

# 임하호 탁수의 물리적 특성 및 혼합거동 연구

## A Study on Physical Characteristics and Mixing Behavior of Turbid Water from Imha Reservoir

김영도\*, 이남주\*\*, 허성남\*\*\*, 신찬기\*\*\*\*

Young Do Kim, Nam Joo Lee, Seong Nam Heo, Chan-Ki Shin

---

### 요 지

유역에서 발생한 고탁수가 저수지내에서 장기화하는 현상에 관한 대책은 장기간이 소요되는 유역관리 대책과 탁수저감일수를 최소화하는 선택취수 개념의 우선 방류기법 등이 있다. 하류하천으로의 탁수 우선배제를 실시하기 위해서는 댐 방류탁수가 하류에 미치는 영향을 정확히 예측할 수 있는 하천탁도 예측 및 관리 시스템 구축이 필요하다. 최근 고탁수현상을 경험한 낙동강 수계에서는 본류의 탁도 관리를 위해 임하댐 및 안동댐의 연직 탁도 분포 변화에 따라 댐 방류탁수에 의한 영향을 최소 또는 기준치 이하로 할 수 있는 댐 연계운영에 관한 조건 도출이 필요하다. 선택취수에 관한 수치모의 결과를 이용하여 저수지내 온도 및 탁도 분포 변화와 취수탑의 수문운영에 따른 방류수의 온도 및 탁도를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 결과를 이용하여 안동댐과 임하댐의 방류조건에 대한 하류하천 합류부에서의 2차원 이송-확산 수치모의를 수행하고자 하였다. 이와 같은 연구를 성공적으로 수행하기 위해서는 지속적인 현장조사를 통한 지점별 탁도-SS 상관관계 도출, 비정상 흐름 및 수질모의 검·보정, 탁도예측 결과 검증이 필요하다.

평면 2차원 흐름 및 수질 모의 결과에 의하면, 임하댐 방류 탁도로 인한 반변천의 고탁수는 안동댐 방류수에 지배를 받는 낙동강 본류와 합류되는 지점에서부터 약 5 km 떨어진 지점에서 횡방향 완전혼합이 이루어지는 것으로 나타났다. 이와 같은 모의결과는 완전혼합을 가정하는 1차원 수질모델링의 초기 입력자료에 사용됨으로써 1차원 탁도 모의결과의 정확성을 높이는 데 사용될 수 있다. 이를 이용하여 낙동강 수계 댐 연계운영에 따른 낙동강 탁도 예측모의를 수행하고, 이 결과를 이용하여 낙동강 탁도 예경보 시스템을 구축해야 할 것이다. 또한 선택취수 등을 통해 저수지 관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 저수지 내부의 탁도 거동을 정확히 예측할 수 있어야 한다. 따라서 추후 동수역학 및 열역학에 기초한 3차원 수치모형 연구와 성층흐름에 정밀한 밀도류 실험연구 및 이에 대한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 댐 방류탁수, 선택취수, 연계운영, 탁도 예측, 밀도류 실험

---

\* 정회원·인제대학교 환경공학부 전임강사·E-mail : ydkim@inje.ac.kr  
\*\* 정회원·경성대학교 건설환경공학부 부교수·E-mail : njlee@ks.ac.kr  
\*\*\* 정회원·국립환경과학원 낙동강물환경연구소 과장·E-mail : hsnam338@me.go.kr  
\*\*\*\* 정회원·국립환경과학원 낙동강물환경연구소 소장·E-mail : scknier@me.go.kr

