

고에 신속하고 적극적으로 대응할 수 있는 예경보시스템 개발에 착수한다. 그리하여 이른바 RAM(Rhine Alarm System)을 탄생시킨다. 현재 라인강 유역에 RAM이 갖추어진 주요 취수장은 그림 1과 같다(Eckert, 2007).

RAM의 역사를 보면 그 첫 번째 버전은 1차원 이송-확산 방정식을 지배방정식으로 하는 1차원 모형으로, 매개변수의 검정(calibration)없이 1988년에 완성된다. 이후 1990년에 형광물질을 이용한 추적자 실험을 통해 모형을 새로이 검·보정하여 version 2로 명명한다. Version 2에서는 1.5차원 지배방정식을 사용하여 사수역(dead-zone)의 효과를 시스템에 포함시킨다. 여기서 사수역이란 하천에 흐름이 정체되는 영역으로 주로 만곡부나 식생의 영향으로 발생한다. 특히 라인강은 그림 2와 같이 원활한 주운을 위해 인공적으로 수제(groyne)를 설치한 곳이 많아 사수역에 대한 고려가 유해물질의 거동예측에 주요한 변수로 작용할 수 있다. 또한 version 2에서는 RAM의 적용범위를 스위스의 Stein am Rhein을 기점으로 하여 Aare river, Moselle river 등 라인강의 주요지천들까지로 확대하였다.

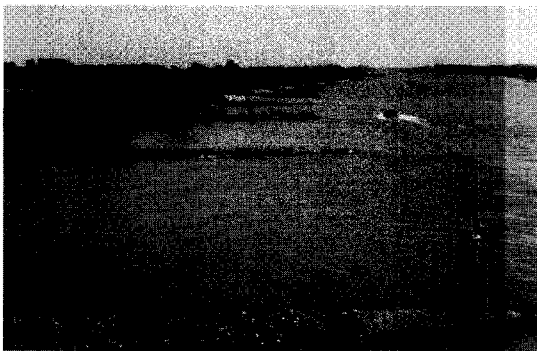


그림 2. 라인강에 설치된 수제

1998년에는 DOS 시스템에서 Window 기반으로 전환된 RAM version 3을 선보인다. version 3.0에서는 2차원 모듈이 추가되어 오염물질의 횡방향 편차를 모의할 수 있게 되었으며(그림 3 참조), 특히 지천이 본류와 합류하는 지점에서 오염물질의 거동을 정확

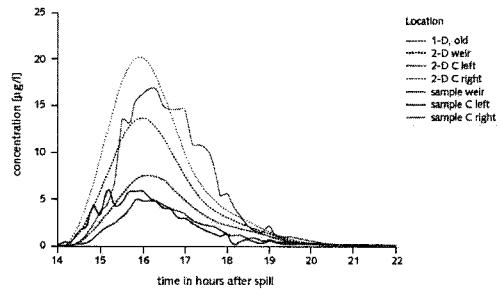


그림 3. 오염물질의 횡방향 편차(1,2차원 모의 비교)

히 예측할 수 있게 되었다. 또한 version 3.0에서는 유량자료를 추적할 수 있게 되어, 실시간 유량자료로 모의 이전에 더 신속하게 기존 유량 시나리오를 사용하여 오염물질의 도달시간을 예측할 수 있게 되었다.

현재 RAM은 version 3.06 으로 사용자 편의에 바탕을 두고 있으며, 자연하천 및 인공운하에 모두 적용 가능하다. RAM은 크게 GUI(Geographically-based User Interface)와 계산 모듈로 구성되어 있다. GUI(그림 4 참조)에서 사용자는 수질사고가 발생한 지점을 지도상에 직접 입력하며, 오염물질의 농도를 알고자 하는 지점을 선택하여 계산결과를 확인할 수 있다. 수질사고의 정보로 오염물질의 유입량과 유입시간을 입력해야 하며, 2차원 모듈을 이용하면 유입지점의 위치(좌우안, 또는 중앙)를 보다 구체적으로 입력할 수 있다. 수문정보는 유량 및 수위 관측 지점에서 실시간으로 RAM으로 전송된다.

