

하천자동수질측정망에 대하여

오경두 (육군사관학교 토목공학과 교수)

1. 머리말

하천수는 생활용수, 농업용수, 공업용수, 하천유지용수 등 다양한 용도의 용수를 공급하는 주요 원천이 되어 왔다. 이외에도 하천수는 내륙 양식어업, 레크레이션, 주운, 경관 등 여러 가지 기능과 용도에 필요한 용수를 공급하는 소중한 수자원이다. 그러나, 하천수는 오염에 취약하여 어느 특정한 농도 이상일 경우 인간과 생태계에 해를 줄 수 있는 무수히 많은 종류의 오염물질들이 존재하고 있다. 이러한 오염물질들은 여러 가지 이화학적 특성을 갖고 있어서 인체와 수중 생태계에 장단기적으로 어떠한 영향을 미칠 것인지 일일이 규명하지 못하고 있는 실정이다.

국민 보건의 관점에서 볼 때 이러한 오염물질들이 하천에 유입되지 않도록 하천 수질을 감시하고 돌발적이거나 고의적으로 발생하는 수질사고에 적절히 대비하는 것은 매우 중요한 일이다. 우리 나라는 1970년대 이래로 하천 수질을 개선하려는 노력을 지속하여 왔지만, 특히 근래에 들어 여러 차례의 물 파동을 겪으면서 전국민적으로 그 필요성을 더욱 절감하고 있다.

따라서 본고에서는 하천수질을 지키는 첨병이라고 할 수 있는 하천자동수질측정망에 대하여 그 구성과 측정항목, 운영사례 및 앞으로의 발전방향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 수질측정망의 목적과 구분

수질감시시스템의 주된 목적은 수질측정망의 수질

상태를 즉시 파악하여 수질 이상시에 신속하고 적절하게 대처할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 수질감시시스템은 기본적으로 오염발생원 관리, 오염도 측정을 통한 수질 현황 파악, 측정자료의 분석 및 장단기적인 수질예측, 필요시 예경보의 발령 및 수질 사고에 대한 대책 제시 등의 핵심적인 기능을 수행할 수 있어야 한다.

수질측정망에 의한 수질모니터링의 목적은 다음과 같이 요약하여 정리할 수 있다.

- (1) 장기적인 수질변화의 경향 관측
- (2) 미래에 이용하거나 장기적 계획 수립을 위한 기초자료의 축적
- (3) 예기치 않은 오염물질 누출이나 수질사고의 탐지
- (4) 오염물질 배출이나 오염원 관리에 대한 정책의 적정성 평가
- (5) 방류수나 배출수 허용기준 또는 수계별 환경기준에의 부합 여부 판단
- (6) 수질오염모형의 계수 결정
- (7) 적절한 환경관리에 대한 일반 대중의 신뢰 구축

수질측정망은 수동과 자동수질측정망으로 구분할 수 있다. 수동수질측정망은 주로 하나의 수계 전체를 대상으로 오염도를 상시 평가하여 그에 따른 수계의 수질 유지, 또는 개선 대책을 수립하는 것을 목적으로 한다. 이에 해당하는 수질측정망의 목적은 장기적 수질변화 경향의 관측과 미래에의 이용이나 장기적 계획에의 이용이 주 목적이 된다. 장기적 수질변화 경향의 관측은 국가나 지방자치단체와 같은 정책결정단위가 주체가 되어 사전에 선정된 채수지점에서 일정한 시간 간격으로 시료를 채취, 분석함으로써 대상 수계

내의 수질변화 경향을 파악하여 수질관리의 적절성 평가와 수질정책 의사결정을 위한 기초자료로 사용하기 위한 것이다.

이러한 수질경향의 분석을 위한 수질측정망의 채수빈도는 정기적으로 채수될 경우 월 1~2회의 시료 채취가 적절한 것으로 알려져 있다. 미국 환경청(U.S. EPA)의 기초 수질감시를 위한 프로그램(Basic Water Monitoring Program)은 수질자료의 수집을 위한 측정을 월 1회로 규정하고 있다. 우리나라 환경부에서도 월 1회 수동에 의한 수질측정을 실시하고 있다.

자동수질측정망은 대상수계 전체의 수질변동을 파악하기 위하여 월 1~2회의 채수빈도로 수행되는 수동수질측정과 달리 수질감시를 목적으로 지속적이고 연속적인 수질측정이 이루어진다. 각종 종말처리장이나 공단 폐수처리장 등의 대규모 점오염원이 위치하고 있는 지역에서는 배출허용기준과 방류수 수질기준에 부합되는지를 판단하기 위하여 측정이 이루어지는 반면에, 상수원 보호구역이나 취수장 등에서는 주로 해당 수역의 등급별 수질기준에 부합되는지 여부와 예기치 않은 오염물질의 유출이나 수질오염사고의 탐지를 위하여 자동수질측정망을 운영하게 된다.

그러나 이러한 자동수질측정망의 운영이 오로지 자동수질측정장치에 의해서만 운영되는 것은 아니다. 이는 감시의 목적에 부합하는 수질항목을 가운데 자동측정기기가 개발되어 있지 않은 것들이 있을 뿐만 아니라 측정하려는 항목들을 모두 자동화할 경우 과도한 설치 및 운영비용이 소요될 것이기 때문이다. 우리보다 앞서 수질측정망을 구축한 구미선진국에서도 자동수질측정망과 별도로 월 1~2회의 채수빈도로 수동수질측정망을 운영하고 있다.

