

IoT 센서 기반 수질모니터링을 위한 관리대상물질 선정 연구

추원식*, 이지호**, 갈병석***, 박재범****, 오세정*****, 이의훈*****

*행정안전부 재난영향분석과 사무관 (e-mail: chu53@korea.kr)

**다우데이터 기업연구소 연구소장 (e-mail: jh_lee@daoudata.co.kr)

***다온솔루션 부장 (e-mail: kalbs1@naver.com)

****다온솔루션 대표이사 (e-mail: econeural@gmail.com)

*****강토엔지니어링 대표 (e-mail: osjwater@nate.com)

*****교신저자·충북대학교 토목공학부 부교수(e-mail: hydrohydro@cbnu.ac.kr)

Research on Selection of Management Target Substances for Water Quality Monitoring Based on IoT Sensors

Won-Sik Cho*, Ji-HO Lee**, Byung-Seok Kal***, Jae-Beom Park****, Se-Jeong Oh*****, Eui-Hoon Lee*****

*MOIS, Disaster Impact Analysis Division, Deputy Director

**Daoudata, Director of Research Institute, Corporate Research Institute

***Daon Solution co., Ltd. General Manager

****Daon Solution co., Ltd. CEO

*****Gangto Engineering, CEO

*****Corresponding Author. Assoc. Prof., Dept. of Civil Eng., Chungbuk Natl. Univ.

요 약

본 연구는 하천에서의 수질모니터링 자료를 이용하여 수질의 목표수질 초과율, 증가 추세를 검토하여 하천에서 문제 되는 물질이 무엇인지 파악하는 것이 목적이다. 분석 항목은 하천 수질 기준으로 평가가 가능한 DO, BOD, COD, TOC, SS, 총인, 분원성 대장균군, 총대장균군 8개 항목이다. 분석 결과, 목표수질 초과율이 50% 이상이며 증가추세인 항목은 TOC, 분원성 대장균과 총대장균수로 나타났으며 초과율이 50% 이하이나 증가 경향을 가진 항목은 SS로 나타났다. TOC는 난분해성 물질의 증가로 인한 원인으로 판단되며 대장균의 지속적인 증가는 향후 하수처리시설에서의 방류수질 중 대장균의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

1. 서론

과거의 경험 및 통계 자료는 정책 추진 및 의사 결정을 하는 데 있어서 중요한 판단 기준이 될 수 있다. 하천에서의 수질모니터링 자료는 하천 수질 및 오염원 관리 측면에서 중요한 역할을 하고 있으며 장기간 걸쳐 수집된 자료들은 과거에서 현재까지 진행되고 있는 유역의 모습을 담고 있어 미래의 계획을 세우고 추진하는데 활용할 수 있다.

우리나라는 하천 수질 관리를 위해 환경정책기본법을 기반으로 오염물질에 대한 수질 기준을 수립하여 관리하고 있다(Park et al., 2013). 수립된 수질 기준은 목표수질을 설정하여 관리하는데 이는 중권역별 수질목표등급, 오염총량관리 제도에서의 단위

유역별 목표수질 등이 해당한다. 그러나, 하천 수질 기준이 환경정책기본법의 생활환경기준 사람의 건강보호 기준으로 설정하고 있으나 대부분의 목표수질 기준은 BOD와 T-P만 설정되어 있다. 그중 BOD는 수중의 생태적 변화 등으로 측정치의 변동이 심하고, 난분해성 유기물의 반영이 어려운 특징이 있어 유기오염물질을 대표하는 물질로 적용하기에 한계가 있다는 문제점이 계속 제기되고 있다(Kim et al., 2019). 기존의 수질오염총량관리 대상 물질의 선정 및 적절성에 대한 연구로 Park et al. (2006)은 수질관리 기준인 BOD의 한계를 제시하였고 Park et al. (2013)은 3대강(낙동강, 금강, 영산강)을 대상으로 중권역별 목표수질 초과빈도를 분석하여 TOC를 대상 물질로 제시하였다. 또한, 하천에서의 대상물질 확대를 위한 연구가 시도되고 있다. 한강수계 수질의 통계분석 및 유량조건에 따른 수질변화 경향을 분석한 연구(Choi et. al. 2017)는 경향성 분석을 통해 BOD 대신 COD 등

의 유기물질을 대상물질로 고려가 가능한 것으로 제시하였고 한강수계의 중권역별 추세분석 및 목표수질 달성도 평가를 통한 우선 관리물질을 분석한 연구(Kim et al., 2019)에서는 BOD, T-P 외에 TOC, 분원성 대장균, 총대장균 등도 향후 관리가 필요한 물질로 제시하고 있다.