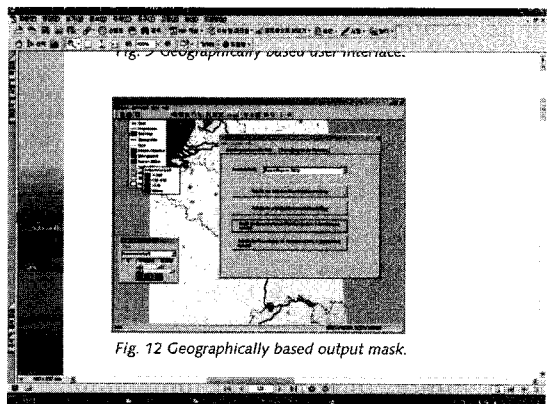


그림 4. RAM의 GUI

RAM이 사용자에게 최종적으로 제공하는 정보는 하천 평면도상에 오염물질의 이송 및 확산 거동, 특정지점에서 시간에 따른 농도곡선(c-t curve), 하천을 따라 최대농도치 및 최대농도의 이동시간 등이다. RAM은 20여년간의 업그레이드 과정과 지속적인 검·보정을 통해 오염물질의 도달시간 예측 오차가 5% 이내로 알려져 있다.

3. 팔당호 수질사고를 가정한 수질예보

수질사고에 대비한 수질예보에 있어서 수질모델은 매우 중요한 역할을 하는데 그 이유는 수질사고 발생 시 미래에 발생할 수질을 최대한 현실적으로 예측해야만 예보가 가능하기 때문이다. 그러나 일반적인 수질모델링 업무와 달리 수질예보 업무에 쓰이는 수질모델은 모의환경 및 기간, 적용성 등에서 고유의 특성을 갖는다. 일 예로 수질모델링은 평상시 모의 및 장기적인 예측에 적합하고, 수질예보시스템은 비상시 모의 및 단기예측이 중요하다(서일원과 최남정, 2006).

본 연구에서는 국내기술로 개발된 2차원 하천해석 모형인 RAMS(River Analysis Modeling System)를 수질모델로 선정하고, 이를 팔당호에 적용하여 가상 수질사고 시나리오하에 RAMS가 수질예보에 적합한지를 확인해 보았다. RAMS는 흐름해석 모형인 RAM2, 수질해석모형인 RAM4, 하상변동해석모형인 RAM6와 GUI(Graphic User Interface)로 각각 구성되어 있다(서일원 등, 2006). 여기서 RAM2는 SU/PG기법을 이용한 2차원 유한요소모형으로서 복잡한 지형 및 자연 하천구조의 동역학적인 흐름환경을 효과적으로 다루며 오염물질의 이송-확산 해석 및 유사이송 해석과 연계 가능한 흐름 해석 수치모형으로, 수심적분된 연속방정식 및 운동량 방정식이 지배방정식으로 사용된다. RAM4는 사행하천 오염물질 거동해석과 다양한 수질인자의 모의, 2차류 등 3차원적 영향을 보정 가능한 하천수질 해석모형으로,

지배방정식으로는 수심적분된 이송-확산 방정식을 사용한다. 수질예보를 위해서는 주로 RAM2와 RAM4가 필요하다.

본 연구에서 수질예보 대상 영역으로 삼은 지역은 그림 5와 같이 팔당댐으로부터 북한강은 청평댐, 남한강은 이포대교 직상류, 경안천은 서하보로 한정하였다. 팔당호 수질사고 예정보 시스템은 원칙적으로 실시간 유량 및 수위자료를 홍수통제소로부터 전송받아 수질사고가 발생한다면 즉시 유해물질의 확산 거동을 예측해야 하지만 예경보시스템이 구축되지 않은 현 상황에서 실시간 모의를 한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 본 연구에서는 하나의 유량조건하(남·북한강 유량기여율 약 1:1인 조건, 남한강 182cms, 북한강 179cms)에서 수질예보를 수행하였고 이 때의 유속장은 그림 5와 같다. 가상 수질사고의 내용은 남한강 이포대교에서 페놀 탑재 차량이 전복되어 약 2시간에 걸쳐 1,000mg/L의 페놀이 수체에 유입되는 것으로 가정하였다(사고 1안).

