

# KModSim을 이용한 수량·수질의 저수지 운영계획

## Reservoir Operation for Water Quantity and Quality using KModSim

이진희\*·고익환\*\*·강신욱\*\*\*·황만하\*\*\*\*·노준우\*\*\*\*\*

Jin-Hee Lee\*·Ick-Hwan Ko\*\*·Shin-Uk Kang\*\*\*·Man-Ha Hwang\*\*\*\*·Jun-Woo Noh\*\*\*\*\*

### 요지

수자원의 지속적 확보기술개발사업의 장단기 저수지 연계운영 및 수질개선 방안 연구에서 개발 중인 범용 하천유역관리 모형인 KModSim은 그 수행속도와 모델 구성의 편이성으로 인해 하천의 수요처와 다수개의 저수지를 포함하는 대단위 유역에 적용이 용이하다. 본 연구에서는 현재 한국수자원공사에서 저수지 운영계획에 사용하고 있는 저수지 운영 기준수위를 바탕으로 하천유지용수와 수질개선용수를 확보하는 방안을 검토하였다. 우선 수량과 수질을 고려한 저수지 운영계획을 수립하기 위하여 기존의 수량만을 분배하는 물배분 시스템을 바탕으로 방류량에 증가에 따라 수질개선을 유도할 수 있도록 수질 개선 용수 수요노드를 추가하였다. 이때 유역내의 저수지의 기준수위와 하천의 하천유지용수 및 용수수요노드의 우선 순위의 설정에 따라 deficit supply 방식의 물배분이 가능하게 하였으며 이를 통해 꼭 필요한 유량이 발생 할 때 유량을 공급할 수 있도록 모형을 설정 하였다. 반면 방류량에 따른 수질개선 효과를 분석하기 위하여 과거의 수질 측정자료의 상관성을 분석하여 다중회귀분석 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 방류량의 증가에 따른 수질개선 효과를 분석할 수 있는 모형으로 특정시점에 있어서 특정 수질 매개변수의 농도를 예측할 수 있으며 적정수준 이하의 수질 농도를 유지하기 위하여 필요한 방류량을 계산하도록 하였다. 이러한 수질 개선을 위한 공급 시나리오는 기존의 용수 우선의 시나리오 분석과 더불어 운영자에게 다양한 정보를 제공하여 보다 효율적 저수지 운영계획이 수립될 수 있도록 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

**핵심용어:** KModSim, deficit supply, 하천유역관리, 저수지운영, 하천유지용수, 수질개선용수, 우선순위 물배분

### 1. 서론

유역을 고려한 다목적댐 저수지운영은 홍수조절, 용수공급, 수력발전 그리고 하류 하천수질의 보전을 종합적으로 고려하여야 하므로 다양한 분야의 물관리 기술을 요구한다. 특히, 최근에는 우리사회의 시민단체와 지자체의 환경마인드가 더 한층 고조되어 신규 수자원개발은 점점 더 어려워지고 있어 다목적댐 저수지를 비롯한 기존 수자원 시설물의 보다 효율적인 운영이 요구되고 있는 실정이다. 또한 다양한 목적으로 운영되고 있는 다목적댐저수지의 보다 효율적인 운영을 위해서는 다목적댐이 위치한 수계의 유역특성을 고려한 수량, 수력발전 뿐만 아니라 수질 및 레크리에이션 등의 다양한 목적을 충족시킬 수 있도록 종합적인 통합물관리가 필요하다.

우리나라에서도 이와 같은 다양해진 저수지 운영관련 요구를 반영하기 위해서는 다목적댐저수지는 대부분 상·하류의 정수장에 원수를 공급하고 있으므로 유역-저수지-하천-취·정수장을 연계한 통합운영을 위해서는 수량과 수질을 종합적으로 관리할 필요가 있으며 이를 위해서는 각 수계별 특성에 적합한 분석 모형이 필요하다. 특히, 갈수기 기간중에 대부분의 댐저수지 하류 하천의 유량은 지류로 부터의 유입량이 고갈되어 상류 댐 방류량에 의존하는 비율이 매우 높으며 낙동강과 금강에서 갈수기 동안 하류하천의 유량 부족과 수질악화로 인해 댐으로 부터의 증가방류 요청이 잦아지고 있는 실정인

