

연구논문

용담댐 저수지 수질관리시스템 적용성 평가

이요상 · 고덕구 · 이해숙 · 정선아
수자원연구원 물정보화연구소, 유역환경연구소
(2008년 5월 23일 접수, 2008년 8월 14일 승인)

Assessment of Water Quality Management System Application on Yongdam Reservoir

Yo-Sang Lee · Deuk-Koo Koh · Hye-Suk Yi · Seon-A Jeong

Korea Institute of Water and Environment, Kwater, Deajeon 305-730, Korea
(Manuscript received 23 May 2008; accepted 14 August 2008)

Abstract

To develop a watershed management plan for protection of the lake water quality, the linkages among land use activities, stream water quality, and lake water quality must be understood. This study conducted to develop a Decision Support System(DSS) for the reservoir water quality managers and a comprehensive watershed management plan. This DSS has three main components; database, interactive decision model, and data delivery interface system. Graphic User Interface(GUI) was developed as the interface medium to deliver the data and modeling results to the end users. Water quality management scenarios in Yongdam reservoir consist of two parts. One is the watershed management, and the other is water quality management in the reservoir. The watershed management scenarios that were evaluated include as follows : a removal of point sources, control of waste water treatment plant, reductions in nonpoint sources, and the management of developed land. Water quality management scenarios in the reservoir include to install a curtain wall and to operate an algae removal system. The results from the scenario analysis indicate that the strategy of the reservoir water quality management can promise the best effectiveness to conserve the quality of reservoir water. It is expected that many local agencies can use this DSS to analyze the impact of landuse changes and activities on the reservoir watershed and can benefit from making watershed management decisions.

Keywords : Yongdam reservoir, DSS, Water quality management scenario

I. 서론

저수지 수질은 유역의 점오염원 배출부하와 강우 시 발생하는 비점오염부하의 저수지 유입, 저수지에서의 체류기간 및 방류량 등에 의해 영향을 받는다. 이와 같이 저수지 수질은 다양한 내·외부 요인에 따라 그 특성을 달리하기 때문에 수질관리 방안을 수립하기 위해서는 기상, 수리·수문, 수질, 지형, 오염원, 처리시설 관련자료 등 많은 자료를 필요로 한다. 이러한 자료들은 모의를 위한 모델에 사용되며, 이로 인해 모델 사용에 익숙한 전문가만이 적용할 수 있는 것이 지금의 현실이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 각종관련 모델을 하나의 시스템으로 구성하여 입력과 출력을 단순화 함으로서 관련자들이 보다 수월하게 사용할 수 있게 하여야 한다(Heathcote I. W., 1998 ; Matthies M., et al, 2006). 본 논문에서는 각종자료의 입력, 수정 및 분석을 수행하는 자료관리시스템, 수질모의를 수행하는 모델시스템 그리고 분석결과를 표나 그래프로 표현하는 체계를 하나의 시스템으로 통합·구축하였으며, 이를 적용하여 여러 가지 대안에 대한 평가를 쉽게 할 수 있게 함으로서 수질관리자는 보다 정확하고 신속하게 의사결정을 할 수 있게 된다.

해외의 의사결정시스템 개발 사례로는 Indrajeet Chaubey *et al.*(2005)이 미국 알칸사스주의 Beaver Lake유역을 대상으로 Decision Support System(DSS)을 개발 하였다. 본 시스템은 데이터베이스, interactive decision model, 그리고 데이터 전송인터페이스 시스템으로 구성되어 있다. 수질관리 시나리오는 1999년부터 2002년까지 가금류 쓰레기와 비료의 발생량을 변화시키는 것으로 모의하였으며, 수질항목은 TN, TP, SS, NO₃-N, PO₄-P 등이다. Hongguang Cheng *et al.*(2003)이 개발한 전문가 시스템은 도시수질과 관련된 환경상태와 경제적 사회적 체계에 관한 내용을 기본으로 한다. 이 시스템은 수질오염과 산업체의 경제활동간의 관계를 분석하는데 사용된다. 본 시스템은 중국 환경부가 황하유역에 적용하였으며, 환경

