Web 기반의 실시간 수질오염사고대응예측시스템 개발

Development of Web Based Realtime Water Pollution Accident Response Management System in Rivers

문현생* · 장주형** · 류인구*** · 김주영**

Mun, Hyun-Saing · Jang, Ju-Hyoung · Ryu, In-Gu · Kim, Joo-Young

Abstract

In Korea, around 25 oil and chemical water pollution accidents take place every year. In case of middle or large chemical spill in river, not only field response but also forecasting for the arrival time and diffusion concentration is important. However, the nation's forecasting ability using the hydrodynamic and water quality model is still in its infancy. For example, when fire occurred at the petrochemical plant in Kimcheon in 2008, forecasting error of arrival time for phenol prevented intake plants from taking proper measures in advance. In particular, as river flow characteristics have greatly changed following the construction of the weirs in four major rivers, we need to take into account weir management for prompt water pollution accident response. To this end, National Institute of Environmental Research developed the Water pollution Accident Response Management System (WARMS) for four major rivers. This system is designed not only to forecast arrival time and diffusion concentration in a timely manner using its automatic update of EFDC hydro module, but also to conduct scenario modeling using weir-connected operation. This study introduces the WARMS characteristics and evaluates the performance of the system using a phenol-spill simulation.

Key words : Arrival time, Diffusion concentration, Weir, Water pollution accident response management system

요 지

국내 하천의 유해물질로 인한 수질오염사고가 매년 약 25여건 발생하고 있다. 중·대규모 수질오염사고의 경우 신속한 방제 작업뿐 만 아니라 취·정수장 등의 사전대응을 위해서 수리 및 독성모델을 이용한 도달시간 및 확산농도의 예측이 매우 중요하다. 현재 우리나라의 사고대응예측능력은 여전히 초보적 단계로 2008년 김천 유화공단 화재에서 페놀에 대한 도달시간 예측 오류는 취·정수장의 사전대응에 혼란을 주었다. 최근, 4대강의 보 건설로 하천흐름 특성이 크게 변화되었기 때문에 화학물질 유출사고대응에 있어서도 보의 연계 운영을 통한 적절한 방제가 필요하다. 국립환경과학원에서는 4대강의 수리변화를 반영하여 보·댐의 연계운영의 시나리오분석을 통해 최적의 방제방안을 선정하는 수질오염사고대응예측시스템을 개발하였다. 이 시스템은 4대강 분류 구간의 수리모델이 매일 자동갱신되어 신속하게 도달시간과 확산농도의 예측이 가능하며, 상·하류 보의 연계운영을 고려한 시나리오 분석이 가능하다. 본 연구에서는 사고대응예측시스템의 특징을 소개하고 가상의 페놀유출사고 시나리오를 통해 시스템의 활용성을 평가하였다.

핵심용어 : 도달시간, 확산농도, 보, 수질오염사고대응예측시스템

1. 서 론

대규모 수질오염사고들이 화학물질을 사용하는 공장을 중심으로 세계 곳곳에서 발생되고 있다. 널리 알려진 강에서의 대규모 수질오염사고는 1986년 스위스 바젤시의 산도스 농약 보관창고 화재 시 소방수와 함께 살충제 30~40톤이 라인강 상류로 유입된 사고이다. 최근에도 2005년 중국 지린성의 벤젠 100톤이 유출된 송화강 오염사고, 2007년 프랑스 Ambes

강 원유 유출사고, 2010년 미국 미시건주의 Kalamazoo강의 유류 819,000갤런 유출사고 등이 있다. 일반적으로 대규모 수질오염사고를 경험한 이들 나라들은 수계특성에 맞게 수질오염사고대응예측시스템을 운영하고 있다. 라인강 수문위원회 의 경우, 2차원 수치모형인 Rhine Alarm Model을 운영하고 있으며, 미국 환경청은 상수원에서 수질오염사고의 신속한 대응을 위해 Reach file을 기반으로 1차원 River Spill 시스템을 개발하여 운영하고 있다(William, 2005).

*정회원 · 국립환경과학원 수질통합관리센터 환경연구관(E-mail : mungis@korea.kr)

**국립환경과학원 수질통합관리센터 전문위원

***국립환경과학원 수질통합관리센터 환경연구사

우리나라의 경우 낙동강에서 대규모 수질오염사고가 발생되었는데, 1991년 3월 구미공단에서 발생한 페놀유출사고, 1994년 유기용제 오염사고, 2008년 3월 김천공단 유화공장의 페놀(11kg) 유출사고가 대표적인 사례이다. 최근에도 우리나라에서는 매년 20건의 유류사고와 5건 내·외의 화학물질 유출사고가 발생되고 있다.

