

홍수시 성층 저수지로 유입하는 탁류의 유동특성 및 수질에 미치는 영향

○정세용, 염경택, *김동섭, *김영성

1. 서론

홍수기 강우-유출 후 성층 저수지로 유입하는 탁류는 수온과 부유물질 농도에 의해 결정되는 유입수의 밀도와 저수지의 수심별 성층구조에 따라 상층밀도류(overflow), 층간밀도류(interflow), 심층 밀도류(underflow)의 형태를 나타낸다. 탁류는 상류 유역의 오염원을 단시간에 대량 유입시켜 부영양화의 원인 인자를 제공 할 뿐만아니라, 중층 산소고갈, 저수지내 퇴사, 취수 및 정수처리 장애 등을 야기할 수 있으므로 이에 대한 조사 및 대책이 필요하다.

허우명 등(1992)은 소양강댐 저수지의 연간 인 부하량은 약 104. tP이며 이중 약 70%가 장마기간에 발생하는 탁류와 함께 유입하는 것으로 보고하였다. 소양호의 탁도는 갈수기에는 1~3 NTU, 홍수기에는 2~78 NTU이며 홍수기 중 탁수층의 총인 농도는 20~230 mgP/m³로 나타났다(허우명 등, 1998). 김윤희(1998)는 소양호에서 홍수 직후 고농도의 용존무기인이 탁류와 함께 층간밀도류를 형성하며 유입하는 것을 확인하고, 이것이 호소내 조류의 번식과 유관함을 밝혔다.

우리나라는 몬순지역에 속해있어 강우가 여름철에 집중되므로 탁류의 유입은 불가피하나, 탁류의 저수지내 진행경로, 시공간적 분포, 그리고 방류량 조절 등에 의한 조절효과를 예측할 수 있는 모형의 구축은 저수지 수질관리를 위해 꼭 필요하다. 본 연구의 목적은 홍수기 동안 강우-유출로 인해 저수지내로 유입하는 탁류의 밀도류 유동특성과 이것이 저수지수질에 미치는 영향을 조사하여 향후 홍수기 수량·수질관리를 위한 실시간 예측모형 개발의 기초자료로 활용하는데 있다.

2. 연구방법 및 재료

연구대상은 금강유역에 위치한 대청댐저수지이며, 유속 및 수질 측정은 저수지 형상, 흐름특성, 측정시간 등을 고려하여 상류로부터 장계교(#4), 대정리(#5), 회남교 하류(#6), 청남(#7), 본댐 앞(#8)의 5개 지점에서 실시하였다. 지류의 흐름과 수질을 조사하기 위해 옥천천, 회인천, 주원천, 품곡천에 각각 한 개씩의 측정지점을 정하였다(그림 1).

저수지내 유속측정은 ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers)를 사용하였다. 유속은 각 관측점의 호내 중앙부에 선박을 고정시킨 상태에서 30초간 수신된 신호의 평균값을 10분 이상씩 관측하였다. 수심방향의 요소간격(Cell depth)은 50 cm로 하였으며, 특별히 수심이 깊은 대청댐 저수지의 유속측정을 위해 제작사(RD Instruments)의 자문을 얻어 매개변수 설정(Configuration)을 조정했다. 유속측정과 동시에 YSI6000을 사용하여 저수지내의 수심방향 연속 수질측정을 실시하였으며, 측정항목은 수심별 탁도, DO 농도, 수온, pH, 전기전도도 등이다.

