

하천 및 호소수 수질관리를 위한 자동측정망의 설계

Design of Automatic Monitoring Network for the Water Quality Management of River Basin

최 지 용* · 박 원 규* · 이 상 일**
Choi, Ji-Yong · Park, Won-Kyu · Lee, Sang-Il

Abstract

In designing automatic water quality monitoring networks for a river basin, determination of measurement locations and items is critical to the effectiveness of the total system. In this paper we studied how to decide these two design factors when a monitoring network is designed for the purpose of water quality surveillance and emergency alarm. For measurement locations, candidate sites are chosen based on the intake amount for water supply and the point sources of contamination. Then, detailed locations are decided according to the contaminant flow distance. As for measurement items, characteristics and the accident history of water pollution in the basin must be taken into account. Considering economic aspects, we proposed a two-stage measurement plan: basic components for all locations and selective ones variable for different locations. Proposed methodology is demonstrated through a case study for Nak-dong River Basin.

요 지

하천 및 호소수 수질의 온라인 계측을 위한 수질자동측정망의 설계에서 측정위치와 항목의 선정은 전체시스템의 성능을 결정짓는 중요한 인자이다. 본 논문에서는 상수원유역의 상시 수질감시 및 사전경보 기능을 갖는 측정망의 구축시 측정위치와 항목을 결정하는 방법을 연구하였다. 측정위치를 결정하기 위한 선정기준은 상수취수량과 고정오염원의 위치를 바탕으로 대상지역에 대한 거시적 후보지점을 선정한 뒤, 구체적인 지점은 오염물질 유하거리를 기준으로 단계적으로 결정한다. 측정항목은 유역의 오염특성과 수질오염사고 이력을 참고하되, 경제적인 측면을 고려하여 필수측정항목과 선택항목으로 나누어 위치별로 달리하는 방안을 제시하였다. 제안된 방법을 낙동강유역에 적용함으로써 측정망 구성과정을 예시하였다.

* 한국환경기술개발원
** 동국대학교 토목공학과

1. 서 론

하천 및 호소수의 수질관리는 수질 현황파악, 수문학적 특성 파악, 수질오염 심화요인의 규명, 정책적 관리방안의 모색, 실행가능한 대안의 수립 등의 단계를 거쳐 이루어진다. 이러한 단계 중에서 수질관리의 첫 단계인 수질 현황파악은 수자원의 보다 효율적인 이용에 필수적이다.

수질은 시간적·공간적으로 일정하지 않고, 연속적인 과정을 통해 변화한다. 이러한 수질에 대한 전반적인 경향을 분석하기 위해서는 연속적인 자료가 필요하다. 연속적이며 일관성 있는 수질측정결과를 확보하기 위해서는 고정된 위치에 인위적 측정오차를 줄일 수 있는 수질자동측정장치의 설치가 필요하며, 이를 통하여 효율적인 수자원의 수질관리 기반을 조성할 수 있다.

현재 우리 나라의 수질측정은 수동과 자동의 두 가지 방법으로 행해지고 있으며, 수질자동측정장치는 대부분 취수장 또는 정수장에 설치되어 있다. 수동측정의 경우 여러 기관에 의해 분산 운영되고, 측정지점 및 항목의 선정도 각 기관의 설치목적에 따라 이루어지고 있어, 취수원 및 오염원 관리를 위한 체계적인 수질자동측정망의 도입이 필요한 것으로 지적되고 있다.

본 연구는 하천 및 호소수 수질의 연속측정, 정보체계 구축을 통한 수질오염사고에의 신속 대처, 나아가 수역의 효율적인 총괄관리가 가능하도록 하기 위한 기본 구조로서의 수질자동측정망의 설계를 다루고 있다. 다음 절에서 외국의 사례와 측정망 설계의 일반사항을 살펴본 뒤, 여러 가지 설계인자 중에서 가장 핵심이 되는 측정위치와 항목을 중심으로 설계기준을 제시하였다. 끝으로 제안된 설계기준을 낙동강 유역을 대상으로 적용하여 수질자동측정망을 구성하였다.

2. 수질자동측정망의 개요

2.1 수질자동측정망의 개념

수질자동측정망은 수동에 의한 수질측정에 대립

되는 개념으로 ‘수질관측망’, ‘자동측정감시망’, ‘수질감시망’과 같은 용어와 혼용되고 있다. 오경두(1994)는 수질관측망의 목적은 대상 수체의 수질을 파악하여 적절한 수질관리의사결정을 내릴 수 있도록 하는 것으로, 자연상태의 물과 의사결정자를 연결하는 고리로 수질관측망을 정의하고 있다. 이같은 수질관측망시스템에서의 정보흐름도는 그림 1과 같다.

그림에서의 처음 세 구성요소는 자료생산, 나머지 3개의 구성요소는 정보생산부분으로 볼 수 있다. 자료 및 정보는 그림 2의 측정체계를 통해 전달된다 (이홍근, 1994).

수질자동측정망은 수질의 기계적인 측정뿐만 아니라 측정된 수질자료를 이용한 효율적인 수자원관리를 목적으로 하므로, 본 연구에서의 ‘수질자동측정망’ 개념은 광의의 개념으로 자료의 생산, 정보의 생산, 정보의 이용을 모두 포함하는 것으로 한다. 이러한 기능은 수질자동측정기기, 텔리미터링 시스템, 컴퓨터 등을 이용하여 자동으로 이루어지는 것을 원칙으로 하며, 각 측정소가 따로 존재하는 것이 아니라 중앙에서 하나의 망으로 연결되어 운영된다.