수질오염사고는 신속한 상황전파와 초기 방제활동이 가장 중요하다. 그러나 유해물질의 경우, 취수장 또는 환경보전구역이 위치한 하천이나 본류로 유출되면 관리기관들의 사전대응을 위해 도달시간과 확산농도의 예측이 매우 중요해진다. 특히 최근 4대강 수계의 분류는 16개 보가 건설되어 하천 수리특성의 큰 변화가 있었다. 이러한 하천환경의 급격한 변화는 과거의 댐 방류수를 사용하여 회색했던 단순한 방법에서 벗어나 상류 댐과 보를 적절히 연계하여 방제방안을 수립하는 새로운 개념의 도입이 필요하게 되었다(문현생 등, 2011).

현재 우리나라에는 자연형 하천을 대상으로 하는 수자원공사의 수질사고위기관리시스템 등이 운영되고 있으나, 최근 하천의 수리특성을 반영하는 데는 한계가 있다. 국립환경과학원에서는 댐과 가동 보를 연계한 수질오염사고대응예측시스템을 개발하였다. 이 시스템은 매일 갱신되는 수리모델 기반으로 유해화학물질과 유류유출사고 시 도달시간과 확산농도를 신속하게 예측할 수 있으며, 4대강에 설치된 16개 보와 상류 댐의 방류 가능량을 종합적으로 고려한 방제시나리오의 비교가 가능하다.

본 연구에서는 4대강 분류에 새롭게 건설된 보를 연계하여 최적의 방제시나리오를 선정하는 시스템의 개발내용을 소개하고, 가상의 페놀유출사고에 대한 시나리오 분석을 통해 그 활용성을 평가하였다.

2. 이론적 배경

수질오염사고대응예측시스템(Water pollution Accident Response Management System: WARMS)에는 도달시간과 확산농도를 계산하기 위해서 EFDC의 수리모델과 독성모델이 탑재되었다. EFDC 모델(Environmental Fluid Dynamics Code)은 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모형이다(Tetra Tech, 2007). EFDC는 미국 환경청(US EPA)의 공인 수치모델로 지정되어 있으며, 수직·수평적으로 2·3차원화가 가능하며, 수리구조물의 해석이 용이한 장점이 있다.

EFDC 모델은 해수와 담수체계에 적용할 수 있도록 다양한 밀도장에서의 3차원 수직 정역학, 자유표면, 와동 평균된 경압과 순압 방정식의 해를 구하며, 조건대에 적용하기 위한 젖음과 마름 해석(Wet & Dry scheme)을 포함하고 있다. 또한 이 모델은 수직방향으로 같은 수의 층을 가지는 σ -좌표계를 사용하며, staggered 또는 C grid 상에서 공간적으로 2차 정확도를 가지는 수치해석법을 사용하며, 시간적으로는 2차 정확도의 3단계 시간계산(three time level)의 내부모드와 외부모드를 분리하는 모드 분리법을 사용한다.

EFDC 모델의 지배방정식은 연속방정식 식(1)과 중·횡 및 수직방향 운동방정식 식(2)~(4), 물질보존 방정식 식(5)들로 구성되어 있다.

· 연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(m_x m_y H) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x m_y w) = 0 \quad (1)$$

· 운동량보존 방정식(중· 횡방향)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(m_x m_y H u) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u u) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v u) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x m_y w u) \\ - f_e m_x m_y H v = -m_y H \frac{\partial}{\partial x}(p + p_{atm} + \phi) + m_y \left(\frac{\partial}{\partial x} z_b^* + z \frac{\partial}{\partial x} H \right) \\ \frac{\partial}{\partial z} p + \frac{\partial}{\partial z} \left(m_x m_y \frac{A_v}{H} \frac{\partial}{\partial z} u \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{m_y}{m_x} H A_H \frac{\partial}{\partial x} u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{m_x}{m_y} H A_H \frac{\partial}{\partial y} u \right) \\ - m_x m_y c_p D_p (u^2 + v^2)^{1/2} u \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(m_x m_y H v) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u v) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v v) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x m_y w v) \\ - f_e m_x m_y H u = -m_x H \frac{\partial}{\partial y}(p + p_{atm} + \phi) + m_x \left(\frac{\partial}{\partial y} z_b^* + z \frac{\partial}{\partial y} H \right) \\ \frac{\partial}{\partial z} p + \frac{\partial}{\partial z} \left(m_x m_y \frac{A_v}{H} \frac{\partial}{\partial z} v \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{m_y}{m_x} H A_H \frac{\partial}{\partial x} v \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{m_x}{m_y} H A_H \frac{\partial}{\partial y} v \right) \\ - m_x m_y c_p D_p (u^2 + v^2)^{1/2} v \end{aligned} \quad (3)$$

