

대청댐하류 오염물질 이송·확산

○ 이혜근*, 김대홍**, 신재기**, 양재린**

1. 연구배경 및 목적

대청댐 하류지역은 특히 동절기의 암모니아성 질소문제 등으로 인하여 수질악화가 심각한 실정이다. 유량이 풍부한 하절기에는 별 문제가 되지 않는 암모니아성 질소의 농도는 유량이 부족한 동절기, 즉 갈수기에는 그 농도가 증가하게 된다. 또한 유류, 농약 등의 누출사고시에 대비한 부여취수장 등 주요시설에 대한 대응책의 과학적인 근거가 미약하여 현장종사자의 경험에 의존하고 있다. 따라서 수질사고시 부여취수장 등 주요시설에 대한 영향 및 대응책 마련이 시급한 실정이다.

오염물질 누출사고시 댐 방류에 의한 희석효과가 파악되려면 수계 주요지점의 방류량별 도달시간 등의 신뢰성 있는 자료의 제공이 필요하다. 따라서 금강수계를 대상으로 수질예측모형과 유출사고 대응 및 처리지원방법을 제시하여 수질오염원의 유출사고 발생시 주요시설물들의 영향검토 및 대응체제를 구축함으로써 대청댐 하류의 수량 및 수질관리방안을 강구하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 연구내용

본 연구에서는 금강유역전반에 걸친 수문 및 수질 현황을 조사 파악하였다. 또한 8회에 걸친 수질조사를 통하여 대청댐하류의 수질을 분석하였으며, 조사·분석된 자료를 바탕으로 일반수질항목에 대하여 기존의 수리·수질모형을 개선하여 수질모의를 수행하였다. 또한 유해물질 유출 사고시 조정지 댐에서의 적절한 방류시기를 결정하기 위한 주요지점에서의 도달시간을 산정하였다.

2.1 대상수역의 선정

본 연구의 대상수역은 금강 본류를 중심으로 선정하되 한국수자원공사에서 관리하는 부여취수장을 포함하도록 하였으며, 조석의 영향이 적으며 유량측정이 가능한 수위표 지점과 정기적으로 수질측정이 실시되는 수질측정망을 포함하고 있는 대청댐 하류부 지점, 즉 금강 본류 대청댐 하류 조정지부터 금강하구둑 구간을 선정하였다. 또한, 본류 구간내의 지류 중 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 금천, 석성천, 논산천과 강경천의 6개 지류유입 및 비교적 취수량이 큰 부여취수장의 취수량을 고려하여 물수지를 계산하였다.

2.2 수질조사

대청댐 하류 금강의 중·하류에서 수질환경을 조사한 지점의 선정은 대청호 조정지댐으로부터 하구둑까지 유하거리와 유입지천을 적절하게 고려하여 선택하였다(그림 1).

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

3. 모형의 연계

본 절에서는 상용화된 수리·수질모형을 연계한 과정을 설명하고 금강 대청댐 하류구간에 적용하기 위하여 필요한 입력자료준비와 모형적용방법에 대하여 기술하였다.

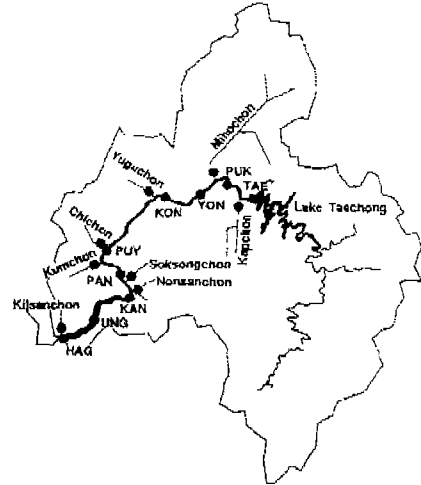


그림 1 채수지점

3.1 FLDWAV 모형

미국 기상청(National Weather Service)에서 개발한 홍수 추적모형인 FLDWAV 모형은 기존의 DAMBRK 모형과 DWOPER모형을 결합한 모형이다. 본 모형에서는 부정류 홍수파흐름을 해석하기 위해 Saint-Venant 방정식을 기본으로 한 수리학적인 하도추적 알고리즘을 사용하였다.