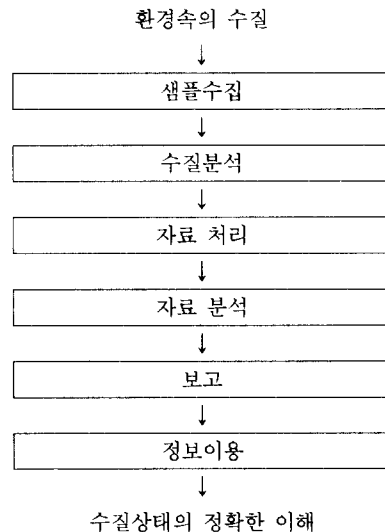


그림 1. 수질관측망시스템의 정보흐름도 (Ward 등, 1990)

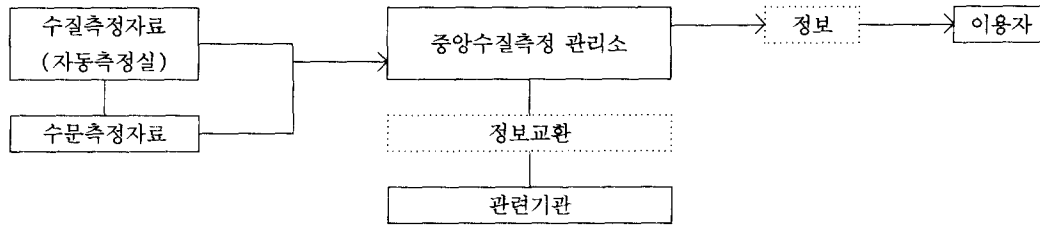


그림 2. 수질정보 측정체계

표 1. 유럽의 수질자동측정장치 설치장소 및 측정항목

| 설치장소 | | 측정항목 |
|------|--------|--|
| 독일 | 하천 | ○ NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , TOC/DOC |
| | 하수처리시설 | ○ NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , TOC/DOC |
| | 폐수배출시설 | ○ NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , TOC/DOC, CN, Phenols, Al, Cu, Fe |
| 영국 | 하천 | ○ Color, NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , Mn, Al, Fe, Cu, Zn |
| | 하수처리시설 | ○ NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , TOC/DOC |
| | 폐수배출시설 | ○ NH ₃ , NO ₃ , PO ₄ , TOC/DOC, CN, Phenols, Al, Cu, Fe |
| 프랑스 | 하천 | ○ 생물학적 독성, NH ₃ , NO ₃ , TOC, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr |
| | 폐수배출시설 | ○ HC, TOC, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr |

2.2 국내의 현황

수질자동측정망에 관한 국내의 설치 및 연구현황은 하천 및 호소수 수질측정망 설치 기본계획(1995)과 종합수질 자동측정시설 시범운영 결과보고서(1994)에 자세히 언급되어 있다. 유럽에서는 수질자동측정장치가 광범위하게 운영되고 있으며, 설치현황은 표 1과 같다. 한편, 체코공화국과 독일 사이에 있는 엘베강을 보호하기 위하여 두나라가 공동으로 International Committee for the Protection of the Elbe를 결성하여 DOC, UV absorbance, Ammonia, Nitrate, Phosphate, Chlorine, Total Hardness, pH, DO, 탁도, Toxicity, 온도를 측정하고 있다.

호주에서는 1990년 이후 NSW주에 있는 Tuggerah Lake에서 자동수질측정장치로 수질을 측정하고 통신위성을 통해 자료를 전송하고 있다. 측정항목인 수온, 대기압, 전기전도율, pH, 환원전위, 암모니아를 4-8시간 간격으로 수면, 중간수심, 바닥에서 측정하여 매일 칸버라 실험실로 전송하고 있다.

일본에서는 1986년 현재 152개의 지점에 수질 자동측정장치가 설치되어 있으며, 이러한 시설은 1991년말까지 168개 장소로 증가하였다(日本の水質保全対策の現状, 1993). 일본에 설치되어 자동측정되고 있는 수질항목은 17항목으로 총 설치 지점(152지점)에 대한 항목별 설치비율을 보면 수온, pH, 용존산소, 탁도, 전도율 및 COD 등 6개 항목이 50% 이상의 지점에 설치되어 있다.

표 2. 일본의 수질자동측정장치 (1986년 기준)

| 설치장소 | 설치지점수 | 설치율 (%) |
|------|-------|---------|
| 하천 | 128 | 84 |
| 호소 | 14 | 9 |
| 해역 | 10 | 7 |
| 계 | 152 | 100 |

우리나라는 현재 하천수, 호소수, 상수원수, 농업용수, 공단배수, 도시관류 측정망으로 구성된 총 1,379개의 수동수질측정망을 운영하고 있으며, 44개소의 수질자동측정기기는 대부분이 취수구 앞 또는 취수장에 설치되어 정수장으로 유입되는 취수원수의 수질을 감시할 목적으로 운영되고 있으나, 망

을 구성하여 연계운영되고 있지는 못한 실정이다. 또한, 측정항목도 25가지에 달해 외국에 비해 지나치게 많다. 이는 하천의 전반적인 수질 파악의 목적보다는 정수수질의 검사 목적이 많았고, 수질 오염사고 후 그에 대응하는 식으로 측정하기 시작한 항목이 많은 등의 요인에 기인하는 것으로 분석된다. 국내에서는 유일하게 울산시가 1994년 9월부터 수질자동측정망의 감시체계를 가동하여 42개의 업소(울산공단 26, 온산공단 16개소)에 191개의 측정기를 설치하여 COD, pH, 폐수량의 3가지 항목을 자동측정하고 있다.

