

## 수질자동측정망 자료의 항목별 이상치 비교 분석

임병진 · 홍은영 · 연인성<sup>†</sup>

국립환경과학원

### Comparative Analysis on the Outlier Data of Each Parameter in Automatic Water Quality Monitoring Networks

Byungjin Lim · Eunyoung Hong · Insung Yeon<sup>†</sup>

National Institute of Environmental Research

(Received 4 May 2010, Revised 21 June 2010, Accepted 21 June 2010)

#### Abstract

Along the 4 major rivers in Korea, there are automatic water quality monitoring (AWQM) stations to immediately respond to any pollution incident. Real-time data (temperature, DO, pH, EC and TOC) collected at each station were statistically treated to exclude outliers and keep valid data using Dixon's test and Discordance test. These applied methods were compared in terms of the number of the outliers sorted out. There was no significant difference between these methods. On the other hand, more outliers were sorted out from EC and TOC data, comparing with other water quality items. EC data did not show partly any variation for a long time at H station. If measured signal does not exceed  $\pm 0.001$  mS/cm from the sectional mean, the signal should be treated as normal data. Therefore, another routine was added to the data screening system, some data which were removed as outlier were restored.

**keywords** : Automatic water quality monitoring, Discordance test, Dixon's test, Outlier

## 1. 서론

장기적인 수생태 및 하천 관리를 위해서는 지속적인 수질 모니터링이 요구되며, 수질오염사고 예방 및 상수원 관리를 위해서는 연속적이고 실시간적인 모니터링이 필수적이라 할 수 있다. 실시간적 수질모니터링 및 정보 제공에 관한 국외 사례는 여러 곳에서 찾아볼 수 있다.

미국 Environment Protection Agency (EPA)의 Environmental Monitoring for Public Access and Community Tracking (EMPACT) 프로젝트는 준실시간으로 환경정보를 제공하는 것을 목적으로 1996년에 시작된 바 있으며(EPA, 1998), National Water Information System (NWIS)는 지표수, 지하수, 수질 등 분야별 측정 자료 및 실시간 수질 자료를 제공하고 있다. 또한 노스캐롤라이나 주립대학 응용수생태학센터에서는 7개의 측정소를 두고 자동수질모니터링시스템을 통해 유해조류의 번성 등 지역 환경문제를 연구, 관리, 교육하는데 필요한 데이터를 축적하고 있다. Real-Time Remote Monitoring (RTRM) 시스템은 뉴스강의 생물, 물리, 화학적 변수를 Geographic Information System (GIS) 데이터로 통합해서 수질자료를 실시간으로 이용할 수 있도록 제공하고 있다(국립환경과학원, 2007). 수질감시

를 위해서 이와 유사한 원격 모니터링에 관한 연구들(Glasgow et al., 2004; Oron and Gitelson, 1996; Springer et al., 2005)과 생물학적 모니터링에 대한 연구(Ma et al., 2010)는 지속되고 있다.

국내에서도 수질오염사고를 사전에 예방하고 적극적으로 물관리를 하기 위해 전국 4대강 수계 하천 및 호소에 수질 자동측정망을 설치·운영하여 실시간으로 자료를 분석하여 감시하고 있다. 실시간으로 측정되는 자료들에는 시약 교체 및 점검 외에도 기기 오작동 등으로 인해 현장 여건상 이상치가 포함될 수 있다(임병진 등, 2009a). 수질자동측정망에 의한 수질자료의 유용성은 자료의 불확실성(uncertainty)에 관련된다. 자료의 불확실성은 대표적인 관측값들이 실제적인 특성과 얼마나 잘 합치하느냐에 대한 의심의 상태로 정의된다(조용모와 오정우, 1997). 자동측정 자료의 품질개선을 위해서 연속측정 자료에 대한 처리방법이 요구되고 있으며, 전문가에 의한 처리와 유사한 결과를 얻을 수 있다면 기록되는 다량의 자료는 보다 효과적으로 활용될 수 있다. 최근 들어 수질 자동측정 및 자료의 처리에 관하여 연구들(원선정 등, 2003; 임병진 등, 2009b)이 진행된 바 있다.