3. 하천자동수질측정망의 구성

하천자동수질측정망은 크게 취수장치, 수질측정장비, 통신시설, 운영소프트웨어로 구분할 수 있다. 취수장치는 자동수질측정망의 수질분석에 상당히 중요한 영향을 미칠 수 있다. 취수장치는 물의 수질을 대

표할 수 있는 지점에 설치하여야 하며, 취수 지점과 측정기기간의 길이는 가능한 한 짧게 하여 수질의 변화가 없도록 해야한다. 그리고 취수장치는 수량과 수위의 변화에 영향을 받지 않고 원하는 수심의 물을 계속적으로 취수할 수 있어야 한다. 또한, 수로의 통행에 지장을 주지 않아야 하며, 부유물질 제거 등 정비가 간단하고 고장이 잘 나지 않아야 한다. 취수장치는 펌프의 위치에 따라 육상형과 수면형으로 구분하기도 한다.

자동수질측정장치에 사용되는 수질측정장비는 수온계로부터 가스크라마토그래피에 이르는 다양한 장비와 센서들이 개발되었고, 또 현재도 개발 중에 있다. 이러한 장비들은 자동수질측정망의 운용 특성상 대부분 기능을 단순화하고 유지관리가 간편하도록 만들어졌다. 그러나, 이러한 장비들도 시약과 가스 등을 정기적으로 보충해주어야 하며 필터 교환, 청소 등 지속적인 유지관리가 필요하다.

또한, 이러한 수질측정장비를 설치할 건물이나 대형 컨테이너와 같은 것이 필요한데 하천 변에서 이러한 시설물을 설치할 부지의 확보도 관련 부서의 적극적인 협조가 없이는 힘든 일이다. 부지확보와 더불어 전기와 수도 시설도 설치해야 하며, 도난이나 외부인의 침입 방지를 위한 보안 시설의 설치도 고려해야 한다.

통신시설은 유선과 무선 사용할 수 있는데, 현재 국내에서는 모뎀과 전용선을 사용하는 유선방식을 사용하고 있다. 앞으로 전국적인 수계단위의 광역 자동수질측정망으로 발전되어갈 경우를 대비하여 통신프로토콜을 표준화하는 작업이 필요할 것이다.

운영소프트웨어는 자동수질측정망의 운용을 제어하고, 운영자에게 필요한 정보를 적시에 제공해주어야 한다. 구미선진국을 포함해서 현재까지 사용되고 있는 자동수질측정장치의 운영소프트웨어는 하드웨어에 비교해서 초보적인 단계라고 생각된다. 이들 운영소프트웨어의 주기능은 데이터의 저장과 인출, 최대-최소-평균 정도의 간단한 통계처리, 그래프에 의한 수질의 변동 추이 표시, 보고서 작성 및 출력, 사전 선정된 수질기준 초과시 경보발령 정도이다. 특히, 운용자

에게 필요한 정보의 제공 면에서 앞으로 개선할 점들이 많을 것으로 생각된다.

4. 하천자동수질측정망의 측정항목

하천자동수질측정망에서 측정하는 항목들은 크게 일반수질항목, 유기물질, 생물독성 등으로 구분할 수 있다.

4.1 일반수질항목 측정

일반수질항목은 수온, 용존산소, pH, Conductivity 등이 포함된다. 낙동강 수계에 설치된 자동수질측정장치는 이러한 수질항목들을 측정하는 센서들을 하나의 어셈블리로 결합시킨 형태로서 데이터 로거(data logger)와 연결되어 있다.

4.2 유기물질 측정

이화학적 수질측정 항목들 가운데 유기용제, 기름이나 살충제와 같은 유기물질들(organic substance)은 음용수의 수질에 결정적인 영향을 주는 항목들이지만 일반적으로 정수과정에서 제거하기 어려운 물질이다. 이와 같은 유기물질들을 자동으로 측정하기 위하여 3가지 종류의 시스템이 적용된다. 각 시스템들은 불용성 유기물질(not readily dissolved substances), 휘발성 유기물질(volatil substances), 용해성 유기물질(readily dissolved substances)을 측정하게 된다.

불용성 유기물질 측정시스템은 그림 1과 같은 구조로 이루어진다. 전처리로서 여과를 거친 하천수를 24시간동안 resin column을 통과시킴으로써 유기물질들이 흡착되도록 한다. 흡착된 유기물질을 분리해서 gas chromatography의 이온선택광탐지기(flame-ionization detector)에 의하여 유기물질을 측정하게 된다. 분석결과를 나타내는 chromatogram을 분석함으로써 기준이상의 유기물질이 존재하는지를 판별하게 된다. 만일 chromatogram의 피크값(peaks)들이 그 전날보다 크게 상승한 것으로 나타날 경우 수질이 상이 있음을 의미하며, 이 경우에는 동시 측정된 예비

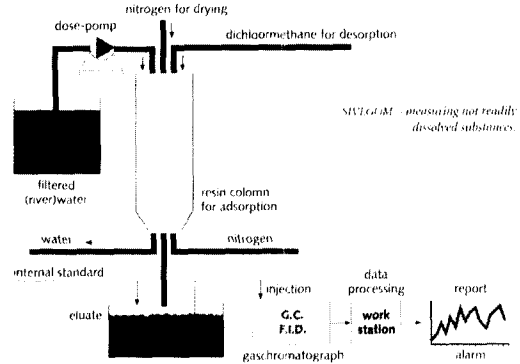


그림 1. 불용성 유기물질 측정시스템

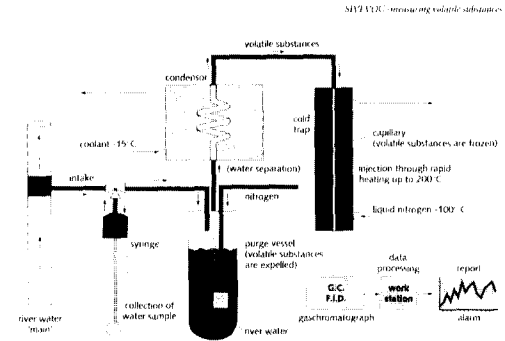


그림 2. 휘발성 유기물질 측정시스템

resin column을 실험실로 보내어 정밀 분석을 통하여 유기물질의 종류와 농도를 측정하게 된다.

