

대청댐하류 오염물질 이송·확산 예측 및 저감대책에 관한 연구

○ 임창수*, 신재기**, 맹승진**, 김영성**

1. 서론

대청댐 하류지역은 특히 농작물의 암모니아성 질소문제, 기타 유류, 농약 등의 유출사고에 의한 갈수기 수질악화로 금강하류지역의 수질은 대청댐 방류량과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 수질사고시 금강수도 취수장 등 주요시설에 대한 영향 및 대응책 마련이 시급하다. 따라서 낙동강유역에서 적용·보완된 수질예측모형(한국수자원공사, 1996)을 금강수계에 대해서도 적용하고 개선하여 수질오염원의 누출사고 발생시 주요시설물들의 영향검토 및 대응체계를 구축함으로써 대청댐하류의 수량 및 수질관리방안을 강구하는 것이 목적이다.

본 연구에서는 금강유역 전반에 걸친 수문 및 수질 현황을 조사 파악하였다. 본 연구를 수행함에 있어서 기본이 되는 각종 관련 참고문헌을 수집·분석하고 주요 지천을 포함한 금강 분류를 중심으로 수문학적, 수리학적 자료를 수집·분석하여 연구수행의 자료로 사용될 수 있도록 하였다. 또한 '98년 2회(3월, 6월)에 걸친 수질측정 조사를 통하여 대청댐하류의 수질을 조사·분석하였다. 조사·분석된 자료를 바탕으로 일반수질항목에 대하여 하천수질예측모형을 이용하여 수질모의를 수행하였다.

2. 연구 대상수역

본 연구의 대상수역은 금강 분류를 중심으로 선정하되 한국수자원공사에서 관리하는 대덕용수, 금강용수를 포함하도록 하였으며, 조석의 영향이 적으며 유량측정이 가능한 수위표 지점과 정기적으로 수질측정이 실시되는 수질측정망을 포함하고 있는 대청댐 하류부 지점 즉 금강 분류 대청댐하류 조정지부터 강경수위표 구간을 선정하였다. 또한, 이 분류 구간내의 지류 중 갑천, 미호천, 유구천, 논산천의 4개 지류유입 및 비교적 취수량이 큰 대덕용수, 금강용수의 취수량을 고려하여 평수기 물수지를 계산하였으며, 그 대상수역의 유역도는 그림 1과 같고, 본 연구의 수행을 위해 금강 유역을 소유역으로 구분한 결과는 그림 2와 같다.