전문가에 의한 이상치 선별 방법은 정확성이 높으나, 실시간으로 측정되고 있는 수질자동측정 자료를 처리하기 위해서는 많은 인력과 시간을 필요로 한다. 통계적 방법을 통해 이상치를 처리한다면, 편리하고 빠르게 선별할 수 있

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
isyoon@korea.kr

다. 이번 연구는 전문가에 의한 이상치 선별결과와 비슷한 결과를 얻을 수 있는 통계적 방법을 찾는 데 목적이 있다. 통계적 방법을 이용한 결과가 전문가에 의한 결과와 차이가 크면 사용에 어려움이 있다. U.S. EPA (2006)의 통계적 이상치 처리 방법인 Dixon's 및 Discordance test가 전문가에 의한 처리 결과와 어느 정도 일치하는지를 확인하기 위해 이상치 선별 결과를 비교·분석하였다. 통계적 방법으로부터 이상치로 판별된 자료 중에는 유효함에도 불구하고 이상치 처리방법에 의해서 간혹 제거되는 경우가 있다. 따라서 이상치로 처리된 유효 자료의 복원 방법에 대해서도 검토하고자 한다.

## 2. 연구방법

한강수계 G 측정소와 금강수계 H 측정소의 2008년 수질 자동측정 자료(수온, pH, EC, DO, TOC)를 대상으로 5분 자료에서 시간자료로 변환되는 1, 2차 선별과정을 분석하였다. 5분단위 자료 중 비정상 자료의 선별을 위한 1차 과정은 수집상황별 상태코드, 측정기기 물리적 측정범위 및 검출한계 등을 통해 이루어졌다. 상태코드는 측정시스템 오류, 가동중지, 통신오류 등 기기 오작동의 전반적인 상태를 나타내는 것이다. 측정기기의 물리적 측정범위는 측정기기가 가지고 있는 측정값의 범위이며, 검출한계 분석은 기기의 검출한계를 파악하여 설정하였다.

시간당 수집되는 5분 자료는 12개 중 정상치가 7개 이상인 경우에 시간평균자료로 생성되며, 정상치가 7개 미만인 경우는 시간평균 비유효치로 판정된다. 2차선별 과정에서는 생성된 시간평균 유효자료를 대상으로 통계기법을 통해서 이상치를 처리하였으며, 통계적으로 자동 처리된 자료를 전문가에 의한 수동선별 결과와 비교·분석하였다.

2차선별 과정에서 사용된 통계기법은 현재 U.S. EPA (2006)에서 가장 널리 사용하고 있는 수질측정 자료 이상

치 선별기법 중 자동측정망 실시간 자료처리에 적합한 Dixon's 및 Discordance test를 이용하였다.

Dixon's test와 Discordance test는 이상치를 제외한 자료들이 정규분포를 갖는다고 가정하며, 정규분포상태를 확인하기 위해서 표준편차에 표본의 범위를 비교하는 방법이 사용되었다. 정규분포를 가지는 자료의 경우 이상치 판별이 보다 정확하게 적용될 수 있으며, 정규분포를 이루지 않는 경우에는 이상치의 범위를 감소시키기 위해 통계적인 방법 외에 허용오차(오차율)를 적용하였다. 현장에서 연속으로 측정된 수질자료는 일반적으로 동일한 측정값이 장시간 지속되는 것이 불가능하며(국립환경과학원, 2008), 특히 정상적으로 생산되는 측정값들이 미미한 수질변화로 인해 이상치로 판별되어질 경우, 기존의 자료를 통해서 얻어진 허용범위 이내일 때에는 오차율이 적용되어 정상치로 인정되도록 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 이상치 처리 결과

2008년 1월부터 12월까지 G 측정소의 5분자료(①)는 이론적 개수인 105,408개 중 총 104,672개가 생성되었다. G 측정소에서 수집된 5분 자료는 측정기기 점검 및 교정 등의 원인(③)으로 수온, EC, DO 세 항목은 각각 6,195개씩, pH는 6,252개, TOC는 8,229개가 비정상 자료로 선별되었다. 선별된 TOC 비정상 자료의 개수가 다른 항목에 비해 이상치 선별이 많은 이유는 매일 자동교정을 하기 때문이다. 검출범위 분석을 추가로 적용한 결과, 비정상 자료로 선별된 5분 자료의 합계(⑤)는 수온이 6,195개, pH는 6,252개, EC는 6,385개, DO는 6,195개, TOC는 8,290개로 나타났다(Table 1).