## 1. 서론

수자원을 관리함에 있어서는 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면도 매우 중요한 고려사항이다. 일정한 기준치를 만족하지 못하는 수질을 갖는 저수지내 원수는 그만큼 사회적·경제적 가치가 줄어들 수밖에 없다. 최근 일부 저수지내 수자원이 집중호우시 발생된 고탁도 현상이 장기화됨에 따라 그 가치가 평가절하되고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다(한국수자원공사, 2004c). 최근 발표된 임하댐 탁수저감 대책(한국수자원공사, 2004b)에서는 장기간의 기간이 소요되는 유역대책과 더불어 단기적인 저수지내 대책으로서 탁수 장기화에 따른 피해를 저감하고자 고탁수 우선배제를 실시하기로 하였다. 이를 위하여 임하댐 표면취수설비를 개선하고, 집중호우시 저수지내에 발생된 고탁수층을 가급적 빠른 시기에 하류하천인 낙동강 본류로 방류함으로써 하류하천의 탁수 발생일수를 최소화하기 위한 댐 운영을 실시할 예정이다. 한국수자원공사 임하댐관리단에서는 2004년 태풍 “디엔무”에 의해 발생한 고탁수층을 배제하기 위하여 기존 취수탑의 문비조절을 이용한 바 있으며, 댐방류수에서 170 NTU의 고탁수를 방류한 경우의 하류하천 영향조사에 의하면 유하거리 약 250 km인 적포교 지점까지 30 NTU 이상의 고탁수가 유지된 바 있다(한국수자원공사, 2004a).

본 연구에서는 탁수의 물리적 특성을 조사하고 낙동강 본류와 반변천이 만나는 합류부 지점에서 평면 2차원 수리 및 수질모의를 수행하여 임하댐 방류탁수가 완전 혼합되는 지점을 예측하고자 하였다. 안동댐과 임하댐의 방류량 및 방류탁도를 모형의 입력조건으로 사용하였으며, 환경부 수질측정망의 SS 농도와 탁도의 상관관계를 분석한 결과를 고려하였고, 탁질입자의 침강속도는 무시하였다. 본 연구결과를 상류경계조건으로 하여 낙동강본류 전체구간에 대한 1차원 이송·확산을 모의하면 하류하천의 탁도현황을 예측할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 저수지내 선택취수에 관한 수치모의를 수행함으로써 온도성층 및 탁도분포의 변화에 따른 방류수 탁도를 예측함으로써 댐내 취수탑 주변의 탁도모니터링 결과만으로도 낙동강 본류전체의 탁도에 측이 가능할 것으로 사료된다.

## 2. 탁수의 물리적 특성

그림 1은 안동시 용상정수장의 최근 4년간 유입원수 탁도 모니터링 결과이다. 용상정수장의 취수원은 임하댐과 길안천이 합류하는 지점의 하류지점인 반변천으로 유입원수의 탁도는 댐 방류수의 탁도 변화에 직접적인 영향을 받고 있다. 용상정수장은 취수시설을 통해 반변천 원수의 유입탁도를 약 50% 가량 저감시켜 취수하고 있다. 2001년에 연중 10 NTU가 넘지 않았던 것이 비하여, 2002년 이후부터는 상당히 장기간 고탁도가 지속되는 것을 확인할 수 있다. 실제 용상정수장은 적절한 수처리방안을 수립하지 못 하여 막대한 비용을 들여 취수원을 이전하기로 결정한 바 있다(한국수자원공사, 2004b). 댐방류수에 의한 고탁도 원수는 미세입자의 다량분포, 낮은 알카리도 등으로 인해 응집성이 불량하여 정수처리에 많은 문제점을 야기하고 있다. 일반적으로 자연적인 하천에서는 비강우시 탁도가 매우 낮다. 그러므로 비강우시 댐방류수로 인한 하천내 탁도는 하류로 갈수록 저감되는 양상을 나타낸다. 강우시에는 강우조건에 따라 하천바닥에서의 소류력이 증가하여 유사이동이 활발해져서 이로 인한 탁도상승이 동반된다. 이와 같이 유역으로부터 유입된 저수지내 세립자와 하천바닥에서 발생한 부유사로 인한 탁도발생은 정수처리에 있어서 매우 다른 특징을 갖는다. 댐 방류수로 인한 고탁도 원수는 동일한 SS에서도 매우 큰 탁도를 유발할 수 있다(한국수자원공사, 2004c). 그러므로 정수장에서의 고탁수 처리방안을 마련하기 위해서는 실제 고탁도를 유발하는 원인과 탁질입자 특성을 정확하게 이해해야 한다. 다시 말해, 일반적인 하천에서의 고탁도는 주로 입자크기의 분포가 다양한 하천유사에 의해 발생하지만, 댐 방류수로 인한 고탁도 문제는 입자의 크기가 아주 작은 미세입자들로 이루어져 그 특성을 달리 한다. 뿐만 아니라, 댐으로부터 일정정도 떨어진 하류하천에 위치한 정수장에서는 이 두 가지 특성을 모두 내포하고 있으므로, 유입원수의 탁질입자 특성에 대한 정확한 예측과 각 입자특성에 맞는 수처리방안이 반드시 필요하다.