관리를 위한 의사결정을 할 수 있도록 제공되었다. Quinn N. W. T. *et al.*(2003)이 개발한 의사결정 지원시스템은 캘리포니아 Stockton 근처에 있는 Deep Water Ship Channel(DWSC)에서 낮은 용존산소를 관리하기 위해 개발하였다. 시스템은 3개의 정보기술기능이 통합되어 있다. 첫 번째 파트는 유량, 오염부하 그리고 수질자료의 수집과 관리이며, 두 번째 파트는 용존산소의 임계고갈을 예측하고 용존산소 농도를 개선하는데 필요한 실행방안을 결정하는 모의 모형 부분이고 세 번째 파트는 인터페이스부분으로 구성되어 있다.

국내에서 발표된 저수지 수질관리 의사결정지원 시스템은 김계현 등(2000)이 농업용수와 관련된 수질정보의 체계적인 관리를 위해 GIS 기반으로 농업용수 수질정보 종합관리시스템을 개발하였다. 농업용수에 적합한 수질환경기준을 목표수질로 설정하여 대상유역의 삭감량을 산정하여 소유역별로 배분하는데 적용하였다. 김혜영 등(2002)은 새만금을 대상으로 유역에서 발생하는 오염부하량을 산정하고, RS/GIS/DB통합 해석으로 호수로의 유달출 산정방법을 확립하여 호수수질관리시스템을 구축하였다. 차후에 대상유역 개발 완료후 예상되는 호수로의 오염유달출을 산정하였으며 사업지역의 배수구역별 비점오염원 관리에 활용가능토록 하였다.

본 논문에서는 구축된 수질관리시스템을 활용하여 유역관리 시나리오와 저수지관리 시나리오를 적용한 수질변화를 모의하고자 하며, 그 결과를 비교평가하여 수질관리 의사결정자는 보다 효율적인 수질관리 방안을 적용할 수 있게 하고자 하였다.

II. 수질관리시스템 개발

수질관리를 효과적으로 추진하기 위해서는 일정 지역 내의 수질오염 상황을 정량적으로 분석하고 그 결과를 바탕으로 지역에 알맞은 수질관리 대책을 마련할 수 있어야 한다. 이러한 과정에서 경제적이며 효율적인 개선책을 마련하기 위해 많은 정보가 확보되어야 할 뿐만 아니라 수질에 대한 모의,

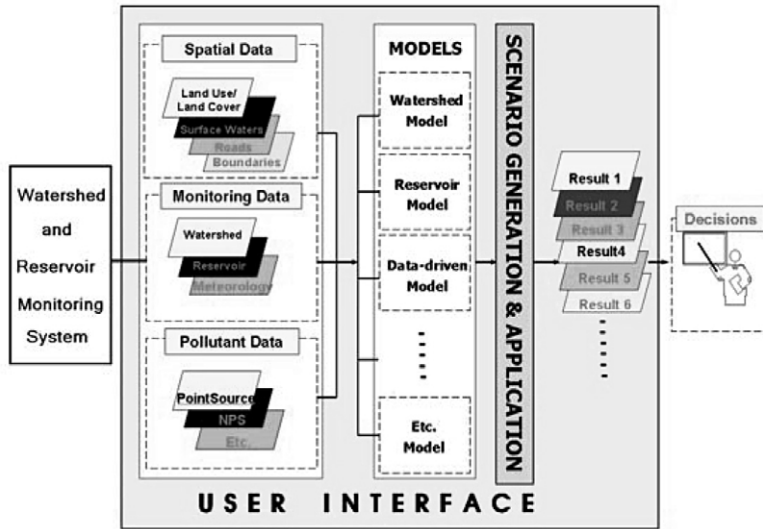


그림 1. 수질관리 의사결정지원시스템 구조

처리대안 시스템, 그리고 모델과 시스템 사용에 필요한 데이터베이스 구축 등이 연계된 수질관련 정보관리 체계가 필요하다(그림 1).

