

# 실시간 수질모니터링시스템에 대한 제언



정 유 진 |

한국환경정책·평가연구원 책임연구원  
egchung@kei.re.kr

## I. 서론

우리나라 물관련 관련 업무 중 그 중요성에 비해 소홀히 다루어지는 분야가 물관련 기초 정보를 물 관리자 및 이용자 등에게 제공하는 부분이 아닐까 한다. 과학적이면서 효율적인 물환경 관리에서 가장 기본이 되는 부분 또한 수문·수질자료의 관측, 획득, 보관 및 활용에 관한 분야일 것이다(김영한, 2001). 다행이도 현재 우리나라에서 물환경 관리기반 구축을 위한 수질모니터링 시스템에 대한 관심과 투자가 시작되었고, 이것은 바람직한 현상이라 할 수 있다.

국가 수질자동측정망은 1991년 낙동강 폐놀유출 사고와 1994년 유기용제유출 사고를 계기로 그 필요성이 처음 제기되었다. 수질오염사고에 신속히 대처하기 위한 목적으로 1995년에 국립환경연구원(현 국립환경과학원)이 낙동강 수계에 2개의 측정소를 설치하는 것을 시작으로, 2010년 4월 현재 과학적인 하천수질관리기반 구축 및 수질오염총량관리제 등의 정책 기초자료 확보를 위해서 전국 주요

4대강(한강·낙동강·금강·영산강 등) 유역에 49개의 수질자동측정망이 환경관리공단에 의해서 설치·운영되고 있으며 향후 7개소를 추가 설치·운영할 계획이다(원선정 외, 2004; 최유경 외, 2008; 환경관리공단, 2009).

본고에서는 과학적인 물환경 관리를 위해서 그 중요성이 증대되고 있는 국가 수질자동측정시스템과 미국 캔사스(Kansas)주 United States Geological Survey (USGS) 실시간 모니터링시스템의 운영관리 현황을 파악하고, 이를 바탕으로 향후 국내 실시간 수질모니터링시스템의 나아갈 방향을 검토해보고자 한다.

## II. 수질자동측정망 현황

최근 측정분석기기 기술의 진보와 IT 기술의 급격한 발달로 시·공간적인 제약을 극복할 수 있는 실시간 시료채취, 측정, 데이터 전송 등이 가능한 수질 자동측정 시스템의 중요성이 커지고 있다(정세용 외 2006; Combs et al., 2003). 국가 수질자동측정망은 현재 정책 기초자료를 확보하는 목적뿐만 아니라 상수원 및 수계의 수질관리 업무를 효율적이고 능동적으로 수행하기 위한 목적으로 운영되고 있다. 또한, 2008년 3월 경북 김천 코오롱 유화공장 화재시 발생된 폐놀이 낙동강에 유입된 사건과 같

은, 수질오염사고 발생 시 신속한 대응조치를 할 수 있는 조기경보체계의 구축도 수질자동측정시스템의 중요 운영목적 중에 하나이다(환경부, 2008).

1) 구성

수질자동측정시스템은 측정소, 수계별 원격감시 시스템(Tele-Monitoring System, TMS)실, 통합관제센터, 관계기관 등 네 부분으로 이루어져 있다. 실제 수질을 측정하는 측정소에는 측정분석기기, 자동채수시설, 자료수집장치(data logger) 등으로 구성되고(김경만, 2000; 환경부, 2008), 이곳에서 측정된 자료들은 저장되어 수계별 TMS실로 원격 전송되며, TMS실에서 다시 수집된 자료는 통합관제센터로 보내진다. 통합관제센터에서는 측정소 내 시스템을 원격으로 제어하고 수집된 자료구축하고 분석할 수 있는 기능이 있을 뿐만 아니라, 최종적으로 관계기관에 자료를 제공하고 정보 메시지(예, Short Message Service (SMS), Automatic Response System (ARS))도 발송한다. 마지막으로 해당 관계기관에서는 측정된 자료를 바탕으로 추이분석 및 정보 검색을 하는 기능을 한다(환경부, 2008). 2010년

4월 현재, 수질자동측정망의 수질자료가 아직 공개되고 않으나 향후 공개될 예정이다.

