

물벼룩 생물경보장치를 이용한 수질오염 모니터링

(주) 제이엠이엔비
대표이사 김 중 명

▲ 개요

물벼룩 생물경보장치는 하천, 댐 등 육수의 수질을 모니터링 하는데 있어서 가장 효과적인 방법으로 널리 알려져 있다. 이 방법은 기존의 화학적 분석방법에 비해, 신속성과 정확성, 그리고 편리성의 장점을 가지고 있다. 생물경보장치는 전혀 새로운 기술이 아니고, 고대 이집트 및 중국에서도 사람 및 물고기를 이용한 원시적인 생물경보장치가 사용되었으며, 광산, 정수장 등에서 카나리아 새 및 어류 사육을 통한 갯내 공기 및 처리수를 모니터링 해왔다. 생물경보장치가 현재와 같이 보다 과학적이고 체계적인 장치로서 개발된 것은 1986년 스위스 Sandoz사 화재에 의한 라인강 오염이 직접적인 계기였으며, 국내에서도 1991년 낙동강 오염사고를 계기로 전국의 주요 하천에 국가수질자동측정망을 확립하여 생물경보장치를 설치하게 되었다.

생물경보장치는 엄밀히 말해서 생물조기경보시스템(Biologically Early Warning System)이다. 용어에서도 알 수 있듯이 이 시스템은 독성물질의 유무를 조기에 발견하는 것이 가장 큰 목적이다. 또한 시스템의 신뢰성, 보편타당성 및 재현성이 수반되어야 하는데, 시험생물의 선택 및 검출방법 등이 큰 영향을 미친다. 현재 널리 사용되고 있는 시험 생물들은, 물벼룩, 물고기(금빛황어 등), 홍합, 발광박테리아 등이다. 그 중 독성테스트에서 많이 사용되고 감도가

뛰어난 물벼룩이 세계적으로 생물경보장치의 주류를 이루고 있다.

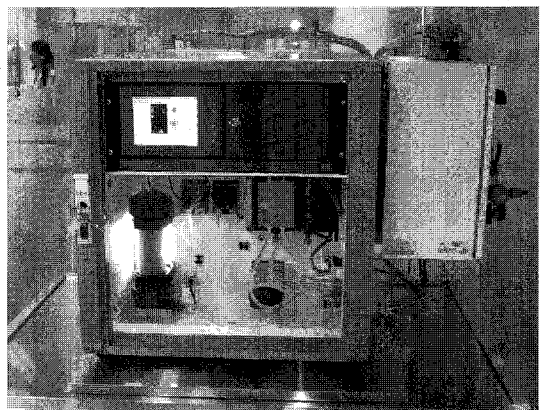


그림 1 물벼룩 생물경보장치

▲ 원리

bbe 생물경보장치는 크게 챔버와 물벼룩의 움직임을 관찰하는 CCD 카메라, 카메라로부터 생성된 화상을 분석한 후 이를 독성수치로 변환하는 연산장치, 시료수의 전처리 및 이동에 관련하는 열교환기와 펌프, 이 3개의 부분으로 구성된다.

▲ 챔버 및 CCD 카메라

챔버는 물벼룩이 관찰되는 장소로서 직육면체의 유리로 되어있다. 시료수는 챔버의 위에서부터 흘러

들어와 아래에서 배출되는데, 물의 흐름이 물벼룩 행동에 영향을 미치지 못하도록 디자인되었다. 챔버 상단에는 물벼룩에게 유사태양 환경을 제공하기 위한 광원이 장착되어 있다. 챔버 좌우에는 CCD 카메라가 물벼룩을 인지하기 위한 별도의 광원이 장착되어 있다. 카메라는 초당 25개의 정지화상을 만든다.