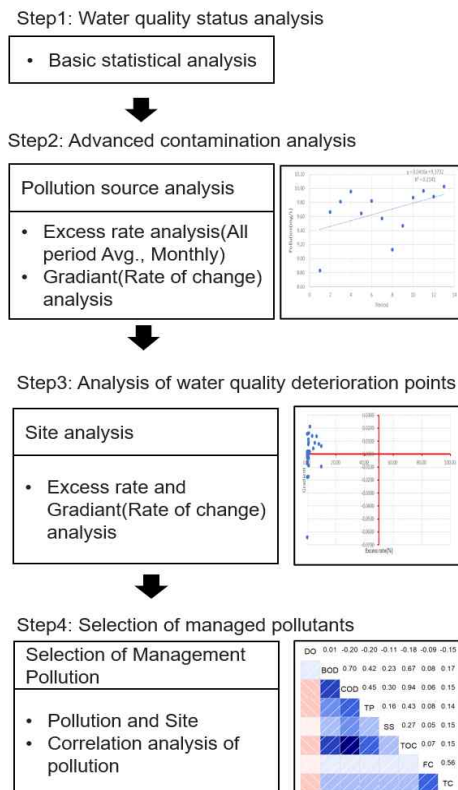
낙동강수계에는 총 785개의 지류 하천이 존재하며, 유역의 전반적인 수질 관리는 이런 작은 지류의 하천 수질 관리가 필요하다. 따라서, 지속적인 수질 관리를 위해서는 지류의 수질 조사 항목(또는 오염 물질)중 관리가 필요한 항목이 무엇인지 확인이 필요하며 해당 물질을 통한 향후 유역에서의 장기적인 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 이는 앞으로 측정 지점의 선정, 분석 기기의 발달, 물질을 분별하는 센서 개발 등 미래 기술 개발에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 낙동강수계 지류에서 장기간 측정된 수질 모니터링 자료에 통해 유역의 수질을 평가하고 유역의 목표수질에 대한 초과 여부와 추세분석을 통해 관리가 필요한 오염물질이 무엇인지 분석하는 것이다.

2. 연구방법

2.1 수질 평가 방법

본 연구의 방법론은 아래 그림 1과 같이 크게 4개 분석 단계로 구분된다.



[그림 1] 분석 흐름

1단계는 수질의 기초통계 분석을 통해 현재 수질 현황을 파악하는 것이고 2단계는 수집된 데이터를 이용하여 목표수질 초과율과 추세경향을 분석하는 것이다. 3단계는 목표수질 초과율과 증가율을 이용하여 수계에서 현재 관리가 필요한 오염대상물질이 무엇인지 검토하는 것이고 4단계는 오염물질간의 상관성 분석을 통해 오염원간의 영향을 분석하는 것이다. 대상 물질의 선정은 목표수질 초과율과 증가 추세를 통해 검토하였으며 초과율이 높고 증가 추세인 수질이 수계에서 관리가 필요한 물질로 판단하였다. 증가 추세는 Sen's slope의 기울기를 통해 추세 경향을 파악하였다.

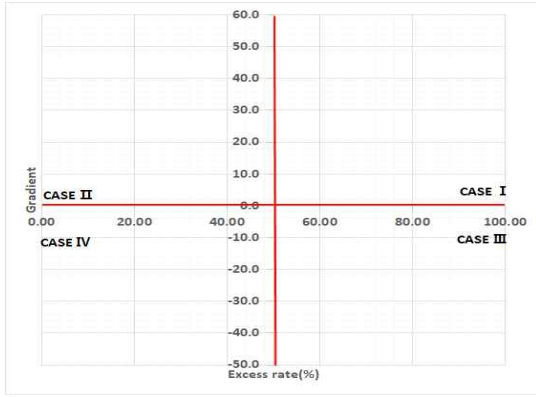
2.2 관리 필요항목 결정

관리 필요항목을 결정하는 방법 중 가장 간단한 방법은 수질의 오염도를 평가하는 것으로서 유역의 목표수질에 대한 초과 정도와 해당 물질이 증가하는지를 평가하는 것이다. 이러한 항목을 결정하기 위하여 좌표법을 이용하였다. 좌표법의 기준은 수질 측정지점에서의 목표수질 초과율 50%와 증가추세와 교차하는 수직선을 기준으로 하여 각각 좌측 하단으로부터 시계방향으로 I분위(양호), II분위(관리 지속), III분위(관리 주의), IV분위(관리 필요)로 구분할 수 있다(그림 2).

