

# 수질모형을 이용한 낙동강 탁도관리시스템 구축

## Development of Turbidity Management System for Nakdong River using Water Quality Model

김영도\*·노준우\*\*·고익환\*\*\*·김우구\*\*\*\*

Young Do Kim, Joonwoo Noh, Ick Hwan Ko, Woo Gu Kim

### 요지

여름철 집중강우시 유입되는 고탁수층은 저수지의 밀도성층으로 인하여 표수층 하부에 위치하며, 이를 적기에 배제하지 않을 경우에는 수평방향의 확산현상과 연직방향의 전도현상으로 인해 저수지 전역에 분포하게 되어, 탁수현상의 장기화를 유발한다. 이와 같은 탁수장기화에 대한 저수지내 대책의 하나로써 홍수유입후 탁도가 높은 물을 단기간동안 방류하고, 갈수기에는 탁도가 낮은 물을 방류하는 선택취수 기법을 적용할 수 있다. 임하댐의 경우, 2004년 태풍 '디엔무'와 태풍 '메기'로 인해 발생한 탁수를 선택취수를 통하여 조기에 배제함으로써 호내탁도를 저감시킨 바 있다. 그러나 이와 같은 고탁수 우선배제 기법은 반드시 하류하천의 영향범위를 사전에 분석·검토하고, 하류하천의 수질현황을 고려한 합리적인 운영방안이 제시되어야 한다. 2004년 태풍 '디엔무' 발생직후의 댐방수로에서 170 NTU의 고탁수를 방류한 경우, 유하거리 250 km인 지점까지 30 NTU이상 유지된 바 있으며, 태풍 '메기'에 의한 고탁수 유입시, 임하댐 방류수 157 NTU, 안동댐 방류수 37 NTU인 경우에 임하댐 하류 113 km인 구미 선산 취수장까지 63 NTU의 탁도가 유지된 바 있다. 현재 임하댐의 경우, 하류하천으로의 방류수 수질을 모니터링할 수 있는 자동수질측정시스템이 발전취수탑 전면 1개소, 조정지댐 1개소에 설치되어 있다. 본 연구에서는 자동수질측정시스템과 연계하여 수질모형을 통하여 임하댐 하류하천인 낙동강 본류의 탁도관리시스템을 구축하고자 하였다. 환경부의 수질측정망 자료를 통하여 최근 3년간의 부유사농도의 변화양상을 분석하였으며, 태풍 직후의 낙동강 주요지점별 탁도측정자료를 이용하여 임하댐 고탁도방류에 의한 영향범위를 분석하였다. 또한 하천수질모형을 이용하여 탁수예측방법에 대하여 검토하였고, 이를 이용한 탁도관리시스템 구축을 위한 기본 방향을 제시하고자 한다.

**핵심용어** : 탁수장기화, 선택취수, 하류하천, 방류수, 하천수질모형

\* 정회원·인제대학교 환경공학부 전임강사·E-mail : ydkim@inje.ac.kr  
\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : jnoh@kowaco.or.kr  
\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소장·E-mail : ihko@kowaco.or.kr  
\*\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 원장·E-mail : wgkim@kowaco.or.kr

## 1. 서론

일반적으로 강우시 발생하는 하천에서의 탁수는 하상재료의 침식으로 인한 부유사(suspended load)와 유역으로부터 흘러 들어온 세류사(wash load)로 인해 발생한다(Vanoni, 1975). 이중 저수지내 탁수장기화 문제를 유발하는 콜로이드성분의 입자들은 대부분이 입자가 작은 세류사로부터 기인한다. 일반적으로 저수지내에 유입된 크기가  $5\ \mu\text{m}$ 이하의 입자들은 수체의 난류성분과 온도성층으로 인하여 침전이 되기 어렵다(Batuc와 Jordaan, 2000). 저수지에서의 장기간의 고탁수 방류로 인하여 하류하천은 생태계 오염이 증가되고, 댐 방류수를 수원으로 하는 하류지역에 위치한 정수장의 수처리과정에서 탁질제거를 위하여 정수 비용이 증가한다(한국수자원공사, 2004). 그러므로 탁수의 전체적인 농도를 낮추는 유역대책과 더불어 탁수장기화에 대한 저수지내 대책과 하류지역의 대책이 반드시 필요하다. 저수지내 대책으로서는 댐내에 유입되는 고탁수층을 선택적으로 우선 배제하여 탁수현상이 장기화되는 것을 예방할 수 있다. 그밖에도 응집제 투입을 통한 탁질입자 침전과 탁수차단망 설치에 의한 방류탁도 저감 등의 방법이 있는데, 탁질입자가 미세한 경우에는 경제성과 효율성에서 한계가 있다(Vanoni, 1975; 최정우, 2002). 댐하류지역의 대책으로는 댐방류수를 취수하는 정수장의 처리시설을 개량하거나 취수원을 이전해야 한다(한국수자원공사, 2004).