▲ 화상분석장치

CCD 카메라에서 생성된 화상은 256단계의 흑백으로 전환되고, 이는 blob analysis에 의하여 위치 및 크기가 결정된다. 그리고 움직이지 않는 물체는 화면에서 백그라운드로 전환된다. 카메라에서 관찰되는 화상은 매 1분 단위로 컴퓨터에서 분석되는데, 다음과 항목이 계산된다.

- 평균 속도
- 속도 분포도
- 유영 높이
- 물벼룩 개체간 상호 거리
- 유영하는 물벼룩 개체 수
- 프랙탈 차원

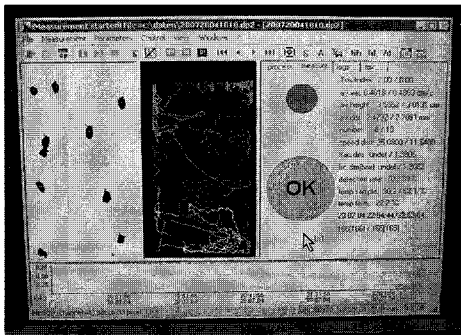


그림 2 생물경보장치의 주화면, 물벼룩 동영상, 운동경로, 경보상태, 측정항목별 측정결과, 측정결과 그래프가 나타나 있다.

각 계산된 항목별로 시간 축을 기준으로 측정그래프가 그려지는데, 이 그래프 상에서 각 데이터가 다음과 같이 변화할 때 독성값이 발생된다.

- 직전의 일정시간 평균에 비해 차이가 많이 나는

경우에 이를 “급격한 변화”로서 감지하고 각 항목별 가중치에 따른 독성값을 부여한다.

- 일정시간에서 그려진 회귀선의 기울기가 설정된 한계값을 초과할 때 “완만한 변화”로서 감지하고 각 항목별 가중치에 따른 독성값을 부여한다.
- 물벼룩 개체수가 한마리씩 줄어들 때마다 일정한 독성값을 부여한다.

이렇게 부여된 독성값 들의 합계가 설정된 값을 초과할 때 생물경보장치는 물벼룩 행동 및 개체수의 감소가 시료수의 독성물질과 직접적인 연관이 있음을 확신하고 독성경보를 발생시킨다.



그림 3. 생물경보장치의 경보발생 시스템

물벼룩 행동에 관련된 각 항목 중에서 최소 2~3개의 항목이 비슷한 시간대에 동시에 발생해야만 독성경보가 발생되며, 1개의 항목에서 “변화”가 일어나도 생물의 자연스런 행동의 일부로 간주하여 독성경보에 해당하는 점수가 발생하지 않는다. 그리고 한 번 발생한 특정 항목의 “변화”에 따라 부여된 독성지수 점수는 일정 시간이 지나면 자연적으로 소멸된다. 이것은 장시간의 간격에서 두 항목에서 “변화”가 발생할 때 이것을 시료수의 오염에 의한 원인이라기보다 생물의 자연적인 행동으로 간주한다.

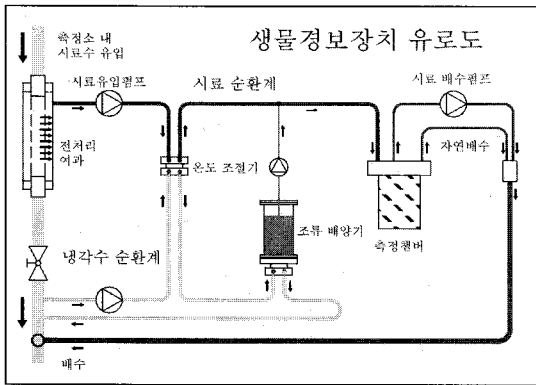
발생된 독성경보가 진정 수질에 의한 것인지 또는 장치의 오작동에 의한 것인지를 사용자가 신속하게 판단할 수 있도록, 다음과 같은 다양한 항목도 측정된다.