· 운동량보존 방정식(수직 방향, 정수압가정)

$$\frac{\partial}{\partial z} p = -g h b = -g H (\rho - \rho_o) \rho_o^{-1} \quad (4)$$

· 물질보존 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(m_x m_y H C) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u C) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v C) + \frac{\partial}{\partial z}(m_x m_y w C) \\ - \frac{\partial}{\partial z}(m_x m_y w_{sc} C) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{m_y}{m_x} H K_H \frac{\partial}{\partial x} C \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{m_x}{m_y} H K_H \frac{\partial}{\partial y} C \right) + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(m_x m_y \frac{K_v}{H} \frac{\partial}{\partial z} C \right) + Q_c \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, u , v 는 곡선-직교 수평좌표계에서의 x , y 방향 유속, w 는 시그마 연직좌표계에서의 z 방향 유속, z_b^* 는 하상의 물리적 연직좌표, H 는 전체 물기둥 깊이, m_x , m_y 는 scale factor 이고, ρ 는 자유수면 포텐셜로 $g z_s^*$ 와 같다. 또한 f_e 는 유효 Coriolis 가속도, A_v 와 A_H 는 각각 연직, 수평 난류점성계수, D_p 는 무차원화 된 식생의 투영면적, c_p 는 저항계수를 나타낸다. 그리고 ρ 와 ρ_o 는 각각 실제밀도와 기준밀도, b 는 부력, K_v 와 K_H 는 각각 연직, 수평방향의 난류확산계수, w_{sc} 는 침강 속도이며, C 는 단위 체적당 질량으로 농도, Q_c 는 소스-싱크 항을 나타낸다.

사고대응예측시스템은 수질오염물질의 이송-확산을 주로 해석하며, 수치모델의 이송확산 방정식에서 포함되는 주요 계수인 수평·수직방향 확산계수는 레이놀즈 상사(Reynold analogy)에 의해 수평방향 동점성계수(A_H)와 수평방향 확산계수(K_H)를 동일한 값으로 산정하며, 수직 확산계수(K_v)는

Mellor 등(1982)의 제안식을 사용한다. 사고대응예측모형에서 수리 및 독성모형의 주요 계수에 대한 민감도 분석을 통해 사용하였다.

3. 시스템의 주요 특징

3.1 시스템 구성

시스템은 사고접수에서 모델링, 방제 시나리오 비교분석, 방제활동 공유 등 방제활동 관련된 전 과정을 수행할 수 있도록 개발되었다(그림 1). 이 시스템은 EFDC 독성모형을 사용한 유해화학물질사고에 대한 예측과 입자추적방법을 이용한 유류 유출사고에 대한 예측이 가능하다. 또한 수질오염사고 시 신속하게 독성모형이 수행되도록 슈퍼컴퓨터에서 운영되도록 최적화 하였다.

그림 2는 오염사고 대응과정의 시스템에 반영된 개념도이다. 이 시스템의 핵심기능은 실시간 수리모델 갱신과 보·댐의 수리구조물을 연계한 방제시나리오 분석, 유해화학물질특성 DB이다.

구체적으로 시스템의 주요기능을 살펴보면, 첫째, 수질오염사고 시 실시간 대응이 가능하도록 수리모델을 자동 갱신되는 모듈을 개발하였다. 따라서 이 시스템은 한강, 낙동강, 금강, 영산강의 지류 및 상·하류 경계조건의 유량이 국토해양부의 물관리정보유통시스템으로 부터 매일 자동으로 갱신된다. 갱신된 수리모델은 사고 발생 시 초기조건으로 사용되기 때문에 수질오염사고발생 시 독성모형이 신속하게 구동될 수

있다.