2) 측정위치

수질자동측정소 설치지점은 주로 상수원 감시를 목적으로 댐·저수지 등의 상·하류, 하수처리장의 하류, 취수장의 상류, 강의 합류지점 등에 위치한다(〈표1〉 참조). 앞으로 7개소를 추가 설치할 예정이나 2010년 4월 현재 전국 49개의 측정지점만을 운영하고 있어(환경부, 2008), 무엇보다 수질오염총량관리제 등의 정책 기초자료 확보를 위해 설치위치를 계획적으로 늘려가는 것이 필요하다. 또한 위치표기를 행정적으로 표기하고 있어(예, 한강수계 내 영안천 측정소 위치는 '경기도 광주시 퇴촌면 정지리 193-1'의 주소와 '팔당호 상류 9km'의 비고 등으로 설명된다), 정확한 과학적인 표기 방식(예, 경도, 위도, 고도 등)이 통합적인 자료 관리를 위해 요구된다.

3) 측정항목

수질자동측정망의 측정항목은 모든 측정위치에서 수집되는 공통항목과 위치에 따라 다르게 선별되

표 1. 측정소별 측정 항목 현황

수계	측정소	공통 항목						선택 항목													
		수온	pH	DO	EC	TOC	생물독성				VOCs 9종	TN	TP	탁도	Chla-a	NH3-N	NO3-N	PO4-P	중금속 4종	페놀	
							물고기	물벼룩	미생물	조류											
한강	가평	√	√	√	√	√	√				√										
	양평	√	√	√	√	√				√											
	경안천	√	√	√	√	√				√											
	구리	√	√	√	√	√	√														
	여주	√	√	√	√	√	√														
	원주	√	√	√	√	√	√														
	명칭강	√	√	√	√	√	√						√	√							
	달천	√	√	√	√	√	√				√	√	√								
	한탄강	√	√	√	√	√				√											
	서상	√	√	√	√	√	√				√	√	√								
	강천	√	√	√	√	√	√				√										
	익양호	√	√	√	√	√	√					√	√								
금강	신천	√	√	√	√	√	√				√										
	충주	√	√	√	√	√	√					√	√				√				
	갑천	√	√	√	√	√	√				√				√						
	미호천	√	√	√	√	√	√				√										
	대청호	√	√	√	√	√	√					√	√				√				
	공주	√	√	√	√	√	√				√										
	부여	√	√	√	√	√	√				√										
	장계	√	√	√	√	√	√					√	√				√				
	용담호	√	√	√	√	√	√				√						√				
	현도	√	√	√	√	√	√				√			√				√	√		
옥천천	√	√	√	√	√	√					√	√	√								

수계	측정소	공통 항목					선택 항목														
		수온	pH	DO	EC	TOC	생물독성				VOCs 9종	TN	TP	탁도	Chla-a	NH3-N	NO3-N	PO4-P	중금속 4종	페놀	
							물고기	물벼룩	미생물	조류											
낙 안 강	이원	√	√	√	√	√						√	√	√							
	동화천	√	√	√	√	√						√	√	√							
	성서	√	√	√	√	√		√			√									√	
	고령	√	√	√	√	√		√			√										
	왜관	√	√	√	√	√		√			√										
	강창	√	√	√	√	√		√			√										
	적포	√	√	√	√	√		√			√										
	청암	√	√	√	√	√		√			√										
	성주	√	√	√	√	√		√			√	√	√		√	√	√	√			√
	칠서	√	√	√	√	√		√			√										
	창암	√	√	√	√	√		√			√										
	남천	√	√	√	√	√		√			√										
	예천	√	√	√	√	√		√			√										
	해평	√	√	√	√	√		√			√			√							
	진주	√	√	√	√	√		√			√										
	상동	√	√	√	√	√		√			√	√	√	√	√						
칠곡	√	√	√	√	√		√			√	√	√	√								
봉양	√	√	√	√	√						√	√	√								
임허호	√	√	√	√	√								√								
주암호	√	√	√	√	√	√					√	√	√	√							
나주	√	√	√	√	√	√				√											
서창교	√	√	√	√	√	√				√											
옥정호	√	√	√	√	√	√				√	√	√		√							
황룡강	√	√	√	√	√					√											
구례	√	√	√	√	√					√	√	√	√								
담진호	√	√	√	√	√						√	√	√	√							