○ 한국수자원공사, 댐관리처, 물관리종합상황실; * 수자원연구소

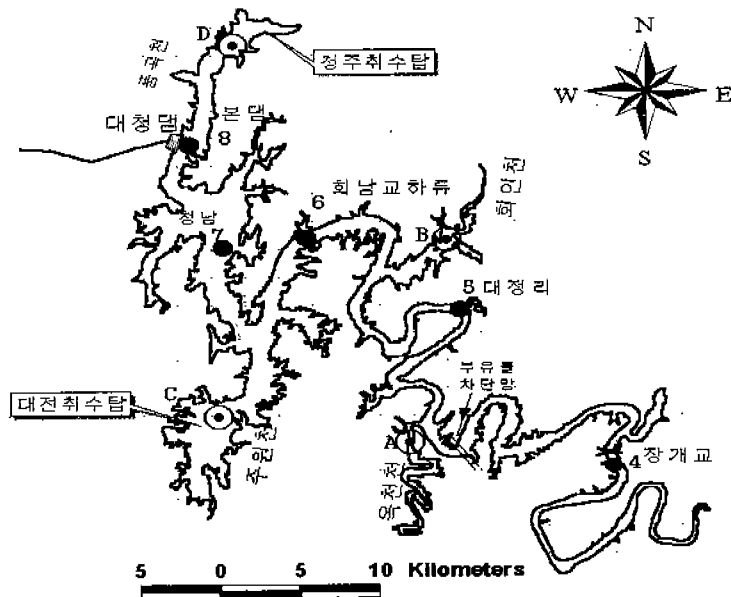


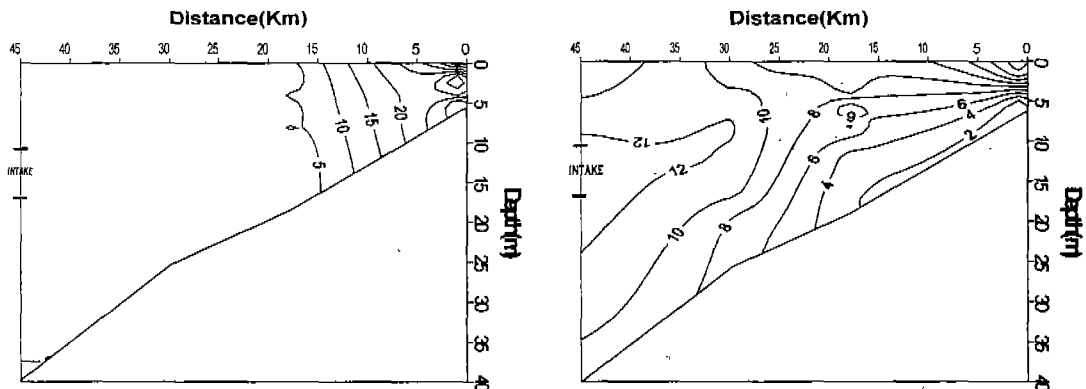
그림 1. 대청댐 저수지내 유속 및 수질조사 지점과 취수탑 위치

2000년 홍수기 동안 총 3회의 유속 및 수질조사를 실시하였다. 1차 측정은 6월 22일에 실시되었으며 본격적인 홍수가 없는 상태에서의 저수지 흐름상태와 성층화, 탁도분포 및 수질상태를 파악하고자 실시하였다. 2차 측정은 7월23일 새벽1시에 강우가 시작되어 하루 동안 156 mm의 집중호우가 내려 7월23일 22시에 첨두유입량 4,155 m³/sec가 유입된 지 약 10일 후에 이루어졌다. 3차 측정은 8월24일 새벽2시경에 강우가 시작되어 8월27일 13시까지 총197.6 mm가 내린 후 8월27일 11시경에 첨두유입량 2,582 m³/sec가 유입된 지 약 10일 후에 이루어졌다.

