

P305

대형댐에서 부유물질의 중층이동과 모델링

김윤희^{PI}, 김범철¹

강원대학교 자연과학대학 환경학과, 강원 200-701

수자원 확보를 위하여 우리나라의 많은 하천에는 댐이 건설되어 물의 체류시간이 길어지게 되었다. 댐 수자원의 많은 부분이 홍수기에 유입한 탁수로 채워지게 되는데 그로 인하여 홍수기의 탁수가 저수지에 저장되었다가 장기간에 걸쳐 방류되는 탁수의 장기화 현상이 나타나고 있다. 탁수의 장기화는 하류의 정수방해, 부영양화 등의 피해를 가져올 수 있으며, 댐건설로 인한 부작용의 하나로 볼 수 있다. 특히 우리나라와 같이 폭우가 내리는 지역에서는 강우시 부유물질의 호수유입이 크게 증가하며, 이 부유물질들은 인을 흡착하고 있으므로 인의 유입량이 급증한다. 호수로 유입된 입자상 인은 호수의 상류부에서 상당 부분 침강하여 퇴적된다. 그러나 용존인, 작은 점토광물입자에 흡착된 입자상 인, 작은 유기부유물질 (detritus)에 함유된 인, 등은 침강속도가 느려서 오랫동안 부유할 수 있다. 우리나라에서는 장마기에 유입한 부유물이 수개월이 지나도록 침강하지 않고 남아 있어 호수를 혼탁하게 하는 사례들이 체류시간이 긴 대형댐에서 많이 관찰되고 있다. 본 연구에서는 국내 대형댐인 소양호를 대상으로 여름 홍수시기에 유입되는 탁수로 인하여 형성되는 중층밀도류의 이동특성을 파악하였다. 또한 2차원 수리·수질 모델인 CE-QUAL-W2 모델을 사용하여 중층밀도류의 이동특성을 모의하고 실측자료와 비교하였으며, 이 모델의 적용 가능성 및 문제점에 대하여 토의하였다. 소양호는 여름에 강한 성층이 형성되며, 홍수기에 유입되는 탁수는 수온이 낮아 수심 20 m 이하의 중층으로 유입된다. 호수로 유입한 강우유출수는 밀도가 같은 수층까지 침강한 후 수평방향으로 이동하여 중층류를 형성한다. 소양강의 수온은 비강우시에는 대기온도와 유사하여 여름에 20℃ 이상을 나타내지만 강우시에는 크게 낮아져서 여름에도 13-15℃의 수온을 보인다. 계도가 탁도가 높아 물의 밀도를 더욱 증가시키므로 강우시에 소양호로 유입하는 물은 수심 15-20 m 수층으로 유입하여 표수층을 밀어 올리면서 중층을 형성한다. 이 중층은 홍수가 끝난 후 두께가 20-30 m에 이른다. 이 탁수는 탁도 100 NTU 이상에 이르며 총인 농도가 매우 높다. 그러나 표층으로 확산되지 않고 발전 방류구를 통하여 하류로 배출되므로 표층에서 부영양화를 일으키지 않는 데에 중요한 역할을 하고 있다. 우리나라와 같은 몬순기후 지역에서는 강우가 여름에 편중되어 있고 또한 저수지 내로 유입되는 수량의 대부분이 여름 홍수기에 집중되므로 이 탁류에 의한 밀도류 현상은 호수 내의 수질변화에 매우 중요한 인자가 될 것으로 판단된다. 여름 홍수기에 소양호로 유입된 탁수는 10 월말 까지 수심 20 - 40 m에서 중수층을 형성하며 방류구를 통하여 수개월간에 걸쳐 방류되는데, 소양호에서는 방류구의 수심이 중층 탁수층과 동일하므로 인 성분의 함량이 높은 탁수가 표수층으로 확산되지 않은 채 하류로 방류되어 소양호 내 부영양화 현상을 가중시키지 않는 데에 중요한 역할을 하고 있는 것으로 분석되었다. 즉, 소양호의 밀도류는 오염물질의 이동을 중층내부에 국한시킴으로써 소양호의 수질악화를 방지하는 역할을 하는 것으로 분석된다. 