Total Nitrogen(TN), Total Phosphorus(TP), Chlorophyll a(Chla-a)  
 자료: 환경부, 2008.

는 선택항목 등으로 분류된다. 선택항목 중 생물감시, 중금속, 휘발성유기화합물질(Volatile Organic Compounds, VOCs) 등의 항목은 측정위치에 따라 다른 세부측정항목 등을 포함한다. <표 1>에서 보는 것과 같이 주로 상수원 보호 목적으로 생물독성과 VOCs 항목이 영양염류(질소, 인 등) 항목보다 많은 위치에서 측정되고 있다.

산업이 다양해지고 세분화되어 화학물질의 종류도 급격히 증가하여 모든 화학물질을 측정하는 것은 현실적으로 실현가능하지 않다. 따라서 화학물질에 대해 반응하는 생물모니터링 장치와 수질자동 측정 장치를 연계한 시스템인 생물감시 항목이 검토되어 현재 수질자동측정망에 부분적으로 추진되고 있다는 것은 매우 바람직하다(류재근, 2004).

그러나 수질자동측정망의 주요 목적 중에 하나인 수질오염총량관리제 등의 정책 기초자료 확보를 위해서, 더 많은 위치에서 관측되는 영양염류 자료가 요구된다. 또한 종합적인 수체 내 오염물질 거동을 이해하고 오염사고 대처를 위해서 수질모델링과 측

정망과의 연계가 향후 필요하고, 이와 같은 연계를 고려한 실시간 수질모니터링 시스템을 지향한다면, 측정항목에 수질모델링에서 요구되는 수위, 유량 등의 수리·수문 및 기상항목도 함께 측정항목에 포함시키거나 유관기관과 연계하여 실시간 자료를 수집할 필요가 있다.

### III. 미국 캔사스주 USGS의 실시간 모니터링 시스템

본 장에서는 선진국 사례로서 미국 캔사스주 USGS의 실시간 모니터링 시스템을 간략하게 살펴보고자 한다. 캔사스주 USGS는 1886년부터 수문 자료를 수집해왔는데, 새로운 물환경 정보를 필요로 하거나 자료수집, 분석, 보급을 위한 새로운 기술이 발전함에 따라 계속 측정망을 확대 변화시켜, 2003년 현재 190개 이상의 하천, 호수, 지하수 측정소를 운영하고 있다. 이러한 측정소의 대부분은 지방정

부, 캔사스주 혹은 다른 연방 기관과 공동으로 재정적인 지원을 받고 있다(Combs et al., 2003).

1) 다양한 연속측정 자료

캔사스주 USGS 실시간 모니터링 시스템에서 실시간 하천유량과 호수 수위뿐만 아니라 지하수 및 지표수 수질 자료 등을 캔사스주 USGS 웹페이지 (<http://ks.waterdata.usgs.gov/nwis>)에 공개하고 이용할 수 있게 한다(그림 1 참조). 캔사스주 내 모든 연속 측정소는 자동자료수집시스템(automated data-collection platforms, DCPs)을 구비하고 있는데, DCPs는 인공위성 기술을 이용해서 24시간자료를 Lawrence에 위치한 USGS 사무실과 인터넷 웹에 직접 전송한다. 이와 같은 자

료들은 저수지(혹은 댐) 운영, 하천 예보, 홍수 경보 등의 정보를 제공할 뿐만 아니라, 친수활동을 하거나 시설을 이용할 때나 관개용수 혹은 용수공급 등을 결정할 때 매우 유용하게 이용되고 있다(Combs et al., 2003).

