대청호 유입 부유토사의 이동 및 퇴적 모의

○정태성[1], 황정화[2], 김태식[3]

1. 서론

대청호는 대전 및 충청지역에 용수를 공급하는 중요한 수자원이다. 매년 녹조, 부영양화 등의 수질문제로 고통을 받고 있어 양질의 수자원 확보에 어려움을 겪고 있다. 이러한 원인은 상류지역의 각종 오염원으로부터 배출된 오염물질이 호소내로 유입되기 때문이다. 대청호는 복잡한 육지경계선 및 수심분포로 인하여 호소내 순환과정이 매우 복잡하여 이에 대한 연구가 미흡한 실정이며, 호소내 흐름현상에 대한 이해부족은 수질관리시 원인과 결과를 정확하게 규명하는데 있어 장애요인으로 작용하고 있다. 본 연구에서는 대청호 유입 오염물질의 이동과정을 정확히 이해하고 수질관리 대책을 제공하기 위한 연구의 일환으로 대청호 유입 하천수 흐름의 모의, 유입 부유사 특성 파악을 위한 입도분포 관측, 부유사 확산모의를 수행하였다.

2. 대청호내 흐름모의

그림 1과 같은 복잡한 지형을 가진 대청호 흐름모의를 위해 삼각형 요소를 사용하는 평면 2차원 유한요소모형을 수립하였다. 수립한 모형은 수심적분된 2차원 연속방정식과 운동량방정식을 Galerkin 유한요소법을 사용하여 수치해석한다. 모의를 위해 구성한 격자크기는 최소 65 m, 최대 394 m이다(그림 2). 경계조건으로는 상류단의 본류에서는 유입량의 시간변화를, 하류단(대청댐)에서는 수위를 지정하였다. 모형입력자료로 이용된 대청호 유입량과 대청댐 전면에서 수위변화(한국수자원공사, 2000)는 그림 3과 같다. 2000년 9월 13일부터 19일까지 총 7일간의 홍수사상으로 최대 유량은 3,852 CMS이다. 유량이 500 CMS미만인 홍수시작 전에는 하천내 유속이 10 ㎝/sec미만이나 홍수로 유량이 3,852CMS로 증가시 유속이 국부적으로 최대 120 ㎝/sec까지 증가하였다. 그림 4와 그림 5는 평상시(그림 3의 19시)와 홍수시(그림 3의 49시)의 유속분포 결과이다.

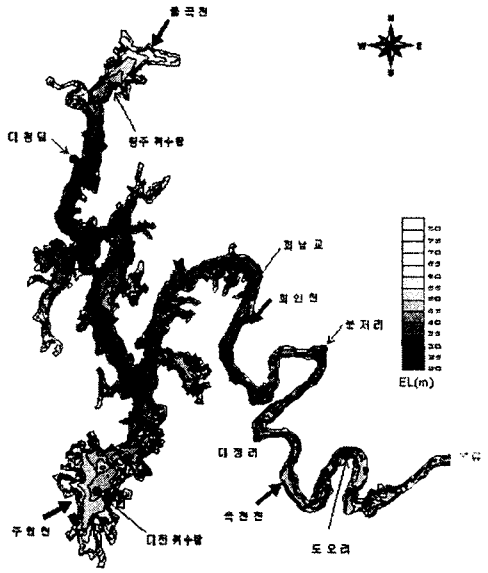


그림 1. 대청호 수심분포

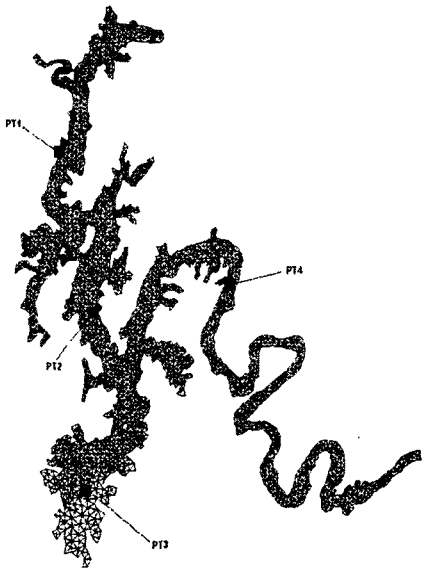


그림 2. 유한요소 격자망

1) 정회원, 한남대학교 토목환경공학과 부교수 (e-mail : jungts@mail.hannam.ac.kr)
2) 정회원, 한남대학교 토목환경공학과 석사과정 (e-mail : hwangjh@mail.hannam.ac.kr)
3) 정회원, 한남대학교 토목환경공학과 석사과정 (e-mail : kts@mail.hannam.ac.kr)