* 청운대학교 토목환경공학과 전임강사

** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

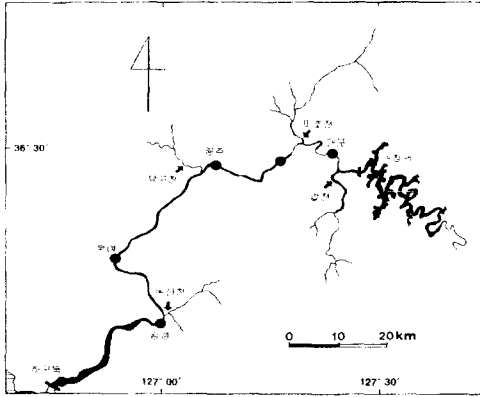


그림 1. 대상수역의 유역도

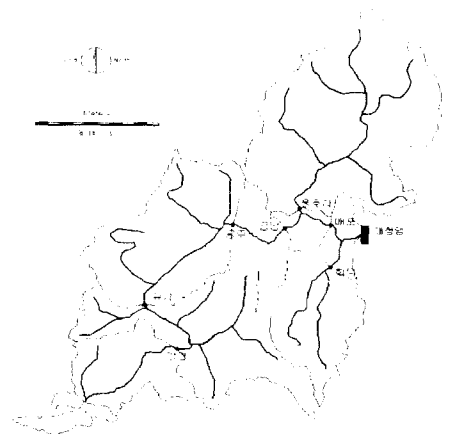


그림 2. 대청댐 하류 소유역 분할도

3. 금강 수질 조사

3.1 수질 개요

우리 나라 수질오염은 하폐수종말처리시설이 충분하지 못하여 제대로 처리되지 못하고 하천으로 곧바로 유입되는 오폐수가 많아 부영양화를 더욱 가속시키는 인위적인 요인과 함께 자연적인 요인도 기여하는 바가 크다. 그 예로 하질기에 집중되어 있는 강수량의 대부분은 단시간에 유출됨으로써 이 시기를 제외하고는 유량이 극히 부족하다. 유량의 절대적 부족으로 갈수가 장기간 심화되고 이때 특히 하천의 자정작용이 원활하지 못해 수질관리가 더욱 어려운 실정이다.

금강 수질은 하천 하구에 배수갑문이 축조되어 강경 이후부터 반호수상태의 수리학적 요인과 함께 상류부의 대진광역시와 청주시로부터 유입되는 각종 오폐수의 영향이 절대적이다. 유·무기물 농도가 높을 뿐만 아니라 부어와 하구독사이 평균 chl-a가 60 µg/l에 달하여 악화상태를 보이고 있다. 특히 N·P 농도가 높아 담수조류가 크게 발생하는 등 전형적인 부영양상태를 보이고 있다. 본 연구는 다양한 오염원에 노출된 하천에서 오염물질이 부하되는 양상을 파악하기 위해 대청조정지댐부터 하구까지 각종 수질분석을 하였고 특히 N·P 및 chl-a 중심으로 금강의 수질환경 실태를 파악하였다.

3.2 조사지 및 채수지점

금강에서 수질환경을 조사한 지점의 선정은 대청댐으로부터 하구둑까지 윗하거리와 유입지천을 적절하게 고려하여 택하였다 (표 1). 분류로는 대청댐 부근의 대청교, 갑천 유입 직후의 매펀, 미호천 합류 후의 금남교, 공주교, 백재교, 황산대교 및 금강하구둑의 7개, 그리고 지류로는 갑천, 미호천, 유구천 및 논산천 등 4개로 총 11개 지점으로 하였다.

4. 시료분석

분석시료는 Van Dorn 채수기로 표층에서 채수하였다. 채수후 실험실로 냉장 운반하여 즉시 분석하거나 냉동 보관하였다가 정량하였다. 각종 유기물 분석은 시료를 그대로 사용했으나 무기영양염은 Whatman GF/C로 여과하여 분석하였다. 수질은 표준분석법 (APHA, 1992; Wetzel and Likens, 1991; 환경부, 1993)에 따라 분석하였다. 수온과 DO는 DO meter (YSI 58 또는 59)로 측정하였고 pH와 전기전도도는 Orion 230A, S-C-T meter (YSI 33 model)로, 투명도는 Secchi 원관을 이용하여 현장에서 측정하였다. TSS는 시료를 여과한 후 105 °C에서 건조시켜 여과 잔과 후의 무게 차이로 구하였다. BOD는 Winkler azid법 또는 BOD probe (YSI model 5730)로 실험하여 농도를 산출하였다. TN과 TP는 수질공정시험법에 준하여 분석하였고 유기질소는 TN에서 DIN (용존부기질소)의 차이로 산출하였다. SRP는 ascorbic acid 환원법으로 분석하였고 유기인 농도는

표 1. 대청댐 하류의 금강에서 유하거리에 따른 분류와 지류의 채수지점

정 점	유하거리 (km)	비 고
대청교	0.0	본 류
갑 천	5.1	지 류
매 포	9.8	본 류
미호천	21.4	지 류
금남교	28.5	본 류
공 주	45.6	본 류
유구천	50.2	지 류
부 여	78.4	본 류
논산천	96.8	지 류
강 경	97.6	본 류
하구둑	130.5	본 류

TP에서 SRP농도를 빼 값으로 보았다. Chl-a 농도는 90 % 에탄올을 용매로 사용하여 비등 추출한 후 분광광도계로 665 nm와 750 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다 (Nusch, 1980). 본 연구에서는 금강의 수질오염특성을 파악하기 위하여 1998년 3월과 6월에 걸쳐 2회에 걸쳐 수질을 분석하였고 그 결과를 수질모델 입력자료로 이용하였다. 표 2는 대청댐 하류의 금강에서 본류와 지류의 수질환경 평균값을 보여준다.