3. 수질자동측정망의 설계

3.1 설치 계획

수질자동측정망 설치 계획을 수립함에 있어서 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다: ① 조사목적, ② 측정위치, ③ 측정항목, ④ 측정기기, ⑤ 측정계획, ⑥ 송수신체계, ⑦ 자료관리 및 활용. 이같은 고려사항들은 다시 비용-효율적인 측면에서 검토되어야 할 것이다. 그림 3은 수질측정망의 설계에서 앞서 위의 고려요소들을 포함한 수질측정망 체계 계획을 나타낸 것이다.

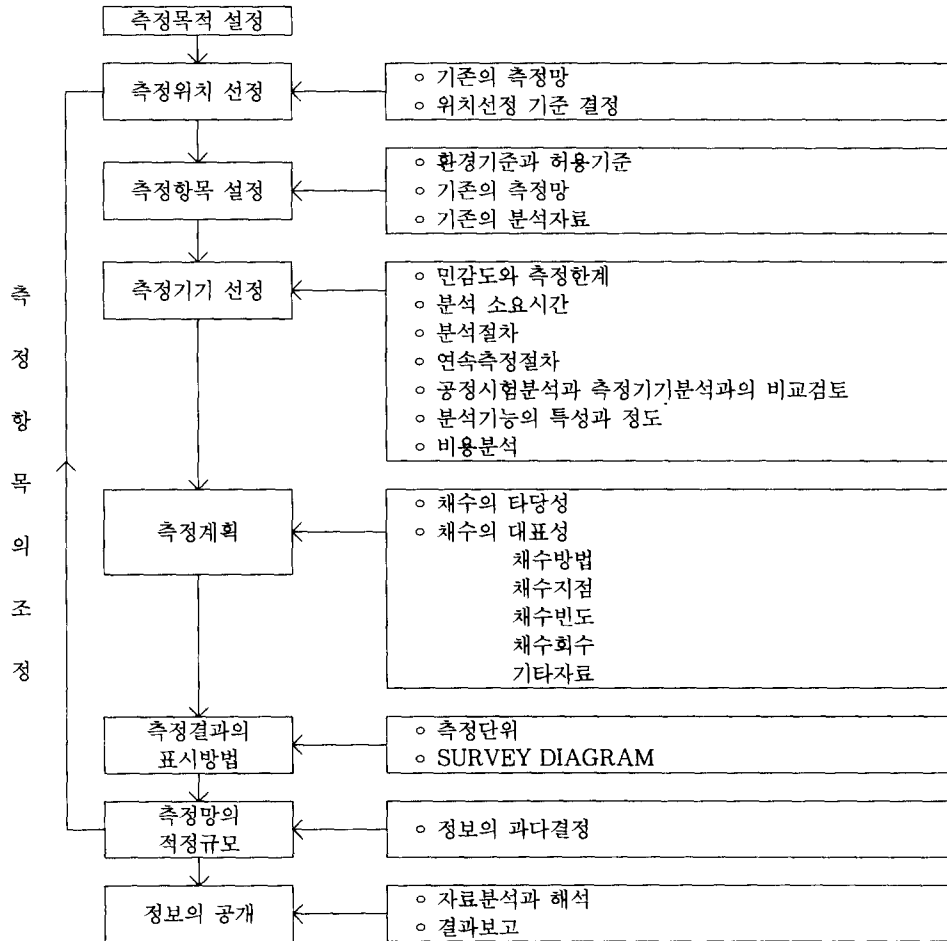


그림 3. 수질측정망 체계 계획 (이흥근, 1994; 일부 수정)

3.2 수질자동측정망의 목적

측정망 계획에서 가장 먼저 수행해야 할 일은 측정 목적을 설정하는 것이다. 수질자동측정망은 목적에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

(1) 수질에 변화를 가져오는 외부적 영향이나 장기적 경향의 파악을 위한 측정망

(2) 수질기준 위반의 검출을 위한 측정망

(3) 집중적 조사를 위한 측정망 (예, 수질모형 개발 및 검증)

(4) 지속적인 측정이 필요한 특정 목적을 위한 측정망 (예, 상수원수 감시)

본 연구에서의 수질자동측정망의 설치 목적은 “공공수역 특히 상수원구역의 수질오염 비상사태에 대비, 상시 수질감시기능 및 사전경보체계를 구축함”으로 설정하였고, 이는 위의 네번째 목적에 해당한다고 할 수 있다.