휘발성 유기물질 측정시스템은 그림 2와 같은 구조로 이루어진다. 휘발성 물질들이 공기와 접촉하는 것을 방지하고 여과과정에서 손실되지 않도록 여과과정을 거치지 않은 하천수를 샘플로 이용한다. 하천수 샘플을 폐쇄시스템(closed system)내에서 고온으로 가열하여 휘발성 물질들을 분리한 후 저온에서 응축시킨다. 응축된 휘발성 물질들은 gas chromatography의 이온선택광탐지기에 의하여 측정되어진다. 측정된 피크값들을 기준치와 비교하여 경보한계치를 초과할 경우에는 경보가 발령되어진다. 측정 샘플은 12시간 동안에 걸쳐 연속적으로 채수된 것을 이용한다.

용해성 유기물질 측정시스템은 살충제나 제초제 등의 용해성 유기물질을 측정하기 위한 시스템이다. 극성 물질(polar substances)들이 resin column을 이

용하여 물로부터 분리되어진다. 분리된 유기물질은 자외선 흡광 스펙트럼(UV absorption spectrum)에 의해 종류가 판별되어지며 그후에 농도도 계산되어진다. 이 시스템은 유기물질의 종류와 농도를 측정하며 측정된 결과를 경보한계치와 비교하여 기준치를 초과할 경우 경보를 발령하게 된다.

네덜란드 Lobith Station의 경우 해당 지점에서 발생활 가능성이 있는 용해성 유기물질들에 대해서 일종의 지문(finger prints)이라고 할 수 있는 표준 스펙트럼의 데이터를 컴퓨터에 입력해놓고 측정된 유기물질의 스펙트럼과 비교하여 측정된 유기물질의 종류를 판별하고 있다. 그리고 이러한 표준 스펙트럼을 계속적으로 추가해서 확장함으로써 판별할 수 있는 유기물질의 종류를 늘려나가고 있다.

4.3 생물독성의 감시

산업이 다양해지고 세분화될수록 사용되는 화학물질의 종류와 양이 증가하고 있음에도 불구하고 이로부터 발생하는 폐수의 유해성과 영향은 제대로 파악되지 않고 있는 실정이다. 이러한 독성물질들은 수중에서 상호작용을 통해 각각의 유해성분이 독립적으로 존재할 때 보다 더 강한 독성을 나타내는 경우가 있다. 더욱이 이러한 독성물질들은 일반적으로 낮은 농도로 존재하므로 검출이 어려울 뿐만 아니라 분석 시간도 오래 걸려서 수질사고가 발생하더라도 시기적절한 대책을 수립하기 어려운 문제가 있다.

이런 경우에 유독 물질에 대하여 신속한 반응을 나타낼 수 있는 수생생물을 이용하여 종합적인 수중독성을 파악하는 것이 바람직하다. 이러한 필요성에 의해 현재 여러 가지 수생생물을 이용한 수질조기감시장비가 개발되어 운영되고 있다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 수생생물은 물고기(*Leuciscus idus*), 물벼룩(*Daphnia magna*), 조류(*Synecoccus species*), 발광세균(*Photobacterium phosphoreum*) 등이다.

이러한 생물경보장치는 돌발적이거나 고의적인 오염물질이 유입될 가능성이 높은 지점에 설치할 경우에 조기에 수질 이상을 탐지하여 조치함으로써 하류지점의 피해를 최대한 줄일 수 있을 뿐만 아니라 오염원

의 탐지 가능성을 높임으로써 상류에 위치한 오염배출자들도 불법적인 오염물 투기를 자제하는 효과가 있다. 1986년 스위스 산도즈(Sandoz)회사의 화재로 창고에 보관 중이던 다량의 살충제 원료가 라인강에 유입되었을 때 조기에 독성을 감지하여 경보함으로써 라인강 하류의 피해를 줄일 수 있었다.

1993년 현재 생물경보장치는 독일에 24지점, 네덜란드에 15지점, 벨기에 8지점, 스위스 및 프랑스에 각각 1개 지점이 설치되어 운영중이다. 국내에서도 팔당 상수원을 중심으로 시험적으로 운영했었다. 이들 대부분의 생물경보장치 설치 지점은 주로 상수원 보호에 목적을 두고 상수원 부근을 중심으로 선정되어 왔다. 1996년부터는 각종 오염사고가 많은 공단 하천이나 산업지역에 대한 생물경보장치의 필요성을 고려하여 우선적으로 낙동강 수계의 성서, 고령에 생물경보장치를 설치하여 운영하고 있다.