둘째, 이 시스템은 4대강에 건설된 보와 상류 댐의 연계운영을 통해 방제시나리오를 구성할 수 있도록 EFDC 모형에 가동보의 운영조건을 추가하였다. 이 가동보 모듈은 상·하류 수위조건에 따라 자동으로 개폐가 가능하도록 하는 자동 운영방법, 사용자가 갑문의 개방시간과 폐쇄시간을 정의하고 총 목표방류량을 결정할 수 있는 사용자정의 운영방법, 하구둑과 같이 외측 조위를 고려하여 개폐를 가능하게 하는 운영방법이 적용되었다. 가동보 유량은 수중웨어 및 오리피스 공식을 적용하여 해석하였다.

셋째, 이 시스템에는 다양한 수질오염물질에 대하여 신속한 대응이 가능하도록 별도로 페놀, 1,4 다이옥산 등 40여종에 대한 화학물질특성 DB가 구축되어 있다. 이 DB에는 독성모형에 영향을 미치는 분배계수, 비중, 헨리상수, 분자량에 대한 입력계수들이 미국의 HSDB로부터 조사되어 관리되고 있다.

3.2 실시간 수리모델 구축 및 검증

사고대응예측시스템의 수계단위의 수치모델 격자는 4대강 살리기 사업의 설계단면과 제방선 경계 CAD 파일의 최심 하상고를 고려하여 SMS 모델에서 생성하였다. 수치모델 격자의 수는 계산시간과 실제 하천의 단면을 충분히 표현을 고려되도록 격자를 구성하였다.

본 시스템의 수리검증은 수계로 유입되는 지류경계의 유량조건을 입력하여 본류의 수위를 검증하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 수치모의한 본류 수위와 실제 본류의 수위가 잘 일치한다면 수리모델이 하천단면을 잘 표현하고 있다고 일반적으로 평가한다.

본 시스템에서는 수계의 특성과 신속성, 정확성을 고려하여 수계별로 격자를 구성하였다. 표 1은 수계별 수치격자의 수, 경계조건 및 검증수위관측소의 수를 나타내고 있다.

낙동강을 대상으로 구체적으로 수리모델을 검증하는 절차를 설명하면 다음과 같다. 낙동강은 안동조정지댐에서부터 하구언까지 약 335 km의 매우 긴 하천이기 때문에 수계 중에서 가장 많은 4,946개의 격자로 구성되었다. 상류 경계조건으로는 WAMIS의 시단위로 갱신되는 4개의 댐 방류량과 22개 수위관측소의 수위자료를 사용하였고, 하류경계조건으로 낙동강 하구언내수위를 사용하였다.

수리모델 검증은 본류 수위관측소의 실측 수위자료와 사고대응예측시스템에서 계산된 수위자료를 비교하였으며, 검증기간은 2011년 1월~6월까지의 6개월 동안 시간자료로 평수기,

그림 1. 수질오염사고대응예측시스템 화면

그림 2. 수질오염 사고대응예측시스템 개념도

표 1. 4대강 수계별 수치모형격자 구축 특성

수계		하천 연장 (km)	수치 격자의 수	경계 조건 수	검증 수위국 수	계산간격 (초)
한강 수계	팔당댐상류	74	2,334	11	4	1.0
	팔당댐하류	98	1,584	8	5	1.0
낙동강수계		335	4,946	27	16	2.0
금강수계		131	2,147	16	11	3.0
영산강수계		139	2,171	14	9	1.5

a. 우만(한강수계) 수위관측소

b. 진동(낙동강수계) 수위관측소

c. 석화(금강수계) 수위관측소

d. 회진(영산강수계) 수위관측소

그림 3. 4대강 주요지점의 실측수위와 시스템의 계산수위와의 비교 (2011년 상반기)

갈수기가 포함되도록 하였다. 그림 3은 4대강 주요지점의 실측수위자료와 사고대응예측시스템에서 계산된 수위비교 그래프이다. RMS 오차는 0.09~0.26 m 범위이며 오염물질의 도달시간에 중요한 영향을 끼치는 하천의 수리변화를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 특히 수질오염사고가 대규모로 발전할 가능성이 높은 평수기와 갈수기에서 일치하는 것으로 나타났다.