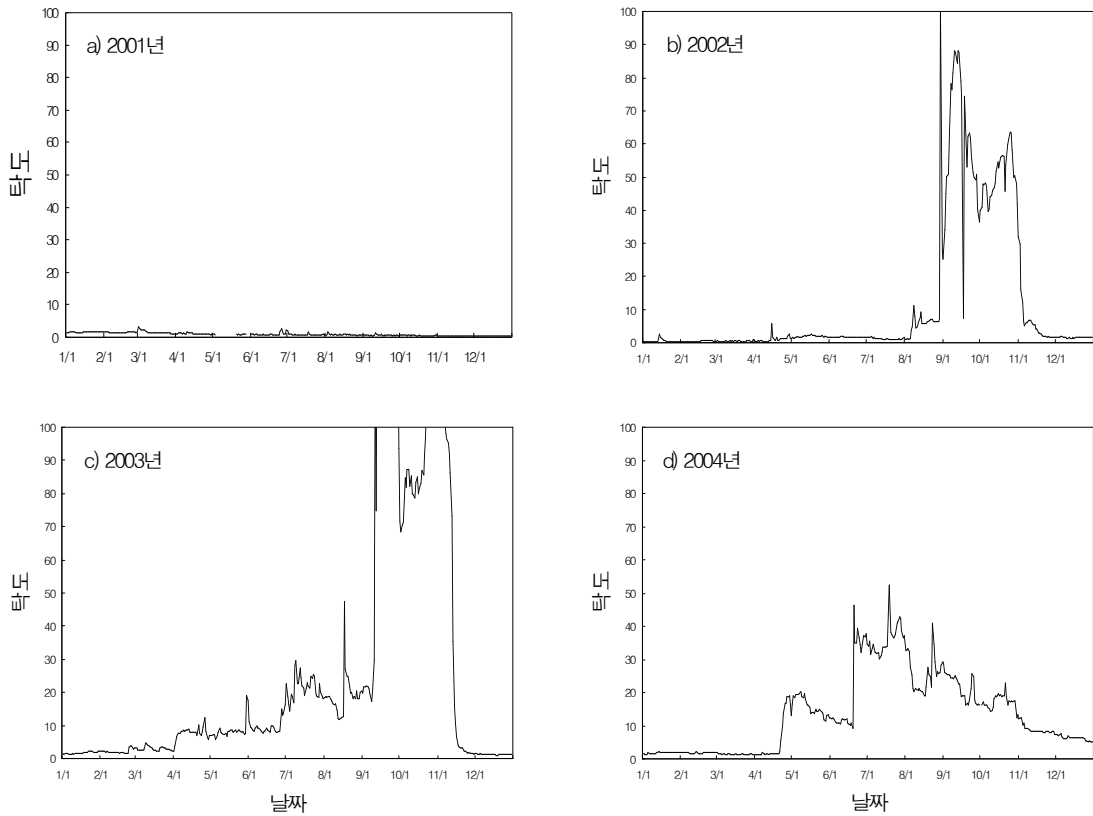


그림 1. 안동시 용상정수장의 최근 4년간 유입원수의 탁도변화

임하댐 유역의 토사특성을 분석하고 대표적인 3개의 지점을 선정하여 토사를 채취하여 입도분석 및 침강속도를 구하였다. 침강속도를 구하기 위해서는 Stoke 법칙을 사용하였으며, 임하댐 유역에 산재되어 있는 점토광물과 같이 판형구조를 나타내는 입자들은 실제 이보다 훨씬 작은 침강속도를 나타낼 것으로 사료된다. 그림 4는 댐 방류탁수의 탁질입자의 특성을 조사하기 위하여 입자분석계를 통한 결과를 유역내 토사입자 및 길안천내 하천수 결과와 비교한 것이다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이 댐 방류탁수는 10  $\mu\text{m}$ 이하의 세립자들이 다수 분포하며, 일반적인 하천의 탁수와는 다르게 2  $\mu\text{m}$ 이하의 세립자들도 많이 분포하고 있음을 알 수 있다.