1) 물고기독성경보장치

물고기독성경보장치는 물고기의 역류성을 이용한 수질감시방법이다. 이 방법은 오염되지 않은 물에서는 물고기가 역류성을 잘 나타내지만 오염된 물이 유입되면 물고기가 물의 흐름을 이기지 못하고 뒤로 밀려나면서 센서에 감지되어 경보가 발령되는 원리를 이용한 것이다. 그림 3은 독일 뒤셀도르프 정수장에 설치된 물고기독성경보장치를 보여주고 있다. 대개 물고기독성경보장치를 운영할 때에는 2분간 물을 순환시켜 시험하고 10분간 쉬는 시간을 유지하며, 일주



그림 3. 물고기독성경보장치

일마다 물고기를 교체해주게 된다.

물고기독성경보장치에 사용되는 물고기는 역류성이 강해야 하며, 독성에 매우 민감하고 반응이 신속하게 나타나야 하며, 관찰이 용이해야 한다. 현재 수입어종이 사용되고 있으나 수중생태계에 미칠 수 있는 영향과 개체확보 등의 문제를 고려하여 국내산 어종으로 대체하는 방안을 검토하고 있다.

하천의 제반 환경과 오염배출원의 특성에 따라 물고기의 반응이 달라지게 되므로 물고기독성경보장치에 적용할 수 있는 경보한계치를 설정하는 문제가 쉽지 않다. 먼저 오염원별로 실험을 하여 일반적인 경보한계치를 설정한 후에 현장에서의 운영경험 등을 바탕으로 경보한계치를 조정하는 과정이 요구된다.

물고기는 물벼룩이나 박테리아에 비해서 독성에 덜 민감하기 때문에 비교적 오염이 심한 하천에 적합하다. 반면에 물벼룩이나 조류, 박테리아는 비교적 오염이 안된 깨끗한 물에 더욱 적합하다. 그러나, 경우에 따라서는 한가지 이상의 독성경보장치(예를 들면, 물고기독성경보장치와 물벼룩독성경보장치)를 함께 설치하기도 한다.

2) 물벼룩독성경보장치

물벼룩독성경보장치는 물벼룩의 유영성을 이용한 것이다. 하천수가 경보장치내의 시험수조(test chamber)에 일정량이 연속적으로 공급되며, 이때 물벼룩의 활동 즉 유영성은 적외선 감지장치에 의해 감지되는데, 물벼룩이 움직이면서 적외선 경로를 차단함으로써 임펄스(impulse)가 발생하게 된다. 일반적으로 유해물질이 없는 물에서의 물벼룩의 유영 양상은 상대적으로 조용하고 규칙적이지만 유해화학물질이나 중금속 등이 유입되면 물벼룩의 활동성을 나타내는 임펄스 값이 일시적으로 증가하거나 물벼룩의 유영성에 장애가 나타나서 임펄스가 감소하게 되며, 독성이 심할 경우 사멸하게 된다. 발생한 임펄스 값이 사전에 설정한 경보한계값을 초과할 경우 경보장치가 작동하게 된다. 그림 4는 네덜란드 Lobith Station에 설치되어 있는 물벼룩독성경보장치를 보여주고 있다.

물벼룩은 배양이 쉽고 세대기간이 짧아 연중 원하



그림 4. 물벼룩독성경보장치

는 세대의 개체를 얻을 수 있고 짧은 시간 내에 민감한 반응을 나타내기 때문에 운영비가 거의 들지 않고 독성물질에 대하여 연속적인 실시간 감시가 가능하므로 수중독성시험에 적합한 생물이다(국립환경연구원, 1995). 그러나, 물벼룩독성경보장치를 심하게 오염된 하천이나 공장 폐수의 배수로, 폐수처리장 방류구에 설치하는 경우 단시간 내에 물벼룩의 사멸을 초래하여 계속적으로 새로운 물벼룩을 투입하고 장치를 손질해야 하므로 현장 상황을 고려하여 시험수를 회색할 필요가 있다.

3) 기타의 생물학적 독성경보장치

이밖에도 조류독성경보장치, 패류를 이용한 독성경보장치, 발광박테리아를 이용한 독성장치 등이 있다. 조류독성경보장치는 만성적인 독성의 평가를 목적으로 설치되며, 오염된 하천수에 단세포 녹조류를 접종한 후 72시간 배양한 후 성장이 억제된 세포의 수를 세어서 독성 값을 산출하는 원리이다. 패류를 이용한 독성경보 장치도 장기간에 걸친 수중독성의 영향을