3.2 EUTRO5 모형

EUTRO5모형은 6종류의 복잡도에 따라 수질을 모의할 수 있는데, 복잡도 4이상에서는 최대 8개 수질항목, 즉 용존산소, 생물학적산소요구량, 엽록소a, 암모니아, 질산, 유기질소, 무기인, 유기인의 모의가 가능하다.

3.3 TOXI5 모형

TOXI5모형은 8가지 종류의 복잡도에 따라 수질을 모의할 수 있는데, 세 개의 화학물질과 고형물질의 세 부분에 대한 모의가 가능하다. 이런 복잡도의 수준은 고형화, 평형반응 및 운동반응에 대한 접근도를 나타내고 있다. 이 모형에서는 호수, 강, 하구 등을 포함한 여러가지 수체에 대해 독성물질의 거동과 상호반응에 대한 정상상태 혹은 동적상태의 모의가 가능하다.

3.4 수리·수질모형의 연계

대부분의 수질모형들과 마찬가지로 WASP5모형 또한 수리해석 부분에 대해서는 수리해석 결과가 구간별 대표단면에 사용되므로 실제 하천의 수리학적 특성을 제대로 반영하지 못한다는 취약성을 가지고 있다. 이러한 수질모형에 포함된 수리해석 부분의 부족함을 해결하기 위하여 수리해석 부분은 신뢰할 만한 수리계산모형을 선별하여 WASP5모형의 수질해석 부분에 연계시켜 모의하도록 하여야 한다. 본 연구에서는 FLDWAV모형과 WASP5모형 중에서 수질모의 부분인 EUTRO5모형과 TOXI5모형의 기존 Source 프로그램을 수정하여 수리·수질 모형이 하나의 프로그램으로 실행될 수 있도록 연계하였다.

4. 모형의 적용

기술된 모형을 이용하여 하류 하천의 수질에 대한 검토와 유해물질이 유입될 경우 여러 방류조건에 대하여 주요지점간 도달시간을 계산하여 취수중단시간 결정 등 적절한 대응조치에 필요한 자료를 제공한다.

4.1 FLDWAV 모형의 검증

모형의 검증을 위한 대상구간은 조정지댐으로부터 금강하구둑까지의 본류구간과 갑천, 미호천, 금천, 강경천, 논산천의 5개 지천을 포함한다. 본류 및 지천의 하천 종·횡단자료는 하천정비기본계획(건설부, 1988)자료 중 개수후 자료를 이용하였다.

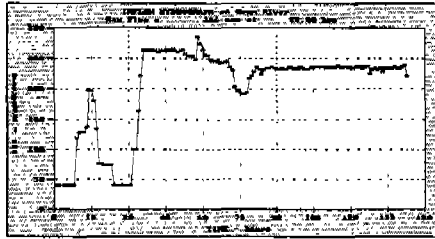


그림 2 조정지 지점의 방류량

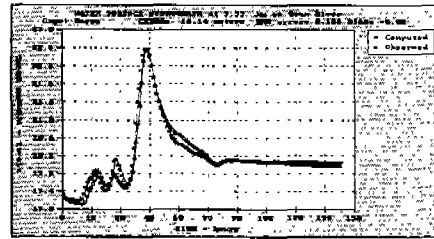


그림 3 매폏지점의 수위

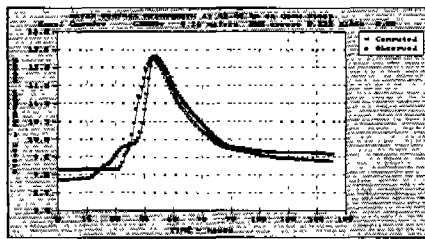


그림 4 공주지점의 수위

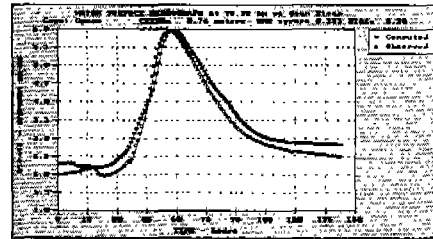


그림 5 규암지점의 수위

4.2 FLDWAV~EUTRO5 모형의 적용

FLDWAV모형의 초기조건 설정을 위하여 상류경계지점에서 실측 유량과 하구둑에서의 1998년 12월 27일 실측수위를 이용하여 수시간 동안 warm up을 실시하여 초기조건으로 하였다. EUTRO5 모형은 초기조건 농도의 실측치가 없으므로 초기값을 0으로 하고 장기간에 걸쳐 모의를 수행하여 오차에 관한 영향을 배제 하였다.