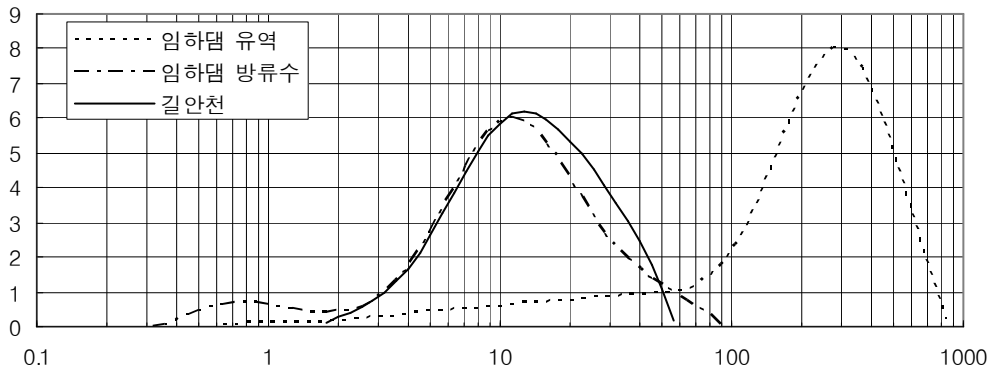


그림 2. 댐 방류탁수 입자특성의 비교분석

### 3. 혼합거동 수치해석 연구

본 연구에서는 수심적분 이차원 흐름모형인 RMA2 모형과 이송확산모형인 RMA4 모형을 낙동강 상류에 위치한 반변천 합류점 인근 하도에 적용하여 비홍수기 탁수의 평면적 거동을 분석하고자 하였다. 그림 3은 수치모형 적용영역의 지형을 등고선으로 나타낸 것으로, 건설부(1993)의 단면자료를 사용하여 구하였다. 수치모형의 적용영역은 그림에서 보는 바와 같이 낙동강 본류의 상류경계는 반변천 합류점에서 약 0.8 km 상류(안동댐의 역조정지댐 직하류)에 위치하며, 반변천쪽의 상류경계는 합류점에서 약 1.0 km 상류에 위치한다. 하류경계는 합류점에서 약 8.5 km 하류에 위치한다. 적용영역에는 안동교, 안동철교, 안동대교가 위치하며, 신설교량이 추가로 공사 중에 있다. 안동대교 상류에는 하상골재 채취장이 위치하여 하천지형의 인위적인 변화가 심한 구간이다. 본 연구에서 사용한 지형자료는 현재의 지형과는 상당한 차이가 있지만, 1993년 이후에 새로 측량된 자료가 없는 실정이어서 과거의 지형자료를 그대로 사용하였다.

RMA2 모형에서 정상류에 대한 수치해를 구하는 방법은 사용자가 지정한 횡수만큼 반복계산을 하는 방법과 수심의 변화가 사용자가 지정한 허용범위에 들 때까지 반복계산하는 방법이 있다. 본 연구에서는 정상상태의 수치해를 구하는데 충분한 반복계산을 하는 방법을 사용하였으며, 100회 반복계산된 수치해를 정상류 흐름으로 가정하였다. 수온은 15℃를 사용하였으며, 적용구간의 초기수위는 모의조건별 하류경계의 수위로 지정하였다.

그림 4는 낙동강 본류의 유입유량을 22.07 m<sup>3</sup>/s, 반변천쪽 상류경계조건은 19.19 m<sup>3</sup>/s를 사용하고, 하류경계의 수위는 EL 80.30 m를 사용하여 구한 정상류 흐름모의결과에 대한 유속벡터를 도시한 것이다. 본 연구에서는 그림의 흐름계산 결과를 사용하고, 이송확산모형의 확산계수를 변화시켜 가면서 확산계수에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

