

팔당댐 상류의 수질예보시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Water Quality Forecasting System in Upstream of Paldangdam

최남정*, 서일원**, 김영한***, 이명은****
Choi, Nam Jeong-Seo, Il Won-Kim, Young Han-Lee, Myong Eun

Abstract

In this study, water quality prediction that is necessary to water quality forecasting system is performed using 2-D river analysis models RMA-2 and RAM4. RAM4 is suitable to water quality forecasting system cause it is possible to put in the pollutants as a mass type boundary condition. Instant injections of pollutants at Yongdamdaegyo Bridge in Namhangang River are simulated and the behavior of pollutant cloud is observed. The effects of water quality accident to Paldang 2 water intake plants in Paldangho Lake is analyzed with time variation. And extra flow simulation is performed for mitigation of pollution. Several cases of water quality forecasting system at home and abroad are investigated and the direction of water quality forecasting system is presented.

Key words: RMA-2, RAM4, Water Quality Forecasting System, Paldangho Lake

1. 서 론

우리나라는 하수처리장과 취수장이 하천 상·하류에 혼재되어 있고 교통시설과 하천이 교차하는 부분이 많아 수질사고가 발생할 확률이 매우 높다. 수질사고에 노출되어 있는 지표수를 각종 용수로서 안전하게 공급하기 위해서는 수질예보가 필수적이다. 특히, 낮은 농도에서도 건강에 치명적인 영향을 미치는 독극물의 유출사고에 대비하여 수질예보시스템을 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 수도권의 주요 상수원인 팔당 상수원에 대하여 수질사고에 따른 단기적인 수질모의를 수행하고, 수질예보시스템의 현황을 조사하여 수질예보시스템의 방향을 설정하였다.

갈수기에 팔당호 주변에서 발생할 수 있는 오염물질 유입사고를 가정하여 2차원 수질예측을 수행하였다. 이를 위해 2차원 하천해석모형인 RMA-2와 RAM4를 사용하여 흐름모의와 이송·확산 모의를 수행하고 시·공간에 따른 하천의 흐름과 오염물질의 농도 분포를 분석하였다. 공학적인 수질오염 저감대책을 제안하여 팔당호의 흐름 변화에 따른 오염물질의 거동 변화를 살펴보았다. 또한, 국내외의 수질예보시스템의 현황을 조사하여 국내 수질예보시스템을 구축하는 데에 있어 적용 방안을 제시하였다.

* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정 E-mail : seal7082@snu.ac.kr

** 종신교원·서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 교수 E-mail : seoilwon@snu.ac.kr

*** 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사 E-mail : yhkim98@snu.ac.kr

**** 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사 E-mail : lmeun88@snu.ac.kr

2. 2차원 수질예측

2.1 수치모형의 개요

본 연구에서는 흐름 해석모형으로 RMA-2, 이송확산 해석모형으로 RAM4를 사용하여 수질예측을 수행하였다. RMA-2는 미육군 공병단에서 개발한 2차원 유한요소 수치모델로서 천수방정식을 지배방정식으로 한다(King 1996).

RAM4 모형은 기존에 RMA-2와 함께 널리 사용되는 RMA-4의 해석능력을 개선하고 입력조건을 보다 다양하게 구성하여 개발한 2차원 하천수질 예측모형이다(서울대학교 2004). RAM4의 지배방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(huC) + \frac{\partial}{\partial y}(hvC) \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left[h \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[h \left(D_{yy} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yx} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] - khC - Q = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, C 는 수심 적분된 농도, u 와 v 는 수심 적분된 유속, h 는 수심이다. D_{xx} , D_{xy} , D_{yx} , D_{yy} 는 분산계수 텐서의 요소들이며 다음의 방정식에 의해 결정된다.

$$D_{xx} = D_L \frac{u^2}{U^2} + D_T \frac{v^2}{U^2}, \quad D_{xy} = D_{yx} = (D_L - D_T) \frac{uv}{U^2}, \quad D_{yy} = D_T \frac{u^2}{U^2} + D_L \frac{v^2}{U^2} \quad (2)$$

여기서 U 는 합유속 벡터의 크기($\sqrt{u^2 + v^2}$)이며 D_L 은 종분산계수, D_T 는 횡분산계수로서 사용자가 입력하는 값이다.