G 측정소의 각 항목에 대한 시간평균자료는 이론적 개수인 8,784개(24시간×366일) 중 수온과 DO는 8,180개, pH는

Table 1. The number of first and second sorting data at G station

Screening stage		Parameters					
		Temperature	pH	EC	DO	TOC	
First	① Obtained 5min data (Total 105,408 data)	104,672	104,672	104,672	104,672	104,672	
	② Sorting 5min data (Normal data)	98,477	98,420	98,287	98,477	96,382	
	Abnormal data	③ State code	6,195	6,252	6,195	6,195	8,229
		④ Detection range	0	0	190	0	61
		⑤ Total (Rate)	6,195 (5.92 %)	6,252 (5.97 %)	6,385 (6.10 %)	6,195 (5.92 %)	8,290 (7.92 %)
Second	⑥ Total hourly data	8,784	8,784	8,784	8,784	8,784	
	⑦ Unavailable data	604	609	619	604	786	
	⑧ Sorting hourly data	8,180	8,175	8,165	8,180	7,998	
	⑨ Outlier using fluctuation rate	17	0	1	0	97	
	Discordance test	⑩ Sorting data	8,023	8,092	8,025	8,122	7,757
		⑪ Outlier (Rate)	140 (1.59 %)	83 (0.94 %)	139 (1.58 %)	58 (0.66 %)	144 (1.64 %)
	Dixon's test	⑫ Sorting data	8,064	8,106	8,059	8,136	7,777
		⑬ Outlier (Rate)	99 (1.13 %)	69 (0.79 %)	105 (1.20 %)	44 (0.50 %)	124 (1.41 %)

\* Process of data treatment : ③+④=⑤, ①-⑤=②, ⑥-⑦=⑧, (⑧-⑨)-⑩=⑪, (⑧-⑨)-⑬=⑫

8,175개, EC는 8,165개, TOC는 7,998개가 유효치(⑧)로 생성되었다. 생성된 시간평균자료는 통계적 선별 방법을 적용하기 이전에 변동률 분석(⑨)을 수행하며, 변동률 분석은 이전 6개의 유효자료에 대하여 100%의 오차범위를 적용하였다. 변동률 분석을 마친 유효시간평균 자료에 대하여 Discordance test, Dixon's test로 이상치가 선별되었다. Discordance test에 의해 수온은 140개, pH는 83개, EC는 139개, DO는 58개, TOC는 144개가 이상치(⑩)로, Dixon's test로는 수온 99개, pH는 69개, EC는 105개, DO는 44개, TOC는 124개가 이상치(⑬)로 선별되었다(Table 1).

G 측정소의 2008년 1월 측정 자료 중 DO의 선별 단계별 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 a는 1년간 측정 자료에 대한 이상치 선별 절차를 나타낸 것이고, Fig. 1의 b는 1년 자료중 1월의 측정 자료만을 확대해서 보여준 것이다. 선별 1차(first screening)는 5분 원본자료에 대해 상태코드 및 검출한계 분석 등을 수행한 결과이며, 시간평균 자료(hourly data) 생성 그림은 선별 1차가 끝난 자료를 시

간자료로 생성한 것이다. 선별 2차(second screening)는 변동률 분석 및 Dixon's test로 이상치를 선별한 결과이다. 급격하게 상승하거나 하락한 이상치들은 선별 1차에서 선별되지 않을 경우에 선별 2차에서 선별됨을 알 수 있다.

2008년 1월부터 12월까지 H 측정소의 5분자료(①)는 이론적 개수인 105,408개 중 총 105,390개가 생성되었다. 생성된 5분자료의 상태코드 분석(③)을 수행한 결과, 수온, EC, DO 세 항목은 각각 2,988개씩, pH는 2,990개, TOC는 5,027개가 비정상 자료로 선별되었다. 측정기기의 검출범위 분석(④)을 적용한 결과, 수온, pH, DO는 비정상 자료가 없었고, EC는 219개, TOC는 335개가 비정상 자료로 선별되었다. 선별된 비정상 자료의 합계(⑤)는 수온 2,988개, pH 2,990개, EC 3,207개, DO 2,988개, TOC 5,362개로 집계되었으며, H 지점에서 다른 항목에 비하여 TOC의 자동 교정이 자주 이루어지는 것으로 나타났다(Table 2).