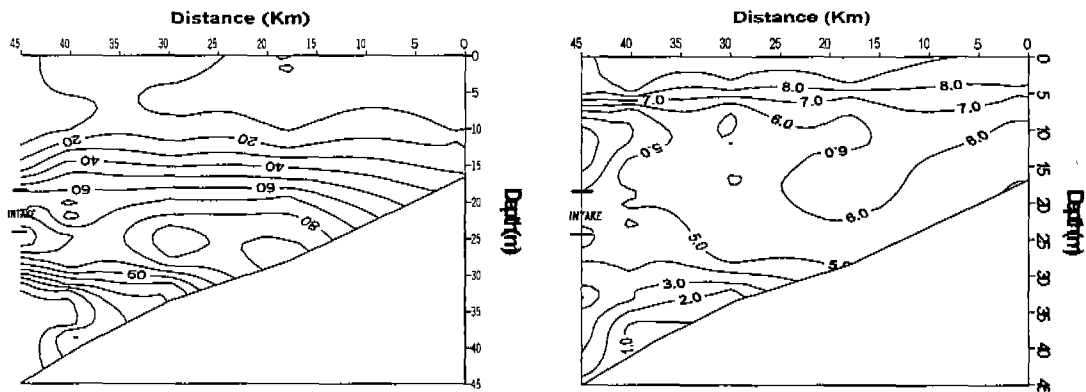
3. 연구결과 및 분석

3.1 저수지내 탁도 및 DO 농도 분포

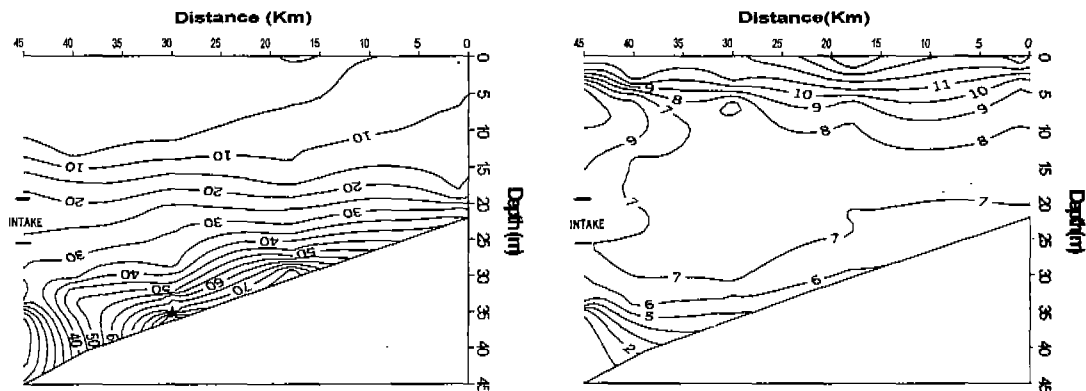
본격적인 홍수가 발생되기 전인 6월22일의 저수지내 탁도는 상류 일부 구간을 제외하고는 10 NTU이하로 매우 낮게 나타났다(그림 2). DO농도는 댐축~회남교 하류 구간은 8 mg/l이상의 높은 농도를 보였으나, 회남교 상류에서는 수심방향으로 용존산소량이 감소하여 바닥층에서 DO농도가 4 mg/l이하였다. 7월말 집중호우가 발생한 이후 8월4일에 관측된 자료는 수심 10~35 m의 중층구간에서 탁도 20 NTU 이상을 보이고 수심 25 m에서는 최고 탁도 100 NTU가 관찰되었다. DO 농도는 6월22일의 분포와는 달리 수심별로 상이한 값을 보였으며 상층에서는 7 mg/l 이상의 농도를 보인 반면, 중층에서는 5~6 mg/l, 댐축 부근의 하층에서는 4 mg/l 이하로 나타났다. 9월6일에는 부유물질이 침강됨에 따라 60 NTU 이상의 높은 탁도가 댐으로부터 10~30 km 구간의 하층에 위치하고 있어, 저수지내 퇴사가 대부분 이곳에서 이루어졌다. 댐축 부근에서는 중층의 탁류가 발전방류(EL. 52.0m)를 통해 하류로 방류되므로 부유물질의 침강이 작은 것으로 나타났다. DO농도분포는 8월4일과 유사하나 다소 회복되어 중층에서 7 mg/l 이상을 보였다. 상층의 DO농도는 기온이 하강함에 따라 포화 산소농도가 증가하여 10 mg/l 이상의 높은 수준으로 회복되었다.



