

## WASP 6을 이용한 댐 예정지의 수질 예측 및 민감도 분석

○문병석<sup>1)</sup> · 이경훈<sup>2)</sup> · 남길정<sup>3)</sup>

### 1. 서론

우리나라 또한 1960년대 이후 현재까지 경제개발에 따른 국민 생활수준의 향상과 공업화, 도시화에 따른 요구량의 증가 및 수질오염이 증대되고 있으며, 이에 용수량 확보, 수질개선 및 오염관리 방안의 마련 등 하천 수역에서의 양질의 물을 확보하기 위해 노력하고 있다.

현재 우리나라의 용수공급을 위한 취수원은 크게 저수지, 하천수, 지하수의 이용으로 나누어 볼 수 있으며 저수지 및 하천수에서의 취수량이 절대량을 차지하고 있어 댐을 포함한 하천수역에 대한 대상유역의 수질의 재현과 수질 예측은 장래 취수원의 선정 및 기존의 취수원에 대한 종합적인 수자원 관리 정책의 기본이 되므로 아주 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 WASP(The Water Quality Analysis Simulation Program) 6모형 중 호소의 부영양화 정도를 분석하는 EUTRO모형을 사용하여 현재 건설 예정인 전남 장성의 평림댐을 대상으로 수역을 총 8개의 수체로 구분하여 각각의 BOD, DO, T-N, T-P 등의 장래수질을 예측하였고 해당 수역에 최적의 모델을 적용할 수 있도록 입력시 주의 해야할 매개변수의 민감도를 분석하여 입력변수와 매개변수의 관계를 분석하였다.

### 2. WASP 모형

WASP 6모형은 호수, 강, 하구 등을 포함한 다양한 수체에 대해 수체의 거동, 일반 또는 독성물질의 이동과 상호반응에 대한 모의가 가능한 모델로써 Streeter-Phelps의 BOD-DO 방정식을 이용한 간단한 예측으로부터 부영양화의 동역학적 변화의 예측까지 가능하다.

WASP 6모형은 2개의 독립된 프로그램인 DYNHYD6모형과 WASP 6모형으로 구성되어 있다. DYNHYD 6모형은 수체의 수리적 특성에 대한 모형이며, WASP 6 모형은 수체에서 오염물질의 반응과 이동을 모형화 한다. 그리고 WASP6 모형은 부영양화와 독성 물질에 대한 2개의 부 프로그램으로 구성되어 있으며, 이를 EUTRO 6모형과 TOXI6 모형이라 한다. 일반적으로 이용하는 WASP 모형은 주로 EUTRO부분을 의미한다.

본 연구대상 지역은 현재 하천수 형태이나 평림댐이 완성됨으로서 호소수로 변화되어 하천수의 수리·수질과는 완전히 상이한 형태로 변화될 것이며, 또한 현재 하천수의 수질에서 독성물질이 검출되지 않거나, 아주 미량인 점을 감안하여 본 연구에서는 EUTRO 6모형만을 적용하였다.

### 3. 모델의 입력변수

본 연구는 댐 건설 예정지인 평림댐에 적용하였으며 수질측정망의 위치 지형 및 흐름조건을 고려하여 그림 1과 같이 8개(상층 3개, 저층 2개, 바닥층 3개) 구간으로 구획화 하였다. 모의하는 수질변수의 수 8개, 모의 시간간격 0.05day, 출력 시간간격은 1.0day이다.

각 수체의 단면적과 특성길이 등 주어진 수체의 물리적인 상태는 현재 작성된 설계지침에 의거하여 입력하였

1) 서남대학교 토목공학과 조교수

2) 전남대학교 토목공학과 교수

3) 전남대학교 토목공학과 박사과정

으며, 수역의 자연유하량은 평림댐유역의 강우량과 유황을 분석, 비유량법을 사용하여 결정하였다. 평림댐 유역의 2003~2009년까지 예측 오염부하량은 1998~2002년의 오염부하량과 같은 기간 실측 수질분석자료와의 비교를 통한 오염부하량의 평림천에 대한 유달율을 계산 후 오염발생원인 인구, 가축수, 산업활동현황, 토지이용현황 등에 대한 추이를 보고 산정 하였고, 이를 이용하여 2003~2009년까지의 평림댐의 수질을 WASP 6 모형으로 모의하였다.