H 측정소의 각 항목에 대한 시간평균자료는 이론적 개수인 8,784개 중 수온, pH와 DO는 8,539개, EC는 8,522개,

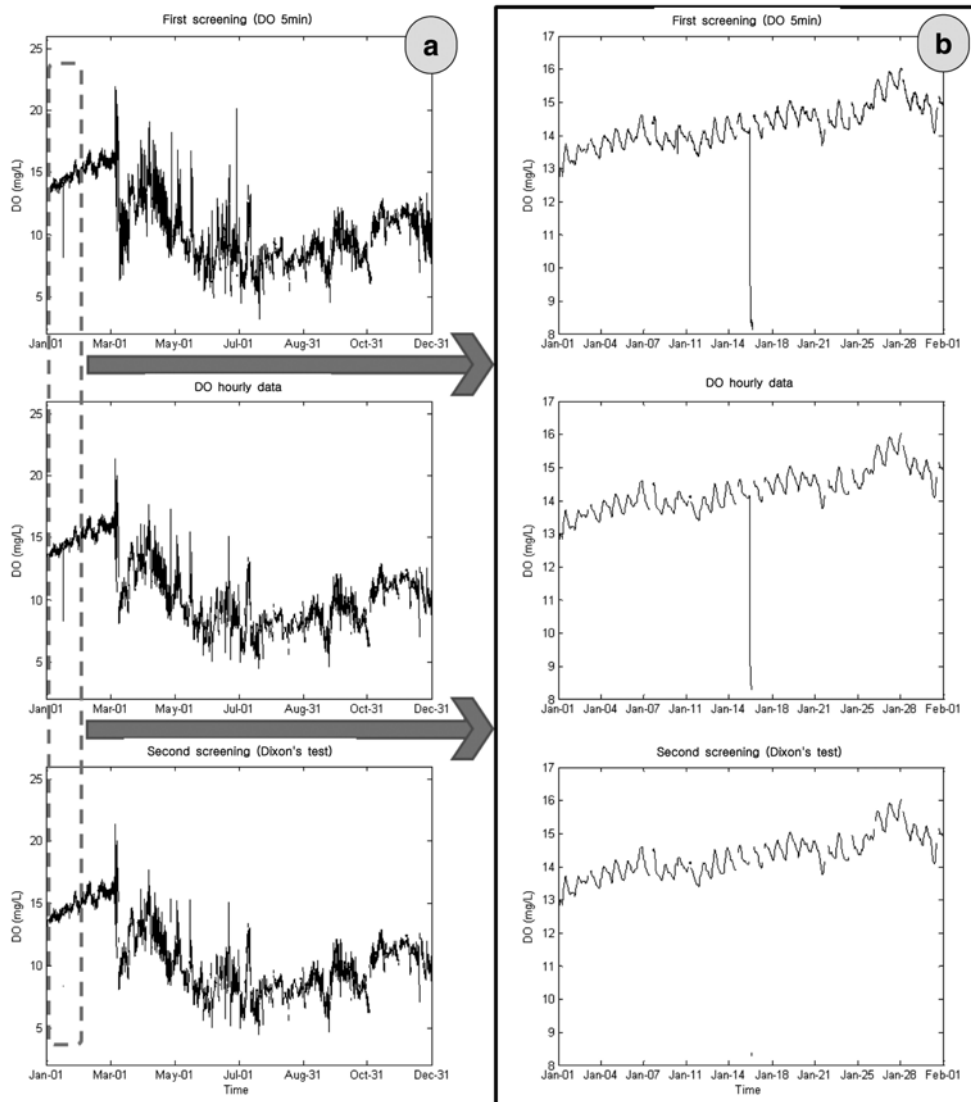


Fig. 1. First and second screening procedures at G station in 2008 (DO) (a : Jan.-Dec., b : Jan.)