(a) 관측일자 2000.6.22, 수위 EL.66.20m



(b) 관측일자 2000.8.4, 수위 EL.73.20m

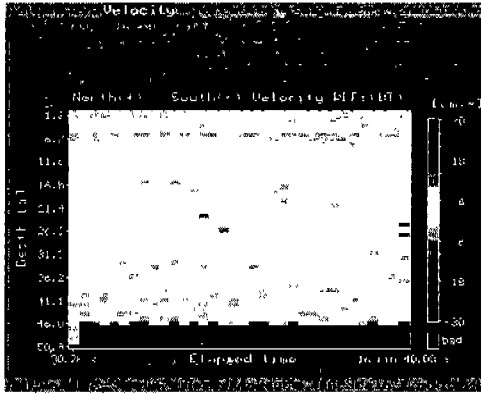


(c) 관측일자 2000.9.6, 수위 EL.74.54m

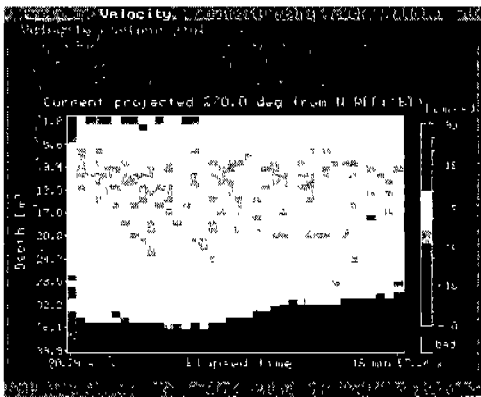
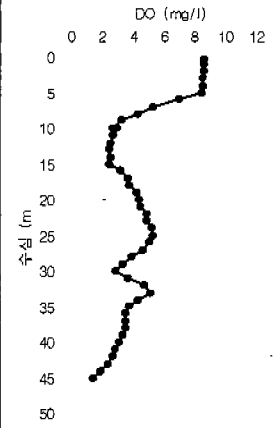
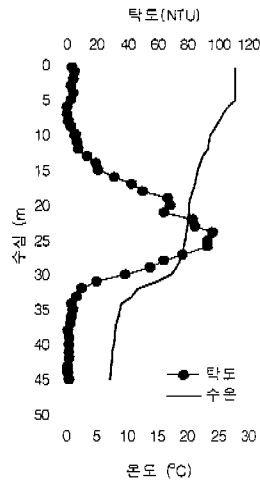
그림 2. 홍수기 조사일자별 대청댐저수지내 탁도(좌) 및 DO농도(우) 분포

3.2 유입수 유동특성 및 수질에 미치는 영향

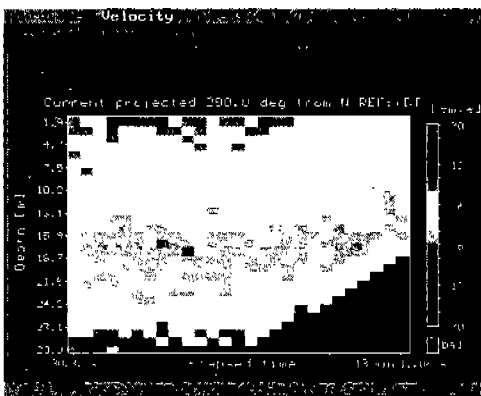
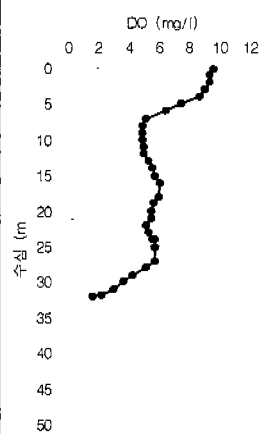
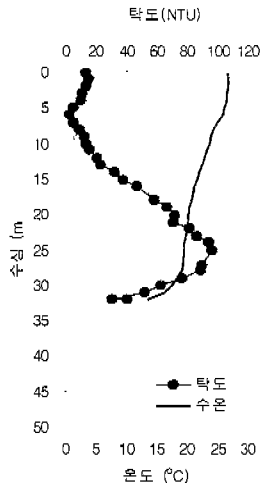
저수지내 관측지점별 유속, 수온, 탁도, DO농도 분포가 그림 3에 제시되었다. 저수지내 유속은 수심별로 차이는 있으나 대체로 2~12 cm/sec 범위였다. 8월4일 장계교~대정리 구간에서 유속은



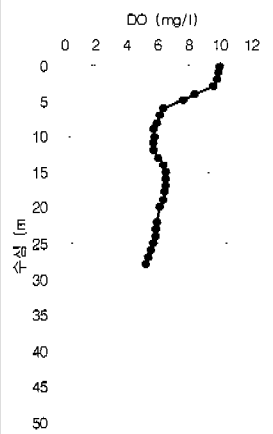
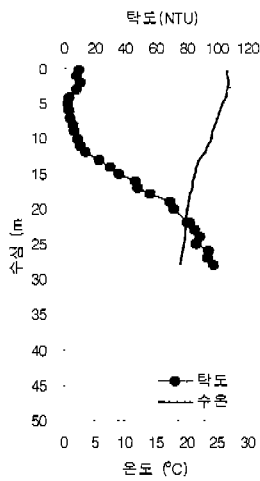
(a) 2000.8.4, 본대앞, #8



