

Research Paper

도심하천 내 적수발생 지점에 대한 원인검토 및 개선방안 연구

은범진* · 김종환* · 임자유* · 허정숙** · 최이송** · 오종민**

경희대학교 환경응용과학과*, 경희대학교 환경학 및 환경공학과**

A Study on the Cause and Improvement of the Red-Water Occurrence in Urban Stream

Beomjin Eun* · Jong Hwan Kim* · Zi Yu Lin* ·
Jeong Sook Heo** · I Song Choi** · Jong-Min Oh**

Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University*
Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University**

요약: 본 연구는 용인시 내 하천 중 일부 지점 및 구간에서 발생하는 적수현상(물이 붉은 색을 띠는 현상)에 대한 원인 규명을 목적으로 하였다. 사전조사에서 적수현상이 나타나는 3개 지점을 조사지점으로 선정하였다. 조사결과 용인시 내 하천의 주요 적수 발생원인은 지역의 토색과 철 성분에 의한 것으로 판단된다. JPS, SBS, JJS 지점 모두 적갈색과 적황색이 주를 이루는 토색 특성을 보였다. Fe 농도 평균은 각각 1.31 mg/L, 10.85 mg/L, 13.75 mg/L로 나타났으며, 일반적인 하천수 중 Fe 농도가 0.5 mg/L 이하임을 고려했을 때 상당히 높은 농도임을 확인할 수 있었다. JPS, JJS 지점은 주로 정체된 곳에서 적수현상이 발생했으며, 이는 유기물 및 미생물 등이 반응하며 적수현상이 강화되는 것으로 판단된다. SBS의 경우 물이 적색을 띠고 있으나, 실제 물색을 관찰한 결과 관거에 침착된 철 성분으로 인해 진한 적색을 띠는 착시현상을 일으키는 것으로 판단된다. 또한, 대부분이 입자성 철 성분으로 유리섬유여지로 여과한 결과 95% 이상 감소하는 결과를 통해 입자성 철 성분 제거를 통해 일반적인 하천수 농도범위로 철 농도를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구결과, 물이 정체되지 않고 유수의 흐름이 유지될 수 있도록 하도 관리가 필요하며, 식생 피복을 통한 uptake 작용과 입자성 철 처리를 위한 응집침전 및 응집여과 방법을 통해 조사지점의 적수 발생을 완화할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어: 하천, 적수, 토색, 철(Fe), 수질개선

Abstract: This study aims to identify the cause of the red-water occurrence (the phenomenon of water being red) that occurs at some points and sections of rivers in Yongin City. As a result of conducting a preliminary investigation, total three sites were selected as the investigation point as it

First Author: Beomjin Eun, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: bumjin0814@khu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-2715-5283

Corresponding Author: Jong-Min Oh, Tel: +82-31-201-2461, E-mail: jmoh@khu.ac.kr, ORCID : 0000-0002-1104-5867

Co-Authors: Jong Hwan Kim, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: jh39120852@gmail.com, ORCID : 0009-0000-3905-862X

Zi Yu Lin, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: ziyulin96@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2974-4201

Jeong Sook Heo, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: jsheo1986@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2913-7716

I Song Choi, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: isongchoi67@daum.net, ORCID: 0000-0001-8809-802X

Received: 13 June, 2023. Revised: 21 June, 2023. Accepted: 23 June, 2023.

was found that the red-water occurrence continued. As a result of the investigation, it is judged that the cause of the red-water in Yongin-city river is due to the soil color and iron content of the region. JPS, SBS, and JJS sites all showed that the color of soil is mainly consist of reddish brown and red-yellow. The average Fe concentration was 13.75 mg/L, 10.85 mg/L, and 1.31 mg/L, for each sites, and considering that the Fe concentration in general river water was less than 0.5 mg/L, it was confirmed that the concentration was quite high. At the JPS and JJS points, the red-water occurrence occurred mainly in stagnant places, which is believed to be strengthened by the reaction of organic and microorganisms. In the case of SBS, the water is red, but as a result of observing the actual color, it is judged that the iron component deposited in the pipe causes an optical illusion with a deep red color. In addition, it is believed that the iron concentration can be reduced to the general river water concentration range by removing the particulate iron component through a decrease of more than 95% as a result of filtering with glass fiber filter with particulate iron. As a result of this study, it is necessary to manage the river to maintain the flow, and it is believed that the occurrence of red-water at the survey point can be alleviated through uptake action through planting and agglomeration precipitation and agglomeration filtration methods for particulate iron treatment.

