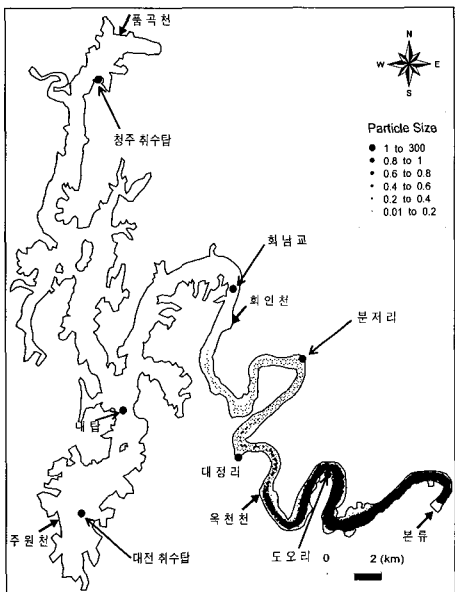


(a) 20 μm (after 1day)

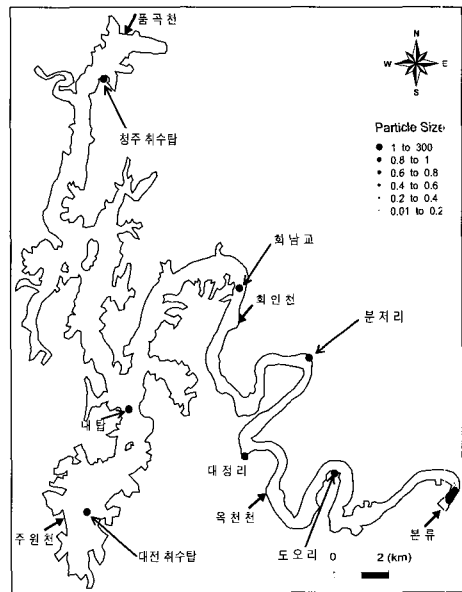


(b) 20 μm (after 10 days)

Fig. 14 Distributions of simulated suspended particles in mean yearly flow.



(a) 20 μm (after 30days)



(b) 200 μm (after 1 week)