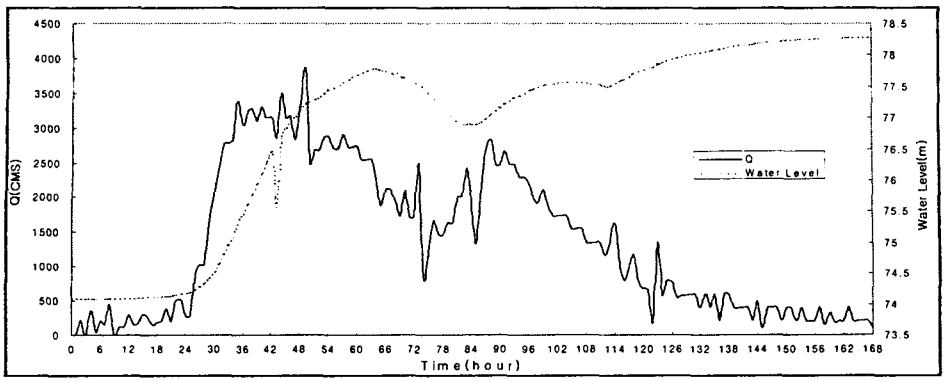


그림 3. 2000년 9월 홍수시 본류 유입량과 댐수위 변화

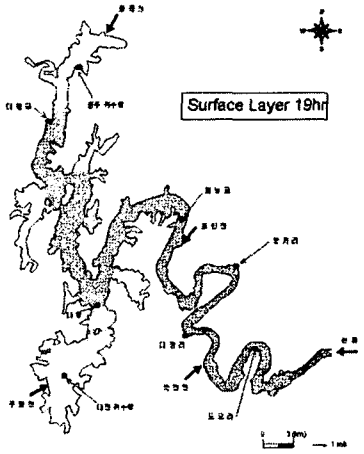


그림 4. 유속분포계산결과(평상시)

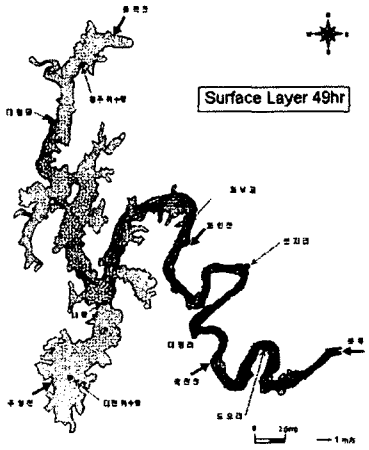


그림 5.유속분포계산결과(홍수시)

3. 유입 부유토사의 입도분포 관측

대청호로 유입되는 부유사의 입도분포와 농도를 알기 위해 그림 1의 장계교, 도오리, 분저리, 회남교에서 3회에 걸쳐 호소수를 채수하여 자동입도분석기를 이용하여 입도분석하였다. 비강우시인 2002년 7월 6일과 65 mm의 강우가 내린 8월 6일의 부유사 입도분포(그림 6)를 보면, 강우시는 평상시에 비하여 평균입경이 약 10 배 증가하였다. 농도는 19.4~99.4배 증가하였다. 강우량과 농도, 강우량과 중앙입경의 관계를 보면 강우량이 증가하면 유량증가로 인해 농도와 중앙입경이 증가하는 모습을 보였으며, 부유사 농도가 증가함에 따라 중앙입경은 거의 선형적으로 증가하였다(그림 7).