주로 냉해문제를 대비하기 위한 방법으로 표층의 온수를 선택취수하는 수리동역학적 개념을 탁도에 관하여 동일하게 적용하면 중층의 탁수를 선택취수할 수 있다. 이와 같은 선택배제를 수행하기 위해서는 저수지내 성층흐름을 해석해야 한다. 또한 취수탑 인근에서의 탁수의 연직분포를 실시간으로 파악할 수 있는 자동 탁도측정시스템이 구축되어 있어야 한다. 현재 임하댐의 경우, 상류 유입부 2개소, 발전취수탑 전면 1개소, 조정지댐 1개소 등 총 4개의 자동탁도시스템이 설치되어 탁도와 온도가 실시간으로 모니터링되고 있으며, 향후 저수지내에 추가적으로 설치될 예정이다. 이와 같은 자동탁도시스템과 더불어 주기적인 세부 수질조사를 실시하면 저수지내의 온도성층 변화에 따른 탁수층 분포를 파악할 수 있으며, 수질모형과 연계하여 강우시 탁수도달시간과 탁수량을 예측할 수 있다(이용곤 등, 2005). 이와 같은 정보를 바탕으로 하류하천의 탁수피해를 최소화할 수 있는 취수탑의 운영방안을 수립할 수 있으며, 본 연구에서는 이를 위해 선택취수탑 주위의 성층흐름을 수치해석하여 온도성층구조나 취수구 위치 변화에 따른 방류특성을 조사하고자 한다.

## 2. 선택취수에 의한 탁수발생일수 저감효과 분석

그림 1과 그림 2는 임하호 표면취수설비의 취수탑으로부터의 반경에 따른 온도 및 탁도의 연직분포를 나타낸 것으로서, 성층분포는 거의 변화가 없는 반면에 탁도분포는 일정정도 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 온도성층분포의 변화가 적은 것은 선택취수를 통하여 일정한 탁수층을 배제할 수 있다는 것을 나타낸다.

그림 3는 임하호 유역의 2002년 1월에서 2004년 8월까지의 유역평균강우량에 대한 일자료와 댐 유입·유출량을 나타낸 것이다. 저수지내 유입량의 대부분은 강우량이 큰 여름철에 발생하므로, 댐을 운영함에 있어서 방류량도 태풍과 같은 큰 강우사상이 발생했을 경우에 수문방류와 더불어 많은 양을 내보내고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 임하호 유역의 2002년 1월에서 2004년 8월까지의 강우량과 댐측에서의 최고탁도, 평균탁도, 그리고 방류탁도의 상관관계를 나타낸 것이다. 댐측 인근에서의 탁도조사 결과를 일자료분석에 사용한 것은 댐측 인근이 가장 깊은 수심을 형성하며, 취수시설 주변의 탁도분포로서 취수탑운영과 더불어 하류하천의 방류탁도에 가장 중요한 인자이기 때문이다. 저수지내의 탁수발생에 관한 일자료는 다른 수문학적인 자료와는 다른 양상을 보인

다. 대규모의 고탁수층이 급격하게 발생하는 것은 태풍과 같은 큰 강우사상에 유입량 및 유출량이 급격하게 증가하는 점과 일치하나, 저수지내에 높아진 탁도가 감소함에 있어서는 다른 수문자료와는 달리 고탁도가 상당히 오래 지속되는 현상을 보인다. 특히 2004년 태풍 ‘디엔무’와 ‘메기’에 의한 탁수발생 현황을 살펴보면 탁수발생기간이 상당히 짧게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 취수탑과 수문을 운영함에 있어서 탁수발생현황을 신속하게 모니터링하고, 가급적 탁수를 우선배제시키고자 노력한 결과이다. 이와 같이 일정량을 방류할 수 있는 선택취수시설을 이용하여 저수지내 탁도를 최대한 빠른 시일내에 낮춤으로써 방류수로 인한 하류하천의 탁수발생기간을 최소화하여 피해를 저감시키는 것이 탁수우선배제 기법이라 할 수 있다.

