

수질오염사고 대응을 위한 도달시간 산정 연구

최정규*, 박형석*, 방호희*, 배원민*

*한국수자원공사

e-mail:waterchoi@kwater.or.kr

A Study on the Estimation of Arrival Time for Rapid Response to Water Pollution Accident

Jungkyu Choi*, Hyung-Seok Park*, Hohee Bang*, Wonmin Bae*

*Korea Water Resources Corporation

요약

본 논문에서는 수질오염사고 발생시, 신속한 대응을 지원하기 위해 실무자가 쉽게 활용할 수 있는 excel 기반의 tool을 개발하였으며, 비교적 자료의 수집이 용이한 항목들로 입력자료를 구성하였다. 본 연구의 결과는 현장에서 쉽고, 빠른 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

1. 서론

화학물질 또는 유류와 같은 유해물질의 하천 및 댐저수지의 유입은 단순한 수질오염 차원을 넘어 원수 공급 중단으로 인한 단수 또는 유해세균의 음용으로 인한 질병 등과 같이 국민의 재산과 생명을 직·간접적으로 위협하는 요소 중 하나이다. 최근 5년간(2019~2023년) 발생한 수질오염사고는 총 666건으로 유류 및 화학물질의 유출이 전체의 약 52.1%를 차지하였으며, 물고기 폐사와 기타(소방수 및 오·폐수 유출) 순으로 나타났다[1]. 국내의 대표적인 수질오염사고는 1991년 3월 낙동강에서 발생한 폐놀 유출과 2008년 3월 김천 유화공장에서의 폐놀 유출 사고이며, 이 사고로 인하여 5~18시간의 급수중단이 있었다. 따라서 대하천을 취수원으로 사용하는 낙동강은 수질오염사고에 매우 취약한 구조를 가지고 있으며, 이러한 피해를 최소화 하기 위해서는 상류 댐 또는 보간 연계운영을 통한 희석 및 배제, 신속한 방제체계 구축 등의 대책이 필요하다. 본 연구는 낙동강을 대상으로 수질예측 모형을 활용하여 구간별 유량-유속 관계식을 도출하고, 수질오염사고의 신속한 대응을 위해 임의의 사고지점에서 주요 지점의 도달시간을 산정하는 방안을 제시하였다. 본 연구의 결과는 현장에서 오일펜스 위치 및 범위 등 초기 대응 단계에서 신속한 의사결정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2.1 예측모형구축

본 연구의 대상지인 낙동강의 구간별 유량-유속 관계식을 도출하기 위해 2차원 수리수질예측 모형인 CE-QUAL-W2를 구축하였다. CE-QUAL-W2 모형은 횡방향 평균으로 수체의 좌·우 속도구배는 없는 것으로 가정하며, 예측 구간은 지인교에서 낙동강하굿둑까지 총 276 km이며, 500 m 간격으로 총 558개의 segment로 구성하였다. 2021년 1월~6월까지 실제 운영 자료를 이용하여 모의하였으며, 모의기간 동안 유량의 범위는 최상류에서 0.1~302 m³/s이고, 300 m³/s 이상의 유량에서는 유속이 매우 빠르기 때문에 방제를 위한 대응이 쉽지 않아 분석 범위에서 제외하였다.

2.2 도달시간 산정

예측모형의 유속 모의 결과를 이용하여 총 558개 지점의 segment별 유량과 유속의 관계식을 산정하였다. 또한, 최상류 경계 지점 및 유입 지류들의 평균 유량 비율을 도출하여 수질오염사고 시점의 낙동강 8개보 실제 방류량 자료의 입력으로 각 segment별 유량이 자동으로 배분되도록 excel 파일을 작성하고 각 구간별 유속과 통과시간이 자동 계산되도록 설정하였다. 임의의 지점에서 수질오염사고 발생시, 1차 반응을 가정하여 각 구간의 농도를 산정하였으며, 오염물질의 성상에 따른 반응속도 상수를 적용하였다[표 1].

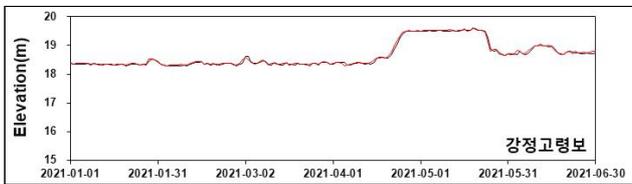
[표 1] 주요 물질에 대한 반응상수

물질명	반응상수	물질명	반응상수
페놀	0.051	자일렌	0.012
벤젠	0.155	나프탈렌	0.015
톨루엔	0.009	피렌	0.038
클로로포름	0.199	플루오렌	0.169
스티렌	0.052	페난스렌 대사체	0.116