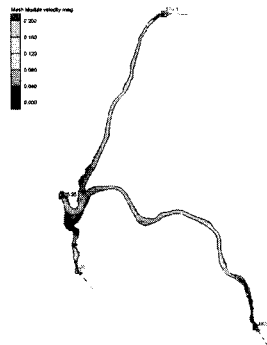


그림 5. 팔당호 수질예보 영역 및 유속장

사고 1안이 발생했을 때 모의한 페놀의 팔당호 내 거동은 그림 6과 같다. 광역취수원인 팔당 3 취수장(그림 5에 위치표시)에서의 시간에 따른 페놀농도의 변화는 그림 7과 같다. 첨두농도는 4.5038mg/L였으며, 사고 발생 후 4일 14시간이 지나 페놀의 먹는물 수질기준(환경부, 2006)인 0.005mg/L이상의 농도가 나타났다. 또한 그림 7에서 보듯이 먹는물 수질 기준 이상의 농도가 약 6일 17시간동안 지속되므로 이

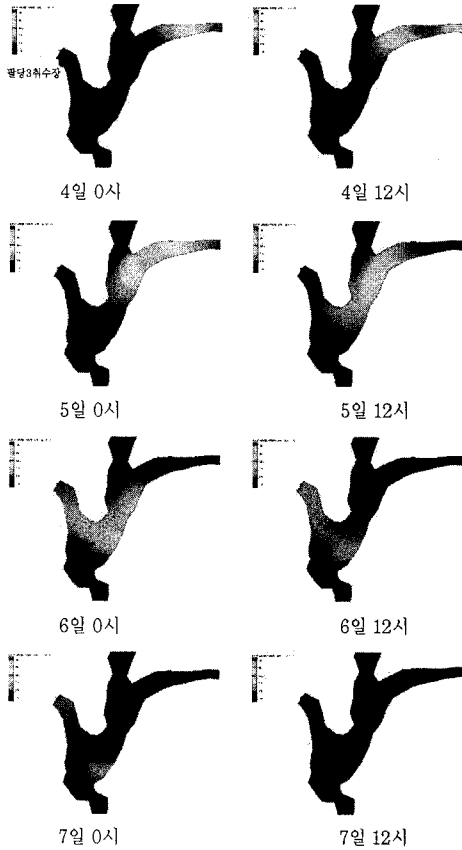


그림 6. 가상 수질사고시 유해물질의 팔당호 내 확산거동 기간은 취수중단이 바람직하다는 결론을 수질예보를 통해 얻을 수 있다.

이 같은 수질사고에 대응하는 방안으로 하류단의 수위를 낮추어 유해물질의 취수지점 지체 시간을 줄여주는 방법을 택하면 어떤 효과가 있는지를 살펴보았다. 사고 1안의 조건하에서 사고 발생 후 1시간 후에 팔당댐의 수위를 20cm 낮추어 보았다(대응 1안). 팔당 3 취수장에서의 시간에 따른 페놀농도의 변화를 사고 1안과 대응 1안을 비교하면 다음 그림 7과 같다. 첨두농도는 4.3928mg/L로 사고 1안의 첨두농도인 4.5038mg/L에 비해 0.111mg/L가 낮아졌다. 사고 후 4일 10시간 후에 기준 농도를 초과하며, 사고 1안에 비해 4시간 빨리 페놀이 도달하였다. 취수중단 예상시간은 6일 11시간으로, 사고 1안의 6일 17시간에 비해 6시간 줄어들어 남한강에 수질사고 발생시 팔당