Table 2. The number of first and second sorting data at H station

Screening stage		Parameters	Temperature	pH	EC	DO	TOC
First	① Obtained 5min data (Total 105,408 data)		105,390	105,390	105,390	105,390	105,390
	② Sorting 5min data (Normal data)		102,402	102,400	102,183	102,402	100,028
	Abnormal data	③ State code	2,988	2,990	2,988	2,988	5,027
		④ Detection range	0	0	219	0	335
		⑤ Total (Rate)	2,988 (2.84 %)	2,990 (2.84 %)	3,207 (3.04 %)	2,988 (2.84 %)	5,362 (5.09 %)
Second	⑥ Total hourly data		8,784	8,784	8,784	8,784	8,784
	⑦ Unavailable data		245	245	262	245	402
	⑧ Sorting hourly data		8,539	8,539	8,522	8,539	8,382
	⑨ Outlier using fluctuation rate		0	0	9	4	28
	Discordance test	⑩ Sorting data	8,470	8,488	8,229	8,482	8,240
		⑪ Outlier (Rate)	69 (0.79 %)	51 (0.58 %)	284 (3.23 %)	53 (0.60 %)	114 (1.30 %)
	Dixon's test	⑫ Sorting data	8,502	8,502	8,250	8,504	8,247
		⑬ Outlier (Rate)	37 (0.42 %)	37 (0.42 %)	263 (2.99 %)	31 (0.35 %)	107 (1.22 %)

\* ③+④=⑤, ①-⑤=②, ⑥-⑦=⑧, (⑧-⑨)-⑩=⑩, (⑧-⑨)-⑬=⑬

TOC는 8,382개가 유효치(⑧)로 생성되었다. 변동률 분석(⑨)에서 EC는 9개, DO는 4개, TOC는 28개가 이상치로 선별되었다. 변동률 분석을 마친 유효시간평균 자료에 대하여 Discordance test, Dixon's test로 이상치를 선별하였다. Discordance test에 의해 수온은 69개, pH는 51개, EC는 284개, DO는 53개, TOC는 114개가 이상치(⑪)로 선별되었고, Dixon's test에 의해서는 수온과 pH가 각각 37개씩, EC는 263개, DO는 31개, TOC는 107개가 이상치(⑬)로 선별되었다(Table 2). Discordance test가 Dixon's test보다 더 높은 이상치 선별률을 나타내었다. H 측정소의 2008년 2월 측정 자료 중 TOC의 선별 단계별 결과를 Fig. 2에 나타내었다. G 측정소에서도 같이 급격하게 상승하거나 하락한 이상치들은 선별 1차에서 선별되지 않을 경우에 선별 2차에서 선별됨을 알 수 있다.

이상에서 G 측정소와 H 측정소를 중심으로 이상치가 선별되는 과정을 살펴보았다. G 측정소의 이상치 선별 비율을 보면 선별 1차에서 수온과 DO가 각각 5.92%씩, pH는 5.97%, EC는 6.10%, TOC는 7.92%가 이상치로 선별되었으며, 선별 2차에서 두 통계적 방법에 의해 0.50 ~ 1.64%의 이상치가 선별되었다(Table 1). H 측정소에는 선별 1차에서 수온, pH, DO가 각각 2.84%씩, EC는 3.04%, TOC는 5.09%가 이상치로 선별되었으며, 선별 2차에서 두 통계적 방법에 의해 0.35 ~ 3.23%의 이상치가 선별되었다(Table 2).

두 측정소를 비교해 보면 G 측정소가 이상치 선별률이 크게 나타났으며, 유지보수를 위한 점검 횟수가 H 측정소에 비해 비교적 많은 것으로 분석된다. 항목별로는 TOC의 이상치 선별률이 비교적 크게 나타났는데 짧은 교정주기 때문인 것으로 분석된다. 교정시에는 상태코드가 부여되며, 이는 선별 1차에서 이상치로 선별된다.

H 측정소에서는 선별 2차에서 특히 EC의 선별률이 크게 나타났다. 이는 동일한 값이 지속되다가 미미한 수질변화로

나타난 측정값이 통계적 방법에 의해 이상치로 선별되었기 때문이다. 통계적 방법에 의해 정상치가 이상치로 선별되지 않도록 측정기기의 오차율을 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 3.2. 자료의 복원

H 측정소에서 EC의 정상적 범위는 0 ~ 0.3 mS/cm이며, 0.3 mS/cm를 초과하면 경보가 발령된다. H 측정소의 2008년 자료에 대해서 통계적인 선별방법을 적용한 결과, 이전의 EC 측정값이 장시간 0.1390 mS/cm로 동일하였으며, 일부 측정값이 0.1391 mS/cm로 단지 0.0001 mS/cm의 변화를 보여 정상치로 판단됨에도 불구하고 이상치로 분류된 경우가 있었다. 통계적 방법에 따른 계산과정에서 장시간 같은 값을 유지하였으므로 표준편차가 매우 작았을 것이며, 측정된 EC 값이 미세하게 변동하였다 하더라도 이전의 값들에 비해 상대적으로 큰 편차를 가진데서 기인된 문제로 판단된다.