I분위에 분포하는 물질은 현재 관리가 잘되고 있는 물질로서 목표수질 초과율이 낮고 오염물질도 감소 추세를 보이는 물질로서 해당 물질은 “양호”하다고 판단되는 물질이고 II분위에 분포하는 물질은 수질 경향이 감소하는 추세로서 오염물질에 대한 관리가 잘되고 있으나 아직 목표 수질 초과율은 높아 “관리 지속”이 필요한 물질로 판단된다. III분위에 분포하는 물질은 현재 목표수질 초과율은 50%를 넘지는 않으나 경향이 증가하는 추세로서 “관리의주의”가 필요한 물질이며 IV분위에 분포하는 물질은 초과율이 50%를 넘고 증가하는 추세로서 관리가 시급한 “관리필요” 물질로 판단할 수 있다. 이렇게 분위별로 속한 대상 물질을 통해 물질별 현황 특성을 파악할 수 있다.

[표 1] 결정인자

평가 인장	내용
초과율	중권역 목표수질 50% 이상 초과율(%)
추세경향 평가	Sen's slope 증가 또는 감소 경향 평가



[그림 2] 목표수질 초과율- 증가율 좌표법

3. 연구 결과

3.1 목표수질 초과율 평가

목표 수질 초과율은 중권역별로 측정되는 수질에 대하여 목표수질 초과 정도를 평가하였다. 아래 표 2에서 보면 전 기간 평가 결과, 가장 초과가 많은 물질은 COD로 평균 93.22%로 가장 높게 나타나고 있으며 T-P, TOC, 총대장균의 초과율이 80% 이상으로 높게 나타나고 있다. 난분해성 물질 및 총인, 대장균 등의 초과율이 높아 지속적인 관심이 필요한 항목들로 판단된다.

[표 2] 목표수질 초과율

수질	평균	최대	최소
DO(mg/L) n=3,614	1.77	7.41	0
BOD(mg/L) n=3,614	52.49	71.34	29.45
COD(mg/L) n=3,614	93.22	99.01	86.77
T-P(mg/L) n=3,614	81.74	91.54	71.81
SS(mg/L) n=3,614	13.95	21.75	4.03
TOC(mg/L) n=3,614	84.09	95.71	70.78
Fecal Coliform (MPN/100ml) n=3,346	70.29	88.29	51.52
Total Coliform (MPN/100ml) n=3,346	89.78	97.06	79.32
평균	61.06	66.48	54.18

3.2 수질 경향 분석

장기간 수질 경향성을 Sen's Slope를 이용하여 평가하였으며 유의수준 5% 이내의 경우 경향성이 있음을 평가하였다.

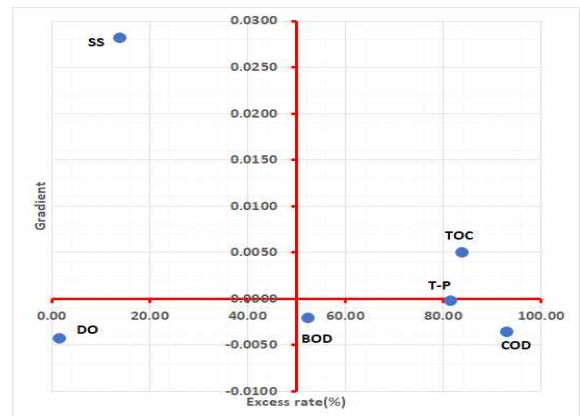
평가 결과, Sen's Slope의 기울기만을 고려할 때 SS, TOC, 분원성 대장균과 총대장균은 증가하고 DO, BOD, COD, T-P는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 DO, BOD, COD는 유의수준 5%를 벗어나고 있어 경향이 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

DO는 계절적 영향을 많이 받는 모습이고 COD, T-P, SS, TOC는 오염원 유입, 강우 등 외부 요인으로 인한 변화가 많은 모습을 보인다. 대장균은 최근 5년 사이 많이 증가하는 모습을 나타내고 있다.