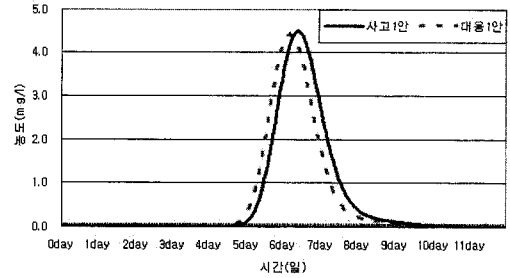


그림 7. 사고 1안과 대응 1안의 유해물질 농도 변화 비교

댐 수위를 저하시키는 방법은 적절한 사고 대응 방안이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 수질사고 예경보시스템 구축 방향

수질사고 예경보시스템은 수질사고 후 유해물질의 확산 및 이동 경로를 정확히 파악할 수 있는 정확성과 수질사고 내용을 즉각적으로 파악하여 신속한 모의를 통해 상황전파 및 대응체계를 구축하는 신속성을 담보하는 것이 핵심이다. 시스템의 구성은 그림 8에서 보듯이 크게 유량 및 수질(이상 징후)의 실시간 모니터링, 모니터링자료를 바탕으로 실시간 수질 예보, 예보를 바탕으로 의사결정 및 대응 체계 구축의 3가지로 이루어져야 할 것이다.

유량 및 수질의 실시간 모니터링을 위해서는 팔당 유역의 자동 및 수동 수질계측자료, 수문자료, 기상자료 등을 유관기관과 연계하여 실시간 수집 및 D/B화가 필요하다. 실시간 수질 예보를 위해서는 실시간

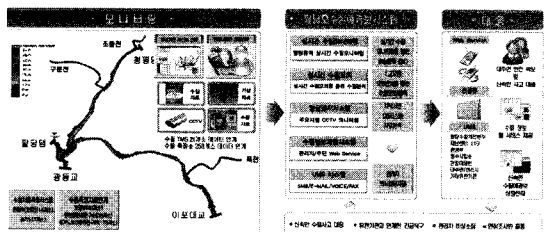


그림 8. 팔당호 수질사고 예경보시스템의 개요도

수질 모의를 통한 비상시 상황예측 및 평상시 사고 이력 D/B화를 통한 관리자 의사결정 지원이 필요하다. 대응 체계 구축을 위해서는 의사 결정 후 유관기관과 연계한 긴급대응 및 복구를 추진하고, 신속한 사고 상황 전파를 위해 비상시 UMS(Unified Messaging System)를 도입한 상황전파 체계 구축 및 평상시 웹기반의 대주민 수질정보 제공 서비스가 필요하다.

5. 맺음말

수질사고는 미연에 방지하는 것이 최선이나, 불가항력으로 사고가 발생한다면 수질예보를 통해 신속한 대응을 취하는 것이 사고 피해를 줄이는 지름길이다.

수질예보를 위한 팔당호 예경보시스템은 수질사고 후 유해물질의 이동 경로 및 확산범위를 정확히 파악할 수 있는 정확성과 수질사고 내용을 즉각적으로 파악하여 신속한 모의를 통해 상황전파 및 대응체계를 구축하는 신속성을 담보하는 것이 핵심사항이라 할 수 있겠다. 이를 달성하기 위한 시스템은 유량 및 수질 이상 징후의 실시간 모니터링, 모니터링자료를 바탕으로 한 실시간 수질 예보, 예보를 바탕으로 한 의사결정 및 대응의 3박자가 유기적으로 연계되도록 구성돼야 할 것이다.

재난은 발생확률이 낮기 때문에 평상시 많은 관심을 갖지 않는 경우가 많다. 하지만 한번 발생하면 그 대가로 치러야할 사회적 비용은 실로 엄청나다. 수질사고 예경보시스템이 구축되어 수도권 주민의 상수원인 팔당호 관리에 만전을 기할 것을 기대해 본다. 🍷

참고문헌

- 서일원, 이명은, 송창근, 최남정 (2006). RAM4 테크니컬 매뉴얼, 서울대학교.
 서일원, 최남정 (2007). 수질모델링과 수질예보, 대한토목학회지, 대한토목학회, Vol. 55, No. 1, pp. 57-64.
 환경부 (2006). 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼, 환경부.
 Eckert, P. (2007). Drinking water supply waterworks Duesseldorf, Stadtwerke Duesseldorf AG.