수질모의를 위해 같은 기간의 수질측정 자료 등을 이용하여 각 경계의 농도와 초기조건을 입력 하여야 하나, 본 연구지점인 평림댐은 아직 댐이 완성되지 않아 기존의 연구자료에서 활용된 매개변수의 값을 분석한 후 평림댐에 가장 인접해 있는 장성댐자료를 이용하여 모델의 반응계수를 선정하여 모델에 적용하였다. 모델의 매개변수 보정은 시행착오법에 의해 클롤로필-a를 중심으로 BOD, DO, T-N, T-P의 순으로 수행하였으며, 클롤로필-a와 BOD의 결과는 그림 2 및 3에 나타내었다.

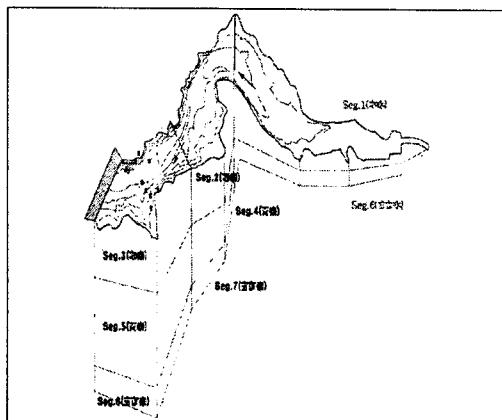


그림 1. 평림댐의 수체구분 모식도

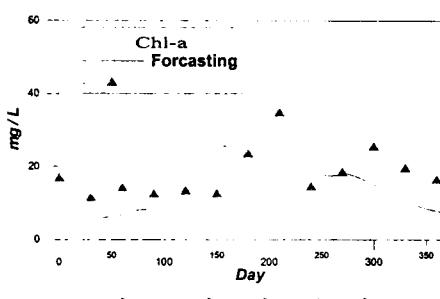


그림 2. 모델 보정(클롤로필-a)

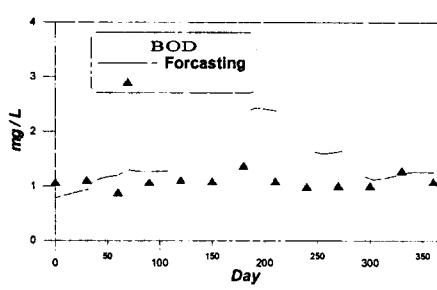


그림 3. 모델 보정(BOD)

#### 4. 수질예측 및 민감도 분석

대상유역의 장래 오염부하량은 1998년부터 2001년까지의 대상지역 4개 리의 거주민의 대부분이 주로 농업에 종사하는 전형적인 농어촌 형태의 취락구조를 형성하고 있다고 판단, 오염원 추이와 장성군과 전국통계연보를 통해 시계열 방법을 사용하여 오염원을 조사 후 각 오염원에 대한 1998~2009년까지의 BOD, T-N, T-P의 발생 및 배출부하량을 산정하여 모델에 적용하였다.

수질모의 결과 DO, BOD는 1998년 수질모의 상태에서 큰 변화를 보이지 않으며 II~III등급을 나타냈으나, T-P의 경우 최대 0.078mg/L로 수질등급 IV등급을, T-N의 경우 최대 2.134mg/L로 V등급을 상회하는 수질모의 결과값을 나타내었으며, T-N, T-P는 모의 시간이 길어질수록 상승의 변화폭이 크게 나타났다. 그림 4는 Segment 5의 1998~2009년까지의 BOD, T-N 수질 모의 결과를 나타낸 것이다.