FLDWAV모형에서 상류 경계지점인 조정지에는 유량을 경계조건으로 하였다. 하류단에는 수문 개폐를 고려하여 계산된 유량을 이용하였다. 지천의 상류단 경계조건은 지천 중간지점의 수위를 유량으로 환산하여 사용하였다. EUTRO5 모형의 경계조건은 같은 날짜의 실측자료를 이용하였다.

4.3 FLDWAV~TOXI5 모형의 적용

본 연구에서는 디클로로메탄과 페놀을 선정하여 금강수계를 대상으로 FLDWAV~TOXI5 연계 모형의 입력자료를 구성하였다. 이 두 항목은 낙동강에서 유출사고가 발생하였던 물질로서 측정을 통하여 반응계수가 결정된 바 있다(한국수자원공사, 1996). 본 연구에서는 이 반응계수를 이용하여 입력자료를 구성하였으나 금강에서의 실측자료 미비로 인하여 반응계수산정의 적절성과 FLDWAV~TOXI5 모형에 관한 보정 및 검증은 할 수는 없었다.

4.4 댐 운영 결정을 위한 도달시간 산정

현재 누출사고가 발생하여 오염물질이 하천으로 유입되는 경우, 수계의 주요지점에서 물을 채수하여 오염물질의 성분을 검출하는 방법을 이용하여 유입지점 하류부에 대한 대책을 강구하고 있는 실정이다. 그러나 실제의 경우 유입물질의 성분 및 유입량을 파악하기가 매우 어렵고 검출방법 또한 쉽지 않아 유입물질의 유하위치를 제대로 파악하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 실제의 경우에 조치할 수 있는 가장 현실적인 방법은 유입된 물질이 완전혼합(Well-mixed)된다는 가정하에 흐름의 도달시간을 산정하여 오염물질의 유하위치를 파악한 후 방류 등의 사후 조치를 취하는 방법일 것이다.