본 연구에서 구축한 저수지 수질관리 체계는 UML (Unified Model Language) 기반 하에서 Visual C++ 언어를 사용 하였으며, Class diagram, 화면 명세, 데이터베이스 명세 등을 생성하여 체계적으로 시스템을 구축하였다. 정보분석 도구에서는 유

역모델로 HSPF를 적용하였고 저수지 모델로는 CE-QUAL-W2를 적용하였으며 각 모델 간 원활한 자료 제공을 위해 인터페이스를 구축하였다.

정보분석 도구로 사용되는 유역모델인 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모델은 복합적인 토지피복 특성을 갖는 유역에서 강우 시 발생하는 유량과 수질을 모의하기 위하여 미국 환경청(U.S. EPA)과 미국 지질조사기관

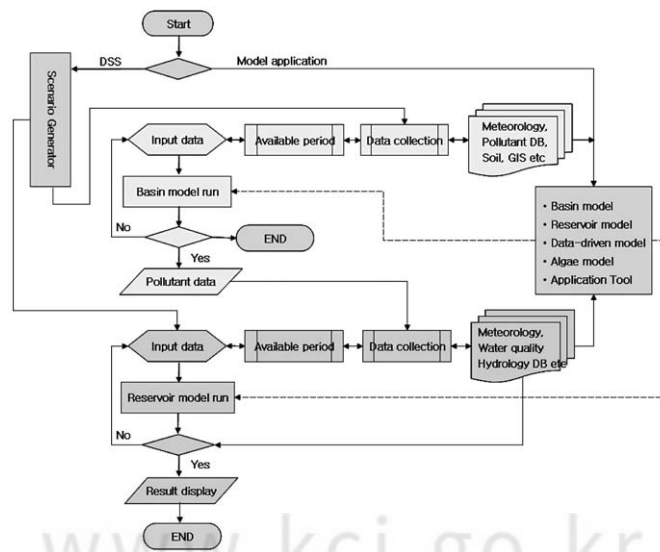


그림 2. 수질관리의사결정시스템 흐름도

(USGS)이 개발한 통합형 모델이다. 1980년에 최초로 개발되어 지속적인 수정과 확장을 거듭해오고 있는 모델로 유역의 토지피복 특성에 따른 오염물질의 부하량을 모의하고 하천 유입 부하량과 하천에서의 반응을 고려하여 수질을 모의한다. 저수지 수질을 모의하는 CE-QUAL-W2는 미공병단(U.S Army Corps of Engineers)에서 1986년 개발한 2차원 수리·수질모델이며, 2005년 현재 Version 3.2 까지 개발되었다. 본 모델은 하천·저수지·하구 또는 이들이 결합된 시스템에 적용 할 수 있으며, 수리모델은 수표면과 유속, 그리고 수온을 예측하며, 수질모델의 알고리즘은 45개 이상의 수질 항목을 쉽게 추가·삭제할 수 있게 구성되어 있다.

구축된 DSS 시스템 초기화면에서는 의사결정을 위한 다양한 시나리오 적용이 가능하도록 하였으며, DBMS에서는 수집된 자료에 대하여 년중 수질 변화경향 분석, 수질자료의 통계적 특성분석, 수질 항목별 상관성 분석등 다양한 분석이 가능하도록 구축하였다. 본 시스템에서는 유역모델과 저수지모델을 연결하여 사용할 수도 있고, 각각 사용도 가능하다. 두 모델을 연결하여 사용할 경우에는 먼저 유역모델을 적용하여 각 소유역별 부하를 산정하게 되며, 산정된 결과는 저수지 모델의 입력 자료로 구성되어 저수지수질을 모의하게 된다. 수질관리의사결정시스템에서 모델의 흐름은 다음과 같이 구성하였다(그림 2).

III. 시스템 적용 및 고찰

구축된 수질관리시스템의 효율적인 운용을 위한 각 단계는 초기 화면에 제시된 것과 같이 오염원관리, 저수지수질관리, 탁수관리, 조류관리 등으로 구분되어 있으며, 각 과정을 선택하여 시나리오를 적용한다(그림 3).