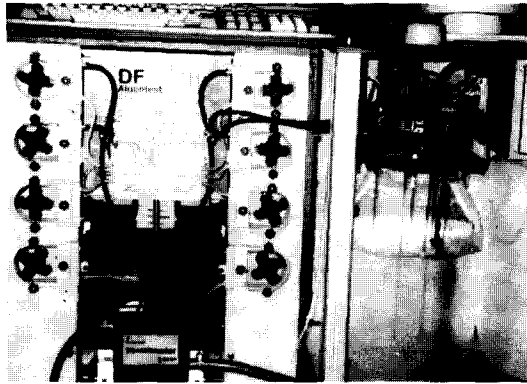


그림 5. 발광조류독성경보장치

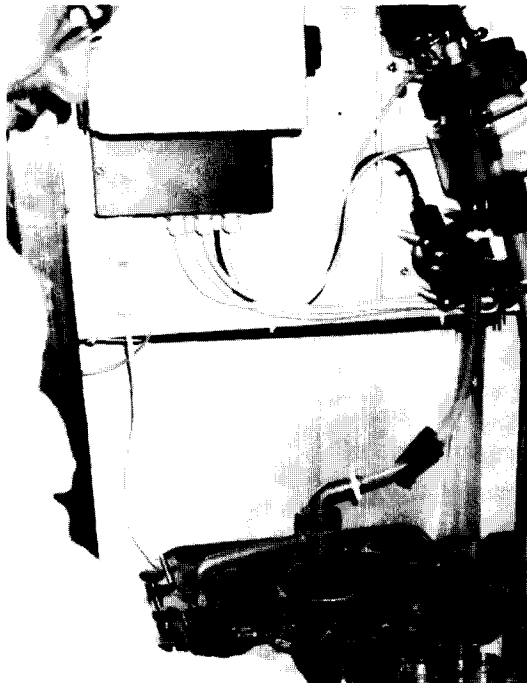


그림 6. 자동채수장치

파악하기 위한 것으로서 패류의 조직검사를 통하여 유전자의 변형 등을 확인하여 독성을 판단하는 방법이다. 발광조류나 발광박테리아에 의한 방법은 발광 강도가 시간에 따라 지수 함수적으로 일정하게 감소하는 양상을 나타내는 데 특히 독성오염물질이 유입되면 발광 강도가 정상시와 달리 더 빨리 감소하는 원리를 이용한 것으로서 수중독성에 가장 민감한 방법으로 알려져 있다. 그러나, 이러한 방법들은 아직 일

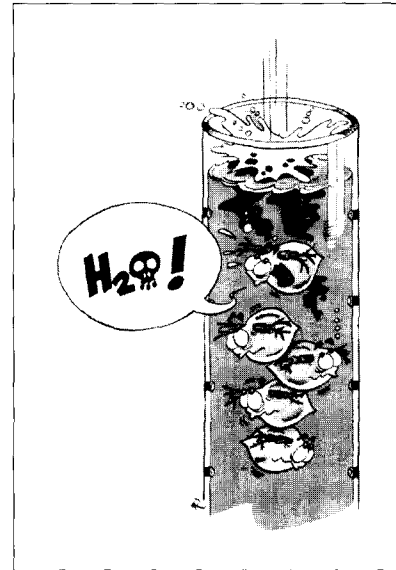


그림 7. 생물독성경보장치 홍보 우편엽서

반화되지 않고 독일을 중심으로 시험적으로 운영하는 단계이다. 그림 5는 독일 보름스 수질통제소에서 시험 운영중인 발광조류에 의한 독성경보장치이다.

생물독성경보장치의 경보가 울리면 자동채수장치가 수질 샘플을 채수하여 냉장 보관하므로써 수질오염물질 배출에 대한 증거의 확보와 필요시 샘플을 정밀 분석을 할 수 있도록 되어 있다. 그림 6은 독일 보름스 수질통제소 물벼룩독성경보장치가 02:00경에 경보를 울림에 따라 자동채수된 수질샘플을 살펴보고 있는 모습이다.

5. 하천자동수질측정망 운영 사례

1) 국가간 수질의 감시와 견제 : 네덜란드 Lobith Station

Lobith Station은 네덜란드와 독일의 국경에 위치한 네덜란드의 수질검사소이다. 이 수질검사소는 라인강에 말뚝을 박고 여기에 선박을 고정시켜서 수위 변동에 따라서 상하로 움직일 수 있도록 만든 배위에 설치된 수질검사소이다.

이 수질검사소의 임무는 독일에서 네덜란드로 흘러 들어오는 라인강의 수질을 24시간 감시하는 것이다.

이를 위해서 수질이상시 경보를 울리고 수질관리자를 호출할 수 있는 AQUALARM System과 물고기 및 물벼룩을 이용한 생물독성경보장치, 각종 유기화합물 질들을 검출할 수 있는 수질분석기기들로 구성된 첨단 수질자동측정시스템을 운영하고 있다(RIZA, 1995).

수질사고가 발생하면 조기 경보를 통하여 하류에 미칠 수 있는 피해를 최소화할 수 있으며, 이때 자동 채수된 수질샘플을 정밀 분석하여 차후에 원인분석과 근본적인 대책을 수립하도록 하고 있다.

그림 7은 Lobith Station 방문기념 우편엽서에 그려진 물벼룩 독성경보장치의 삽화이다. 간단하면서도 재미있는 홍보 아이디어라고 생각된다.

2) 하수처리장 방류수의 신뢰성 확보 : 독일 Saarbruecken-Burbach 하수처리장

독일 Saarbruecken은 프랑스와 인접한 독일의 국경도시이다. 이 도시의 Burbach에 위치한 하수처리장은 Saarland 지방 최대의 하수처리장으로서 200,000명의 인구에 해당하는 오염부하량을 처리하고 있다.

이 하수처리장은 질소와 인을 제거하기 위한 3차처리를 하고 있는데 방류수 수질기준은 BOD 15mg/l 이하, 총인 2mg/l이하, 암모니아성 질소 5mg/l이하, 총질소 20mg/l이하이다. 방류수의 수질은 자동수질 측정기에 의해 연속적으로 측정되어 중앙통제실로 보내지고 수질기준을 초과할 경우 경보가 울리게 되어 있다(Abwasser Verband Saar, 1996).

또한 AQUATEST라는 물고기독성경보장치를 설치하여 하수처리장으로부터 하천으로 유입되기 직전의 최종 방류수 수질을 감시하고 있다. 물고기 종류로는 금붕어를 사용하고 있다.