5. 수질예측모형의 적용

5.1 적용된 모형의 형식

기존 수질 예측모형들 (QUAL2E, WASP5 등)은 수리해석 결과가 모형의 입력자료로 구간별 대표단면이 사용되어 실제 하천의 수리학적 특성을 제대로 반영하지 못함을 알 수 있었으며, 이에 보다 향상된 수질모형의 개발을 위해 기존의 여러 수리해석 모형 중에서 수리학적 모의 결과가 수리특성 구현에 가장 보편적이고 적합하다고 판단되는 HEC-2모형과 수질예측모형 중에서 동적 모의가 가능한 WASP5모형 (EUTRO5)의 기존 SOURCE 프로그램을 수정하여 두 모형이 하나의 프로그램으로 실행될 수 있도록 연계하였다.

5.2 입력자료

본 모형의 입력자료로는 전반적인 모형의 입출력을 제어하는 모형의 입출력 선택사항과 하천 단면의 수리학적 특성에 따라 결정되는 구획 (Segment)의 구분자료 그리고 각 구획의 확산계수

표 2. 대형댐 하류의 금강에서 본류와 지류의 수질환경 평균값. (1998년 3월 9-10일, 6월 21일)

측정항목	본 류	지 류
수 온 (°C)	15.9±2.1	17.6±0.9
용존산소, DO (mg O ₂ /l)	11.0±0.8	9.3±1.4
pH	7.74±0.43	7.40±0.21
전기전도도 (μS/cm)	237.4±57.7	302.3±130.2
투명도 (m)	0.79±0.16	-
엽록소 a, Chl-a (μg/l)	37.3±25.2	19.8±8.7
총부유물질, TSS (mg SS/l)	12.5±6.8	18.8±16.1
총질소, TN (mg N/l)	4.0±1.0	6.0±3.7
부기질소, DIN (mg N/l)	1.9±0.6	3.2±2.3
암모니아, NH ₄ (mg N/l)	0.8±0.6	2.3±2.1
질산, NO ₃ (mg N/l)	1.1±0.1	0.9±0.2
총인, TP (μg P/l)	150.8±77.4	349.4±280.5
무기인, SRP (μg P/l)	58.1±51.2	179.5±200.5
생물학적산소요구량, BOD ₅ (mg O ₂ /l)	3.7±1.3	5.7±4.3

(Dispersion Coefficient) 입력자료를 포함한다. 수리특성을 결정하는 중요한 입력자료로서 물수지 분석에 기초한 연구구간의 유량자료, 수체체적, 유속, 평균수리심 그리고 유속자료는 본래의 WASP5모형 수질모의를 하는 경우에 요구되는 사항이나, 본 연구에서 적용하고 있는 수정된 WASP5모형에서는 HEC-2 모형을 이용하여 유량과 하천단면자료, 손실계수, 조도계수 등을 입력하여 운영함으로써 수질모형의 운영에 필요한 수리특성자료를 자동입력 모의하도록 하였다.

각 지류의 경계조건 (지류, 상류유입부 및 하류단 유출부)에서 각기 다른 수질변수에 대하여 시간에 따라 일정하거나 혹은 시간에 따라 다른 오염농도를 입력하여 모형을 운영한다. 또한 본 연구에서는 WASP5모형의 복잡도 4에 해당하는 부영양화의 기작과 밀접하게 연관되어 있는 매개 변수, 시간함수 그리고 상수들을 입력시키도록 하였으며, 수질모의가 시작되는 초기조건으로 각 segment에 대한 초기농도를 입력시켜주어야 한다.