2) 측정항목과 빈도

지표수의 경우, 캔사스주 USGS는 171개 하천측정소와 14개 호수 측정소에서 연속적인 실시간 하천 유량과 수위 자료를 측정하고, 측정된 자료를 인공위성을 통해서 USGS 컴퓨터에 전송하여 매 4시간, 홍수시기에는 더 큰 빈도로 인터넷 웹페이지 (<http://ks.waterdata.usgs.gov/nwis/sw>)에 제공한다(그림 2 참조). 하천유량 및 호수 측정위치

중 선정된 측정소에서 물리화학적 항목(예, 비전도도, pH, 수온, 탁도, 클로로필 농도, DO 등)을 기록한다. 기온과 기압과 같은 기상자료도 또한 몇몇 측정소에서 기록하고 있다. 이와 같은 수질 정보는 5분에서 1시간 간격으로 자동자료수집시스템에 기록되며 인공위성을 통해 USGS 서버로 매 4시간 간격으로 전송된다.

앞에서 언급한 것과 같이, 국내 수질측정망과 비교할 때 캔사스주 USGS 실시간 통합 수자원 시

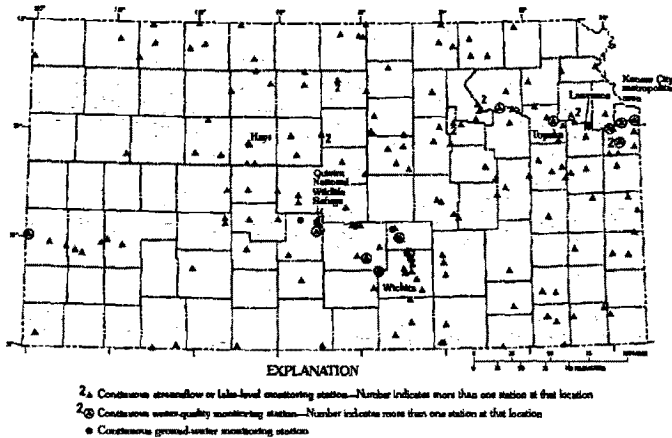


그림 1. 캔사스주 USGS 실시간 측정망 위치  
자료: Combs et al., 2003

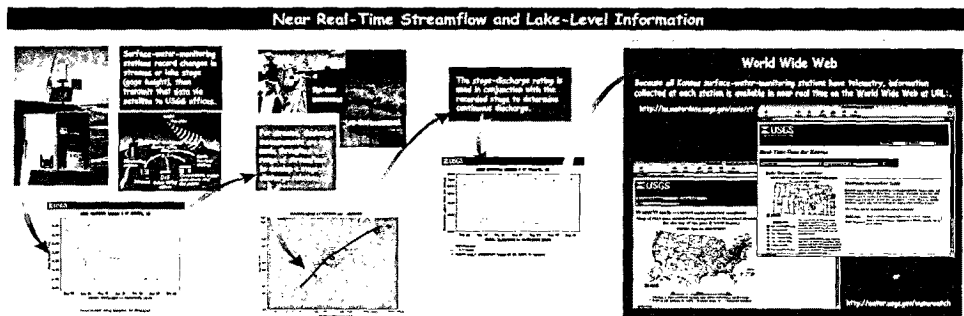


그림 2. 캔사스주 내 USGS가 운영하는 하천유량 및 호수 수위 등의 실시간 수자원 정보 구축 시스템 구성도  
자료: Combs et al., 2003

템에서 특이할만한 점은 지표수 수질뿐만 아니라 지하수 수질에 관한 자료를 통합적으로 관리하는 것이다. 물의 순환적인 특성을 고려할 때, 지표수와 지하수 수질을 함께 고려하는 것은 매우 바람직한 통합적인 접근방법이라 사료된다. 지하수 수질항목은 지하수위, 수온, 기압(barometric pressure), 비전도도(specific conductance) 등으로 구성되며, 1시간 측정 빈도로 기록되어 위성 원격계측기(satellite telemetry)를 통해서 USGS 사무실로 전송된다(Combs et al., 2003).