Keywords : Stream, Red-Water, Soil Color, Iron(Fe), Water Improvement

I. 서론

용인시 내 하천 중 일부 지점 및 구간에서 적수현상(물이 붉은 색을 띠는 현상)이 발생하고 있으며, 지역 주민들로부터 민원이 자주 발생하고 있는 실정이다. 적수는 주변 토사의 유입, 수질오염 배출업소에서의 과다한 응집제 사용, 주변 건축물로부터의 누수 및 낙수, 적색 조류의 발생, 기타 적색 유발 폐수에 의한 착색 등 다양한 원인에 의해 나타나며, 하천에서 적수는 주로 수중 철 이온의 반응으로 인해 발생한다. 철 성분은 지구상의 토양이나 암석, 광물 중 비교적 높은 비율로 포함되어있는 물질이며, 인체에 있어 산소운반이나 산화작용 등에 있어서 필수적인 물질이다. 하지만 수중의 고농도 철은 공기중에 산화되면 산화되어 Colloid를 형성하여 탁도를 유발할 수 있으며, 배관시설에 얼룩을 형성하거나 철 박테리아의 성장을 촉진시켜 3가철을 형성하여 적색을 띠 수 있다(Cho et al. 2006).

일반적으로 수중의 철 성분은 수용성 제철철의 형태로 존재하기 때문에 이를 제거하기 위해서는 불용성의 제2철염으로 제거하는 것이 일반적이다(Cho et al. 2006). 지하수 내 철이 먹는물 수질기준(0.3

mg/L) 이상으로 용해되어 있어 산소수 연속주입을 통해 처리한 결과 수중의 철 농도를 크게 감소시킬 수 있다고 보고되었다(Lee et al. 2015, Jun et al. 2016).

용인시 내 일부 하천에서 2017년 적수현상 발생으로 인한 문제로 민원이 발생하였으며, 이를 해결하기 위해 현장조사를 실시한 결과 총 3곳에서 적수현상이 확인되었다. 이후 2022년 1월 본 연구의 사전 현장조사에서 적수가 발생했던 지점을 중심으로 재조사한 결과 3개 지점에서 적수현상이 지속되는 것으로 나타났다. 하천에서 적수는 흔히 발생할 수 있는 문제이나, 인근 주민들의 생활환경인 도심하천에서 발생하고 있는 이와 같은 적수현상은 하천의 미관상 불쾌함은 물론 하천 이용자들의 수질 안전성에 대한 불신을 불러일으킬 수 있으므로 이에 대한 원인 조사 및 분석, 해결방안 마련이 강구될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 용인시 내 도심하천에서 적수현상이 발생된 지점을 중심으로 수질현황을 조사하고, 심층적인 조사 및 분석을 통하여 원인을 파악하고 개선방안을 마련하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지점 선정

용인시의 도심하천 중 2017년 적수가 발생한 지점을 2022년 1월에 재조사한 결과 1개 지점을 제외한 3개 지점에서 적수현상이 지속되는 것으로 나타났다. 2022년 1월에 실시된 사전 조사에서 적수가 발생된

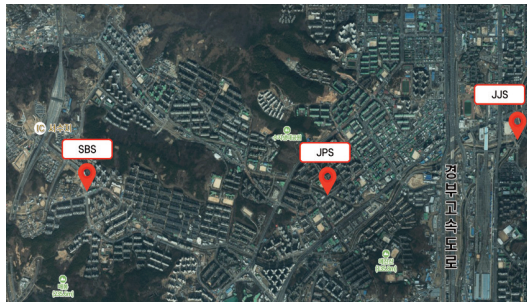


Figure 1. Location of sampling site

Table 1. Coordinate of the sampling site

Site	Coordinate	Note
JPS	37°19'25" N, 127°03'42" E	
SBS	37°19'10" N, 127°05'22" E	
JJS	37°19'34" N, 127°06'42" E	

구간은 3곳으로, 성복천 지점(이하 SBS), 정평천 지점(이하 JPS)과 죽전동 인근 탄천 합류점(이하 JJS)으로 선정하였다(Figure 1, Table 1).