오염원관리는 유역에서 발생하는 오염원을 제어하는 경우에 적용하는 메뉴이며, 지금 처리하지 못하고 있는 점 및 비점오염원을 일정량 처리하여 나타나는 부하변화를 산정 할수 있게 된다. 이렇게 변

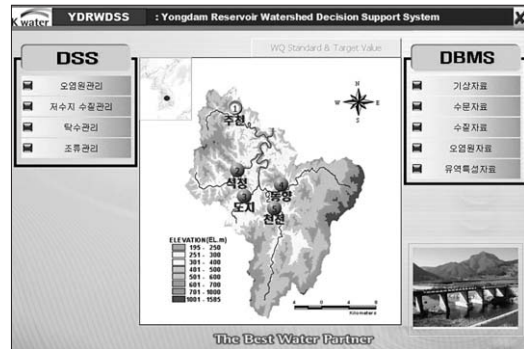


그림 3. 수질관리 의사결정지원시스템의 초기화면 구성

화된 부하로 인하여 저수지 수질의 변화까지도 모의 할 수 있으며, 역으로 달성하고자 하는 저수지의 수질에 맞추기 위해 유역의 점 및 비점오염원 삭감량도 산정 할 수 있다.

저수지 수질관리, 탁수관리 시나리오는 유역조건을 일정하게하고 저수지 내에서 여러 가지 시나리오를 설정하여 모의하는 메뉴이다. 탁수관리는 하절기 강우사상에 따른 저수지 유입 탁수를 효과적으로 배제하는 다양한 조건을 적용하여 최적의 방안을 도출하는 것이며, 그 이후에 저수지 수질변화를 모의하는 경우이다.

조류관리는 조류문제가 대두되는 하절기에 적용하는 메뉴로 조류제거선을 운영하거나 조류차단막을 설치할 경우에 저수지에서 조류의 농도 변화를 모의 하는 시나리오이다. 따라서 조류제거선의 용량과 운영시간의 경과에 따라 조류농도의 변화를 모의 할 수 있고, 조류차단막은 적절한 위치 선정과 차단막의 깊이를 결정하는데 적용 할수 있다.

1. 시스템 적용 단계

본 시스템에서는 상기에서 설명한 바와 같이 여러 가지 시나리오의 적용이 가능하며, 그 이외에도 새로운 시나리오를 적용 할 수 있는 다양한 가능성이 있는 단계이나 본 논문에서는 대표적인 오염원관리의 경우에 대해서만 적용순서를 제시하고자 한다.

본 시나리오는 유역에서 발생하는 오염원을 처리함에 따른 유역에서 저수지로 유입되는 부하를 산정하고, 이에 따른 저수지 수질변화를 모의 할 수

있는 절차이다.

- pre step : 시나리오 시작단계
- 1st step : 기상자료 선택
- 2nd step : 점오염원 DB 선택
- 3rd step : 토지이용변경
- 4th step : 모델 실행(RUN) 및 결과의 제시. 결과는 저수지모델 입력자료로 변환.
- 5th step : 저수지모델의 실행
- 사용자가 원하는 출력 결과를 확인

2. 시나리오의 적용 및 고찰

저수지 수질관리를 위해 적용 가능한 유역관리 시나리오 및 저수지내 시나리오를 적용해 보았다. 유역오염원 관리 시나리오로는 하폐수처리장 운영 변화에 따른 수질모의, 비점오염원 제거시 수질모의를 2006년 기준으로 적용 해보았으며 저수지내에서의 수질관리 시나리오는 조류차단막 설치에 의한 수질변화, 조류제거선 운영에 따른 수질모의 등을 적용하였다.

1) 하폐수처리장 운영에 따른 수질변화 모의

유역 내 하수종말처리장 및 마을하수도 운영변화에 따른 저수지 유입하천의 수질변화를 분석하기 위해 처리장 현황을 조사하였다. 각 군의 하수종말처리시설은 장수군에 2개소 5,000 m³/day, 진안군에 1개소 3,000 m³/day로 총 3개 시설이 있으며, 마을하수도는 장수군에 17개소 총 용량은 803 m³/day, 진안군에 30개소 2,094 m³/day, 무주군에 2개소 80 m³/day로 총 49개 시설이 운영되고

있다.