한편, 몇몇 측정소에서는 실시간으로 기록된 수질정보와 기존 수질측정망에서 얻은 자료를 이용하여 통계적인 연관성을 이끌어내기도 한다. 예를 들면, 실시간으로 측정하기 어려운 박테리아 농도, 아트라진(atrazine), 염화물(chloride), TN, TP 등의 통계적 상관관계를 얻는 것이다(그림 3) 참조). 또한 실시간 수질 정보는 Total Maximum Daily Load(TMDL) 프로그램의 일부분으로서 (1) 상수원에서 높은 농도의 오염물질을 즉시 파악할 수 있고; (2) TMDL에 정확한 부하량 산정에 도움이 되며; (3) 수질 측정 장소로 방문하는 것을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라; (4) 용수수질에 영향을 미칠 수 있는 높은 농도의 오염물질이 발생했을 때, 신속하게 운영 전략을 세울 수 있게 할 수 있다.

### 3) 주요 자료 사용자

캔사스주 USGS 측정망의 가장 큰 특징 중 하나는 연속적인 실시간 자료가 수집되어 광범위하게 이용된다는 것이다. 실시간 연속 측정 자료들은 캔사스주와 지방 물관리 및 용수관련 기관, National Weather Service River Forecast Centers (NWSRFC), 미국 공병단(U.S. Army Corps of Engineers), 캔사스주 교통국(Kansas Department of Transportation, KDOT), Federal Emergency Management Agency(FEMA), 어업이나 친수활동을 하는 사람들에 의해서 다양하게 이용된다. 예를 들면, (1) 주 및 지방 물관리 및 용수관련 기관에서는

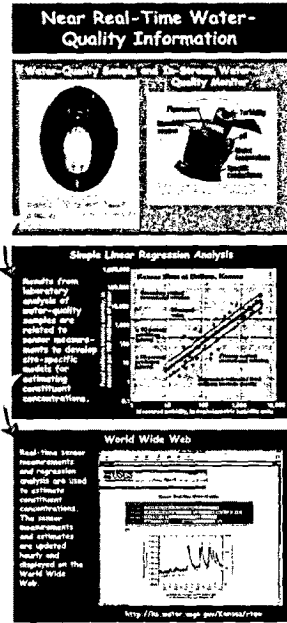


그림 3. 캔사스주 내 USGS의 실시간 수질 정보 시스템 구성도  
 자료: Combs et al., 2003

공중보건을 위한 취수 및 처리 전략을 계획, 조정, 모니터링 등을 하는데; (2) NWSRFC에서는 홍수시 어느 하천이 범람할 것인가 예측하는데; (3) 미국 공병단에서는 저수지(혹은 댐) 운영시에; (4) KDOT에서는 안전하고 효율적인 다리, 고속도로, 배수로 건설 시에; (5) FEMA에서는 홍수가능 지역설정, 홍수보험률 산정 등 홍수와 관련된 일에 USGS 자료를 이용한다. 또한 (6) 어업에 종사하거나 친수활동을 하는 사람들도 측정 자료를 이용한다(Combs et al., 2003)

## IV. 결론 및 제언

현재 운영되고 있는 국가 수질자동측정망의 현황 및 미국 캔사스주 USGS가 운영하는 실시간 수자원 정보 시스템에 대해서 살펴보았다. 캔사스주 USGS의 측정망 운영체계와 비교해 볼 때, 향후 실시간 수질모니터링시스템을 위해서 다음의 몇 가지

제언을 제안해 보고자 한다.