\* 정회원·한국환경정책평가연구원 책임연구원·E-mail: jhlee@kei.re.kr  
\*\* 정회원·한국수자원공사 K-Water연구원 연구위원·E-mail: ihko@kwater.or.kr  
\*\*\* 정회원·한국수자원공사 K-Water연구원 선임연구원·E-mail: sukang@kwater.or.kr  
\*\*\*\* 정회원·한국수자원공사 K-Water연구원 수석연구원·E-mail: hwangmh@kwater.or.kr  
\*\*\*\*\* 정회원·한국수자원공사 K-Water연구원 선임연구원·E-mail: jnoh@kwater.or.kr

다. 갈수기 동안 우리나라 하천의 수질은 상류댐 방류량에 상당한 영향을 받는 것으로 보고되고 있으나, 댐방류량과 하천수질의 정량적인 상관성 분석과 이를 분석할 수 있는 모형의 구축은 매우 미흡한 실정이라서 효율적인 저수지운영의 제약조건이 되고 있다.

수자원의 지속적 확보기술개발사업의 장단기 저수지 연계운영 및 수질개선 방안 연구에서 개발 중인 범용 하천유역관리 모형인 KModSim은 그 수행속도와 모델 구성의 편의성으로 인해 하천의 수요처와 다수개의 저수지를 포함하는 대단위 유역에 적용이 용이하다. 본 연구에서는 현재 한국수자원공사에서 저수지 운영계획에 사용하고 있는 저수지 운영 기준수위를 바탕으로 하천유지용수와 수질개선용수를 확보하는 방안을 검토하였다. 특히, 수질문제에 대하여 금강수계 내에 위치한 대청댐의 방류량이 하류하천의 암모니아 질소농도를 중심으로 방류량과 하천수질인자와의 상관관계를 분석하고 이를 예측하여 갈수기 동안 댐하류의 수질보전을 고려한 적정 댐 방류량을 산정할 수 있도록 통계학적 하천수질모형을 구축하여 이를 대청댐저수지 운영방안을 도출하였다.

## 2. 수량 및 수질을 고려한 유역통합 저수지 운영계획안

### 2.1 KModSim 네트워크의 구축

새로 고시된 하천유지유량과 현업에서 사용되고 있는 저수지 기준수위를 반영하여 그림 1과 같이 금강유역의 KModSim 네트워크 구축 하였다. 하천유지유량은 기존 수리권으로 보장된 각종 용수를 확보한 상태에서 고시된 하천유지유량을 충족되도록 물배분이 이루어지므로 현실적으로 100% 충족시킨다는 것을 매우 어려운 일이며 저수지에 의해 공급 받는 것이 가능하며 이럴 경우 저수지 운영의 기준이 되는 기준수위를 참조하여 공급하도록 하였다.

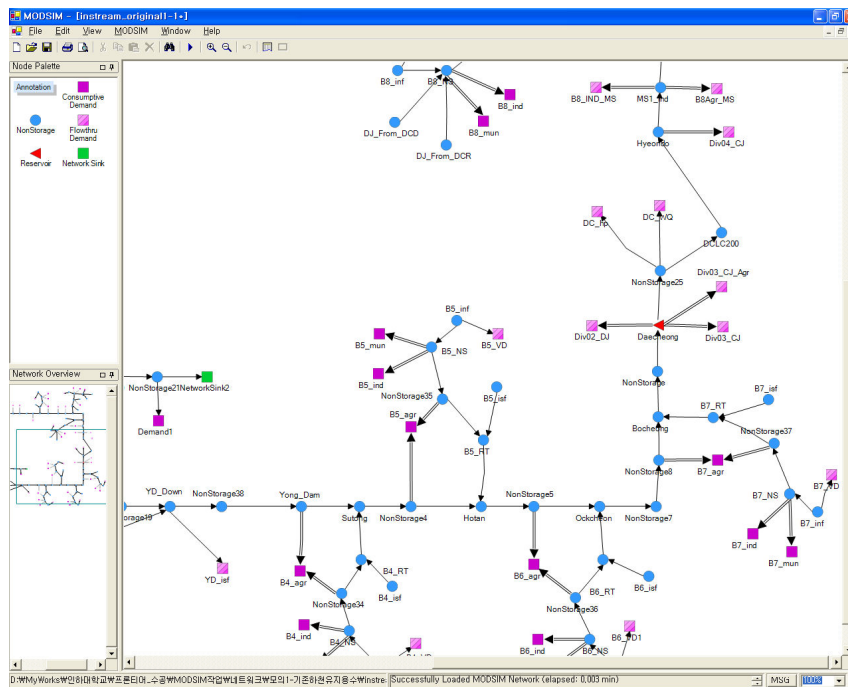


그림 1 금강유역의 KModSim 네트워크

### 2.2 수질예측을 위한 통계적 모형의 개발

환경부 수질 측정망 자료에 따르면 대청댐과 대청댐 직하류의 수질은 대체로 양호한 편이나, 댐하류에 위치한 대전광역시를 관통하여 흐르는 갑천이 유입되고 또한 청주시 및 인근 공단의 오염물질이 방류되는 미호천이 유입됨으로 인해 금강 본류의 수질은 하류로 갈수록 점점 저하되는 것으로 나타난다. 갑천과 미호천에서의 높은 질소농도는 상류의 도시들로부터