2006년을 기준으로 유역모델 HSPF를 적용하여 하수종말처리시설 및 마을하수도가 없을 경우의 오염원 부하를 산정하여 저수지 유입하천별 수질개선 효과를 분석하였다. 점오염원이 가장 많은 진안천 유역에서 하폐수처리시설에 의한 수질개선효과는 BOD가 평균 1.594 mg/L(최대 6.280 mg/L), TN 0.517 mg/L(최대 1.965 mg/L), TP 0.037 mg/L(최대 0.143 mg/L)로 가장 높게 나타났다. 2006년도 유역모델 결과를 저수지모델의 입력자료로 이용하여 하수처리장 미처리 및 처리시의 농도 변화를 모의하였으며 결과는 표 1과 같다. 모의 결과 NH₄-N, PO₄-P, TP, COD 등의 항목에서 농도 차이는 없었으나 NO₃-N의 경우 0.002~0.005 mg/L의 범위로 연평균 농도감소가 나타났고, TN은 0.004~0.008 mg/L, DOC는 0.007~0.014 mg/L, BOD는 0.014~0.028 mg/L, Chl-a는 0.013~0.022 μg/L 범위로 감소하는 것으로 모의되었다. 지점별로는 저수지 상류인 하천유입지점에서 감소폭이 가장 크고, 댐앞 지점에서 감소폭이 적은 것으로 나타났다.

2) 비점오염원 50 % 제거시 수질 변화 예측

비점오염원 삭감에 대한 시나리오는 유역내 점오염원이 없는 경우의 하천 수질을 비점오염원에 의한 것이라고 가정하고, 비점오염원 부하의 50 %를 삭감하였을 경우에 유입하천의 BOD, TN, TP 변화를 모의하였다. 소유역별로 설치되어 있는 기상측정장비의 일별 강우량을 조사하여 강우가 발생한

표 1. 하수처리장 미처리 및 처리 시 지점별 평균농도 변화

수질항목	댐앞 지점		저수지 중하류		저수지 중상류		하천유입지점	
	미처리	처리	미처리	처리	미처리	처리	미처리	처리
NH ₄ (mg/L)	0.035	0.035	0.040	0.040	0.041	0.040	0.033	0.033
NO ₃ +NO ₂ (mg/L)	1,537	1,535	1,549	1,546	1,566	1,563	1,609	1,604
TN (mg/L)	2,005	2,002	2,035	2,031	2,075	2,070	2,120	2,112
PO ₄ (mg/L)	0.006	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.012	0.012
TP (mg/L)	0.020	0.020	0.021	0.021	0.023	0.023	0.028	0.028
DOC (mg/L)	1,244	1,237	1,234	1,226	1,221	1,212	1,180	1,166
BOD (mg/L)	1,405	1,390	1,392	1,376	1,384	1,366	1,397	1,369
COD (mg/L)	7,067	7,067	7,504	7,504	8,041	8,041	8,213	8,213
Chl-a (μg/L)	4,469	4,456	4,908	4,893	6,128	6,107	7,842	7,820

경우에는 비점오염원이 삭감된다고 적용하고, 비강 우시에는 하천으로 유입하는 비점오염원 부하가 없는 것으로 적용하였다.

모의 결과 금강본류 유역에서 수질개선효과가 가장 크게 나타났으며 진안천 유역에서 가장 작은 것으로 나타났다. 금강본류 유역에서의 수질개선효과는 BOD 평균 0.214 mg/L(최대 3.355 mg/L), TN 0.260 mg/L(최대 2.286 mg/L), TP 0.007 mg/L(최대 0.145 mg/L)로 나타났으며, 진안천 유역에서의 수질개선효과는 BOD 평균 0.122 mg/L(최대 1.045 mg/L), TN 0.224 mg/L(최대 1.430 mg/L), TP 0.006 mg/L(최대 0.132 mg/L)으로 BOD와 TN의 수질개선효과가 낮은 것으로 나타났다.