1) JPS

JPS는 정평천의 하류부에 위치하며, 교량의 교각을 사이에 두고 물이 두 갈래로 나누어지면서 물의 흐름량에 따라 유수의 특징이 달라지는 특성을 보이고 있었다. 해당 지점에서 적수는 하천의 좌안 쪽의 물이 정체되는 구간에서 발생하는 것으로 파악했으며, 하상재료는 자갈과 흙으로 이루어져 있었다.



Figure 2A. Scenery of SBS



Figure 2B. Scenery of JJS

2) SBS

SBS는 성북천 상류부에 위치하며, 지하 매립관로를 통해 물이 유입되고 있었다(Figure 2A). 지속적으로 성북천에 유출이 발생하고 있으며, 유출수가 접촉하고 있는 관로면에서 철 성분의 침전 또는 침착이 일어나고, 그 위를 흐르는 물은 보다 심한 적색을 띠는 것처럼 보였다.

3) JJS

JJS는 탄천으로 유입되는 소하천으로 탄천 합류 직전에 위치한 지점이며, 하천 폭이 증가하면서 하천의 좌안은 지대가 높아 물의 흐름이 없고, 일부 구간에서 물이 고여 정체되고 있는 상태였다(Figure 2B).

2. 수질 및 토양오염원 조사·분석방법

적수의 오염원 여부를 판단하기 위해 수 시료와 주변 토양을 동시에 조사 및 채취하여 분석하였다. 사전 현장조사를 통해 파악된 바로는 주변에 특정 오염원이 보이지 않았지만, 적수의 원인(주변 토사의 유입, 수질오염 배출업소에서의 과다한 응집제 사용, 주변 건축물로부터의 누수 및 낙수, 적색 조류의 발생, 기타 적색 유발 폐수에 의한 착색 등)은 다양하므로 참고자료를 토대로 오염원을 검토하고 조사 및 분석하였다.

수질 및 토양오염원 조사는 2022년 5월 13일에 1회 실시하였으며, SBS지점의 경우 강우유출수의 영향을 파악하기 위해 10월 1일, 10월 3일에 추가 조사를 실시하였다.

수질조사 항목은 하천의 생활환경기준 항목을 중심으로 하였으며, 구체적인 본 연구의 조사항목은 수온, pH, EC, DO, SS, BOD, TOC, T-N, T-P, Fe+로 하였다. T-N과 Fe+는 하천 생활환경기준에는 포함되지 않으나, T-N은 영양물질로서 녹조 발생의 주요 원인물질이고, Fe+는 적수현상의 가장 큰 원인으로 판단되므로 항목에 추가하였다.

현장측정항목은 다항목측정기(Orion Star A329)를 이용하여 하천의 유수 중에서 직접 측정하였다. 실내 분석항목은 수 시료의 경우 2 L 무균채수병으로 대상

시료를 채수하고 실험실로 운반하여 분석 전까지 냉장고(4℃)에 보관한 후, 수질오염 공정시험방법에 따라 신속하게 분석하였다. 토양 시료의 경우 토양오염 공정시험방법에 따라 0.1N HCl 추출법을 이용하여 전처리하였으며, 원자흡수분광광도법(Atomic absorption spectrophotometry)으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지점별 현장조사 및 분석결과

적수발생 지점의 수질분석 결과는 표로 나타내었다(Table 2). SBS 지점은 5월 13일, 10월 1일, 10월 3일의 평균 값이며, JPS 지점 및 JJS 지점은 5월 13일에 측정된 자료이다. JJS 지점의 경우 물이 정체된 지점에서 채수하였으며, 수심이 얕아 일부 토양이 혼합된 시료이다.