(b) 2000.8.4, 회남교하류, #6



(c) 2000.8.4, 대정리, #5



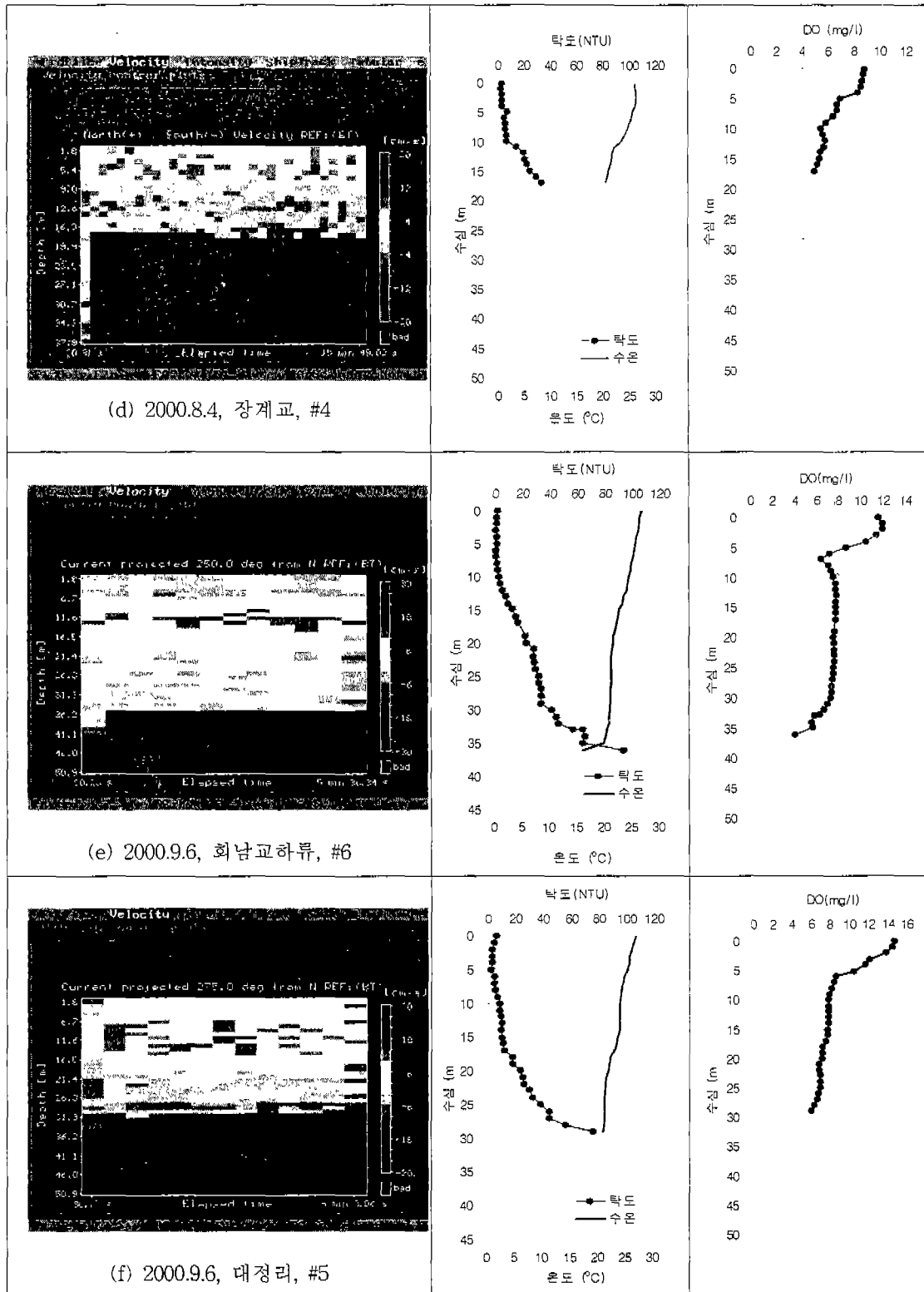


그림 3. 대청댐저수지 유속 및 수질측정 결과

상층은 하류로, 중하층은 상류로 역류하는 것으로 나타났다. 대정리~회남교 구간의 유속분포는 8월4일과 9월6일의 유입수 수온과 저수지 성층구조의 차이로 인해 수심별로는 다소 차이가 있으나, 홍수로 인해 유입한 중하층의 탁류가 상류로 역류하는 것으로 나타났다. 본댐 앞의 유속은 3~9 cm/sec이며 흐름은 남북방향이 지배적이고 동서방향(댐축방향)은 거의 정체상태에 가깝게 나타났다.

7월23일 집중호우 이후 탁류가 유입하는 중층을 따라 DO농도가 4 mg/l이하로 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 특히, 수온이 급변하는 수심 5~15 m의 구간에서 급격한 DO농도 고갈, 즉 Metalimnetic DO Sag(Kim et al., 1984)가 관찰되었다. 이 구간에서 DO 농도가 급격히 고갈되는 이유는 저수지의 밀도구조(성층화) 때문에 식물성 및 동물성 플랑크톤 등 입자성 유기물질의 침강속도가 감소하여 다량의 산소가 소모된 결과로 보인다.

3.3 밀도류 유동특성

유속 및 수질측정 결과를 종합적으로 고려해 볼 때, 대청댐으로 유입된 탁류는 금강본류를 따라 유입되다가 장계교 상류에서 유입수와 저수지 상층부의 밀도차(수온과 부유물질 농도의 함수) 때문에 저수지 표면 아래로 침강한 후 심층밀도류를 형성하고, 대정리와 회인천 사이(댐축으로부터 약 20~25 km 구간)에서 동일 밀도층을 만나 저수지 바닥으로부터 이탈하여 층간밀도류를 형성한다. 그리고 탁류는 중층 10~30 m 구간에서 층간밀도류 형태로 하류로 진행하다 본댐쪽으로 직접 진행하지 않고 주원천쪽으로 먼저 유입되어 대전취수탑 원수의 장기적인 고탁도를 유발하는 것으로 나타났다. 