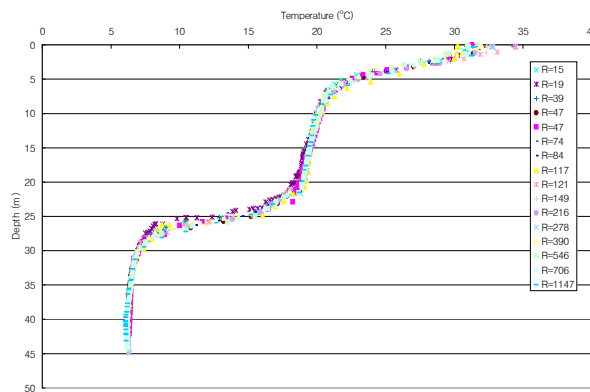


그림 1. 반경에 따른 연직온도분포

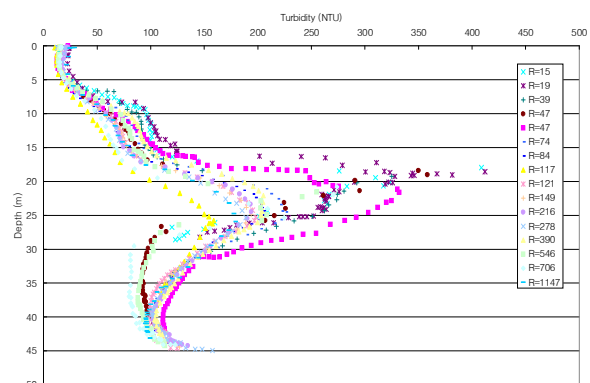


그림 2. 반경에 따른 연직탁도분포

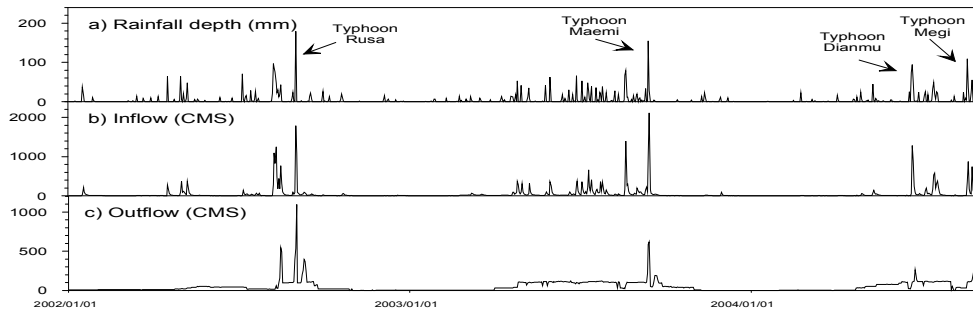


그림 3. 유역평균강우량에 따른 저수지 유입량과 방류량

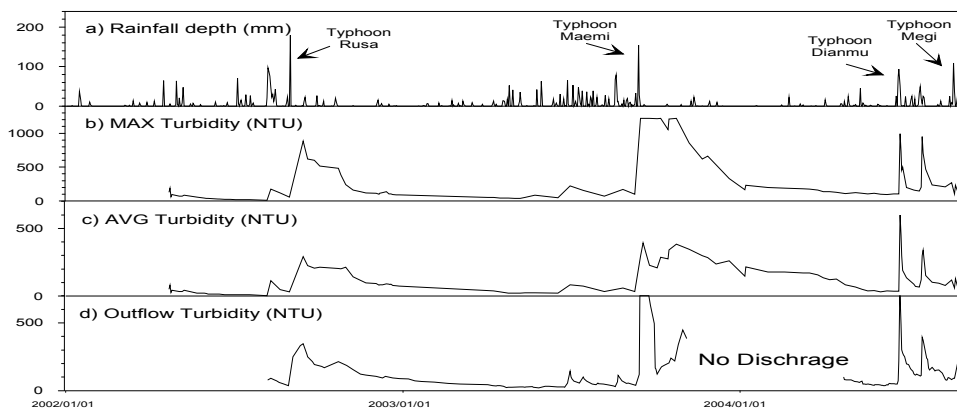


그림 4. 유역평균강우량에 따른 탁도변화

### 3. 임하댐 방류탁수에 대한 하류하천 영향범위 분석

그림 5는 임하댐관리단에서 조사한 2004년도 임하호 방류탁도에 대한 하류하천의 영향범위를 조사한 것이다. 