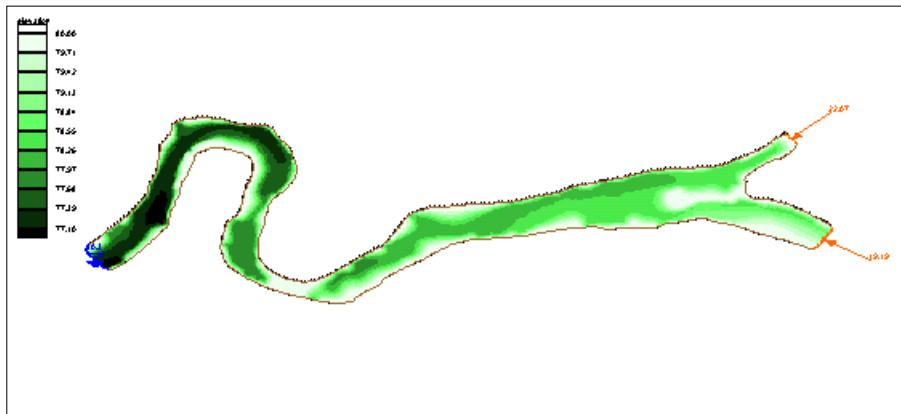


그림 3. 적용구간의 하천지형도

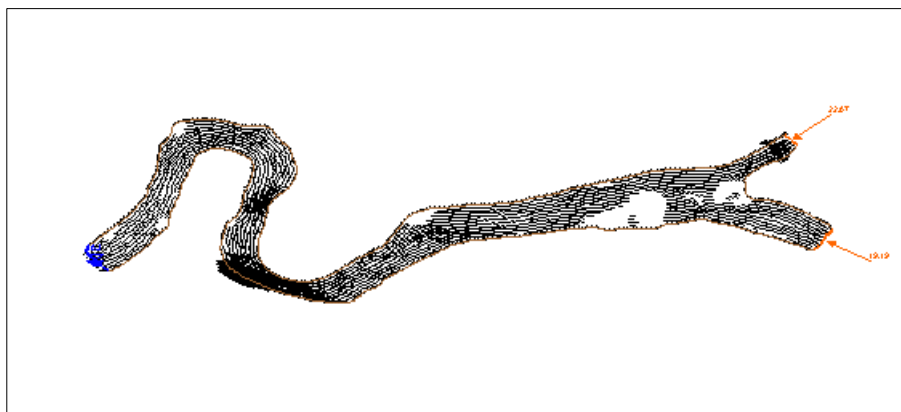


그림 4. 반변천 합류구간의 유속벡터도

확산계수는 0.1, 0.05, 0.025, 0.01 m<sup>2</sup>/s에 대하여 정상상태의 탁도를 예측하였으며, RMA4 모형의 적용결과는 그림 3.3~3.6과 같다. 그림에서 확산계수는 완전히 혼합되는 거리에 큰 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다. 그림 5는 임하댐에서 방류된 고탁도의 물이 반변천을 통해 낙동강 본류로 유입되면서 혼합되는 상태를 찍은 사진이다. 수치모의 결과와 사진 자료를 비교하면, 탁도를 유발하는 물질에 대한 확산계수는 대략 0.05 ~ 0.01 m<sup>2</sup>/s의 범위에 있다고 판단되며, 따라서 본 연구에서 확산계수는 0.025 m<sup>2</sup>/s로 결정하였다.