주원천으로부터 돌아나온 탁류는 다시 상류와 하류(댐축 방향)로 분기되어 상류 쪽으로 다시 중층을 따라 역류하고 하류쪽으로는 다소 균등한 유속분포를 가지고 서서히 댐축으로 이동하는 양상을 보인다. 보다 정확한 저수지내 흐름순환 특성과 원인을 파악하기 위해서는 강우-유출 직후 철두유입이 발생하는 시점에 집중적인 측정이 요구된다.

4. 결 론

홍수로 인해 대청댐저수지로 유입한 탁류는 유입수와 저수지 상층수의 밀도차로 인해 심층 및 층간밀도류를 형성하였다. 탁류는 저수지의 중층과 하층의 용존산소를 고갈시키는 원인이 되었고, 특히 수온이 급변하는 수심 5~15 m에서 급격한 전이층 DO 고갈이 관찰되었다. 조사결과를 종합적으로 검토한 결과, 탁류는 주원천으로 우선 유입한 다음 다시 중하층을 따라 상류로 역류하였다. 저수지내의 시공간적 탁도와 용존산소 분포는 밀도류의 유동특성과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 홍수시 탁류의 유동조사는 많은 시간과 경비가 소요되므로 향후 실시간 예측모형을 개발하여 홍수기 동안의 저수지 수량·수질관리에 활용할 예정이다.

5. 참고문헌

- 김윤희. 1998. 홍수시 소양호에서 중층탁류의 이동 및 영향에 관한 연구. 석사학위논문, 강원대학교.
- 허우명, 김범철, 안태석, 이기종. 1992. 소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지. 한국육수학회지 25:207-214
- 허우명, 김범철, 김윤희, 최광순. 1998. 소양호 유역에서 비점오염원의 홍수유출과 오염수피의 호수내 이동. 한국육수학회지 31(1) : 1-8.
- Kim, B.R., J.M. Higgins, and D.J. Bruggink. 1984. Reservoir Circulation Patterns and Water Quality. J. of Envir. Engr. 109(6) : 1284-1294.