3.3 전체 시스템 설계

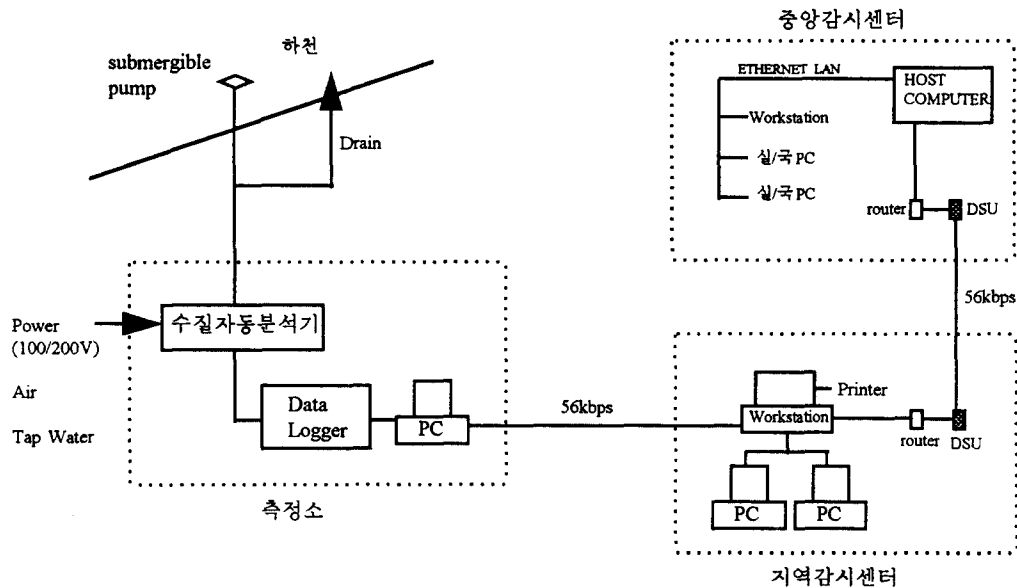


그림 4. 수질자동측정망의 구성도

그림 4는 수질자동측정망의 구성도이다. 공단·하천·호소에 측정소를 설치하고 적절한 위치에서 펌프로 취수한다. 측정소에는 기기의 가동, 전처리, 회석 등의 작업을 위해 전원, 압축공기, 상수도 등이 가설되어야 하며, 위치마다 상이한 측정항목 별로 수질자동분석기가 배열된다. 미리 세팅된 시간간격으로 분석된 데이터는 data logger에 기록되고 연결된 PC 및 주변기기를 활용하여 자동 출력, 자료 처리를 하도록 한다.

이렇게 현장 분석된 자료는 전용회선(56kbps)을 통하여 지역센터(예, 5대강 수질검사소)로 전송된다. 지역센터에는 Engineering workstation 급의 컴퓨터와 그에 접속된 PC들이 측정지점별 수질현황을 도시하고 자료처리 및 경보발동 등의 하천수질감시업무를 상시 수행한다. 각 지역센터는 중앙센터와 다시 연결되며, 중앙의 주컴퓨터는 전국의 수질상황을 일목요연하게 판단할 수 있도록 각종 DB를 구축하고, 환경정책을 수립하는 기초자료로 활용한다.

3.4 세부설계

3.4.1 위치 선정

하천의 수질오염측정망을 설계하는데 있어서 가장 중요한 결정사항 중의 하나는 전체 수계에 몇 개의 측정지점을 어디에 둘 것인가 하는 문제이다. 이는 공간적으로 수질측정값이 모집단으로서의 하천수 전체의 수질을 신뢰구간내에서 얼마나 잘 반영하는가 하는 기본적인 문제로 귀결되기 때문에 중요하다.

수질측정지점의 선정에 대한 이론적 연구는 측정망의 목적에 의하거나 혹은 확률적 샘플링에 의한 방법 등 다양하다 (Sharp, 1972; 남궁규철, 1992; 오경두, 1994). 그러나 이론적 방법론에 의해 측정지점의 장소가 거시적으로 결정되었다고 하더라도, 현장의 다양한 제약조건으로 인해 제안된 모든 지점에 측정기를 설치하기 어려운 경우가 있으며, 실제로 수질자동측정기가 위치하는 곳은 미시적으로 결정되지 않으면 안된다 (Smith와 Massdam, 1994).

앞절에서 언급한 바와 같이, 본 연구에서의 수질자동측정망 설치목적은 상수원수질감시와 비상사태에 대비한 경보 기능에 있으므로 위치선정도 이 목적에 맞추어 이루어져야 한다. 여기서는 실제적인 측면에서의 거시적 입지 선정기준을 제안하는 바, 두 가지 기준 즉, 1) 상수취수량과 2) 고정오염원 입지현황을 중심으로 대상지역을 선정하고, 아울러 기존에 수동으로 행하던 하천의 수질변화 감시를 자동으로 전환하여 자료를 축적한다는 의미에서 수질 대표지점을 추가로 고려한다. 대상지역 선정을 위한 기준은 다음과 같다.

(1) 하천의 선정기준

- 상수취수량이 많은 곳
- 폐수배출량이 많은 곳

(2) 상수취수원에 대한 선정기준

- 1일 취수량이 많은 곳 (1일 취수량이 10만톤 이상인 지점 대상)
- 상류에 공단과 같은 고정오염원이 많은 곳

(3) 공단에 대한 선정기준

- 폐수배출량이 많은 곳

(4) 하수처리장에 대한 선정기준

- 하수처리장의 배출량이 많은 곳

(5) 수질대표지점 선정기준

- 환경부 수질대표지점

이같은 기준에 의해 측정대상지역이 거시적으로 정해지면 미시적인 측정위치는 오염물질 유하거리 확보여부를 기준으로 다음과 같은 단계적 검토를 통하여 선정한다. 오염물질 유하거리는 오염물질의 검출후 오염물질이 취수장에 도달하기 전에 취수장 유입수를 차단할 수 있는 충분한 시간이 확보되는 거리로 정의되며 다음 식에 의해 결정된다.

$$\text{오염물질 유하거리} = \text{오염물질 도달시간} \times \text{유입수역의 최대유속}$$

오염물질 도달시간은 자동측정소요시간과 오염상황의 통보 및 유입수 차단시간에 의하여 결정 (총 약 3시간)되며, 유입수역의 최대유속은 측정에 의해 결정될 수 있다. 유입수역의 최대유속이 사용되는 이유는 최악의 경우(worst case scenario)에 대비하기 위한 것으로서, 최대유속에 의한 최대유하거리를 확보하는 것이 취수원의 안전거리 확보라는 차원에서 의미가 있기 때문이다.

1단계: 오염물질 유하거리가 확보되는 경우는 취수구로부터 상류방향으로 오염물질 유하거리 이상의 지점에 설치한다.

2단계: 오염물질 유하거리가 확보되지 않는 경우, 유입지천 및 공장폐수 유입지점이 있는 경우에는 본류수의 유입지천수 및 공장폐수가 완전히 혼합되는 수역의 지점으로 하고, 강변도로 및 교량이 존재하여 유동오염물질의 유입가능성이 있는 경우에는 인접도로 및 교량의 직하지점으로 선정한다.