표 1은 2001년 표층과 심층의 수질 예측결과를 나타낸 것으로 DO는 거의 비슷하게 나타났으며, BOD 표면이 바닥보다 약간 높게 나타났고, Chl-a, T-N 및 T-P는 모두 바닥이 표면보다 높게 나타났다.

모델의 불확실성은 실측치의 오차, 상수와 입력변수, 경계조건 수리특성 등의 부적절한 선정에서 비롯될 수 있고, 특히 매개변수(Parameter)와 기타 변수(Variable)들에 의해서 큰 영향을 받는다. 따라서 민감도 분석을 통하여 매개변수가 출력값에 미치는 영향을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 이들 각 항목에 대해 영향을 분석 할 수 있어 모델적용에 주의를 기할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 호소의 중요한 수질의 기준이 되는 DO, BOD, Chl-a, T-N, T-P에 대해 1998년을 대상으로 하여 각 매개변수의 기본값에 50%를 증감하여 민감도 분석을 하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 그

그림 5~6은 BOD, T-N에 대해 빛과 조류 성장을에 대한 민감도를 나타낸 것이다.

표 1. 표층 및 심층의 수질모의 결과

	DO		BOD		Chl-a		T-N		T-P	
	Surface	Sub-surface								
최대	11.699	11.653	2.316	2.073	39.179	45.145	1.901	1.936	0.067	0.070
최소	4.542	4.531	0.654	0.653	3.716	3.830	1.300	1.355	0.015	0.015
평균	8.521	8.475	1.347	1.287	15.298	17.498	1.616	1.645	0.041	0.044

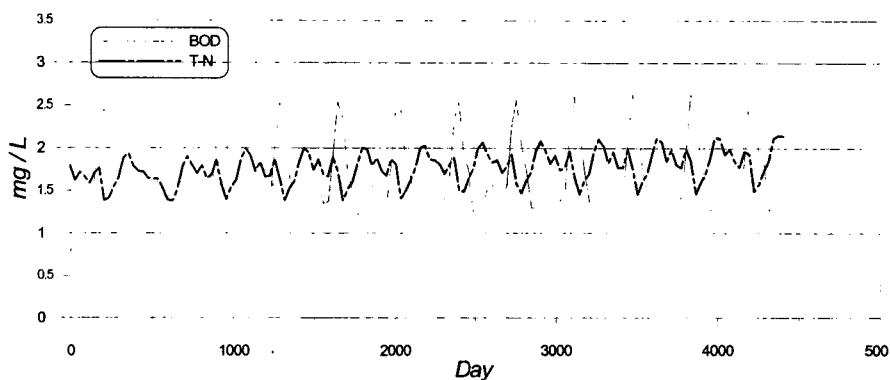


그림 4. 1998~2009년 장래 BOD, T-N 수질 모의(Seg. 5)

DO의 빛에 대한 민감도는 모의 시간이 길어질수록 민감도 누적곡선이 하강 곡선형태를 취하고 있으며 그 값의 정도 또한 매우 민감하게 반응함을 알 수 있다. 온도에 대해서도 민감한 반응을 보이고 있으며 질화반응률과 CBOD의 용존산소 제거율을 제외한 전체적인 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

BOD의 경우 빛과 온도 감소 시와 질산화에도 민감한 반응을 나타내었으나, 계절과는 무관하게 고른 분포를 보인 것으로 나타났다.