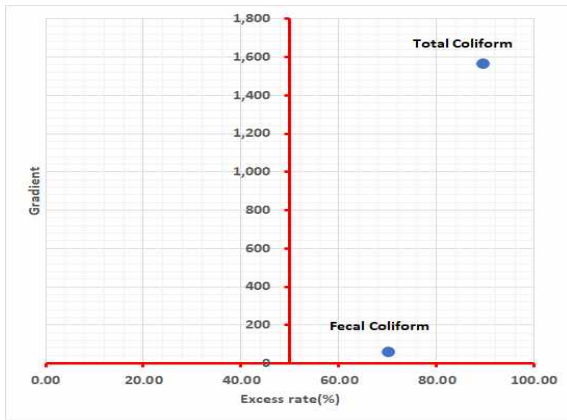
3.3 관리물질 평가

목표수질 초과율과 추세경향에 대한 결과를 이용하여 지류에서의 필요 관리물질을 평가하였다. 아래 그림 3, 4는 목표수질 초과율과 추세 경향을 평가한 내용을 좌표로 표시한 것이다.

평가 결과, I분위(좌측하단, 청정)에 속하는 물질은 DO로 나타났다. 그러나 DO는 증가할수록 수질이 양호한 것으로 판단되는 항목으로서 I분위가 아닌 III분위(좌측상단, 주의 필요)로 판단하는 것이 맞다. II분위(우측하단, 관리 지속)에 속하는 물질은 BOD, T-P, COD로서 목표수질은 50%를 초과하고 있으나 추세는 감소로 나타나는 물질이다. BOD와 T-P는 서론에서 언급한바와 같이 총량제 등 관련제도로 관리하고 있는 항목들로서 수질 관리가 이루어지고 있어 수질이 감소하고 있는 것으로 판단되나 아직 초과율이 목표수질 대비 50% 이상 초과되고 있어 향후에도 관리가 계속 필요한 항목이다. III분위(좌측상단, 주의 필요)에 속하는 물질은 SS로서 초과율은 50%를 넘지 않으나 증가추세로 나타난 물질이다. SS가 증가하는 원인은 지류 대부분이 농업지역 또는 도시하천의 말단지점으로서 농업지역 및 도시지역에서 유입되는 토사 및 부유물질 등의 증가로 판단된다. IV분위(우측상단, 관리 필요)에 속하는 물질은 TOC와 분원성 대장균, 총대장균으로 나타났다. 난분해성 물질 등 총유기탄소를 나타내는 TOC가 높아지는 것은 화학물질의 사용, 산업폐수시설 등의 증가 때문으로 판단되며 분원성 대장균과 총대장균은 대부분 환경기초시설로서 수계 내 신·증설된 기초시설의 방류가 원인으로 판단된다. 처리장 방류수질 기준을 보면 대장균수를 1일 하수처리용량 500m³ 이상인 시설의 II지역 기준으로 3,000개/ml 이하로 관리하고 있어 지속적인 대장균이 증가한다면 기초시설 방류수 수질 기준의 재검토도 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3] 평가결과1(DO, BOD, COD, SS, T-P, TOC)



[그림 4] 평가결과2(대장균)

3.4 오염물질별 상관성 분석

오염물질 간의 상관성을 분석하여 서로의 영향을 평가하였다. 분석 결과, DO는 각각의 오염물질과는 음의 상관성을 나타내고 있어 오염물질이 증가할 때 용존산소는 감소하는 것으로 나타났다. DO는 T-P와 분원성대장균(FC)과 음의 상관성이 가장 높게 나타나고 있는 것으로 보아 해당 물질들이 수체에서 작용하거나 양이 증가할 때 DO는 감소하는 것으로 판단된다.