3단계: 위의 두 경우에 해당되지 않는 부득이한 경우, 취수장의 취수지점을 선정한다.

3.4.2 측정항목의 선정

측정항목의 선정은 유역의 오염특성 및 이수현황 등을 고려한 후, 그 수역에서 특히 감시할 필요가 있어 연속측정이 요구되는 수질항목을 선별한 다음, 이들 항목에 대한 자동측정장치의 정량범위를 검토하여 결정한다. 따라서 본 연구에서는 측정항

목 선정기준을 다음과 같이 제시한다.

첫째, 측정위치 인근 혹은 상류에 존재하는 오염원의 종류를 고려한다. 예를 들어, 공단폐수의 수질을 측정할 경우 그 공단에서 검출될 가능성이 낮은 물질을 상시측정하는 것은 안전상의 입장에서는 좋으나, 비경제적일 수 있다. 따라서 공단의 업종에 따른 폐수의 질을 참고로 하여 공단에 많이 입주한 업체의 다량 배출가능 항목이나, 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 항목(발암 혹은 유독물질로 분류된 항목)을 수질측정항목으로 해야 할 것이다.

둘째, 각 하천의 과거 수질오염사고를 반영한다. 이는 과거 가장 빈번한 수질오염사고의 원인물질이 측정항목을 선정하는 데 도움을 주기 때문이다. 환경부에서는 매년 각 하천의 수질오염사고를 표 3과 같은 유형으로 분류하여 통계를 내고 있다. 이 자료는 측정지점에서 특히 유의하여 측정해야 할 항목을 선정하는데 참고가 될 수 있다. 그러나, 실제 설계시에는 유형뿐 아니라 사고위치, 시간, 오염물질 종류, 양, 원인 등이 동시에 고려되어야 할 것이다. 이러한 고려는 역으로 오염물질 탐지시에 그 원인을 역추적하는데 단서가 될 수도 있다.

셋째, 수질항목의 자동측정 가능여부와 측정기기의 측정범위가 현장상황에 부합되는지 고려되어야

한다. 우리나라의 수질측정항목(각종 수질기준)과 관련하여 현재 국내외에 설치되어 운영되고 있거나 개발제작되어 자동측정이 가능한 수질항목들을 살펴보면 표 4와 같다. 이외에도 수질기준에는 설정되어 있지 않지만 수질오염지표로서 널리 사용되고 있는 전기전도도, TOC 및 클로로필 a에 대한 자동측정장치도 설치운영중에 있으며, 휘발성 유기화합물질인 벤젠, 1, 1, 1-트리클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌 등도 GC법에 의해 연속적으로 자동측정할 수 있는 측정장치가 개발되어 있는 상태이다(Maitoza 등, 1989). 그러나 이들 휘발성 유기화합물질들은 무인 스테이션에서 자동취수.자동분석.데이터 로깅 등의 일련의 과정을 전자동화하는 데 기술적으로 용이하지 않고, 보안 및 유지관리의 문제점과 아울러 다른 장치에 비해 월등히 고가라는 제한이 있다.

4. 사례연구

본 절에서는 낙동강 유역을 대상으로 수질자동측정망을 구축함에 있어 앞절에서 제안된 기준에 의해 측정위치와 측정항목을 선정하는 과정을 예시한다. 5대강 수계중 낙동강은 오염에 대한 피해발생의 가능성이 특히 높다. 이는 중상류의 구미공단으

표 3. 일반적인 수질오염사고의 유형별 분류

| 대분류 | 세분류 |
|--------------------------|--|
| I형:유류유출 | <ul style="list-style-type: none"> • I-1형 : 유조차 전복 등에 의한 경우 • I-2형 : 공장 등의 기계고장, 관리부주의에 의한 경우 • I-3형 : 송유관 파열로 인한 경우 • I-4형 : 공사장장비 전복 등에 의한 경우 |
| II형:독극물 및 미량유기화학물질 유출 | <ul style="list-style-type: none"> • II-1형 : 화재진압시 발생한 경우 • II-2형 : 운반차량의 전복 등에 의한 경우 • II-3형 : 배출업소의 부적정 배출에 의한 경우 |
| III형:일시적 수환경 변화에 의한 수질오염 | <ul style="list-style-type: none"> • III-1형 : 수온상승 및 용존산소 부족 등 (물고기 폐사) • III-2형 : 암모니아성질소 농도 증가에 의한 경우 • III-3형 : 유기물질이 계절적.일시적 급상승하는 경우 • III-4형 : 조류번식에 의한 경우 |
| IV형:기타 수질오염 사고 | <ul style="list-style-type: none"> • IV-1형 : 비무장 지대에서의 수질오염 발생 • IV-2형 : 수돗물 오염발생 • IV-3형 : 기타요인 (원인불명 등) |