비점오염원 50 % 삭감 시나리오에 따른 저수지 수질변화는 강우시 유입되는 오염원 농도가 크게 줄어들기 때문에 저수지 수질농도 개선이 다른 시나리오에 비해 크게 나타났다. 모의 결과 NH₄-N, PO₄-P, TP, COD 등의 항목에서는 농도 차이가 없었으나, NO₃-N의 경우 0.179~0.214 mg/L 의 연평균 농도감소가 모의되었고, TN은 0.202~0.246 mg/L, DOC는 0.062~0.078 mg/L, BOD는 0.114~0.149 mg/L, Chl-a는 0.404~0.640 µg/L

폭으로 감소하는 것이 모의되었다. 지점별로는 저수지 상류인 하천유입 지점에서 감소폭이 가장 크고, 댐 앞 지점에서 가장 작은 것으로 모의되었다(표 2). 저수지 전체 평균 농도로는 NO₃-N은 0.193 mg/L, TN은 0.220 mg/L, BOD는 0.128 mg/L, Chl-a는 0.494 µg/L 개선되는 것으로 산정되었다.

3) 조류차단막 설치에 따른 수질 변화 모의

저수지에서 조류저감을 위한 물리적 조치인 조류차단막은 설치 위치 및 설치 깊이에 따라 효과가 다르게 나타나, 사전 예측을 통하여 최적위치 및 깊이 등을 결정하여야 한다. 본 논문에서는 조류차단막 설치 전후 및 설치 위치, 깊이에 따른 조류저감 효과를 평가하여 수질관리 의사결정시스템 적용가능성을 살펴보았다. 조류차단막 유무 및 설치 위치에 따른 Chl-a 농도를 모의하기 위해 조류차단막 설치 시나리오를 총 7가지 경우에 대해 적용하였으며 설정된 시나리오를 표 3에 나타내었고, 각각의 위치는 그림 4와 같다.

취수탑(Sg. NO. 113) 부근에 차단막을 설치하는 경우 취수탑 지점에서의 상층 Chl-a 농도를 모의하였다. 모의 결과 차단막 설치시 하절기 Chl-a 농도가 감소하는 것으로 산정되었으며, 하절기 평균

표 2. 비점오염원 삭감시 지점별 평균농도 변화

수질항목	댐앞 지점		저수지 중하류		저수지 중상류		하천유입지점	
	미처리	처리	미처리	처리	미처리	처리	미처리	처리
NH ₄ (mg/L)	0.035	0.033	0.040	0.038	0.040	0.038	0.033	0.030
NO ₃ +NO ₂ (mg/L)	1.535	1.356	1.546	1.362	1.563	1.368	1.604	1.390
TN (mg/L)	2.002	1.799	2.031	1.821	2.070	1.848	2.112	1.867
PO ₄ (mg/L)	0.006	0.006	0.007	0.006	0.008	0.008	0.012	0.011
TP (mg/L)	0.020	0.018	0.021	0.019	0.023	0.021	0.028	0.026
DOC (mg/L)	1.237	1.175	1.226	1.161	1.212	1.141	1.166	1.087
BOD (mg/L)	1.390	1.276	1.376	1.256	1.366	1.235	1.369	1.220
COD (mg/L)	7.067	7.077	7.504	7.517	8.041	8.038	8.213	8.203
Chl-a (µg/L)	4.456	4.052	4.893	4.453	6.107	5.614	7.820	7.179

표 3. 조류차단막 설치 시나리오(취수탑 부근)

시나리오 NO.	1	2	3	4	5	6	7
Segment NO.	-	111+114	111+114	111+114	110+115	110+115	110+115
차단막깊이 (m)	-	3	5	10	3	5	10