2.2 수치모의 입력조건

2차원 수치모형의 적용영역은 팔당호로서, 수도권의 상수도 공급량의 40%를 차지하는 주요한 상수원이다. 따라서 팔당호는 수질예보시스템의 필요성이 매우 높은 지역이라고 할 수 있다. 본 영역에 대한 격자를 SMS를 이용하여 구성하였으며 하상고 전투어를 그림 1에 나타내었다. 대상 구간의 남한강 상류 경계단은 양평수위표, 하류 경계단은 팔당댐으로서 양평수위표에서 팔당댐까지의 거리는 약 26.4 km이다. 지형자료는 한강수계치수기본계획(1992)의 자료를 사용하였다.

2차원 흐름해석모형인 RMA-2의 입력자료는 표 1과 같다. 수질사고의 영향이 가장 큰 갈수기에 대하여 흐름모의를 수행하였으며, 북한강, 남한강, 경안천의 갈수량은 각각 107, 88, 0.56 cms, 팔당댐의 경계조건은 25 m이다. 두 가지 오염 저감대책으로서 남한강의 유량을 150 cms로 증가시킨 경우와 팔당댐의 좌측 수문을 개방한 경우를 추가적으로 모의하였다. 팔당댐은 평시에 우측 수문을 개방하고 있는데 이러한 수문 개폐 운영을 변경할 경우 팔당호 내 흐름에 영향을 미치리라 예상하였다.

표 1. RMA-2 입력자료

조건	남한강	북한강	경안천	팔당댐
	상류경계단 조건 유량(m ³ /sec)	상류경계단 조건 유량(m ³ /sec)	상류경계단 조건 유량(m ³ /sec)	하류경계단 조건 수심(m)
갈수기(현상태)	107	88	0.56	25
남한강 유량증대	150	88	0.56	25
팔당댐 좌측수문개방	107	88	0.56	25

출처: 한강수계치수기본계획(1992), 한국수자원공사(2000), 경안천수계 하천정비기본계획(2001)

RAM4에서는 남한강의 용담대교에서 비보존성 오염물질이 투입되었을 경우를 입력조건으로 하였다. 용담대교는 남한강 하류인 경기도 양평군 양수리에서 신원리에 걸쳐 있는 길이 2,380 m, 폭 10.75 m의 2차선 규모 교량이다. 오염물질의 감쇄계수는 0.1 /day, 투입량은 500 kg, 종·횡방향 분산계수는 각각 $10 \text{ m}^2/\text{sec}$ 와 $1 \text{ m}^2/\text{sec}$ 를 입력하였다.

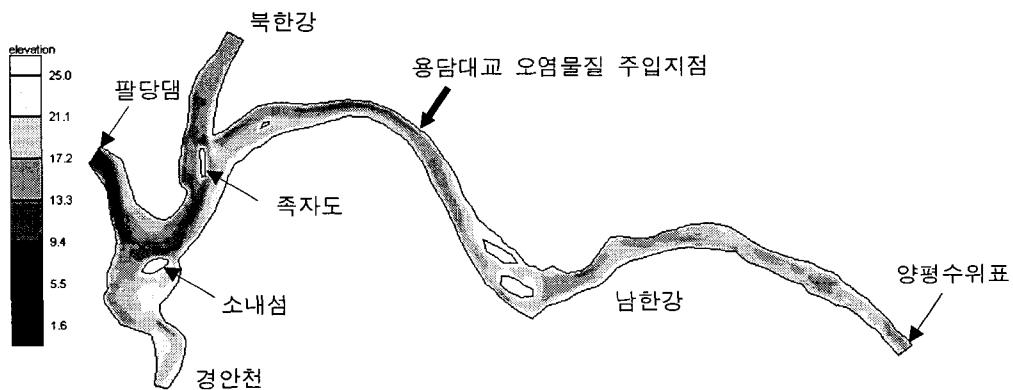


그림 1. 하상고 컨투어

2.3 수치모의 결과

갈수기 현상태의 RMA-2 모의 결과, 전 영역에서의 유속은 0.1 m/sec 이하로 나타났으며 최고 유속은 팔당댐 수문 근처에서 0.3 m/sec 를 나타내었다. 팔당호 내의 유속을 살펴보면, 수문 근처를 제외하고는 $0.02 \sim 0.03 \text{ m/sec}$ 정도의 유속을 나타내었다. 북한강, 남한강, 경안천 중 유입 유량이 가장 작은 경안천 하류 측은 유속이 0.01 m/sec 이하로 흐름이 정체되는 것으로 나타났다.