표 4. 각종 수질기준 및 자동측정 가능항목

| 번호 | 수질항목 | 음용수 수질기준 | 상수원수수질기준 | | 하천 수질기준 | 호소 수질기준 | 폐수배출 허용기준 | 자동측정가능 |
|----|----------------|----------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|--------|
| | | | 하천수 | 호소수 | | | | |
| 1 | 온도 | - | - | - | - | - | 40 | ○ |
| 2 | 탁도 | 2 | - | - | - | - | - | ○ |
| 3 | 색도 | 5 | - | - | - | - | 200-400 | - |
| 4 | 냄새, 맛 | 소독맛 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 증발잔류물 | 500 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 부유물질 | - | 25 | 15 | 25-100 | 1-15 | 0-120 | - |
| 7 | pH | 5.8-8.5 | 6.5-8.5 | 6.5-8.5 | 6.0-8.5 | 6.0-8.5 | 5.8-8.6 | ○ |
| 8 | 경도 | 300 | - | - | - | - | - | ○ |
| 9 | 염소이온 | 150 | - | - | - | - | - | ○ |
| 10 | 황산이온 | 200 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 불소 | 1 | - | - | - | - | 3-15 | ○ |
| 12 | 암모니아성질소 | 0.5 | - | - | - | - | - | ○ |
| 13 | 질산성질소 | 10 | - | - | - | - | - | ○ |
| 14 | 총질소 | - | - | 0.2-0.6 | - | 0.2-1.5 | 30-60 | ○ |
| 15 | 총인 | - | - | 0.01-0.05 | - | 0.01-0.15 | 4-8 | ○ |
| 16 | DO | - | 5-7.5 | 5.5-7.5 | 2-7.7 | 2-7.5 | - | ○ |
| 17 | BOD | - | 1-6 | - | 1-10 | - | 30-120 | ○ |
| 18 | COD | - | - | 1-6 | - | 1-10 | 40-130 | ○ |
| 19 | 과망간산칼륨소비량 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 광유류 | - | - | - | - | - | 1-5 | - |
| 21 | 동식물유지류 | - | - | - | - | - | 5-30 | - |
| 22 | 음이온계면활성제 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | - | - |
| 23 | PCB | - | ND | ND | ND | ND | ND-0.03 | - |
| 24 | 유기인 | - | ND | ND | ND | ND | 0.2-1 | - |
| 25 | 페놀류 | 0.05 | - | - | - | - | 1-5 | ○ |
| 26 | 총트리할로메탄 | 0.1 | - | - | - | - | - | - |
| 27 | 다이아지논 | 0.02 | - | - | - | - | - | - |
| 28 | 파라티온 | 0.06 | - | - | - | - | - | - |
| 29 | 말라티온 | 0.25 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 페니트로티온 | 0.04 | - | - | - | - | - | - |
| 31 | 카바틸 | 0.07 | - | - | - | - | - | - |
| 32 | 1,1,1-트리클로로에틸렌 | 0.10 | - | - | - | - | - | ○ |
| 33 | 트리클로로에틸렌 | 0.01 | - | - | - | - | 0.06-0.3 | ○ |
| 34 | 테트라클로로에틸렌 | 0.03 | - | - | - | - | 0.02-0.1 | ○ |
| 35 | 구리 | 1 | - | - | - | - | 0.5-3 | ○ |
| 36 | 아연 | 1 | - | - | - | - | 1-5 | ○ |
| 37 | 철 | 0.3 | - | - | - | - | 2-10 | ○ |
| 38 | 망간 | 0.3 | - | - | - | - | 2-10 | ○ |
| 39 | 카드뮴 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02-0.1 | ○ |
| 40 | 납 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2-1 | ○ |
| 41 | 6가크롬 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1-0.5 | ○ |
| 42 | 총크롬 | - | - | - | - | - | 0.5-2 | ○ |
| 43 | 비소 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1-0.5 | ○ |
| 44 | 수은 | ND | ND | ND | ND | ND | ND-0.005 | ○ |
| 45 | 시안 | ND | ND | ND | ND | ND | 0.2-1 | ○ |
| 46 | 세레늄 | 0.01 | - | - | - | - | - | - |
| 47 | 일반세균 | 100ea/ml | - | - | - | - | - | - |
| 48 | 대장균수 | ND/50ml | 50-5000 | 50-5000 | 50-5000 | 50-5000 | 100-3000 | - |
| 총 | 항목수 | 36 | 14 | 16 | 14 | 16 | 28 | |

자료: 종합 수질 자동측정시설 시험운영 결과보고서, 1994; 일부 수정.

로부터 하류의 양산공단에 이르기까지 곳곳에 대규모 공단이 산재하여 있고, 금호강 하류의 대구 3,4 공단, 대구 염색공단을 비롯한 많은 공단으로부터의 폐수의 유입에도 불구하고 하천유지용수는 거의 안동댐 방류수에 의존하고 있기 때문이다. 또한 이 지역은 상수를 주로 하천 표층수에 의존하고 있어 상수원 수질의 연속적인 감시가 필요하다는 점에서 본 연구의 목적과도 부합된다.

4.1 측정위치

앞절에서 제안된 절차에 따라 유역 전체에 걸쳐 대규모 취수 및 하폐수처리 시설을 대상으로 후보 지점을 거시적으로 결정한다. 표 5는 1일 취수량이 10만톤 이상인 상수취수원을, 그리고 표 6은 1일 처리능력 만톤 이상인 공단 폐수종말처리장 및 1일 처리능력 10만톤 이상의 하수처리장을 나타내

고 있다. 이중 방류수역이 하천인 경우만을 대상으로 하므로 마산 소재 하수종말처리 시설은 제외된다.