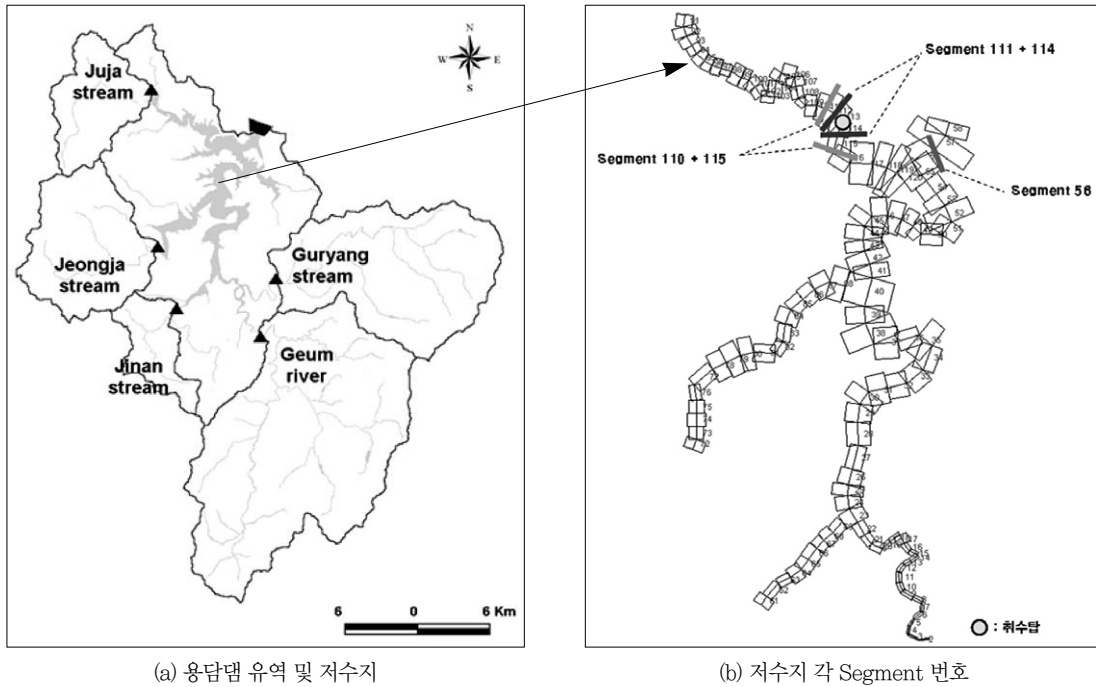


그림 4. 저수지내 차단막 설치 지점

표 4. 취수탑 지점의 시나리오별 하절기 평균 조류농도

시나리오 NO.	1	2	3	4	5	6	7
표층 Chl-a 농도 ($\mu\text{g/L}$) (0~1m)	6,095	3,533	3,373	3,113	3,522	3,419	3,107
상층 Chl-a 농도 ($\mu\text{g/L}$) (0~5m)	6,530	4,932	4,767	5,701	4,729	4,801	5,768

농도 기준으로 차단막을 설치할 경우 미설치(시나리오 NO. 1)한 경우 보다 2,562~2,988 $\mu\text{g/L}$ 감소하는 것으로 모의되었다. 설치 지점 비교 결과 취수탑과 가까이 설치한 경우(Sg. NO. 111+114)가 멀리 설치한 경우(Sg. NO. 110+115)보다 감소폭이 더 큰 것으로 모의되었다. 차단막의 깊이별 모의는 3 m, 5 m, 10 m 설치할 경우를 비교하였으며, 수심 10 m로 설치할 경우의 감소폭이 가장 컸다(표 4).

4) 조류제거선 운영에 따른 수질 변화 예측

하절기에 저수지 상층에 분포하는 남조류를 제거하기 위한 시스템인 조류제거선을 운영할 경우의 조류농도 저감 효과를 분석하였다. 조류제거선 용량은 8,640 m^3/day 과 17,280 m^3/day 로 설정하고 조류문제가 대두되는 9~10 월 사이에 운영하는 것으로 모의하였다. 조류제거선을 댐앞 지점에서

운영할 경우 저수지 수체가 워낙 크기 때문에 수질 개선효과는 크지 않으나 수질이 조금씩 개선되는 것을 확인할 수 있다. 조류제거선을 운영하지 않을 경우에는 9 월과 10 월의 댐앞지점 조류 평균농도는 8,457 $\mu\text{g/L}$ 을 나타내나, 8,640 m^3/day 처리용량의 조류제거선을 9 월과 10 월 두 달간 운영하면 8,371 $\mu\text{g/L}$ 로 Chl-a농도가 낮아졌으며, 17,280 m^3/day 용량의 조류제거선을 두 달간 운영하면 8,228 $\mu\text{g/L}$ 로 약 2.7 %의 Chl-a농도 저감 효과가 있는 것으로 모의되었다.