용담대교에서 오염물질이 유입되어 1, 3, 5일 후의 상태를 RAM4로 모의한 결과를 그림 2에 나타내었다. 시간에 따라 오염운이 하류로 흘러가며 퍼져나가는 모습을 잘 보여주고 있다. 특히 그림 2의 (b)에서 살펴볼 수 있듯이 오염운은 팔당호의 우안으로 불어서 이동하는 경향이 있으며 이는 평시에 팔당댐의 우안 측 수문을 개방하는 것과 관계가 있는 것으로 사료된다. 그림 2의 (c)를 살펴보면, 5일이 경과한 후에도 족자도와 소내섬 부근에서는 오염운이 정체되고 있다. 특히, 경안천 하류 부분은 유속이 크지 않아 오염운의 확산이 더디게 일어난다.

앞서 모의한 3가지 경우의 흐름 결과에 따라 오염운의 거동 차이를 시간-농도 그래프로 정리하여 그림 3에 나타내었다. 팔당호에 위치한 여러 취수장 중 일 취수량이 100만 m^3 로서 가장 큰 팔당 2 취수장을 기준으로 정리하였다. 팔당 2 취수장은 팔당댐으로부터 상류로 1 km 정도 좌안에 위치하였으며, 개수로 형태로 취수한다. 팔당 2 취수장의 위치는 그림 2에 표시하였다.

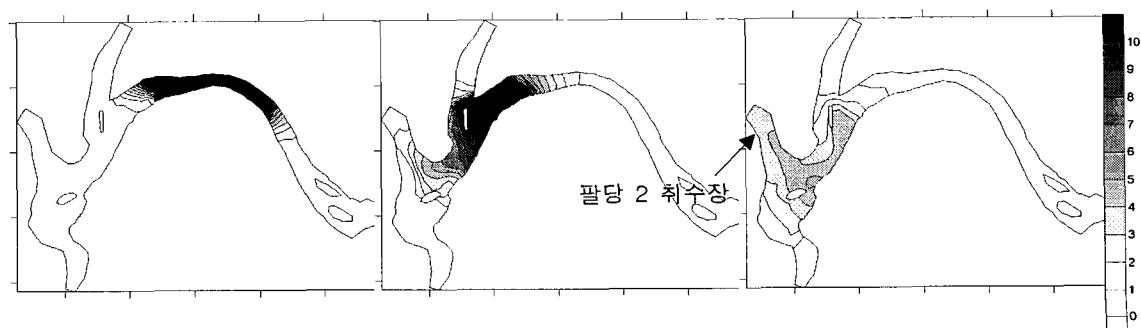


그림 1. RAM4 결과(갈수기 현상태 모의)

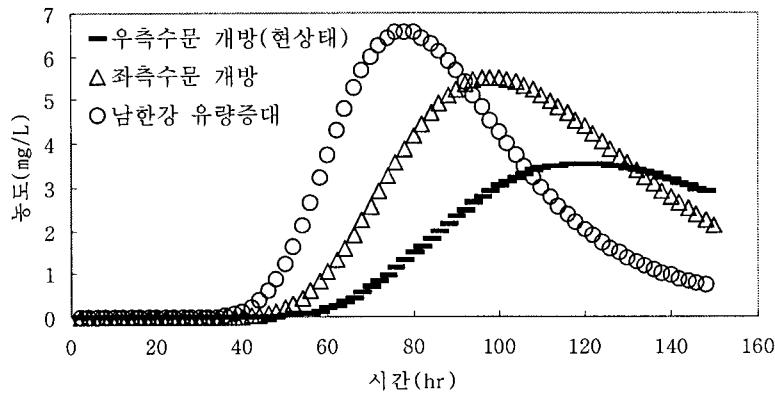


그림 2. 팔당2 취수장에서의 시간-농도곡선

남한강의 유량을 증가시킬 경우에는 최고 농도는 커지고 최고 농도의 도달 시간은 더 짧아졌음을 관찰할 수 있다. 이는 RMA-2 해석 결과에서 남한강 유량 증가로 인해 팔당호의 흐름이 좌안으로 더 치우치는 현상 때문인 것으로 보인다. 유량을 크게 증가시킬 경우 독성물질을 빨리 흘려보내는 플러싱 효과를 기대할 수도 있음을 나타낸다. 현상태에 비하여 팔당댐의 좌측 수문을 개방하였을 경우, 남한강의 유량을 증가시킨 것과 비슷하게 최고 농도는 증가하고 도달 시간은 단축되었다. 이는 좌안 측의 수문을 개방할 경우, 팔당호 내의 주흐름 방향이 좌안 측 수문과 일치하면서 흐름이 원활해진 때문으로 보인다.