방류되는 생활하수의 영향에 기인한 것으로 여겨지는데 이것은 동절기에 하류의 부여에서 취수하여 사용하는 석성정수장의 정수처리 장애의 주원인으로 작용하고 있다. 그림 2는 부여지점의 암모니아성 질소 농도를 1996년부터 2006년까지 월별로 도시하였으며 동절기에 높은 농도가 기록되고 있는 것을 보여주고 있다.

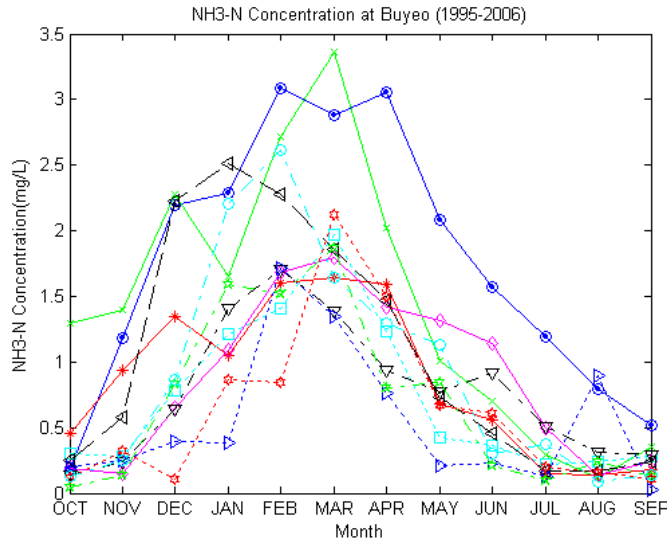


그림 2 부여지점의 암모니아성 질소 농도 (1996-2006)

하류 수질을 고려한 월별 저수지 운영계획을 수립하기 위해서는 댐방류량 변화에 따른 하천수질을 예측 할 필요가 있다. 하천의 수질을 예측하는 방법은 크게 QUAL2E 모형과 같은 수학적모형을 사용하는 방법과 통계모형을 적용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 월별 대청댐 방류량 변화에 따른 하류의 암모니아성 질소 농도를 예측하기 위해 다중회귀모형을 검토 하였다. 분석자료는 1995년 10월부터 2007년 9월의 월별 평균값을 사용하였으며 분석에 사용된 총자료수는 132개이다. 분석자료 중 2005년 10월부터 2007년의 자료는 모형의 검증용을 위해 사용되었다. 독립변수는 댐방류량, 질소농도의 월별 자기 상관성(Lag-1), 그리고 부여취수장 및 대청댐의 원수 수질측정 인자들간의 상관분석을 통해 암모니아성 질소농도와 상관 계수가 높은 항목을 포함시켰다. 최종 선택된 모형은 아래와 같으며 그림 3과 같이 과거 자료를 통해 모형의 검증되었다.

$$C_t = (-0.0689) \cdot Q_t^{-1.0024} \cdot (TN)_t^{1.2898} + \varepsilon_t$$

여기서,  $C_t$  = 해당월의 평균 암모니아성 질소 농도,  $Q_t$  = 해당월의 평균 댐 방류량,  $(TN)_t$  = 해당월의 평균 원수 총 인, 그리고  $\varepsilon_t$ 는 계산값과 관측값의 차이를 나타내는 오차이다.