5.3 수리해석모형의 적용결과

HEC-2 모형의 적용을 위하여 입력자료로 조도계수, 하류부의 초기수심, 단면자료 및 유량자료가 필요하다. 하류부의 초기수심은 금강하구둑 지점에서 한계수심을 이용하여 운영하였으며, 본 연구의 하류단인 강경수위표 지점에서는 HEC-2 하류부에 입력된 수심 조건에 관계없이 안정된 수심값을 보여주었다.

5.4 수질예측모형의 적용결과

EUTRO5모형에서 예측수질항목들의 상호반응에 관여하는 반응계수로는 전체수질항목에 대하여 42개의 반응계수가 있으며 본 연구에서는 모형에서 추천하는 값을 그대로 적용하였다. 대청조정지댐 하류로부터 강경수위표 지점까지의 거리별 각 수질변수의 변동치를 비교한 바에 의하면 NH₄의 경우에는 미호천합류부 부근까지는 산정된 값이 관측된 값보다 더 큰 값을 보여주고 있으나, 그 이후부터는 더 작은 산정된 값을 보여주다가, 다시 규암수위표 지점부터는 산정된 값이 관측된 값보다 더 큰 값을 보여주고 있다. NO₃의 경우에는 대청조정지댐부터 강경지점까지 거의 비슷한 수질 값을 보여주고 있다. ON의 경우에는 미호천합류 후 약 3 km 하류까지는 산정된 수질 값이 측정된 값보다 큰 수질 값을 보이나, 그 이후부터는 모형으로부터 계산된 ON의 값이 측정된 값보다 더 작게 나타나고 있다.

PO₄의 경우 매포수위표 하류 6.4 km 지점부터 모형계산치가 측정된 수질 값을 초과하면서 하류로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며, OP의 경우에는 매포수위표 지점부터 모형의 OP값이 측정값을 초과하다가 남남교 부근부터 감소하는 경향을 보이면서 남천합류후부터 다시 측정된 OP 값보다 작은 값을 나타내고 있다.

DO의 경우 관측된 수질 값은 갑천합류 후 약 5 km 하류에 위치한 매포수위표 지점부터 감소하는 추세를 보이는 반면, 모형의 DO 값은 전구간에 걸쳐 측정된 DO 값보다도 작은 값을 보이고 있다. 생물학적 산소요구량의 경우 실제 관측치는 매포수위표를 기점으로 수질이 악화되는 경향을 보이고 있으나, 모의된 수질결과는 매포수위표지점보다 하류에 위치한 남남교지점부터 수질이 서서히 악화되는 것으로 모의되었다. 따라서 Chlorophyll-a를 제외한 모든 수질변수들에 있어서 거의 유사한 수질변동 특성을 보여주고 있다. Chlorophyll-a경우에는 공주 금강교지점부터 하류 강경수위표 지점까지 Chlorophyll-a의 급격한 증가추세를 보여주나, 관측되어진 Chlorophyll-a의 값은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다.

6. 결론 및 향후 추진계획

수질분석결과 지류 중 갑천과 미호천의 BOD가 가장 높았는데 이는 대전과 청주로부터 본류에 각종 생활하수가 유입되는 이들 하천은 유역내 최대 유기물 유입원일뿐 아니라 생물학적으로 분해되기 어려운 유기물이 상대적으로 많거나 BOD로 분해되지 않는 질소유기물 유입이 매우 큰 것으로 볼 수 있었다. 지류 중에서 갑천과 미호천의 질소 부하량이 가장 크며 질소 중 NH₄는 본류 평균농도보다 각각 6.9, 2.7배 이상 높은 농도로 유입되었다. 본류와 지류의 정점별 조사 결과에서 TP와 SRP는 갑천 합류 후부터 크게 증가하여 하류로 내려가면서 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 조사기간 중 식물플랑크톤의 현존량인 chlorophyll-a 농도는 갑천과 미호천이 유입되고부터 하류로 갈수록 급증하였으며 부여와 하구특구간에서 chlorophyll-a 농도가 가장 높았으며 갑천과 미호천의 chlorophyll-a 농도는 본류보다 낮아 갑천과 미호천에서 유입되는 영양염류가 하류지역의 식물플랑크톤의 성장을 촉진하는 한 원인이 되고있음을 시사하였다.