이들 설치대상지점 중에서 구체적인 측정위치의 결정은 현장여건과 오염물질 유하거리에 근거한 단계적 판단에 의한다. 실제로 공단지역은 기술적으로 측정소를 설치하기 힘든 곳이 많다. 예를 들면, 방류수역의 유량이 적어 샘플링시 하천바닥의 슬러지가 채취될 가능성이 있으며, 동절기에 하천의 동결 가능성이 높고, 제방주변에 적절한 공간확보가 어려운 경우가 많아 이러한 지점은 제외된다(양산공단). 이러한 경우는 수동측정 등의 방법으로 보완해야 할 것이다. 또한 본 연구에서 설정한 주목적이 상수원수수질 감시인 점을 감안할 때 상당수 지점이 적합하지 않거나, 우선순위에서 제외되었다(예로, 수영과 장림 하류에는 취수지역이 없어 제외). 그러나 수계에서 하류의 상수취수지점에 중대한 영향을 미칠 것으로 판단되는 공단지점은 수질

표 5. 대형 취수장 (취수량: 1일 10만톤 이상)

| | 수 계 | 도 시 | 정 수 장 | 취수량(톤/일) | 수질자동측정기 설치여부 |
|-------|----------------|----------|------------------|--------------------|--------------|
| 하 천 | 낙동강 | 계 | | 3,185,000 | |
| | | 부 산 | 덕 산 | 1,055,000 | ○ |
| | | | 화 명 | 600,000 | ○ |
| | | | 명 장 | 220,000 | ○ |
| | | 대 구 | 낙동강 제1 낙동강 제2 | 310,000 800,000 | ○ |
| 마 산 | 칠 서 | 200,000 | | | |
| 호 소 | 호 수 | 공급도시 | 정 수 장 | 취수량(톤/일) | |
| | 회동저수지 | 계 | | 117,000 | ○ |
| | | 부 산 | 명장 오륜동 | 57,000 60,000 | |
| | 회야댐 | 경남울산 | 회야 | 120,000 | |
| | 남강댐 | 계 | | 161,000 | ○ |
| 경남 진주 | | 진양호 1 | 60,000 | | |
| 경남 진주 | | 진양호 2 | 90,000 | | |
| | 경남 삼천포 | 용강 | 11,000 | | |
| 광역상수도 | 취수원 | 급수도시 | 정 수 장 | 취수량(톤/일) | 사업기간 |
| | 낙동강(구미) | 계 | | 350,000 | |
| | | 구미시, 칠곡군 | 구 미 | 150,000 | '79-'82 |
| | | | 동 5개 시군 | | 200,000 |
| 금호강 | 대구, 영천 등 6개 시군 | | 370,000 | '85-'95 | |

자동측정망의 설치지점에 포함시켰다. 공단지역 이외의 경우 주요지점, 즉 상수원수의 취수가 이루어 지거나 대량의 폐수가 유입되는 곳 등을 중심으로 대표적인 지점만을 선정하고(달성), 기존에 가동되고 있는 시설을 연계하여 측정망을 구축하였다. 이같은 배경하에 선정된 측정망 설치 추천 지역은 표 7과 같다.

그림 5는 낙동강수계에 추천된 수질자동측정지점을 보여주고 있다.

4.2 측정항목

경제적·기술적 제약 때문에 모든 수질 항목을 측정항목으로 선택하는 것은 불가능하며, 측정목적과 하천의 특성에 따라 다르게 선택해야함은 전술한 바와 같다. 따라서 본 연구에서는 측정항목을 수계의 전반적인 수환경 변화를 감시하기 위한 필수항목과 국지적 특성을 감안한 선택항목으로 나누었다.

필수항목은 수온, pH, 탁도, 전도도, DO, COD의 6개 항목으로 추천된 전지점에서 측정한다. 한편, 선택항목의 결정을 위해서는 앞서 설명한 바와 같이 지역의 수질현황, 방류수 특성, 수질오염사고이력 등을 참고하여야 한다. 표 8에서 보는 바와 같이 1994년 한해동안 낙동강 수계에서는 총44건의 수질오염사고가 발생했으며, 이중에서 특히 유류유출사고가 52.3%로 가장 많으며, 인체에 치명

상을 미칠 수 있는 독극물 유출(미량유기화학물질 포함)이 22.7%, 수환경변화에 의한 사고는 13.6%를 차지했다.

이 같은 분석에 근거하여 선택항목을 다시 공단 및 비공단지역으로 구분하였고 공단지역에서는 중금속과 미량유기화학물질을, 그리고 비공단지역에서는 암모니아성 질소를 포함시켰다(표 9).

5. 요약 및 결론

시공간적으로 변화하는 하천 및 호소에서의 수환경을 관리함에 있어 자동측정망을 통한 연속적인 수질의 측정은 수계 전반에 걸친 상황 파악에 도움을 줄 뿐아니라, 돌발사고에 대처할 수 있는 예경보체계의 기반이 된다. 수질자동측정망의 구축은 위치 및 측정항목의 선정, 측정기기의 설치 및 통합, 송수신체계의 확립, 데이터의 DB화 및 처리, 유지관리 등이 포함된 종합적인 시스템 구축과제이다. 특히 측정위치와 항목은 측정망의 효율성을 가름하는 가장 중요한 설계인자이며, 이들의 결정은 이론적이기보다는 지역적 특수성을 고려하여야 하는 매우 실제적인 과정이다.

본 논문에서는 하천 및 호소에서의 수질자동측정망을 설계함에 있어서 적절한 측정위치와 측정항목을 선정하는 기준을 제시하였다. 즉, 설치목적이 상수원수수질감시와 비상사태에 대비한 경보의 기능에 있음을 전제로 측정위치 대상별 선정기준을

표 6. 대형 공단폐수 및 하수종말처리시설

| | 처리장명 | 시설용량(천톤/일) |
|------|---------|------------|
| 공단 | 진주공단 | 30 |
| 폐수종말 | 대구남천 | 37 |
| 처리시설 | 양산공단 | 20 |
| 하수종말 | 수영(부산) | 286 |
| | 장림(부산) | 330 |
| | 달서천(대구) | 250 |
| | 신천(대구) | 350 |
| | 구미 | 135 |
| | 마산* | 250 |
| 처리시설 | 진주 | 110 |