표 2. 민감도 분석 결과치(RMSE)

상수(기본값)	DO		BOD		Chl-a		T-N		T-P	
	50%증가	50%감소								
온도	0.534	0.349	7.697	0.398	3.457	2.540	0.854	0.875	0.001	0.000
빛	1.808	1.089	9.065	0.310	4.993	6.675	0.849	0.887	0.001	0.001
질화 반응율	0.079	0.056	7.438	0.091	0	0	0.001	0.001	0	0
조류의 최대 성장률	0.310	0.532	0.473	0.275	5.995	4.787	0.887	0.853	0.001	0.001
조류의 사멸율	0.415	0.394	0.400	0.318	2.282	1.801	0.862	0.870	0.000	0.000
CBOD에 의한 산소제거율	0.201	0.371	0.338	0.253	0	0	0.867	0.867	0	0

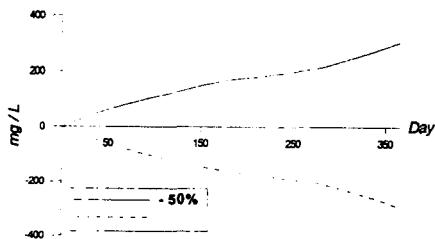


그림 5. light에 대한 BOD의 민감도

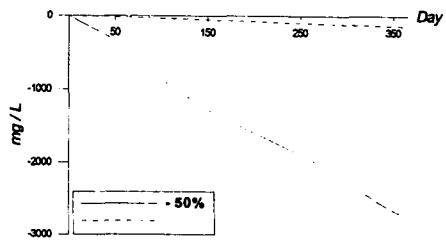


그림 6. 조류성장률에 대한 T-N의 민감도

Chl-a의 경우 수질항목간의 민감도 차이가 뚜렷하게 나타났다. 가장 민감한 반응을 보인 수질항목은 온도와 조류 성장을 이었으며, 특히 온도의 변화가 심한 5~6월과 8~9월 사이에 민감도의 변화폭이 커졌음을 알 수 있었다.

T-N의 경우 빛과 온도, 조류의 성장을, 사멸율에 민감한 반응을 보였으며 계절적인 뚜렷한 변화 또한 나타났으며, T-P의 경우 대부분의 상수항목에 대하여 민감도가 매우 낮게 나타났다.

## 5. 결론

본 연구는 전남 장성군에 건설예정인 평림댐의 장래 수질과 민감도 분석을 통해 저수지내의 수질변화를 시 간별, 공간별로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 장래 수질예측 결과 DO, BOD는 1998년 수질모의 상태에서 큰 변화를 보이지 않으며 II~III등급을 나타내고 있으나, T-P의 경우 최대 0.078mg/L로 수질등급 IV등급을, T-N의 경우 최대 2.134mg/L로 V등급을 상회하는 수질모의 결과값을 나타내었으며, T-N, T-P는 모의 시간이 길어질수록 상승의 변화폭이 증가함을 알 수 있었다.
2. DO는 빛과 온도에 대해 매우 민감한 반응을 보였으며 질화반응률과 CBOD의 용존산소 제거율을 제외한 전체적인 영향을 받고 있는 것으로 나타났고, BOD의 경우 빛의 저감, 온도의 감소, 질산화 반응시 민감한 반응을 보였으며, 대체적으로 계절과는 무관하게 고른 분포를 나타내었다. Chl-a의 경우 온도와 조류 성장을 대해 민감한 반응을 나타내었으나, CBOD에 대해서는 전혀 반응을 나타내지 않았다. T-N의 경우 빛과 온도, 조류의 성장을, 사멸율에 민감한 반응을 보였으며, T-P의 경우 대부분의 상수항목에 대하여 민감도가 매우 낮게 나타났다.

## 참고문헌

1. 김규형, 한운우 “WASP5 모델 파라미터의 민감도에 관한 연구” 홍인화학(주) 기술연구소, 대전대학교 환경 공학과, 1997.
2. 기상청, “기상연보”, 1988~2001.
3. 한국수자원공사, “전남서부권 광역상수도 사업 수원설비(댐) 기본설계보고서”, 1999.
4. 장성군, “통계연보”, 1994~2001.
5. 한국수자원공사, “전남서부권 광역상수도사업 수원시설(평림댐) 환경영향 및 저감방안검토보고서”, 2001.
6. 전라남도, “평림천 하천정비 기본계획”, 1987.