첫째, 각 수계 및 각 유역의 수질변화와 오염원 추적, 특히 비점오염원 파악 등 정책기초자료 확보를 위해서 정기적인 측정지점 확대 혹은 측정위치 재검토가 요구된다. 수문조사기본계획(국토해양부, 2008)과 같이 수질자동측정망 설치 기본계획 및 운영계획을 담당하는 환경부가 5년 내지 10년마다 측정망의 측정목적 및 항목에 관해서 측정망을 재검토하고 평가한 후, 측정망을 유연하게 운영하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

둘째, 현 수질자동측정망은 이화학 및 약간의 수생태적 정보에 국한되어 있다. 수질오염총량제의 기초자료 확보를 위해 영양염류 항목이 더 많은 위치에서 측정되어야 한다. 더 나아가 수자원의 통합적인 관리를 위해서는 수질예보 기능을 가능하게 하는 수질모델링과의 연계가 필요하기 때문에 수계, 유역의 특성에 맞는 기상·수량자료 측정도 함께 고려해야 할 필요가 있다. 특히 지표수뿐만 아니라 지하수 수질도 측정할 수 있는 통합적인 실시간 수질모니터

링시스템을 고려하는 것이 요구된다. 이를 위해 유관기관과의 연계도 바람직할 것이다. 이와 관련해서 향후 시범 소유역과 알맞은 수질모델을 선정해서 실시간 수질모니터링시스템을 적용해 보는 것도 하나의 좋은 출발점이 될 수 있을 것이다.

마지막으로, 강조하고 싶은 것은 수질측정망의 운영의 주요 목적 중에 하나가 유용한 수질정보의 제공이라는 것이다. 일반 인터넷 사용자들에게 친수 활동이나 농업활동 등에 관한 유용한 정보를 제공할 수 있도록 시스템을 구축하는 것이 미국 USGS 측정망 운영에 매우 중요한 업무인 것과 같이, 현 수질자동측정망 운영체계에서도 검증된 자료를 관련 국가 기관뿐만 아니라 일반사용자에게 제공하는 것이 주요한 목적 중에 하나가 되어야 할 것이다.

"국가 수질자동측정망의 개선을 위한 제언" 2010년 환경포럼 제14권 제7호(통권제150호)를 바탕으로 재작성한 것입니다. ☺

### 참고문헌

1. 국토해양부. 2008. 「수문조사기본계획(2010년~2019년)」
2. 김경만. 2000. 「수질자동측정시스템 개발 연구」농업기반공사 농어촌연구원.
3. 김영한. 2001. 미국 하천의 수문조사 사업(USGS/NWS의 수자원관리 중심) 사례. 한국수자원학회지: 물과미래 제34권 제4호, pp. 117-135.
4. 류재근. 2004. "수질자동모니터링시스템의 설치 현황과 전망" 「Journal of the Korean Society of Water Quality」Vol. 20, No. 1, pp. 1-11.
5. 원선정, 공동수, 정동일, 강준원. 2004. "수질자동측정 자료의 신뢰성 향상을 위한 데이터의 검증 및 확정에 관한 연구" 「한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집」A-9: pp.35-38.
6. 정세웅, 윤성완, 고익환, 노준우, 김남일. 2006. "RTMMS를 이용한 대청호 실시간 탁수 감시 및 거동 예측" 「한국수자원학회 2006년 학술발표회 논문집」419-424.
7. 최유경, 윤우식, 이창. 2008. "국가 수질자동측정시스템의 측정불확도 산출결과 분석 - 2007년 한강수계 pH 항목을 대상으로 -" 「대한환경공학회 2008 춘계학술연구발표회 논문집」I-2-5: pp.352-358.
8. 환경관리공단. 2009. "수질자동측정망". <http://www.emc.or.kr/measure/water.asp>.

9. 환경부. 2008. "수질자동측정망 운영계획".
10. Combs, L. J., J. E. Putnam, and A. C. Ziegler. 2003. "Continuous Real-Time Water Information-A Vital Kansas Asset" USGS Fact Sheet 060-03.