BOD는 COD와 TOC에서 높은 양의 상관성을 나타내고 있고 T-P와 SS와도 양의 상관성을 나타내고 있다. T-P는 유기물과의 상관성이 상대적으로 높아 유기물 오염이 큰 지역에서는 전반적인 수질이 나빠를 알 수 있고 SS는 크진 않지만 각각의 오염물질과 양의 상관성을 가지고 있어 SS에 부착되어 유출되는 오염원과 영향이 있음을 알 수 있다.

분원성 대장균과 총대장균은 각 오염원과 약한 상관성을 나타내고 있으나 분원성 대장균과 총대장균은 서로 높은 상관성을 보여 총대장균에서 분원성 대장균이 차지하는 비중이 큰 것으로 판단된다. 이는 인체 및 동물에서 유래 되는 분원성 대장균이 기초시설 등에서 하천으로 유입되고 있음을 알 수 있다.

[표 3] 오염물질별 상관성 분석결과

구분	DO	BOD	COD	T-P	SS	TOC	FC*	TC*
DO	1							
BOD	-0.014	1						
COD	-0.197	0.698	1					
T-P	-0.199	0.418	0.450	1				
SS	-0.107	0.233	0.297	0.161	1			
TOC	-0.183	0.671	0.938	0.432	0.267	1		
FC*	-0.087	0.084	0.063	0.080	0.049	0.068	1	
TC*	-0.145	0.174	0.145	0.143	0.148	0.154	0.561	1

FC*: Fecal Coliform(분원성 대장균), TC*: Total Coliform(총대장균)

4. 결론

목표수질 초과와 증가율을 고려해볼 때 지류에서 관리가 필요한 물질은 TOC와 대장균으로 나타나고 있다.

TOC는 BOD, COD와 높은 상관성을 보이고 있어 수질오염총량제 관리 등으로 BOD 수질이 많이 개선되었다고는 하지만 난분해성 유기물질에 대한 관리 필요성이 현재 목표수질 초과와 증가 추세를 통해 알 수 있다. 따라서, 향후 수질 관리 정책은 이런 난분해성 물질을 관리할 수 있는 방향으로 진행이 필요하리라 판단된다. 분원성 대장균과 총대장균의 증가와 목표수질 초과는 기초시설 방류로 인하여 낙동강 지류에서 급격하게 늘어나는 추세이다. 이런 추세가 지속된다면 하천 내 활동 및 낙동강 원수를 식수로 사용하는 낙동강 유역의 국민들에게 위화감을 줄 수 있다. 따라서, 향후 수질 관리시 기초시설에서의 대장균 관리도 중요할 것으로 판단된다.

SS는 현재 목표수질초과율이 50%를 넘지 않으나 증가 추세에 있고 SS와 각 오염물질간의 상관성을 볼 때 SS 증가가 수체 내 다른 오염물질 증가로 영향을 미칠 수 있어 강우 시 비점오염원 관리 등을 통해 지속적인 관심을 가질 필요가 있다.

본 연구를 통한 하천에서의 관리물질에 대한 분석은 향후 하천 관리에 있어서 필요한 측정 지점을 선정하고 해당 물질을 분석하는 방법의 결정, 분석 기기의 개발과 같이 과학 기술적인 요소가 필요하다. 따라서, 이런 연구를 통해 향후 물질을 분석하는 센서 개발, 인공지능 기술 등과 연관하여 하천 수질을 관리하고자 하는 미래 기술 개발에 영향을 줄 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김계웅, 송정현, 이도길, 황하선, 강문성, “한강수계 중권역별 오염물질 추세분석 및 달성도 평가를 통한 우선관리물질 선정”, 한국농공학회 논문집, 제 61권 3호, PP. 67-76, 5월, 2019년.
- [2] 박재홍, 공동수, 류덕희, 정동일, 오승영, 박배경, “수질오염 총량관리를 위한 관리대상물질”, 한국물환경학회지, 제 22권 5호, PP. 1004-1013, 10월, 2006년.
- [3] 박준대, 박재홍, 오승영, 이재관, “수질오염총량관리 대상물질 선정을 위한 하천수질 평가”, 한국물환경학회지, 제 29권 5호, PP. 630-640, 9월, 2014년.
- [4] 최옥연, 김홍태, 서희승, 한인섭, “수질오염총량관리 대상물질 확대를 위한 한강수계 하천수질 경향 및 수질특성 분석”. 한국물환경학회지, 제 33권 1호, PP. 15-33, 1월, 2017년.