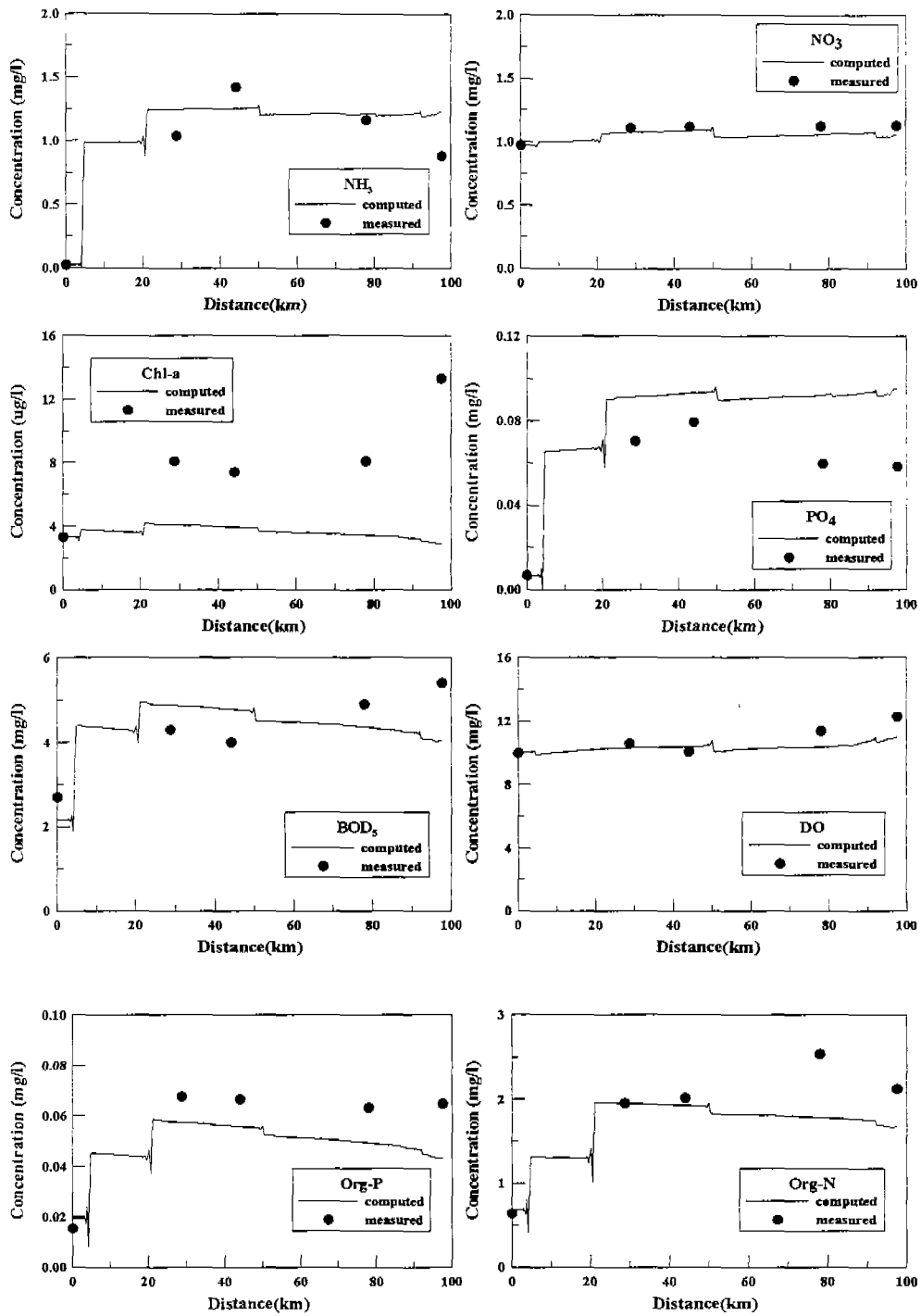


그림 6 FLDWAV~EUTROS를 이용한 수질모의 결과

표 1 본류에서의 도달시간(단위 : 시간)

지점	유량(cms)				
	10.0	20.0	30.0	50.0	100.0
갑천합류부	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7
매포수위표	3.3	2.9	2.6	2.2	1.8
미호천합류부	7.7	6.7	6.0	5.3	4.4
금남수위표	10.9	9.7	8.8	7.7	6.5
공주수위표	-	15.5	14.6	12.8	10.8
유규천합류부	-	17.8	16.1	14.5	12.1
지천합류부	-	25.9	23.7	21.8	20.2
부여취수장	-	26.6	24.1	22.4	20.7

표 2 갑천에서의 도달시간(단위:시간)

거리	유량(cms)				
	2.4	5.0	10.0	20.0	50.0
13.62 km	8.4	7.6	6.4	5.5	3.8
11.45 km	7.0	6.6	5.6	4.8	3.4
10.07 km	6.2	5.8	4.9	4.1	2.9
8.52 km	5.5	5.1	4.2	3.5	2.5
6.58 km	4.4	3.9	3.3	2.7	2.0
4.72 km	3.2	2.8	2.4	1.9	1.4
2.61 km	1.7	1.6	1.4	1.2	0.8

4.5 댐 운영 결정을 위한 방류예비시간

추가 댐방류량뿐만 아니라 댐방류량이 같더라도 추가 댐방류시기에 따라서 오염수 회석효과는 다르다. 오염물질이 하류지점에 도달하기 전에 추가방류량이 도달한다면 추가된 방류량에 의해 최대의 효과를 얻을 수 있으며, 오염물질이 완전히 지나친 후에 추가된 방류량이 도달한다면 댐방류에 의한 회석효과를 전혀 얻을 수 없다.

대상기간이 갈수기인 경우에는 오염물질이 이동하는 속도가 느리므로 추가 댐방류에 의한 회석효과를 얻을 수 있는 기간이 길다. 평상시에는 유량과 유속이 갈수기보다 크고 오염물질의 이동 속도도 빨라지므로 누출사고후 추가 댐방류에 의해 회석효과를 얻을 수 있는 시기가 앞당겨지며 기간도 짧아진다. 즉, 댐방류에 대한 의사결정이 좀 더 긴급히 이루어져야만 하는 것이다.