Fig. 15 Distribution of deposited sediment particles in yearly-averaged flow

은 정상시는 5 cm/sec이하로 매우 작으며, 홍수시는 일부 구간에서 100 cm/sec이상으로 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 홍수시 본류로 유입되는 하천수는 대부분 수심이 깊은 본류의 주수로로 따라 흐르며 주변 수역으로는 거의 이동하지 않는다. 입자성 오염물질의 이동경로를 추정된 결과에 의하면, 평수시 세립질 퇴적물 입자는 대청호까지 도달하지 못하고 유입하천 전구간에 걸쳐 고르게 퇴적하는 것으로 나타났으며, 홍수시는 세립퇴적물이 댐부근까지 대부분이 이동하여 댐 앞 수역에 주로 퇴적하는 것으로 나타났다. 하천을 통해 유입되는 오염물질의 대부분이 입자크기가 작아 점착성을 가진 세립퇴적물에 주로 흡착되어 이동된다는 점을 생각하면, 홍수시 유입되는 오염물질의 많은 양이 댐부근까지 이동하여 호소바닥에 주로 퇴적하는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 댐부근 수역의 수질을 개선하기 위해서는 홍수시 세립퇴적물의 유입을 저감하기 위한 방안이 필요하다. 즉 하천구간내에서 퇴적을 촉진시키기 위한 시설 즉 하천구간 일부단면의 확대를 통한 유속감소로 퇴적을 촉진하거나 상류부에 퇴적물 침전을 위한 퇴적용 댐 건설 등에 대한 검토가 필요하다. 또한, 현장 상황을 면밀히 파악하기 위하여 현재까지 대청호 바닥에 퇴적된 퇴적물의 퇴적깊이, 오염물질 구성비 등에 관한 정밀 조사가 필요하다. 현재 모형은 2차원 모형으로 저수지 모의시 중요한 성층화 현상을 모의할 수 없는 제한성을 가지고 있다. 따라서 본 연구결과는 홍수시 난류가 강한 하천구간을 제외하고는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이를 개선한 3차원 모형의 개발 및 적용에 대한 연구가 요구되며, 이에 대한 연구를 진행 중에 있다. 이 외에도 퇴적물 수송모형의 주요 요소인 퇴적률, 침식률 등을 정확히 산정하기 위한 실험적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 대전환경기술개발센터에서 시행한 환경기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 강시환·카알지글러·월버트릭, 1987, “하구인접 내만의 퇴적물 수송에 대한 수치모델 해석”, 한국해양학회지, 22(1), 25~33.
- [2] 김차겸·이종섭, 1993, “3차원 점성토 수송 모델의 개발과 수영만의 부유물질 확산”, 대한토목학회논문집, 13(1), 179~192.
- [3] 서동일, 1997, 댐유역 오염물질 유입특성 및 영향에 관한 연구(2차년도), 한국수자원공사 보고서.
- [4] 서승원, 1996, “Eulerian - Lagrangian 농도 및 입자 결합모형에 의한 연안의 부유사 확산 해석”, 한국해안·해양공학회지, 8(2), 185~192.
- [5] 신문섭, 1996, “해상공사에 따른 토사확산 예측”, 한국해안·해양공학회지, 8(2), 204~214.
- [6] 염기대, 1988, “광양만 퇴적물 이동 수치모델”, 광양공업단지 조성에 관한 토목학회심포지움, 대한토목학회, 315~332.
- [7] 윤태훈, 1982, “유한요소법에 의한 항만에서의 토사이동 추정모형”, 대한토목학회논문집, 2(2), 19~28.
- [8] 이남주·이길성, 1998, “좌표변환에 의한 2차원 유사이동모형(II)”, 대한토목학회논문집, 18(II-5), 423~436.
- [9] 이요상·이경식, 2000, “대청댐 저수지 퇴적물의 용출특성과 수질에 미치는 영향에 대한 연구”, 환경영향평가, 9(2), 99~107.
- [10] 이정규·안수한, 1984, “조류에 의한 부유사의 확산에 대한 수치모형”, 대한토목학회논문집, 4(4), 13~23.
- [11] 이종섭·김호진, 1995, “RandomWalk 모형에 의한 확산해의 민감도 분석”. 대한토목학회논문집, 15(5), 1267~1277.
- [12] 이혜근·이종진, 2001, “대청호의 수리특성”, 대한토목학회 창립 50주년기념 2001년도 학술발표회 논문집.
- [13] 이혜근·이종진, 2002, “대청호 유동해석”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집 I, 646~651.
- [14] 정태성, 1998, “물의 순환에 관한 3차원 유한요소모형”, 한국해안·해양공학회지, 10(1), 27~36.
- [15] 한국수자원공사, 1991, 대청댐 저수지 퇴사량 측정 보고서.
- [16] 한국수자원공사, 2000, 댐 저수지 탁류 및 오염물질이송·확산 모의기술 개발.

- [17] 한국수자원공사, 2001, 저수지 수리모형개발 (2차년도)
- [18] Ariathurai, R. and Krone, B. K., 1976, "Finite element model for cohesive sediment transport", J of the Hydraulic Division, ASCE, 102(HY3), 323~338.
- [19] Cheng, N. S., 1997, "Simplified settling velocity formula for sediment particle". J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 133(2), 149~152.
- [20] Chroner, Z., Cardenas, M., Lick, J. and Lick, W., 1995, "Sediment and contaminant transport in Green Bay", Estuarine and coastal Modeling, proceedings of the 4th international conference, edited by M. L. Spaulding and R. T. Cheng, 313~324.
- [21] Chung, T. J., 1978, Finite element analysis in fluid dynamics, McGraw-Hill, Inc.
- [22] Elder, J., 1959, "The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow.", J. of Fluid Mechanics, 5(4), 544~560
- [23] 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, Inc.
- [24] Metha, A. J., 1993, Nearshore and estuarine cohesive sediment transport, Coastal and Estuarine Studies, 42, American Geophysical Union.