3) 라인강 취수원 수질의 감시 : 독일 뒤셀도르프 정수장

독일 뒤셀도르프 지방을 흐르는 라인강 부근은 모래층이 잘 발달되어 있다. 독일 뒤셀도르프시의 정수장은 이 모래층을 통과한 물을 지하수 집수정을 이용

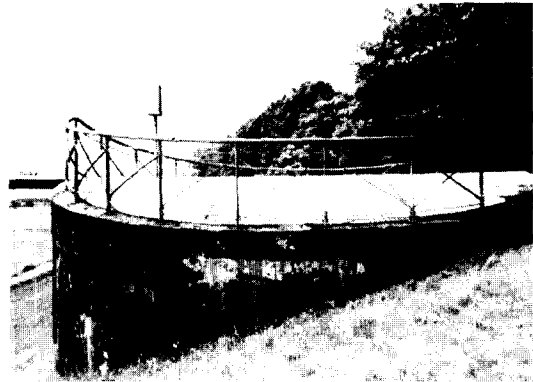


그림 8. 수질샘플 취수정



그림 9. 지하수 집수정 전경

해서 취수함으로써 직접 라인강에서 취수하는 것 보다 훨씬 양호한 수질의 원수를 얻고 있었으며, 이에 따라 정수처리에 들어가는 각종 비용도 절감하고 있었다.

이 정수처리장은 라인강과 바로 연해 있는 지점에 과거에 집수정으로 쓰던 큰 우물을 수질모니터링을 위한 수질샘플의 취수정으로 사용하고 있다(그림 8). 현재 정수장의 원수를 공급하고 있는 지하수 집수정들은 그림 9에 보이는 바와 같이 이 우물로부터 50미터 정도 더 육지쪽으로 라인강과 나란하게 위치해 있어서 수질사고가 발생할 경우에 사전에 탐지하여 필요한 조치를 취할 수 있도록 되어 있다.

수질샘플 취수정 부근의 숲속에는 무인 자동수질측정소가 설치되어 있어서 이화학적 수질분석기기와 생물독성경보장치가 운영되고 있다. 생물독성경보장치에는 물고기와 물벼룩 외에도 패류가 포함되어 있었

다. 물고기와 물벼룩은 단기간에 발생하는 수질사고를 탐지하기 위한 것이고, 패류는 한 달에 한번 조직검사를 통해서 장기적으로 생물체에 미칠 수 있는 만성적인 수질 문제가 있는지를 알아내기 위한 것이다.

4) 수질사고 지점의 조기 식별 : 독일 보름스 수질통제소

독일 보름스시는 1,000년 이상의 역사와 문화유산을 자랑하는 라인강변의 조그마한 소도시이다. 보름스로 들어가는 입구에 고풍의 아름다운 다리가 있고 이 다리의 끝부분에 중세 고딕식의 건물이 교량과 하나로 어울어져 있다. 자동수질측정장치는 이 위풍당당한 석조건물의 지하에 설치되어 있었으며, 바로 옆에 현대식으로 깔끔하게 지은 수질통제소 건물에는 수질실험실과 회의실, 통제실과 이 부근의 수생생물을 기르는 수조 등이 들어서 있었다.

이 수질통제소에서는 라인강을 가로지르는 교량의 좌안, 우안, 중앙 2개 등 총4개 지점에서 수질샘플을 취수하여 각각 별도로 분석하고 있다(Rheingutestation - Worms, 1995). 그 이유는 이 수질통제소 직상류지점의 좌안과 우안에서 공단을 통과하는 지천들이 유입되기 때문이다. 만일 수질사고가 발생했을 경우에 4개 지점의 수질데이터를 비교해봄으로써 오염원이 위치한 지점이 라인강 본류상의 상류쪽인지, 좌안쪽 지천인지, 우안쪽 지천인지를 바로 식별할 수 있다는 것이다.

특히 인상적인 것은 교각에 설치된 부유식 취수장비인데, 교각의 영향을 최소화할 줄일 수 있도록 긴 장대 끝에 센서와 취수관을 설치하고 수위에 따라 원격조정할 수 있도록 되어 있다(그림 10). 그리고 자동수질측정장치로부터 측정된 수질자료는 실시간으로 교량 보도 옆에 설치된 안내판에 표시되도록 함으로써 주민들에 대하여 적극적인 홍보를 하고 있었다.

5) 인공위성을 이용한 광역 전송시스템 : 호주 CSIRO

호주 CSIRO 연구소는 하천과 호소의 부영양화로 인한 조류의 수화현상(algal bloom)을 사전에 예측하

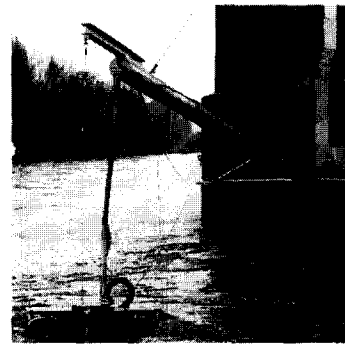
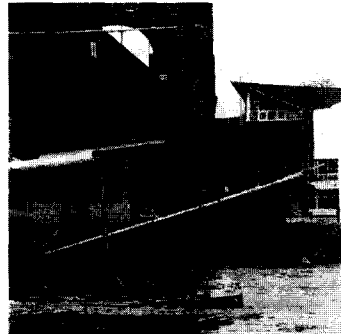


그림 10. 부유식 취수장비

기 위한 자동수질측정망의 설치를 추진하고 있다(CSIRO, 1996). 이러한 자동수질측정망의 설치 대상지역으로는 뉴사우스웨일즈 지방의 Murrumbidgee River, Western Australia의 Swan Estuary, 퀸즐랜드 남동부 지역 등이다. 측정항목은 수온, 탁도, 암모니아 등의 이화학적인 수질항목과 조류의 엽록소이다. 측정대상지역이 워낙 광범위하기 때문에 데이터 전송은 무선과 INMARSAT 인공위성을 이용하려 하고 있다.