통계학적 방법을 현장에 적용하기 위해서는 전문가에 의한 이상치 선별률과 비교하고 분석할 필요가 있다. H 측정소의 EC 항목을 중심으로 Dixon's test, Discordance test에 의한 이상치 처리 결과와 전문가(manual)에 의한 처리 결과를 비교·검토하였다.

2008년도 H 측정소의 EC 측정 자료에 대해 99% 신뢰도에서 통계적인 방법만을 적용하였을 경우에 Discordance test로부터 555개, Dixon's test로부터 534개, 전문가로부터 260개의 이상치가 선별되었다. 이상치 비율은 Discordance test, Dixon's test, 전문가 순으로 크게 나타났으나, 전문가의 처리결과에 비해 두 통계적 방법간 처리결과에는 큰 차이가 없었다.

오차율 적용은 이전 자료에 비해 정상 범위 이내의 변화를 보였으나, 이상치로 처리된 경우에 정상치로 복원되도록 설계된 과정이다. 기존의 방법과 0.001의 오차율을 추가 적

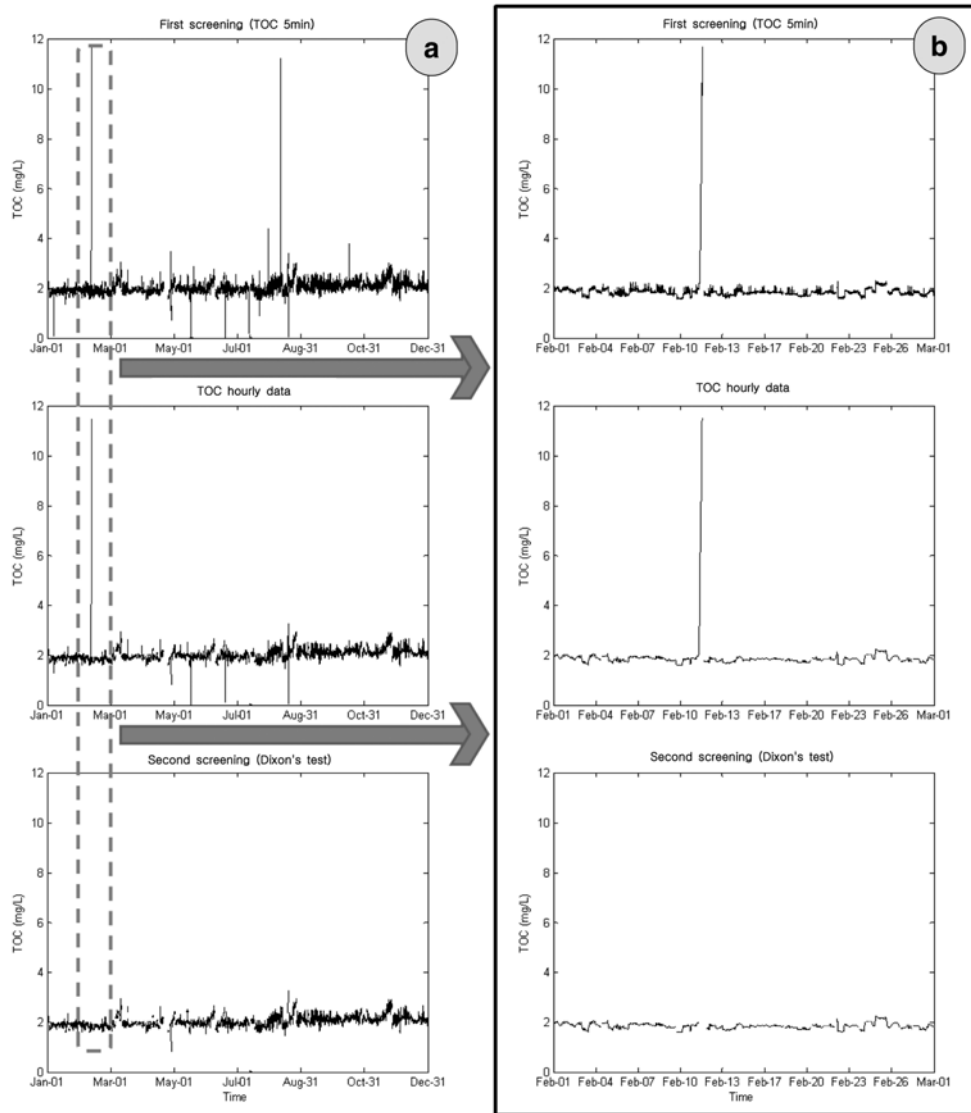


Fig. 2. First and second screening procedures at H station in 2008 (TOC) (a : Jan.-Dec., b : Feb.)