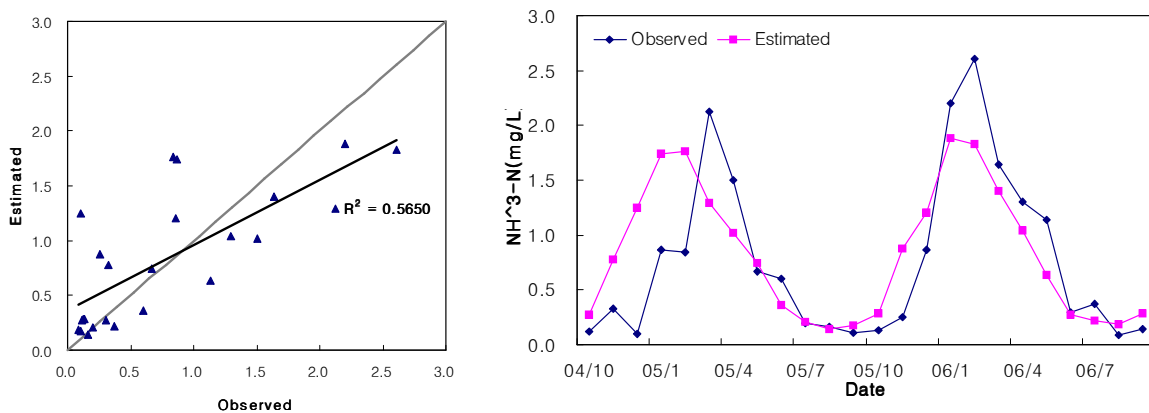


그림 3 수질예측 모형의 적합성 검증

### 2.3 수량과 수질을 고려한 금강 유역 모의 운영의 적용성 평가

본 연구에서는 수량과 수질을 고려하기 위하여 대청댐 하류에 수력발전 수요노드와 수질개선 수요노드를 설정하였으며 대청댐에 대해서는 목표저수량을 중심으로 유효저수공간에 대해 우선순위를 설정하였다. 수질개선 수요노드의 수요량은 앞 절에서 언급된 다중회귀모형을 이용하여 수질을 예측하고 예측된 수질을 일정수준(예를 들어 3 mg/l 인 경우 2 mg/l로)으로 낮추기 위한 추가 수량을 모형에서 계산하여 수요노드에 설정하였다.

분석기간은 2002년 1월부터 2005년 12월까지로 월 단위로 운영 해 보았으며 유입량 예측은 실제 운영과의 현실성 검토를 위하여 기왕유입량 자료(실제로는 각 소유역별로 SSAR 모형에 의해 모의된 값 사용)를 사용하였다. 물론 실시간 물관리 시스템에서 개발된 RRFS 및 ESP의 유입량 시나리오를 사용할 수도 있으며 물관리 센터의 빈도해석에 의한 빈도유량을 입력할 수 있다. 시나리오 조건으로는 목표저수위, 수력발전, 하천유지용수, 수질 등의 우선순위를 설정하여 모의운영을 실시하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 용담댐의 경우는 초기의 저수량의 차이를 제외하고는 실제운영과의 차이가 없었으며 저수지 기준수위를 웃도는 저수량을 유지하였다. 대청댐의 경우는 모의 운영 결과가 기준수위 보다 낮게 유지되는 것을 볼 수 있으며 기준저수량에 대하여 실제운영보다 유지하려는 경향이 있을 알 수 있다. 이는 ModSim 네트워크의 우선순위 설정과정에서 목표저수량에 대한 우선순위가 크면 클수록 저수위를 확보하려는 경향이 생기며 낮으면 낮을 수록 수력발전이나 하천유지용수, 수질에 대한 수요를 충족시키려는 방향으로 운영모의 됨을 알 수 있다. KModSim에서는 이렇게 저수지와 수요처의 우선순위의 설정함으로 유역 전체에 대해 Deficit Supply 방식에 의해 물배분이 가능하고 이를 통해 효율적인 물관리가 될 수 있으며 보여 주고 있다.