Table 2. Concentrations of water quality indicator in each site

Indicator	JPS	SBS	JJS
Temperature (°C)	21.5	15.3	-
pH	8.7	7.0	7.2
EC (μs/cm)	476	863	779
SS (mg/L)	3.6	16.7	632
DO (mg/L)	9.0	8.4	1.1
BOD (mg/L)	1.06	1.04	4.86
TOC (mg/L)	1.57	1.78	1.61
T-N (mg/L)	1.00	2.46	2.49
T-P (mg/L)	0.076	0.063	0.314
Fe (mg/L)	1.31	10.85	13.75

1) JPS

JPS는 2022년 1월 사전 예비조사에서는 적색을 띠는 물이 정체되어 있었으나, 2022년 5월 조사에서는 물의 흐름이 있었으며, 적수현상도 나타나지 않았다(Figure 3).

적수현상은 나타나지 않았으나, 수중의 철 농도를 측정하기 위해 시료를 채수하여 농도를 분석하였다. 수질분석 결과, JPS 지점에서의 Fe 농도는 1.31 mg/L로 조사되었다. JJS와 SBS 지점과 비교했을 때 Fe 농도가 크게 낮았으나, 같은 시기 연구 지점과 관



Figure 3. Scenery of JPS in preliminary survey (left) and field survey (right)

계없는 인근 하천인 원천리천(주소: 경기도 화성시 반정동 537-4)의 Fe 농도가 0.41 mg/L으로 조사됨을 미루어 보았을 때, 일반 하천수에 비해 높은 농도로 판단된다.

우리나라의 경우 갈색토, 적색토, 염류토, 회색토, 흑니토 등이 국지적으로 분포하고 있으며, 적색토는 라테라이트(Laterite)성 풍화생성물의 특징을 가지고 있다. 또한, Laterite성의 적황색토는 열대 및 아열대 지역의 화강암질 풍화잔적토의 상층에 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 의 집적으로 인해 산화철에 의한 토립자의 변색작용 때문에 나타난다고 알려져 있다(Jung et al. 1996). 결과적으로 JPS 지점의 적수현상 원인은 토층이 주로 적황색토, 명황갈색, 암회갈색의 토양으로

이루어져 있고, 물의 정체로 인해 일시적으로 일어난 현상으로 사료된다.

2) SBS

SBS는 지하 매립관로를 통해 물이 유입되고 있으며, 지속적으로 유출이 발생하고 있어 관로면에서 철 성분의 침전 또는 침착이 일어나고 있었다. 현장조사 시 유량은 $127 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 조사되어 상당히 많은 유량이 유입되는 것으로 사료된다. 그러나, 실질적으로 물 자체의 색을 비교했을 때 붉은 경향을 보이고는 있으나, 비교적 심한 적색을 보이지는 않았다(Figure 4)

원인 파악을 위해 수질 일반항목을 2022년 5월 13일, 10월 1일 및 10월 3일 채수하여 총 3회 분석하



Figure 4. River water sample before inflow (left) and sample after inflow (right)

Table 3. Results of water quality analysis in SBS

Date	Temperature (°C)	pH	EC (μs/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	TOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)
5/13	14.3	7.0	825	8.9	1.62	0.97	2.62	0.068	19.6
10/1	16.1	7.2	878	8.2	0.58	1.94	2.48	0.060	15.2
10/3	15.5	7.0	887	8.1	0.92	2.45	2.28	0.062	15.2
Average	15.3	7.0	863	8.4	1.04	1.78	2.46	0.063	16.7

였다(Table 3). 수질특성으로는 평균 수온이 15.3℃로 주변 하천보다 낮은 값을 보였다. 또한, pH의 평균값은 7.0으로 JPS 지점에 비해 낮았으며, EC는 863 μs/cm로 조사되어 JPS 지점에 비해 약 2배에 가까운 높은 값을 보여 상대적으로 수중에 이온성 물질이 많다는 사실을 알 수 있었다. BOD 및 TOC 농도는 각각 1.04 mg/L, 1.78 mg/L로 나타나 하천생활환경 기준 좋음 ~ 매우좋음에 해당하는 수질을 보였다.