본 연구에서는 EUTRO5 모형과 HEC2 모형을 연계하여 대청댐하류부에 대하여 수리 및 수질 자료의 입력과 수질모의 결과를 출력하기 위한 모형의 입·출력 system을 준비하였으며 금강 대청조정지댐부터 강경수위표지점까지 segment를 101개로 분리하여 수질을 모의하였다.

대청조성지댐부터 강경수위표지점까지 수질관측 지점별 수질변수들의 변화경향을 모의한 결과, NO₃의 경우에는 측정치와 모의치가 거의 일치하는 결과를 보여주었으며, chlorophyll-a를 제외하고는 모든 변수들에 있어서 대체적으로 일치하는 값을 보여주었다. chlorophyll-a의 경우에는 공주 급강교지점부터 강경수위표 지점까지 관측된 chlorophyll-a의 값이 급격한 증가추세를 보이고 있으나, 모의 계산된 chlorophyll-a의 값은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다. 하지만 각 수질 변수들의 관측치와 계산치를 상관분석한 결과에 의하면 관측치와 계산치 사이에는 NO₃나 ON, OP, BOD₅를 제외한 NH₄, DO 그리고 chlorophyll-a 에서는 두 값들 사이에 상관이 매우 낮음을 보여주었다.

본 연구에서는 지류의 수질 및 유량 입력조건으로서 대청댐 하류수질오염에 큰 영향을 미치는 4개의 지류 (갑천, 미호천, 유구천, 논산천)들을 선택하였으며, 물수지를 고려한 유량산정에 있어서 기존의 수위-유량 곡선식을 인용하였다. 하지만 향후 추가 연구수행시에는 본 연구에서 고려한 4개의 지류이외에 대청댐으로 유입되는 소지류들을 추가하여 각 지류 및 주요 분류지점에서 유량과 수질을 동시에 실측하고 물수지분석을 실시하고 수질을 모의함으로써 대청댐하류수질오염예측에 있어서 소지류들의 영향을 평가할 수 있을 것이다.

본 연구결과 향후연구에서 추가 보완 수행되어야 할 부분은 모형의 반응계수의 보정과정에서 반응계수들의 값을 각기 다른 segment별로 구분하여 입력 모의하여야 할 것이며, 또한 각기 다른 반응계수들의 민감도분석 등을 통하여 반응계수들의 수질변수에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것이다. 따라서 검보정과정을 거친 수질모형을 이용하여 대청댐 하류지역의 수질오염원의 누출사고 발생시 급강수도 취수장 등의 주요시설에 대한 영향검토 및 대응체제를 구축함으로써 대청댐 하류의 수량 및 수질관리 방안을 강구하도록 할 것이다.

7. 참고문헌

1. 한국수자원공사, "대하천 오염물질 이송·확산 예측 및 저감대책에 관한 연구," 수자원연구소보고서, 1996.
2. 환경부, "수질오염·폐기물공정시험방법," 도서출판 동화기술, 1993.
3. APHA, AWWA, WEF., "Standard methods for the examination of water and wastewater," 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC., 1992.
4. Nusch, E.A., "Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination," Arch. hydrobiol. Beih. (Ergebn. Limnol.), 14: pp. 14-36, 1980.
5. Wetzel, R.G., and Likens, G.E., "Limnological Analyses," 2nd ed. Springer Verlag, 391 pp, 1991