IV. 결론

저수지 수질은 내외의 다양한 요인에 따라 수질 상태가 달라짐으로 수질관리를 위해서는 기상, 수리·수문, 수질, 지형, 오염원, 처리시설 등 많은 자

료를 필요로 하게 된다. 따라서 각종자료의 입력, 수정 및 분석을 하나의 시스템으로 통합·구축하여 필요한 분석을 실시함으로써 관리자는 보다 정확하고 신속하게 의사결정을 할 수 있게 된다.

본 연구에서 구축한 수질관리시스템은 UML기반 하에서 Visual C++ 언어를 사용하여 Class diagram, 화면명세, 데이터베이스 명세 등을 생성하는 체계적인 시스템이며, 수질모의를 위해 유역 모델 HSPF와 저수지 모델로 CE-QUAL-W2를 적용하였다. 구축된 시스템의 활용을 위해 적용가능한 유역관리 시나리오 2 개와 저수지관리 시나리오 2 개를 수립하여 수질변화를 모의하였다. 적용결과 현재의 하폐수처리장 운영에 의해 유입하천에서는 평균 0.34 %의 수질개선효과를 나타내며 저수지 수질은 0.25 %가 개선되는 것으로 나타났다. 향후에 적용 가능한 비점오염원 처리에서 비점오염원의 50 %를 제거하는 조건에서는 유입하천에서 6.01 %의 수질개선효과를 나타내며, 저수지수질은 5.43 %가 개선되는 것으로 나타났다. 조류차단막을 설치할 경우에는 취수탑 가까이 설치한 시나리오 7에서 조류농도가 최대 11.7 % 감소되는 것으로 모의되었으며 조류제거선 운영으로는 2.7 %의 조류농도 저감효과를 나타냈다. 이와같이 다양한 시나리오에 따른 수질변화를 모의 할 수 있으며 GUI 상에서 수월하게 적용할수 있게 되어 수질관리자가 추진하고자 하는 시나리오별 비교 검토가 가능하게 되었다.

이상의 적용결과로 볼 때 본 시스템은 현재의 수질관리방안 수립에 효율적으로 적용할 수 있을 뿐만 아니라 향후에 도입될 저수지 목표수질관리에도 활용할 수 있는 효율적인 시스템으로 평가되었다.

참고문헌

- 김계현 · 신성필 · 최성규 · 이승호, 2000, 농업용수 수질정보 종합관리시스템의 개발, 대한환경 공학회지, 22(8), 1377-1387.
- 김혜영 · 정태섭, 2002, GIS를 이용한 새만금유역의 수질관리시스템 개발, 대한환경공학회지, 24(4), 599-611.
- Heathcote, I. W., 1998, Integrated Watershed Management: Principles and Practice. John Wiley & Sons, NY, USA.
- Hongguang Cheng, Zhifeng Yang, and Christine W. Chan, 2003, An expert system for decision support of municipal water pollution control. Engineering Application of Artificial Intelligence 16. 159-166.
- Indrajeet Chaubey, K. L. White, S. Panda, and R. Davis, *et al*, 2005, Development of a decision support system and data needs for the Beaver lake watershed, Arkansas Soil and Water Conservation Commission.
- Matthies. M. and J. Berlekamp, *et al.*, 2006, System analysis of water quality management for the Elbe river basin. *Environmental Modeling & Software*, 21, 1309-1318.
- Quinn, N. W. T. and Karl Jacobs, *et al.*, 2005, Element of a decision support system for real-time management of dissolved oxygen in the San Joaquin River Deep Water Ship Channel. *Environmental Modeling & Software*, 20, 1495-1504.