3. 연구결과

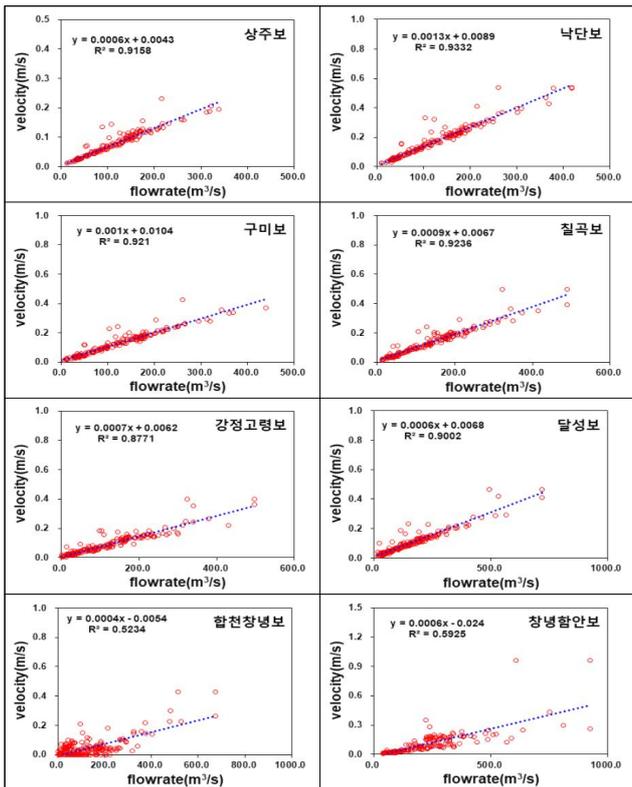
3.1 물수지 및 유속 예측 결과

구축한 예측모형의 정확도를 확인하기 위하여 주요 지점의 수위 예측 결과를 살펴보면 유·출입량 및 물수지를 양호하게 재현하는 것으로 나타났다[그림 1]. 또한, 낙동강 8개보 지점의 유속 모의 결과, 평균 0.045~0.161 m/s의 범위를 보였으며, 최대 0.965 m/s를 나타냈다.



[그림 1] 강정고령보의 수위 재현 결과

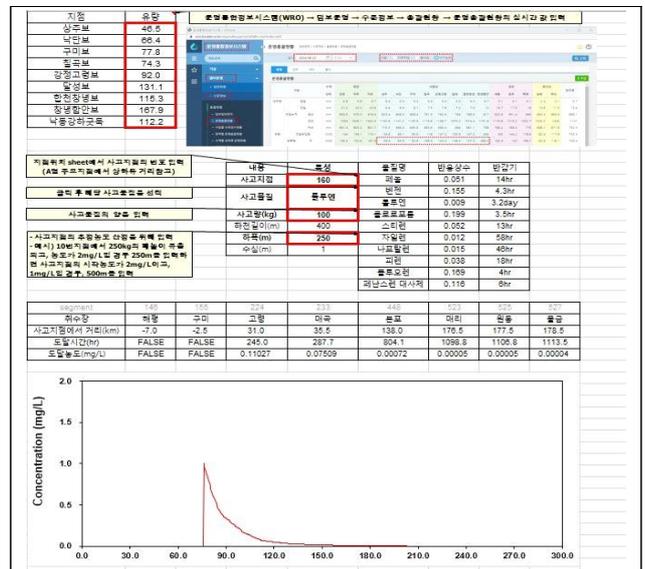
8개보 지점에서의 유량-유속에 대한 선형 관계식을 산정한 결과, 0.52~0.93의 R²를 보였고, 상류에서 높은 상관성을 나타냈다[그림 2].



[그림 2] 보 구간의 유량-유속 관계식 산정

3.2 도달시간 산정 tool 개발

수질오염사고의 신속한 대응을 위하여 실무자의 접근이 용이한 MS-excel을 이용하여 도달시간 산정 tool을 작성하였다. 작성된 tool의 구동에 필요한 입력자료는 수질오염사고 발생 시점의 8개보 방류량, 사고 지점에 해당하는 segment 번호, 사고 물질 및 유출양(농도)이다. 예시를 통한 도달시간 산정을 살펴보기 위하여 2025년 4월 16일 오후 12시 정각, 구미대교에서 톨루엔 100 kg(1 mg/L)이 유출되었다고 가정하면, 유량은 46.5~167.9 m³/s의 범위이며, 사고지점에서 가장 인접한 광역취수장인 고령까지는 245시간(0.110 mg/L), 매곡취수장은 287.7시간(0.075 mg/L), 하류지역인 물금까지는 1,113.5시간(0.00004 mg/L)으로 나타났다[그림 3].



[그림 3] Excel을 활용한 도달시간 산정 예시

4. 결론

수질오염사고의 피해를 최소화하기 위해서는 오염물질의 이송·확산범위 파악 및 신속한 방제장비 운영 등 초기 대응이 가장 중요하다. 이에 실무자가 쉽게 활용할 수 있는 excel 기반의 도달시간 산정 tool을 개발하였으며, 자료의 수집이 비교적 쉬운 항목들로 입력자료를 구성하였다. 본 연구의 결과는 수질오염사고 발생시, 간단하고, 신속하게 초기 대응을 할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미래변화 대응 수자원 안정성 확보 기술개발 사업(과제번호 RS-2024-00332114)의 지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] 환경부, “수질오염사고와 대응 연차보고서”, 2023년.