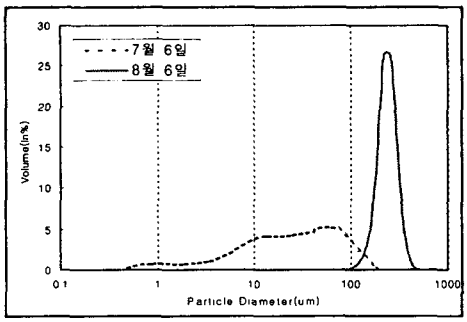


그림 6. 부유토사 입도분포 관측결과(회남교)

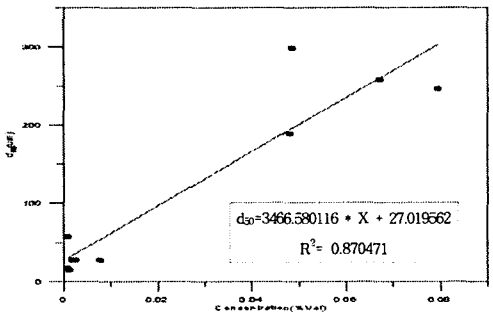


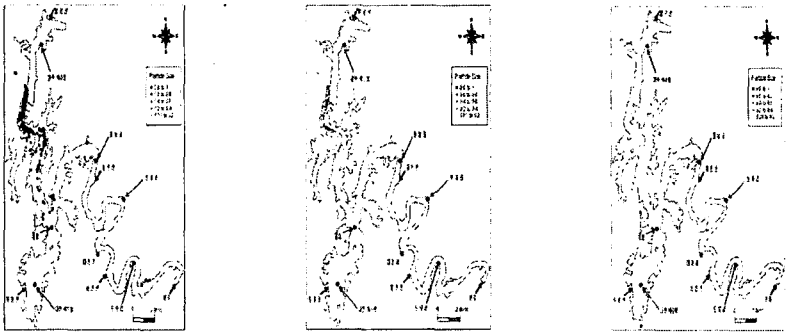
그림 7. 부유사농도와 중앙입경

4. 부유토사 확산모의

점착성을 가지고 있는 새립퇴적물은 각종 오염물질을 부착하고 이동하므로 수질관리시 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 수심 적분된 2차원 부유사 확산 방정식을 지배방정식으로 하는 수치모형을 수립하였다. 부유사 확산모의는 이송-확산방정식의 이송항 차분과정에서 발생하는 수치분산을 저감할 수 있는 입자추적 모형을 사용하였다. 2차원 이송-확산방정식은 다음과 같으며, 계산방법은 Dimou와 Adams(1993)을 참고하였다.

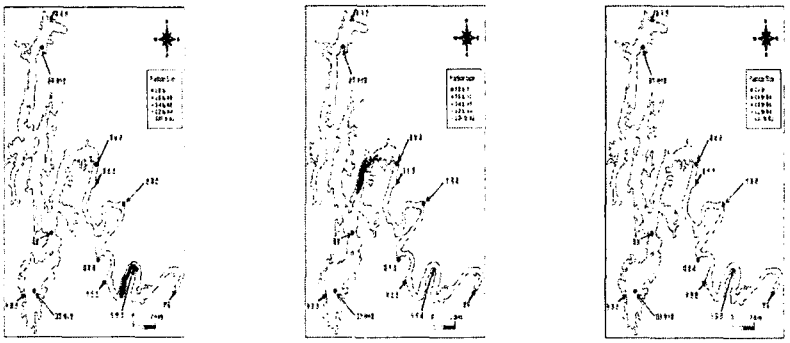
$$\frac{\partial Hc}{\partial t}+\frac{\partial UHc}{\partial x}+\frac{\partial VHc}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}(HD_{xx}\frac{\partial c}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial x}(HD_{xy}\frac{\partial c}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial y}(HD_{xy}\frac{\partial c}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(HD_{yy}\frac{\partial c}{\partial y}) \quad (1)$$

2000년 9월 홍수 모의시 그림 3의 34시부터 49시까지 구간에서 총 900개의 퇴적물 입자를 장계교 직하류에 투하후 본류를 따라 부유토사의 수송과 퇴적과정을 모의하였다. 모의시 사용한 퇴적물 입자의 크기는 5 ㎛, 20 ㎛, 200 ㎛이다. 홍수시 입경 5 ㎛입자는 1주일 후 대부분 댐 부근에 위치하였고, 20 ㎛ 입자는 1주일 후에는 대부분 퇴적하여 댐 부근에 일부만이 부유상태로 있었으며, 200 ㎛ 입자는 유입후 곧 바로 퇴적하여 1일후에도 거의 물속에 존재하지 않았다(그림 8). 평상시는 느린 유속으로 5㎛ 입자의 경우 30일후에도 부유퇴적물이 댐까지 도달하지 못하였으며, 90일후에는 대부분 하상에 퇴적하여 수중에 존재하지 않았다(그림 11).