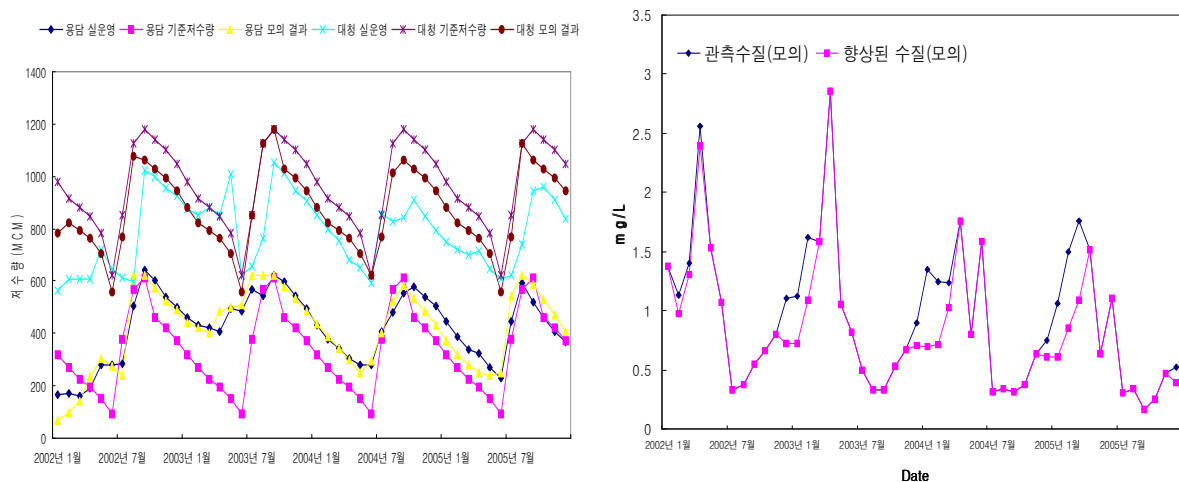


그림 4 용담댐과 대청댐의 저수량 변화(좌); 부여지점의 수질변화(우)

### 3. 결론

갈수기 동안 저수지 월별 방류계획을 수립하는데 하천수질을 고려할 경우 가장 최근의 하천유량과 수질자료를 사용하여 직접 수질모델링을 수행하여 방류규모별예상 수질농도를 산정하는 것이 가장 바람직한 방법이다. 하지만, 갈수기 동안 하천의 방대한 유량과 수질자료를 즉시 확보하기는 현실적으로 매우 어려우므로 방류량과 수질의 상관분석 결과를 이용하여 대략적인 검토를 할 수 있다. 하지만 상관분석 결과는 환경기초시설의 확충 효과와 하천의 환경인자 및 수문상황의 변화 등이 고려되지 않은 점을 감안하여야 하며 같은 유량에 대해서도 수질의 분산이 크기 때문에 이를 활용하는 데에는 많은 주의가 필요하다.

따라서, 실제 저수지 운영계획을 위해서는 ‘장·단기 댐군 연계운영 모형 기술 적용’ 부문에서 개발된 저수지 최적연계 운영 모형인 CoMOM과 네트워크 모의운영 모형인 KModSim과의 연계를 통한 실시간 시뮬레이션을 수행하는 것이 바람직하며 수질 부분의 평가를 위한 Qual2E Plus가 결합된 형태의 그림 5과 같은 의사결정시스템이 완성되어야 할 것이다.

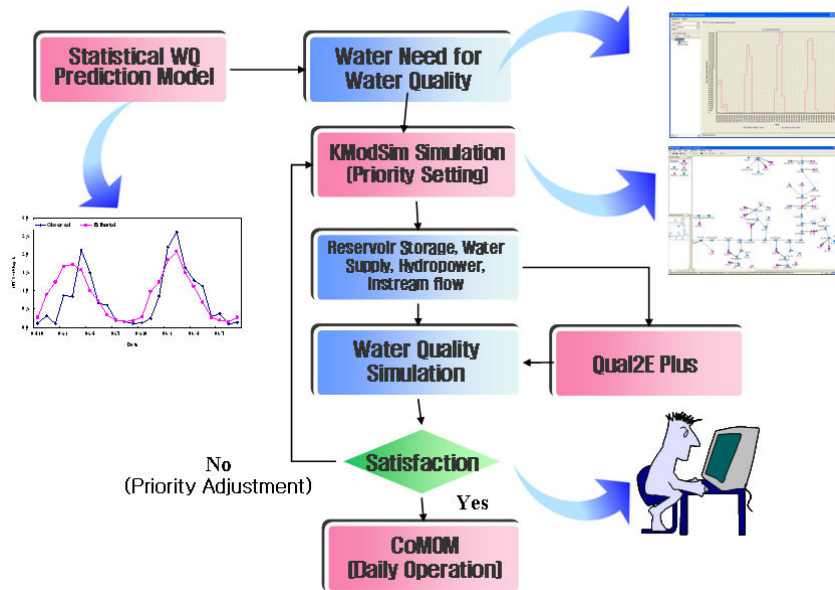


그림 5 수량 및 수질을 고려한 저수지 운영 의사결정시스템

## 감사의글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Labadie, J. W., Fontane, D. G., Lee, J. H., and Ko, I. H.(2005). "Adaptive Decision Support System for Real-Time Operation of the Geum River Basin, Korea." EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change.
2. Fredericks, J. W., Labadie, J. W., and Altenhofen, J. M. (1998). "Decision support system for conjunctive stream-aquifer management." *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.*, ASCE, 124(2), 69--78.