- 챔버 온도, 배양조 온도
- 시료 전처리장치 이상 유무
- 카메라의 물벼룩 행동 포착율 %

최종적으로 확인한 결과 장치의 하드웨어 오작동에 의한 독성경보가 아닐 경우, 채취된 시료의 분석 등 후속조치를 취하게 된다.

▲ 자동 시료 전처리 장치

우선 장치에 시료수가 들어가기 전에 30um의 스테인레스 재질의 필터를 사용하여 여과한다. 이 필터에는 자동 공기 역세척 장치가 연결되어 있어 일정 시간마다 역세척을 실시함으로써 여름철과 같은 고탁도의 시료수에도 유로의 막힘 없이 장치가 잘 작동 되도록 한다. 여과기를 거친 시료수는 일정 온도(약 25℃- 30℃)까지 가온되는데, 이는 겨울철과 같이 기온이 낮을 때 시료수를 물벼룩 활동의 최적온도(20℃)로 가온시키면, 시료수에 포함된 용존산소가 챔버 내에서 기포로 되어 물벼룩을 수면위로 부상시켜 단 시간에 죽게 되는 것을 방지하기 위함이다. 가온된 시료수는 펌프를 통하여 한 개 또는 2개의 챔버에 0.5 ~ 2/L의 유속으로 흘러가게 된다.

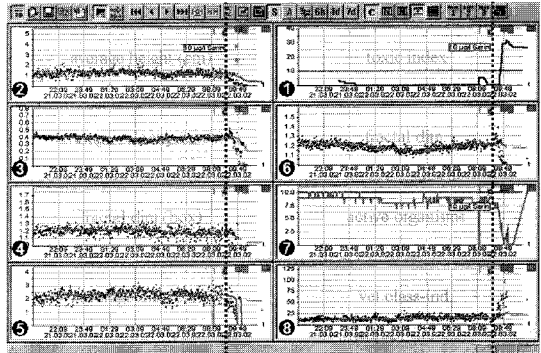


챔버에 들어가기 직전에 시료수는 물벼룩에 최적의 환경을 제공하기 위하여 2가지 과정을 거친다. 첫째 시료수가 챔버로 유입되기 직전에 시료수의 온도를 물벼룩 환경에 최적의 온도인 20℃로 일정하게 조절하는 것이다. 이것은 펌터에 온도교환기에 의하여 0.1℃까지 정밀하게 조절된다. 둘째 수질 및 온도에 따라 시료수에 포함된 물벼룩의 먹이가 부족하게 되는 경우가 발생하는데, 물벼룩의 먹이를 일정하게

공급함으로써 먹이환경의 변화에 따른 물벼룩 행동의 변화를 방지한다. 물벼룩 먹이는 녹조류의 한 종인 클로렐라가 이용되는데, 클로렐라는 별도로 배양하거나 공급할 필요가 없도록 생물경보장치 내부에 연속배양장치가 내장되어 있고 배양된 클로렐라 및 배양액은 펌프를 통하여 시료수 유입라인 및 배양조로 운반된다.

▲ 테스트 결과

물벼룩 생물감시장치에 대한 다양한 독성물질 테스트결과, 신속성과 반응성에서 좋은 결과가 나왔다. 농도 및 물질에 따라 다르지만, 그림4는 테러관련 독성물질인 sarin 10 ppt를 투입한 후의 반응결과를 나타낸 그래프이다.



10ppt의 sarin 투입시 물벼룩 생물경보장치의 반응결과. 점선은 투입시점을 나타낸다. 이상 1번 그래프는 독성지수 그래프로서 다른 그래프들의 변화로부터 얻어지는 값의 합계이다.