6) 국내 자동수질측정망의 선구자 : 낙동강 수계 자동수질측정망

국내 수질모니터링시스템은 현재 낙동강 수계의 다사취수장, 매리취수장, 칠서정수장, 화명정수장, 성서, 고령에 설치되어 운영되고 있으며, 한강 수계에는 양평 소재의 한강수질검사소, 서울시상수도 산하의 5개 정수장에서 설치되어 운영되고 있다. 측정항목들은 DOC/TOC, T-P, T-N, NH3, CN-, Phenol, VOC, 용존산소, Conductivity, Temperature, pH,

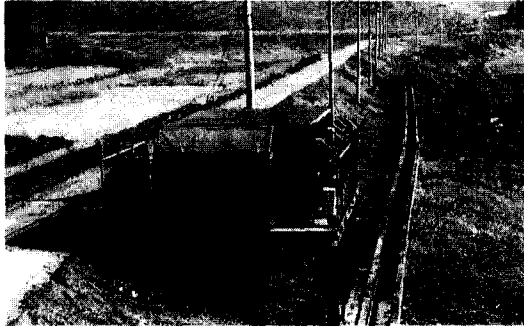


그림 11. 낙동강 고령 자동수질측정소

Turbidity 등이 포함되어 있다.

특히, 1966년 설치되어 가동중인 낙동강수질검사소 관할의 성서, 고령에 대해서는 TMS(Telemetering System)을 도입하여 즉각적인 수질변화에 대응할 수 있도록 연속측정이 이루어지고 있으며, 측정 데이터는 전용선을 통해 낙동강수질검사소에 전송되고 수질 및 기기 이상시에는 즉각 경보를 통해 알려주도록 하고 있다. 여기에는 특히 물벼룩(Daphnia)을 이용한 생물경보장치를 설치하여 이화학적 수질측정장치의 기능을 보완하도록 하고 있다. 장비들은 주로 독일을 포함한 유럽 쪽에서 개발된 것들을 도입하였다.

모든 수질측정기기는 RS-232로 전용선을 이용하여 낙동강 수질검사소의 호스트컴퓨터에 연결되어 있다. 호스트컴퓨터로 전송되어온 수질자료는 매5분마다 데이터베이스에 저장된다. 필요시 사용자가 수질 자료의 저장간격을 조절할 수 있도록 되어 있다.

그리고 매일 오전9시에 지난 24시간동안 측정된 결과를 종합하여 일보를 작성하여 출력하도록 되어 있다. 일보에는 매시간별로 수질측정치 기록되며, 최대, 최소, 평균값도 제공된다. 그리고 사용자가 원할 경우 시보와 월보도 작성하여 출력하게 된다. 시보는 사용자가 지정한 시점을 기준으로 60분 이전부터 10분 간격으로 작성된 수질측정치와 60분간의 최대-최소-평균값을 제공하게 된다. 월보는 사용자가 지정한 날짜를 기준으로 한달 동안의 일 자료를 종합하여 제공하게 된다.

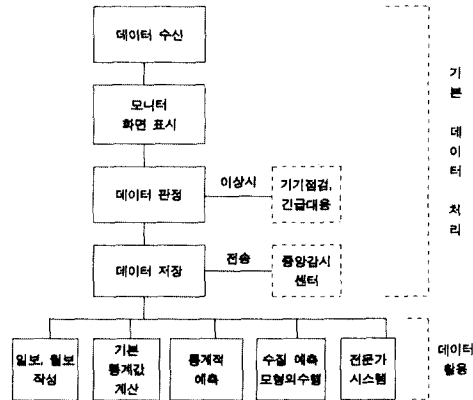


그림 12. 하천수질 종합감시 시스템의 데이터 흐름도

6. 앞으로의 발전방향 : 하천수질 종합감시 시스템 구축

현재의 자동수질측정망 운영시스템은 수질기준 초과시 경보발령과 일정 기간의 측정자료에 대하여 최대, 최소, 평균치와 수질변동현황을 그래프로 보여줄 수 있는 정도로서 수질측정장비와 통신장비를 비롯한 하드웨어의 첨단화와는 대조적으로 시스템의 효율적 운영을 뒷받침해줄 소프트웨어가 미흡한 실정이다. 이것은 구미 선진국도 마찬가지 상황이다.

유럽에서 개발된 수질이상 경보장치(AQUALARM)는 수질 측정자료의 수집과 통계적 처리에서 결과의 보고까지 일련의 과정이 자동화된 시스템이지만 기본적인 통계처리와 보고서 출력, 수질이 사전에 설정된 수질기준을 초과할 경우에 수질이상에 대한 신호나 경보를 발생시키는 정도의 기능만을 수행하고 있다.

이와 같은 자동수질측정망의 운영시스템을 개선하기 위하여 수질종합관리를 위한 수질감시시스템이 국내에서 G-7연구과제로서 개발되고 있다. 이 시스템은 현재 지역감시센터 중심으로 독립적으로 운영되고 있는 수질감시망을 중앙감시센터와 지역감시센터 및 수질측정소를 유기적으로 연결하는 네트워크로 구성하여 정보의 실시간 공유와 연계 운영을 가능하게 하며, 강력한 데이터베이스 시스템과 시계열분석에 의한 수질

예측모형, 오염물질 확산예측모형, 수질사고대응 전문 가시시스템 등을 내장하여 수질사고시 수질관리자의 의사결정을 신속하고 적절하게 지원해줄 수 있도록 개발하고 있다(환경부, 1997). 그림 12는 하천수질 종합감시 시스템의 데이터 흐름도를 나타내고 있다.