Fe 농도는 2022년 5월 13일, 7월 4일, 8월 17일, 10월 1일, 10월 3일 총 5회 채수하여 분석하였다. Fe 농도 분석결과 7월 4일이 5.66 mg/L로 가장 낮은 값을 보였고, 그 외에는 모두 9 mg/L 이상의 농도를 보이며 지속적으로 높은 농도가 유지되는 것을 알 수 있었다. 측정 시기에 따라 Fe+ 농도의 차이를 확인할

수 있었으며, 상대적으로 강우량이 많은 시기에 농도가 낮아지는 것으로 사료된다. 이러한 경향이 뚜렷하게 나타난 것은 10월 1일과 10월 3일의 결과로, 강우 전인 10월 1일에는 11.86 mg/L의 농도를 보인 반면 강우 후인 10월 3일에는 10.83 mg/L로 감소하는 결과를 보였다. 10월 3일 강수량은 38.7mm로 조사되었으며, 이는 강수량이 많을 경우 토양이나 지하수의 수량이 증가하면서 유출유량이 많아져 희석으로 인해 나타나는 현상으로 사료된다.

결과적으로 SBS 지점의 관로 유입수는 낮은 수온과 높은 EC 농도를 고려했을 때 지하수 또는 토양수가 유출되어 흐르는 것으로 사료된다. 본 연구로 정확한 유출수의 유출경로를 파악하기는 어렵지만, 수온이 하천수에 비하여 대단히 낮고, EC 농도가 높은

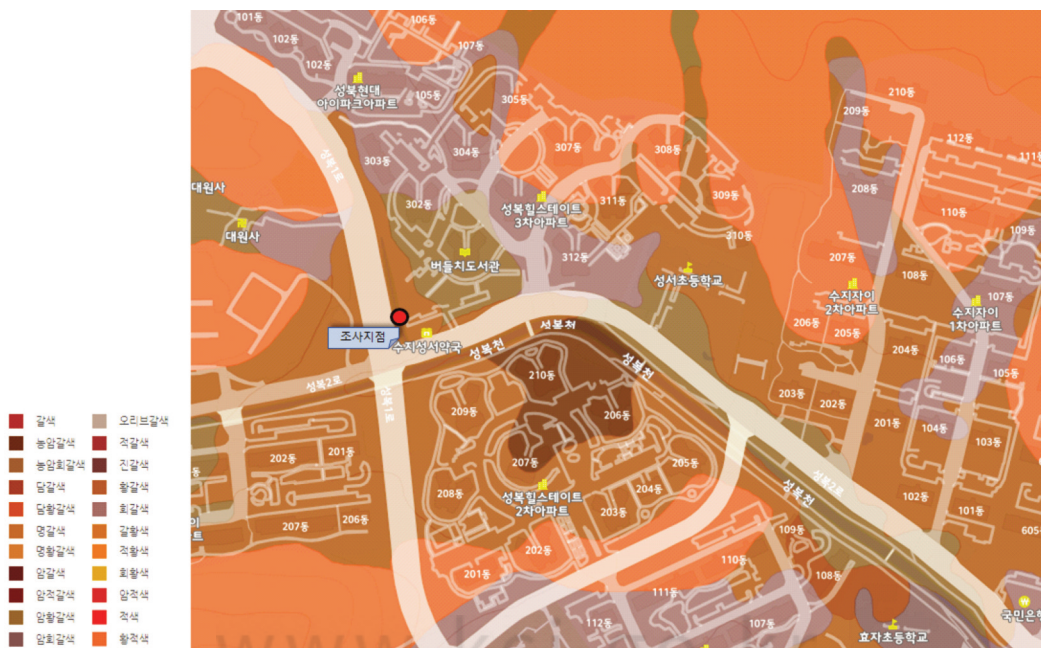


Figure 5. Soil color characteristics around SBS site

점을 판단 근거로 볼 수 있다. 따라서 강우 및 지하수 등이 토층을 거쳐 유출되는 과정에서 토양성분의 철을 용출시키고, 용출된 철 성분은 충분한 산소농도에 의해 산화 및 입자화되면서 붉은색을 띠는 것으로 추정할 수 있다. SBS 지점 주변의 토양이 적갈색 또는 적황색으로 나타나 철 성분의 함유량이 높은 것으로 예상된다(Figure 5). 이는 주변 토양으로부터 용출됨에 따라 Fe 농도가 높은 것으로 추정할 수 있다(Lee et al. 2003, Na et al. 2011).