3.3 도달시간 및 확산농도 검증

수질오염사고대응예측시스템은 수리모델의 이송·확산의 검증 등을 통해 실제 하천의 흐름을 모델에 잘 표현하는 것이 매

그림 4. 폐놀 예측결과와 과거 실측자료의 비교(구미대교)

우 중요하다. 사고대응예측분야의 풍부한 경험이 있는 라인강 수문위원회의 경우, Rhine Alarm Model의 예측 정확도를 높이기 위해 라인강에서 직접 추적자 실험을 통해서 모델을 보정하고 있다(Mazijk, 2002). 우리나라의 경우는, 서일원 등 (2004)이 남한강의 자연하천을 대상으로 추적자 실험을 통해 2차원 확산해석을 하였고, 김기철 등(2009)은 금강상류의 하천을 대상으로 추적자를 이용한 오염물질 거동분석을 수행한 사례가 있다. 그러나 4대강 본류에는 대형 취수장이 위치하고 있어 방사성 추적자, Rhodamine WT와 같은 염료추적자를 이용한 이송·확산실험을 수행하기가 용이하지 않다.

또 다른 방법이 과거 수질오염사고 발생 시 모니터링한 실측자료를 통해서 모델을 보정하는 방법이다. 중국 송화강의 모델도 사고발생 시 측정된 벤젠농도로 모델을 보정하였다(Bo Zang, 2008). 본 연구에서는 2008년 김천 폐놀사고 사례조사 보고서(환경부, 2008)의 폐놀측정값을 이용하여 독성모델의 도달시간과 확산농도를 검증하였다. 검증을 위하여 당시 유량을 재현하였는데, 예측된 도달시간이 관측치와 ± 4 시간의 오차범위 내에 존재하고 있고, 폐놀농도 또한 일치하는 것으로 나타났기 때문에 신뢰성을 확보할 수 있었다. 그림 4는 실측자료와 EFDC 독성모델의 계산결과를 비교한 사례이다.

4. 사고대응예측시스템 활용성 평가

4.1 폐놀 유출 시나리오 구성

폐놀유출사고 시나리오를 통해 사고대응예측시스템의 활용성을 평가하였다. 일반적으로 방제시나리오는 오염물질의 유출 지점, 유출량 및 물질특성, 본류 유입지점의 상·하류에 위치한 보의 운영조건을 고려하여 구성한다. 이번 폐놀 유출 시나리오는 구미산업단지에서 2012년 2월 1일 새벽 6시에 화재발생으로 소방용수와 함께 폐놀 100 kg이 칠곡보 상류 12 km 지점의 이계천을 통해 낙동강 본류로 유입되는 사고를 가정하였다(그림 5).

본 시나리오의 목표는 구미보, 칠곡보, 강정보의 운영조건을 고려하여 하류에 위치한 왜관취수장과 매곡취수장에서 도달시간을 산정하고 확산농도가 먹는물 수질기준 이내인가를 평가하는 것이다. 시나리오는 총 4개로 본 사고발생이 갈수기인 점을 고려하여 3개 보의 수위를 각각 관리수위, 관리수위-2m, 관리수위-4m, 하한수위로 낮추는 방안에 대해서 수치모의 하였다(표 2).

그림 5. 낙동강수계 시나리오 모델링 구간

표 2. 상·하류 보 연계운영 시나리오 구성

시나리오	보 운영조건		
	구미보	칠곡보	강정보
1	관리수위-2m	관리수위	관리수위-2m
2	관리수위-4m	관리수위	관리수위-2m
3	관리수위-4m	관리수위-2m	관리수위-4m
4	하한수위	하한수위	하한수위

4.2 시나리오별 모의결과 및 분석

그림 6은 시나리오 1에 대한 남구미대교, 왜관취수장, 성주대교 그리고 매곡취수장에서의 폐놀 농도를 나타내었다. 폐놀 유출량이 2008년 김천산업단지의 폐놀 유출량(11kg) 보다 9배 증가했음에도 불구하고 전반적으로 예측농도가 낮게 나타났는데, 이는 보 건설로 낙동강 본류구간의 수량이 증가되어 희석효과가 크게 증가된 것으로 판단된다. 사고지점 2.5 km 하류에 위치한 남구미대교의 경우 0.012 mg/L로 나타났으나 왜관대교부터 하류는 먹는물 수질기준이하로 나타났다.