7. 맺는말

하천수질측정망은 수동수질측정망과 자동수질측정망으로 구분할 수 있으며, 상호 보완적으로 적용되어진다. 수동수질측정망은 월 1회 정도의 빈도로 채수하는 반면에 자동수질측정망은 실시간 온라인 연속측정을 전제로 한다. 따라서, 수동수질측정이 장기적인 경향이나 장기 계획의 수립차원에서 활용된다면 자동수질측정망에서는 수질사고의 감시가 주 목적이 된다.

자동수질측정장치에서 주로 측정하는 항목은 수온, 용존산소, pH, Conductivity 등의 일반수질항목, 유기물질, 생물독성 등이다. 근래 들어 수질사고의 빈도와 피해가 커짐에 따라 조기에 수질이상을 탐지할 수 있고, 복합적인 독성효과를 탐지할 수 있는 생물독성경보장치의 사용이 확대되고 있다. 이러한 생물독성경보장치의 실용성을 높이기 위해서는 현장에서의 축적된 경험에 의한 경보한계치의 조정, 독성물질유입에 따른 생물들의 거동과 다른 수질 항목과의 상관성 분석 등을 통해서 생물독성경보장치의 신뢰성을 높여나가는 지속적인 연구와 노력이 필요하리라고 생각된다.

자동수질측정망은 취수장치, 측정장비, 통신시설과 같은 하드웨어와 소프트웨어에 해당하는 운용시스템으로 구성되는데, 하드웨어의 발전에 비해서 소프트웨어는 초보적인 수준이라고 할 수 있다. 이제는 수질

자료의 단순한 수집-저장보다는 수질자료를 적시 적절한 정보로 가공하고 활용하는 문제에 눈을 돌려야 할 때이다. 따라서, 하천자동수질측정망은 수질사고 발생시 현재의 경보를 발령하는 수준을 넘어서 오염물질의 거동과 위해성 평가, 수질사고대응조치에 대한 정보를 제공할 수 있도록 종합적인 수질감시 및 수질사고 대응을 위한 의사결정지원시스템으로 발전시켜나가야 할 것이다.

아무리 첨단 장비가 있다고 할지라도 이를 제대로 운용-유지할 수 있는 인원과 능력이 없다면 무용지물이나 다름없다. 이제 우리 나라의 낙동강 수계를 선두로 4대강을 포함한 전국으로 확대되어 나갈 하천자동수질측정망을 우리 나라 수질관리의 중추 신경망으로 활용하려면 여기에 전념할 수 있는 전문 인력의 확충과 교육, 시설 유지 관리에 대한 정부차원의 아낌없는 투자와 지원이 따라야 할 것이다.

감사의 글

본고의 내용중 외국의 하천자동수질측정망 운영 사례는 필자와 서울대학교 이흥근 교수가 환경부 G-7 연구과제 수행을 위해 1995년과 1996년 2회에 걸쳐 호주와 유럽의 하천자동수질측정망 운영 실태를 살펴보고 온 내용을 참고하여 작성하였습니다. 그리고 국내의 운영 사례는 국립환경연구원의 지원으로 1996년과 1997년에 걸쳐 낙동강수질검사소와 낙동강 교령 자동수질측정소 현장을 방문하여 살펴본 내용을 참고로 작성하였습니다. 본고를 위하여 자료와 경비를 지원해주신 환경부와 국립환경연구원에 감사드립니다. ●

〈 참고 문헌 〉

- 국립환경연구원, 물벼룩을 이용한 조기경보체계 연구, 1995.
- 환경부, 수질종합관리 및 수질감시 기술-수질감시 시스템 구축(시스템을 중심으로), G-7연구 제2단계 1차년도 연차보고서, 1997.
- Abwasser Verband Saar, Environmental Factory and Waste Water Treatment Center on the Saar, Germany, 1996.
- CSIRO, Waterlink-Algal Research Program, CSIRO Division of Water Resources Industry News, No.13, Special Edition, Australia, 1996.
- Rheingutestation-Worms, Der Rhein, Germany, 1995.
- RIZA, RIZA:Monitoring water quality, Netherlands, 1995.



행복에는 여러 가지 형태가 있다. 돈에서 오는 행복, 지위나 명예에서 오는 행복, 사업에서 오는 행복-

그러나 순전히 그것만으로써는 행복은 오래 가지 못한다. 이성의 빛으로 조화된 것이라야 한다. 순전히 이성의 빛으로 얻은 행복은 무엇보다도 귀중하다.

그러한 행복은 다이아몬드와 같이 변하지 않을 것이다.

그러나 이것은 매우 어려운 일인 것도 사실이다. 또 한편 귀한 것은 그만큼 얻기 어려운 것도 세상의 이치다.

사람에겐 빈부의 차이가 있고 재주와 능력의 차는 있지만, 이성의 힘만은 똑같이 부여되어 있다. 돈 많은 사람이 더 이성이 밝고, 돈 없는 사람이 이성이 무딘 것도 아니다. 누구나 기본적인 이성의 힘은 공통으로 갖추고 있는 것이다. 진정 행복에 이르는 길은 모든 사람에게 주어진 거라고 볼 수 있다. (소피노자)