또한 그림 6은 환경부 수질측정망 자료의 낙동강 본류의 SS를 나타낸 것이다. 임하댐 탁수방류로 인하여 탁도모니터링 결과가 하류로 갈수록 어느 정도 타당한 영향범위를 보이며 하류로 갈수록 희석되는 것에 비하여 수질측정망의 SS 결과는 오히려 하류하천으로 갈수록 일정정도 증가하는 것을 확인할 수 있다.

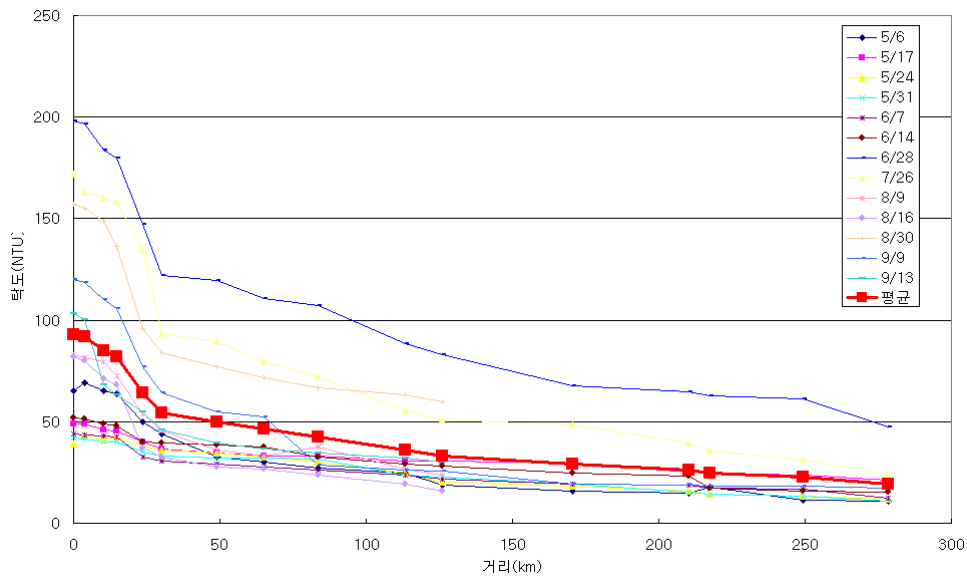


그림 5. 임하댐 방류탁수의 하류하천 영향범위

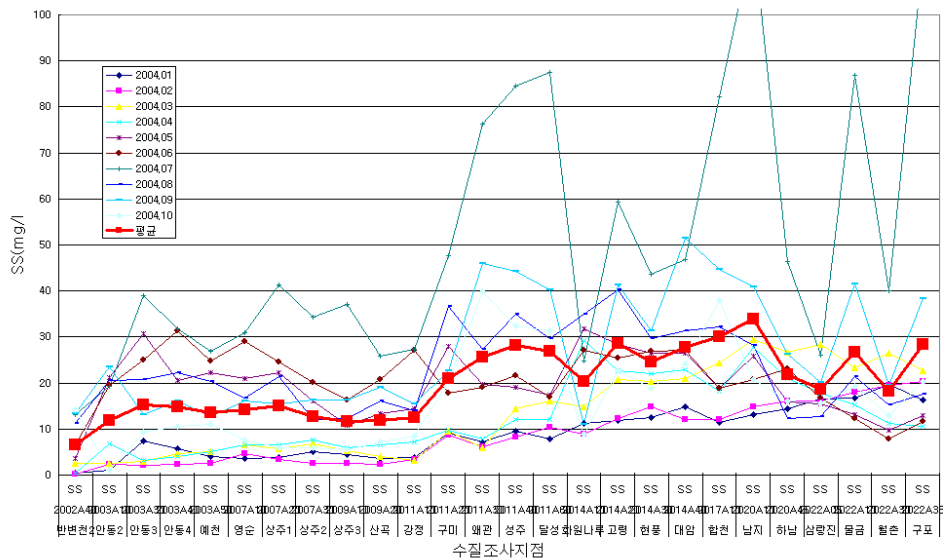


그림 6. 낙동강 본류의 거리에 따른 SS 분석 (환경부 수질측정망 자료)