따라서 밀도류에 의한 오염물질의 이동현상은 탁수의 장기화를 감소시키는데 이용될 수도 있을 것으로 평가된다. 그러나, 탁류의 유입수층과 방류수층의 일치여부에 따라 호수 내에 탁수의 체류기간이 달라지므로, 이는 댐 건설로 인하여 탁수가 장기화 될 수 있으며 탁수가 표수층으로 확산되어 부영양화를 유발하는 요인이 될 수 있다는 것을 의미한다. 또한 서서히 이동하면서 지속되는 탁류에 의하여 호수 내에서 지역에 따라 혐기성 반응이 초래될 수 있으며 방류수의 수질에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다. 호수 내 탁도류의 중층 이동은 소양호의 수온분포, 유입수온, 방류구의 높이와 방류량 변동, 등에 의해 결정된다. 이들 가운데 방류구의 수심과 방류량은 인위적인 조절이 가능한 인자로서 최적의 댐 운전에 의해 호수의 수질악화를 막고 생태계를 보호할 수 있으며, 하류의 탁수장기화 피해를 줄일 수 있을 것으로 본다. 이러한 현상에 대한 예측은 모델링을 통해 가능하며, 호수 수질모델링 기법은 수체 내에서 발생하는 다양한 물리적, 화학적, 생물학적 수질변동을 모의함으로써 호수에서 발생하는 여러 가지 육수학적 현상에 대한 이해를 도울 수 있다. 또한 수질관리측면에서 정책결정시 과학적 근거를 제시할 수 있는 매우 필요한 기술이라 할 수 있다. 본 연구에 사용한 모델은 현재 세계적으로 인공호에서 가장 널리 사용되고 있는 CE-QUAL-W2 모델이다. 미 공병대에서 개발한 모델로서, 저수지의 수평적 차이를 고려할 수 있는 2차원 모델이며 좁고 긴 모양의 인공댐에 적합한 모델이다. 상하층의 차이와 상하류의 차이를 묘사할 수 있어 앞으로 국내 인공호에 널리 보급될 전망이다. CE-QUAL-W2 모델을 사용하여 수온의 성층현상 및 부유물질의 이동현상을 모의한 결과, 모델은 소양호의 수온을 전구간과 전기간에 걸쳐 매우 잘 모의하는 것으로 평가되었으며, 강우에 의한 중층밀도류 이동현상 또한 실측 결과와 매우 유사하게 예측되었다. 만약 소양호에서 표층방류가 실시되는 경우에 표수층의 맑은 물이 모두 방류되고 난 후에는 중수층의 탁수가 표수층으로 확산되어 호수전체가 혼탁해 지고 표수층의 인 농도가 높아져 심각한 부영양화 현상이 나타날 것으로 추정되며, 또한 대부분의 생물들이 서식하고 있는 표수층에서 탁도가 증가함으로써 생태계에 영향을 미칠 것으로 보인다. 이러한 추정되는 영향에 대하여 수질모델링을 통해서 예측 평가하였다. 표층방류를 실시할 경우 9월 중순까지 중수층에 높은 총인 농도를 갖는 수체가 상류 약 30 Km지점까지 잔존하여 댐 쪽으로 수평이동하고 있는 것으로 모의되었다. 또한 댐 지점에서는 표층 방류구 수심방향으로 탁수가 확산 이동되는 현상을 보였다. 11월 말 중층방류의 경우에는 호수전체 수심에서 12 mg/m³이하의 수평·수직분포를 보였으나, 표층방류의 경우에는 12 mg/m³이상의 총인농도를 갖는 수체가 20 m 이상의 두께로 상류지점까지 넓게 분포하는 것으로 모의되었다. 중수층의 탁수가 표층으로 확산되어 호수전체가 혼탁해 지고 표수층의 인농도가 높아지는 현상은 대부분의 생물들이 서식하고 있는 표수층에 탁도가 증가함으로써 생태계에 영향을 미칠 것으로 판단된다.