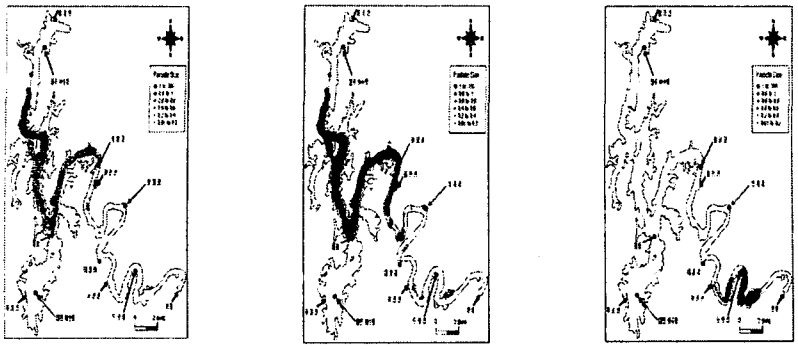
(a) 7일후(5㎛) (b) 7일후(20㎛) (c) 1일후(200㎛)

그림 8. 홍수시 부유사 농도 분포



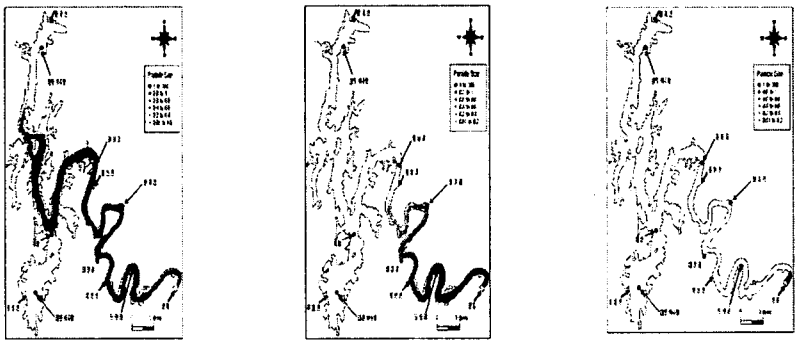
(a) 7일후(5㎛) (b) 30일후(5㎛) (c) 90일후(5㎛)

그림 9. 평상시 부유사 농도 분포



(a) 30일후(5㎛) (b) 30일후(20㎛) (c) 7일후(200㎛)

그림 10. 홍수시 퇴적된 퇴적물의 공간분포



(a) 60일후(5㎛) (b) 30일후(20㎛) (c) 7일후(200㎛)

그림 11. 평상시 퇴적된 퇴적물의 공간분포

5. 결론

흐름모델링 및 부유사 확산 모의결과, 홍수시 하천유속의 증가는 본류로 유입된 입자성 오염물질이 빠른 유속으로 인하여 하천에 바로 퇴적하지 않고 대청호까지 이동하여 흡착하여 이동해 온 영양염류에 의해 부영양화를 일으키는 원인으로 제공됨을 확인할 수 있었다. 모의결과 중 특이사항은 본류로 유입된 하천수가 주로 주수로를 통해 흐르며, 대전취수탑이 위치해 있는 지역으로는 거의 흘러가지 않는다는 것이다. 이는 대전취수탑 부근으로 유입된 오염물질이 정체된 흐름현상으로 인하여 확산되지 못하고, 계속적으로 장기간 잔류하는 원인이다. 입도분포 관측결과, 강우량이 증가하면 하천에 부유상태로 이동하는 부유입자의 평균입경과 농도가 증가하였다. 부유사의 이동경로를 추정한 결과 평상시는 오염물질을 주로 흡착하는 세립질 입자가 대청호 유입하천 모든 구간에 고르게 퇴적하나, 홍수시는 댐부근까지 이동하여 댐 앞 수역에 주로 퇴적하는 것으로 나타났다. 따라서 댐 부근의 오염을 저감하기 위해서는 홍수시 댐으로 유입되는 퇴적물을 차단하기 위한 방안이 수립되어야 한다.

참고문헌

1. 정태성. 1998. "물의 순환에 관한 3차원 유한요소모형", 한국해안·해양공학회지, 10(1), pp.27-36.
2. 한국수자원공사. 2000. 대청다목적댐 관리연보.
3. Dimou, K.N. and Adams, E.E. 1993. "A random-walk, particle tracking model for well-mixed estuaries and coastal waters", Estuarine, Coastal and Shelf Science, 37, pp.99-110.