이와 같은 결과를 이해하기 위해서는 측정된 탁도의 물리적 의미를 파악하고 저수지와 하천에서의 탁도와 부유사농도의 상관관계를 알아야한다. 이와 같은 상관관계를 구하기 위하여 임하호내와 상류유입지천에서 2004년 4월에서 2004년 7월까지 탁도(NTU)와 부유사의 농도가 동시에 측정되었다. 그림7는 임하호내와 상류 유입지천(반변천)에서 측정된 탁도와 부유사농도의 결과를 보여준다. 그림 7에 나타낸 바와 같이 하천과 저수지에서의 탁도-SS 상관관계는 다르게 나타난다. 이는 유속으로 인한 소류력이 큰 하천과 그렇지 않은 저수지에서의 수리학적 특성상 당연한 결과이다. 그러므로 이와 같이 저수지에서 발생하는 세립자로 구성된 탁수의 하류하천에서의 영향범위를 해석하기 위해서는 현장 탁도모니터링과 더불어 수질모형을 이용해야 한다.

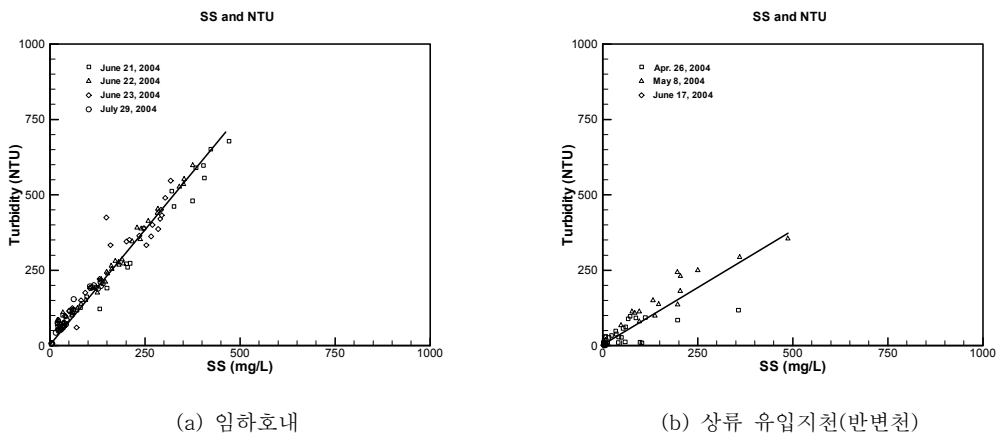


그림 7. 탁도에 따른 부유사농도 변화(이용곤 등, 2005)

#### 4. 결론

환경부의 수질측정망 자료를 통하여 낙동강 본류의 부유사농도의 변화양상을 분석하였으며, 태풍 직후의 낙동강 주요지점별 탁도측정자료를 이용하여 임하댐 고탁도방류에 의한 영향범위를 분석하였다. 또한 하천수질모형을 이용하여 탁수예측방법에 대하여 검토하였고, 이를 이용한 탁도관리시스템 구축을 위한 기본 방안을 제시하고자 하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 이용곤, 김영도, 박기영, 김우구(2005). 임하호 탁도변화 분석을 위한 2차원 수치모의, 대한토목학회논문집, (제출중).
2. 정세웅(2003). 저수지 탁수의 밀도류 유동특성 조사와 모의기법에 관한 연구, 한국수자원공사 물관리센터, 제 19회 한일기술교류회의.
3. 최정우(2002). 임하댐 탁수 차단막 설치효과, 상주대학교 자문의견서.
4. 한국수자원공사(2004). 임하댐 탁수저감방안 수립 최종보고서.
5. Batuca, D.G. and Jordaan, J.M. (2000). *Silting and desilting of reservoirs*, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands.
6. Vanoni, V.A. (1975). *Sedimentation Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York NY.