3. 수질예보시스템의 현황

국내에서는 환경부에서 실시간 수질감시망을 구축하여 조류 예보 중심의 수질오염경보제를 실시하고 있다. 주로 호소를 대상으로 실시하고 있으며, 국내 호수에서 자주 발생하는 부영양화에 따른 녹조현상을 미리 예측하고 제어하고자 하는 것이 가장 큰 목표라고 할 수 있다. 수질오염경보제는 조류뿐만 아니라 다양한 수질인자에 대해서 확대 시행 될 필요가 있으며 자동 수질측정망의 운영을 활발히 하여 수질오염경보제의 효과를 높일 필요가 있다.

국외에서는 물 이용목적에 따라 다양한 수질예보시스템을 운영하고 있다. 강우 시에 급속히 증가하는 대장균수를 기준으로 해수욕이나 각종 수상레저 스포츠의 적합 여부를 웹서비스로 제공하는가하면, 용수 이용과 생태계 보존을 위하여 독성물질의 유출을 상시 감시하여 예보하는 시스템도 있다. 해변의 수질 정보를 웹기반으로 제공하는 해변수질예보시스템은 미국 EPA의 Beach Report와 덴마크의 Bathing Water Quality Forecasting 등이 있다. 유럽의 경우에는 라인강을 주운과 용수공급 목적으로 활용하고 있어 수질 관리에 철저한 노력을 기울이고 있다. 스위스, 프랑스, 독일 네덜란드 등 라인강이 흐르는 지역에서는 총 49지점의 수질 측정소를 설치하고 수질 오염을 측정하고 있다. 특히, 독성물질이 유입되면 이에 민감하게 반응하는 물벼룩이나 물고기, 발광세균, 조개류 등의 움직임을 감지하는 생물경보장치를 이용하여 수질을 상시 감시하고 있다. 이와 같이 국내외적으로 다양하게 수질감시 및 예보시스템이 운영되고 있으며 수질예보에 대한 필요성도 계속 증가하는 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 팔당호에서 발생할 수 있는 단기 수질사고에 대하여 모의하고 수질예보시스템의 필요성을 기술하였다. 남한강의 용담대교에서 오염물질이 순간유입되는 수질사고를 가정하여 갈수기 현상태와, 수질오염 저감대책을 적용하여 비교하였다. 수질사고 발생 시 유입유량 증가 및 팔당댐 수문 개폐 변경 등으로 플러싱 효과를 유도할 수 있음을 확인하였다. 특히, 저감대책 수립 시에는 팔당호 내의 흐름 구조를 고려하여 적절한 대책을 수립하는 것이 중요함을 발견하였다.

국내외의 수질예보시스템에 대하여 조사한 결과, 국내에서는 조류예보를 중심으로 운영되고 있었다. 국외에서는 여가·오락용도에 따른 수질 적합성, 각종 용수와 생태계 보호를 위한 독성물질 경보 등의 형태로 목적에 따라 다양한 시스템이 운영되고 있음을 알 수 있었다. 국내에서는 자동 수질측정망을 더욱 효과적으로 운영하면서 상수원에서 독성물질 유입사고에 대비한 수질예보시스템을 구축할 필요가 있다. 본 연구에서 2차원 수질예측을 수행한 팔당호의 경우에도 수질예보시스템의 필요성이 매우 높으며, 수질예보시스템이 운영된다면 취수장의 수질관리에 도움이 될 것이다. 그리고 갈수록 증가하는 여가와 오락에 대한 수요에 맞추어 수질의 적합성을 상시 예보하는 시스템으로 발전하는 것이 바람직하다.

감 사 의 글

본 연구는 교육인적자원부 BK21사업(서울대학교 사회기반건설 사업단)과 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제명: RAMS 개발)과 서울대학교 공학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2001) 경안천수계하천정비기본계획보고서.
2. 건설교통부 한강홍수통제소(2000) 북한강 및 안성천 유량측정.
3. 건설부 (1992) 한강수계치수기본계획(하천정비기본계획).
4. 서울대학교 (2004) 하천흐름 및 하상변동 해석기술 개발 1단계 최종보고서, 21세기 프론티어연구개발사업, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업.
5. 한강홍수통제소 (2004) 한국수문조사연보.
6. 환경부 (2004) 2003 상수도통계.
7. 한국수자원공사 (2000) 한국의 댐.
8. King, I. (1996) *Users Guide To RMA-2 Version 4.3, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station-Hydraulics Laboratory.*
9. DHI bathing water quality forecasting 홈페이지:
<http://bathingwater.dhigroup.com/services/WaterQualityForecast.html>
10. EPA Beach Report 홈페이지: <http://www.epa.vic.gov.au/beachreport>