용한 결과를 비교하여 Table 3에 나타내었다. Discordance test에 의해 선별된 이상치 개수는 오차를 적용 전 284개에서 적용 후 49개로 나타났고, Dixon's test에 의해서는 오차를 적용 전 263개에서 적용 후 49개로 나타났다. 따라서 오차를 적용하였을 경우, 적용전보다 약 5배 이상 이상치가 줄어든 것으로 나타났다. 또한 오차를 적용하였을 경우에는 이상치 개수가 각각 49개로 Discordance test와 Dixon's test 간의 선별 결과에 차이가 없는 것으로 나타났다. 오차를 적용하여 선별한 이상치를 비율로 환산하면 3.64%이었으며, 전문가에 의한 이상치 선별률 2.96%와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 기존 오차율 적용 전 통계적 방법에 의한 이상치 선별률 6.08 ~ 6.32%에서 약 2.44 ~ 2.68% 줄어든 수치이다.

H 측정소의 2008년 5월 EC 항목에 대한 통계분석 과정에서 오차율 적용 전과 후의 차이에 대해 Fig. 3에 나타내었다. EC의 5분단위 자료를 시간단위 자료로 변환하는 선별과정에서 실제 측정기기는 소수점 넷째짜리까지 측정되

고, 전문가는 소수점 세째 자리까지만 자료로 받아 선별하며, 측정값에 대해 큰 차이가 없기 때문에 계단식의 형태가 자주 나타난다. 기준 구간에서 0.001이하의 변화를 보인 측정값은 오차를 적용하였을 경우, 이상치로 선별되던 측정값들이 정상치로 복원된 것을 알 수 있다. 향후 오차율의 적용 범위는 전문가 분석 결과와의 비교를 통해서 보다 세밀히 검토된다면 이상치에 대한 선별 효과가 클 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

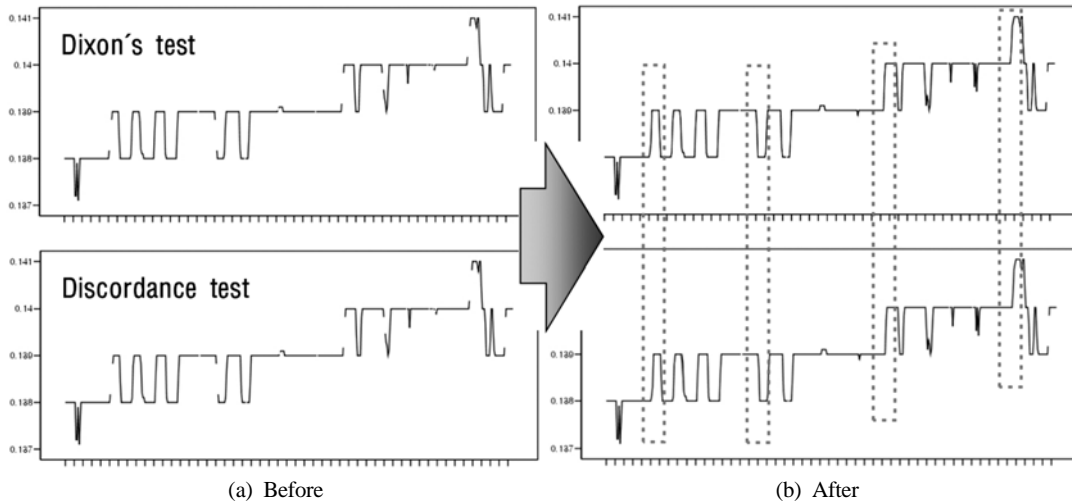
G와 H 측정소를 대상으로 이상치 선별을 위한 통계적 방법을 적용한 후, 전문가에 의한 결과와 비교·분석하였으며, 이상치로 처리된 유효 자료의 복원 방법에 대하여 검토하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 측정기기 점검 및 수리 등으로 인한 5분 자료의 이상치들은 1차 선별과정에서 비정상 자료로 선별되었다. 급격