예를 들어, 갑천상류 약 11.65km 지점인 하수종말 처리장에서 누출사고가 발생 하였을 경우 본류까지의 예상 도달시간은 갈수기(회덕지점 유량=2.4cms)시 7시간이다. 조정지 댐에서 갑천 합류부까지의 도달시간이 방류량에 따라 1.0시간~0.5시간 정도 이므로 사고발생직후 6시간~6.5시간 경과후 적정량을 추가 방류하여 회석효과를 극대화 하고 물낭비를 줄일수 있다(표 3).

표 3 댐 운영 결정을 위한 도달시간 산정

갑천 상류부터 본류까지의 도달시간		조정지댐에서 갑천합류점까지의 도달시간					
합류점부터의 거리	갑천유량 2.4 cms	조정지댐 추가방류량	방류전 유량				
			10 cms	30 cms	50 cms	100 cms	200 cms
13.62 km	8.4 hr	10 cms	1.0 hr	0.8 hr	0.7 hr	0.7 hr	0.6 hr
11.45 km	7.0 hr	20 cms	0.9 hr	0.8 hr	0.7 hr	0.7 hr	0.6 hr
10.07 km	6.2 hr	30 cms	0.9 hr	0.8 hr	0.7 hr	0.7 hr	0.6 hr
8.52 km	5.5 hr	40 cms	0.9 hr	0.8 hr	0.7 hr	0.7 hr	0.6 hr
6.58 km	4.4 hr	50 cms	0.9 hr	0.8 hr	0.7 hr	0.7 hr	0.5 hr
4.72 km	3.2 hr	100 cms	0.7 hr	0.7 hr	0.6 hr	0.5 hr	0.5 hr
2.61 km	1.7 hr	150 cms	-	0.6 hr	0.5 hr	0.5 hr	0.5 hr
		200 cms	-	0.6 hr	0.5 hr	0.5 hr	0.5 hr

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 1996년 6월 16일의 홍수사상에 대하여 FLDWAV 도형을 적용하고 실측수위와 비교한 결과 매우 좋은 결과를 얻었다. 강경~하구둑 구간은 하구둑 운영의 영향을 크게 받으므로 정확한 부정류 해석을 위하여 하구둑의 수문개폐에 관한 시자료 이용이 바람직하다.
2. EUTRO5 모형과 FLDWAV 모형을 연계하여 대청댐하류부에 대하여 수리 및 수질자료의 입력과 수질모의 결과를 출력하기 위한 모형의 입·출력 시스템을 준비하였으며 금강 대청조 정지댐부터 금강하구둑지점까지 수질을 모의하였다.
3. TOXIS모형의 적용시 실측자료의 미비로 인하여 반응계수의 검보정과정을 거치지 못하였다. 따라서 이에 대한 보완이 필요하며 금강수계에 설치되어 있는 위어, 수문, rubber dam과 같은 수리구조물이 갈수기의 하천 흐름 및 수질에 미치는 영향에 관한 검토가 필요하다.
4. 오염물질누출사고시 댐운영 결정을 위한 도달시간을 검토하였다. 그 결과 본류에 직접유출된 경우 조정지점에서 방류량 증가한 경우, 증가된 방류수로 인한 희석효과는 거의 없었다. 그러나 갑천과 미호천에서의 수질사고시 충분한 예비시간으로 인하여 방류량증가로 인한 희석효과는 클 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "금강수계 유량측정 조사 보고서 (강경, 규암, 공주, 우성, 금남, 석화, 육산,북일, 회덕)," 1997.
2. 건설부, "금강수계 종합정비계획 보고서," 1988.
3. 한국수자원공사, "댐방류량이 하천 수질에 미치는 영향에 관한 연구," 1993. 12.
4. 한국수자원공사, "대하천에서의 오염물질 이송확산과 저감대책에 관한 연구보고서," 1994 1995, 1996.
5. 농어촌진흥공사, "금강호, 하구둑 유지관리 보고서(1994~1996)," 1997.
6. Ambrose, Robert B. and James L. Martin, "The Water Quality Analysis Simulation Program WASP5 Part A: Model Documentation," U.S. Environmental Protection Agency, 1993.
7. Chapra, "Surface Water-Quality Modeling," McGraw Hill, 1997.
8. Fread, D. L. and J. M. Lewis, "NWS FLDWAV MODEL," National Weather Service, NOAA 1998.