* 방류수역: 남해

표 7. 낙동강수계 자동측정망 설치 추천지역

| | 신규 | 기존시설 |
|------|----------------------|-------|
| 달성 | 고령교 | 낙동강계2 |
| 철서 | 경남 함안군 철서면 계내리 373 | 매리 |
| 금호강 | 대구시 서구(강창교) | 화명 |
| 성서공단 | 대명천과 진천천 합류 지점 | 명장 |
| 구미공단 | 경북 구미시 임수동(종합처리장방류구) | 진양호 |
| 진주공단 | 경남 진주시 상평동(상평공단) | |

표 8. 1994년 수질오염사고의 유형별 분류

| 사고유형 | 계 | 유류유출 | 독극물유출 | 수환경변화 | 기 타 |
|------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 수계 | | | | | |
| 낙동강 | 44 (100%) | 23 (52.3%) | 10 (22.7%) | 6 (13.6%) | 5 (11.4%) |

표 9. 측정항목

| 필수항목 | | 측정항목 | 대상지역 |
|------|--------|---|------------------|
| 선택 | 공단 지역 | T-N, T-P, Cd, Pb, As, Hg, Cr ⁺⁶ , CN, 페놀, HC*, VOC | 구미공단, 성서공단, 진주공단 |
| 항목 | 비공단 지역 | T-N, T-P, HC, NH ₃ -N | 달성, 금호강, 칠서 |

* HC는 유류 유출 및 운송사고 다발 지역에 설치

설정하고, 세부위치는 3시간에 상당하는 오염물질 유하거리를 기준으로 단계적 검토를 거쳐 선정하도록 하였다. 또한, 기존의 정수장에 도입된 측정시설은 비록 설치목적이나 위치가 측정망 구축에 완전히 부합되지 않더라도 경제적 측면을 고려하여 측정망에 포함키는 것이 바람직하다. 측정항목의 선정은 유역의 오염특성, 이수현황, 수질오염사고 이력 및 자동측정 가능 여부 등을 고려하여 이루어져야 한다. 측정항목은 필수항목과 선택항목으로 나누어 제안하였는 바, 위치에 따라 적절히 선택하는 것은 지역적 특수성을 고려한 자료의 면밀한 검토와 공학적 판단이 요구된다.

설계기준을 낙동강수계에 적용한 결과, 기존시설 5개소에 신규로 6개지점(하천 3개소, 공단 6개소)을 추가하는 것이 바람직한 것으로 나타났고 그 세부위치를 추천하였다. 이 숫자는 수계 전반의 수질관리를 위한 최소한의 측정지점을 의미한다. 측정항목에 관하여는 필수항목 6가지(수온, pH, 탁도, 전도도, DO, COD)는 모든 지점에서 측정하는 것이 바람직하다. 선택항목은 다시 공단지역에서는 T-N, T-P, Cd, Pb, As, Hg, Cr⁺⁶, CN, 페놀, HC, VOC 중에서, 그리고 비공단지역에서는 T-N, T-P, HC, NH₃-N 중에서 선택적으로 결정할 수 있을 것으로 나타났다.

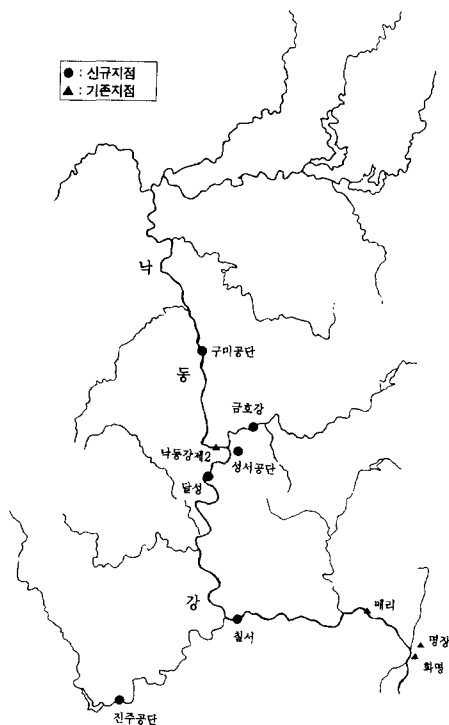


그림 5. 낙동강수계 수질자동측정망도

감사의 글

이 연구를 위한 자료수집과 정리에 큰 도움을 준 원도윤씨께 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 남궁규철 (1992). “우리나라 수질오염 측정망의 문제점 및 개선방안에 관한 연구,” 석사학위 논문, 서울대학교 환경대학원.
- 오경두 (1994). “하천 수질관측망 최적설계 기법개발.” 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부.
- 종합수질 자동측정시설 시범운영 결과보고서. (1994). 호소수질연구소.
- 하천 및 호소수 수질자동측정망 설치 기본계획. (1995). 환경부.
- 이흥근 (1994). “수질자동측정망의 효과적 계획과 운영방안.” 수질자동측정망의 구성 및 효과적 운영관리 방안, 환경처, pp. 5-29.

- 日本の水質保全対策の現状. (1993). 環境處水質保全局.
- Maitoza, P., Valade, J.A., and Madigan, W.T. (1989). “Continuous monitoring of volatile hydrocarbons in water at the ppb level with sparger and process chromatograph.” *American Laboratory*, pp. 33-36.
- Sharp, W.E. (1972). “A topologically optimum water sampling plan for the Edisto river, North Carolina.” *WMO No. 324, Casebook on hydrological network design practice*, World Meteorological Organization.
- Smith, D.G., and Massdam, R. (1994). “New Zealand’s National River water quality network: 1. Design and physico-chemical characterisation.” *New Zealand J. Mar. Freshwar. Res.*, Vol. 28, No. 1., pp. 19-25.
- Ward, R.C., Loftis, J.C., and McBride, G.B. (1990). *Design of water quality monitoring systems*, Van Nostrand Reinhold.
- (접수: 1995년 8월 22일)