**Table 3.** The comparison of EC outlier before and after applying error rate at H station

AWQM (automatic water quality monitoring network)					Manual	
① First screening		262			260	
② Outlier using fluctuation rate		9				
Second screening	Test method	Discordance test		Dixon's test		
	Applying error rate	Before	After	Before		After
③ Outlier		284	49	263	49	
④ Total outlier (①+②+③)		555	320	534	320	260
Total outlier Rate (④/8,784)		6.32 %	3.64 %	6.08 %	3.64 %	2.96 %

※ Total number of hourly data : 8,784



**Fig. 3.** The difference of statistical analysis before and after applying error rate of EC at H station on May, 2008.

- 하게 상승하거나 하락한 기타 이상치 들은 1차 선별과정에서 선별되지 않을 경우에 2차 선별과정에서 선별됨을 알 수 있었다.
- 2) 두 측정소를 비교해 보면 G 측정소에서 이상치 선별률이 크게 나타나 유지보수를 위한 점검 횟수가 비교적 많고, 항목별로는 짧은 교정 주기를 갖는 TOC가 다른 항목에 비해 상태코드 분석에서 선별된 개수가 많은 것으로 분석되었다.
  - 3) 시간평균자료 중 전문가(manual)와 통계적 방법인 Dixon's test, Discordance test에 의해 선별된 이상치 선별률을 비교·분석한 결과, 이상치 비율은 Discordance test, Dixon's test, 전문가 순으로 컸으나, 두 통계적 방법 간에는 큰 차이가 없었다.
  - 4) H 측정소에서 유효 자료임에도 불구하고 이상치로 판별되는 오류는 EC의 측정값이 동일하게 지속되는 구간에서 발생했다. 오차율을 적용하였을 경우에는 제거되는 이상치 개수가 줄었으며, 유효 자료가 복원된 것으로 판단된다. 오차율이 적용된 후에 Discordance test와 Dixon's test에 의해 선별된 이상치는 동일하게 나타났으며, 각 방법들은 전문가에 의한 선별 결과와 유사한 결과를 보였다.

**참고문헌**

국립환경과학원(2007). 수질자동측정망 데이터 공개 시스템

구축방안 연구.  
 국립환경과학원(2008). 수질자동측정망 데이터 공개 시스템 구축(I).  
 원선정, 허인애, 정동일, 강준원(2003). 수질자동측정망 경보 수준 설정 방법에 관한 연구(경안천 지점의 DO 항목을 중심으로). 공동추계 학술발표회논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. B91-B94.  
 임병진, 정은숙, 홍은영, 연인성, 김현욱(2009a). 이상치로부터 유효치의 실시간 복원. 공동추계 학술발표회논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 655-656.  
 임병진, 홍은영, 정은숙, 정동일, 김현욱, 허우명(2009b). 수질자동측정값의 정확도 확보 방안 연구(I). 정기학술대회 논문집, 한국생물과학협회, pp. 40.  
 조용모, 오정우(1997). 자동측정망을 이용한 한강수계 수질 변화 특성에 관한 조사연구. 수질보전 한국물환경학회지, 13(1), pp. 63-71.  
 EPA (1998). *EMPACT Information Management Handbook*.  
 Glasgow, H. B., Burkholder, J. M., Reed, R. E., Lewitus, A. J., and Kleinman, J. E. (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300(1-2), pp. 409-448.  
 Ma, H., Tsai, T. F., and Liu, C. C. (2010). Real-time monitoring of water quality using temporal trajectory of live fish. *Expert Systems with Applications*, 37(7), pp. 5158-5171.  
 Oron, G. and Gitelson, A. (1996). Real-time quality monitoring

- by remote sensing of contaminated water-bodies : waste stabilization pond effluent. *Water Resources*, **30**(12), pp. 3106-3114.
- Springer, J. J., Burkholder, J. M., Glibert, P. M., and Reed, R. E. (2005). Use of a real-time remote monitoring network (RTRM) and shipborne sampling to characterize a dinoflagellate bloom in the Neuse Estuary, North Carolina, USA. *Harmful Algae*, **4**(3), pp. 533-551.
- U. S. Environmental Protection Agency (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. EPA QA/G-9S.