그림 7에서 보는 바와 같이 왜관취수장은 시나리오 1과 2의 경우 왜관취수장까지의 도달시간은 낮은 반면, 폐놀농도는 먹는물 수질기준(0.005 mg/L) 이하로 확산의 효과가 있는 것으로 판단되었다. 시나리오 3과 4의 경우 도달시간은 시나리

그림 6. 지점별 폐놀 농도

오 1과 2에 비하여 빠르게 나타났으나, 폐놀농도는 먹는물 수질기준을 조금 넘는 것으로 나타났는데, 이는 상류 보의 방류량 증가로 이송이 증가 영향으로 판단된다. 매곡취수장의 경우는 모든 시나리오에서 먹는물 수질기준이하로 나타나 생활용수 공급에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

표 3은 폐놀자동측정기의 검출한계 0.001 mg/L 이상의 농도에 대하여 최초도달시간과 지속시간을 시나리오별로 비교하였다. 앞에서 언급했듯이 왜관 및 매곡 취수장에서의 폐놀 농도는 모두 먹는물 수질기준이내이나, 만일 폐놀로 오염된 물을 취수구역에서 신속히 배제하고자 한다면 0.001 mg/L 이상 지속시간이 각각 6시간, 8시간으로 예측된 시나리오 4가 가장 적합한 것으로 나타났다.

이 자료는 보 관리기관인 홍수통제소에 보내져서 방류수를 요청하게 되는 한편, 사고지점 하류에 위치한 취수장에 보내져서 사전대응을 위한 참조자료로 활용하게 된다. 그러나 본 예측결과는 취·정수장의 사전대응을 위한 참조자료이기 때문에 국민에게 안전한 생활용수 공급을 위해서는 현장에서의 정기적인 폐놀농도조사를 통해 활성탄처리 및 취수시간 조정 등이 조치가 동시에 수행되어야 한다.

a. 왜관취수장

b. 매곡취수장

그림 7. 시나리오별 왜관취수장 폐놀 농도

표 3. 시나리오별 도달시간 및 지속시간

시나리오	0.001 mg/L 이상 최초도달시간		최고 농도 도달시간		0.001 mg/L 이상 지속시간	
	왜관 취수장	매곡 취수장	왜관 취수장	매곡 취수장	왜관 취수장	매곡 취수장
1	4d 10h	7d 9h	5d 19h	8d 14h	95h	63h
2	20h	2d 10h	1d 14h	2d 23h	50h	34h
3	8h	18h	9h	1d 3h	22h	28h
4	9h	17h	10h	19h	6h	8h

5. 결 론

국립환경과학원에서는 4대강 수계에 보의 건설로 하천의 수리특성이 크게 변화된 시점에서 수질오염사고에 적극 대응하기 위하여 웹기반의 수질오염사고대응예측시스템을 개발하였다. 이 시스템은 매일 수리모델이 자동 갱신되어 수질오염사고 시 즉시 오염물질의 도달시간과 확산농도의 예측이 가능하다. 또한 상류 댐과 보의 방류 가능량을 고려한 다양한 방제시나리오의 비교분석이 가능하다.

이 시스템의 활용도를 유해화학물질이 유출된 시나리오 구성을 통해 평가한 결과, 취수장 등 목표지점에서의 폐놀농도 예측, 시나리오별 폐놀농도 비교, 기준농도 이상의 지속시간 산정 등을 통한 종합적인 분석이 가능하여 효과적인 방제방안 수립에 적극 활용이 가능할 것으로 평가되었다.

참고문헌

김기철, 이종석 (2009) 하천에서 추적자를 이용한 오염물질 거동 분석, **한국콘텐츠학회논문지**, 제9권, 제1호 pp. 400-406.
서일원, 백경오, 전태명, 이두현, 정성희 (2004) 자연하천의 2차원 확산해석을 위한 추적자 실험방법 개발 및 적용, **수자원의**

지속적 확보가능기술 개발 사업단 연구보고서.
문현생 (2011) 수리·수질 통합모형 기반 4대강 오염사고대응시스템 개발, **국립환경과학원 2011년 세계 물의 날 기념 국제심포지엄 자료집**, pp. 241-263.
환경부 (2008) **김천 폐놀사고 사례조사 보고서**.
Bo Zhang (2008) A Study of GIS-SD Based Temporal-Spatial Modeling of Water Quality in Water Pollution Accidents, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B2, Beijing.
Mazijk A. Wan (2002) Modelling the effects of groyne fields on the transport of dissolved matter within the Rhine Alarm-Model, *J. of Hydrology* 264, 213-229.
Mellor, G.L. and Yamada, T. (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 20, 851-875.
Tetra Tech, Inc. (2007) *The Environmental Fluid Dynamics Code User Manual*, US.
William B. Samuels (2005) Using the RiverSpill model for Source Water Protection, *AWWA Source Water Protection Symposium*.

© 논문접수일 : 11년 05월 30일
© 심사의뢰일 : 11년 06월 03일
© 심사완료일 : 12년 03월 08일