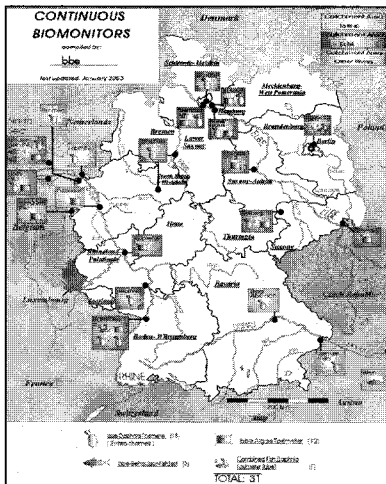
좌상 2번은 유영고도를 나타낸 그래프로서 독성물질 유입시 물벼룩 들이 챔버 바닥으로 깔려서 “변화”; 3번은 평균속도를 나타낸 그래프로서 속도가 느려져 “변화”; 4번은 프랙탈 차원 박스를 나타낸 것으로 유영 패턴이 “변화”; 5번은 물벼룩 상호간 거리로서 물벼룩이 서로 모여있으므로 “변화”; 6번은 프랙탈차원으로서는 유영 패턴이 “변화”; 7번은 생존한 물벼룩 개체수를 나타낸 것으로 “변화”; 8번은 속도분

포도 변화를 나타낸 것으로 분포도가 “변화” 되어 이들 항목들의 “변화”가 누적되어 투입 후 20분 이내에 독성지수가 “경보” 발생치 이상으로 올라감을 알 수 있다.

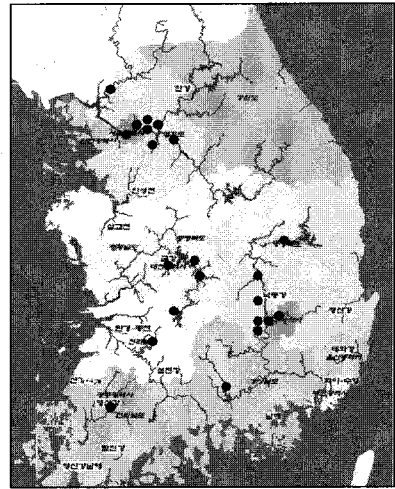
▲ 물벼룩 생물경보장치 도입 현황

생물경보장치가 가장 많이 보급된 지역은 라인강, 엘베강, 다뉴브강 등의 하천들이 여러 국가를 통과하는 유럽 대륙이다. 현재 독일, 네덜란드 등에서 가장 많이 보급되어 있으며, 최근에는 동유럽 국가에서도 많이 설치되고 있는 추세이다.

상대적으로 생물경보장치에 대한 인식이 뒤떨어진 미국도 최근에는 많은 관심을 가지고 있으며, 특히 지난 2002년 미국 솔트레이크시 동계올림픽 개최기간 중에는 취수원 및 정수장에 6대의 생물경보장치를 설치하여 테러의 위협에 대비한 경우가 있다. 아시아에서는 한국이 가장 앞서나가고 있으며, 기타 각 나라에서도 많은 관심을 가지고 도입을 하였거나 도입을 서두르고 있다.



독일의 생물경보장치 설치현황. 라인강 엘베강, 도나우강에 설치되어 있으며 물벼룩 생물경보장치가 가장 많음을 알 수 있다.



국내에 설치된 물벼룩 생물경보장치 현황

▲ 물벼룩 생물경보장치의 향후 전망

생물경보장치는 결과의 신속성과 편의성으로 인해 수질오염의 일차적인 모니터로서 가장 효과적인 시스템이다. 현재 국내뿐 아니라 세계적으로도 확대 도입단계에 있으며 향후 수질 오염 모니터링의 근간 시스템으로 정착 될 것으로 예상된다. 최근에는 단순히 하천 오염 모니터링 뿐 아니라 정수장 등의 취수원 관리에도 많이 사용되고 있어 물벼룩 생물경보장치의 사장은 더욱 확대 될 전망이다.

※ 보다 자세한 사항 및 자료는 (주)제이엠이엔비로 연락하시기 바랍니다.

주 소 : 서울시 구로구 구로3동 코오롱사이언스벨리 1차 1204호

전 화 : 02-3461-0606

이메일 : jmcorp@jmcorp.co.kr