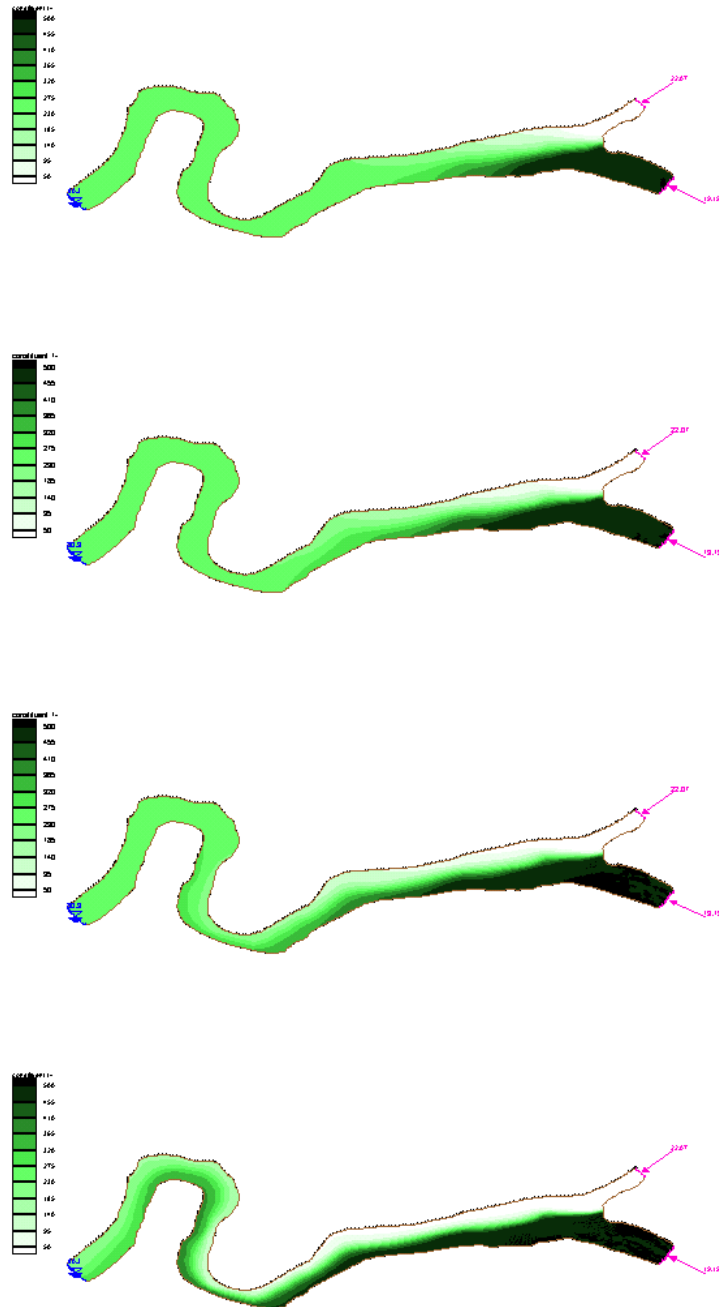


그림 5. 풍수량에 대한 정상상태 탁도 모의 결과(확산계수: 0.1, 0.05, 0.025, 0.01 m<sup>2</sup>/s)

#### 4. 결론

본 연구에서는 탁수의 물리적 특성을 조사하고 낙동강 본류와 반변천이 만나는 합류부 지점에서 평면 2차원 수리 및 수질모의를 수행하여 임하댐 방류탁수가 완전 혼합되는 지점을 예측하고자 하였다. 평면 2차원 흐름 및 수질 모의 결과에 의하면, 임하댐 방류 탁도로 인한 반변천의 고탁수는 안동댐 방류수에 지배를 받는 낙동강 본류와 합류되는 지점에서부터 약 5 km 떨어진 지점에서 완전혼합이 이루어지는 것으로 나타났다. 이와 같은 모의결과는 완전혼합을 가정하는 1차원 수질모델링의 초기 입력자료에 사용됨으로써 1차원 탁도 모의결과의 정확성을 높이는 데 사용될 수 있다. 이를 이용하여 낙동강 수계 댐 연계운영에 따른 낙동강 탁도 예측모의를 수행하고, 이 결과를 이용하여 낙동강 탁도 예경보 시스템을 구축해야 할 것이다. 이와 같은 연구를 성공적으로 수행하기 위해서는 지속적인 현장조사를 통한 지점별 탁도-SS 상관관계 도출, 비정상 흐름 및 수질모의 검·보정, 탁도예측 결과 검증이 필요하다.

#### 참고문헌

- 건설부 (1993). 낙동강 하천정비기본계획(보완III) (남강합류부-반변천합류부).
- 한국수자원공사 (2004a). 밀도성층화된 저수지내의 탁수배제시설 접근흐름에 관한 수치해석. 수자원연구원 연구보고서.
- 한국수자원공사 (2004b). 임하댐 탁수저감 방안 수립 보고서.
- 한국수자원공사 (2004c). 임하호 탁수층의 혼합거동 해석연구. 수자원연구원 연구보고서.