3) JJS

JJS의 적수현상은 유수부와 분리된 물의 흐름이 없는 정체된 곳에서 발생했다. 특히 본 지점은 토양과 유기물, 미생물이 반응하면서 끈적이고 질척한 상태의 적수현상이 나타났다. 5월 13일 현장조사에서 수 시료를 채취한 후 분석한 결과 pH 7.2, EC 779 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DO 1.1 mg/L, BOD 4.86 mg/L, TOC 1.61 mg/L, T-N 2.49 mg/L, T-P 0.314 mg/L, SS 632 mg/L로 조사되었다. 일부 항목에서 높은 수치를 보인 것은 시료 채취 시 적은 유량으로 인해 일부 토양 성분이 포함되었기 때문으로 사료된다. 마찬가지로 주변의 토양은 적색토인 것으로 조사되었으며, 실제 현장에서 땅을 파서 토양의 색을 확인한 결과 적황색토 및 회갈색토의 토성을 보였다(Figure 6).

철에 의한 영향을 확인하기 위해 적수를 채취하여 철 농도를 분석하였다. JJS 지점의 수 시료 중 철 농

도는 13.75 mg/L로 분석되어 통상적인 수중의 철 농도에 비해 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 수 시료의 철 농도는 범위가 다양하며, 지표수에는 0~1.5 mg/L 범위에 평균 0.25 mg/L로 보고하고 있다. 낙동강 하류 지역에서의 하천수 중 Fe 농도의 경우 지점에 따라 다르지만 대체로 0.5 mg/L 이하로 보고되었다(Lee et al. 2003). 또한, 밀양강과 낙동강이 합류하는 지점에서의 하천수와 강변여과수를 조사한 연구결과, 하천수의 Fe 농도는 평균 0.13 mg/L, 강변여과수는 1.1~2.17 mg/L의 농도 범위를 보였다고 보고되었다(Na et al. 2011). 이는 강변여과수의 경우 대체로 토층을 통과시켜 여과시키는 과정에서 거치는 물이기 때문에 그 과정에서 토양중의 철 성분이 용출되면서 하천수보다 농도가 높은 것으로 사료된다.

JJS 지점의 주변 토양을 채취하여 0.1N HCl 추출법으로 Fe 농도를 측정된 결과, Fe 농도가 846 mg/kg으로 조사되었다. 이는 일반토 및 폐광산, 산업단지에서 채취한 토양을 0.1N HCl 추출법으로 철 농도를 평가했을 때 일반토 73.2 mg/kg, 폐광산 325 mg/kg, 산업단지 613 mg/kg보다 높은 농도임을 확인할 수 있다(Chon et al. 2010). 결과적으로 수지구 토양은 적황색토 지역이 많아 토층에 철 성분이 높을 것으로 예상했던 바와 같이, 철 농도가 높았으며 이로 인해 적수 발생이 잦은 것으로 사료된다.



Figure 6. Soil color characteristics around JJS site (left) and results of excavation (right)

2. 적수현상에 대한 고찰

적수현상의 발생원인은 여러 가지가 있을 수 있으나, 용인시 내 하천의 주요 적수 발생원인은 철 성분에 의한 영향으로 판단된다. 전반적으로 조사지점 하천수의 철 함량이 상당히 높았으며, 주변 토양도 주로 적황색토인 관계로 Fe 함량이 높은 것으로 나타났다. 또한, JPS와 SBS 지점의 클로로필-a의 농도가 0.875 mg/L, 0.288 mg/L로 조사됨을 고려했을 때, 조류의 영향 가능성도 적은 것으로 판단된다.

JPS와 JJS 지점은 정제된 곳에서 적수현상이 발생되어 유기물 및 미생물 등이 반응하면서 적수현상이 강화되는 것으로 보인다. SBS 지점은 물색이 적색을 띠고 있으나, 관거에 침착된 철 성분으로 인해 진한 적색을 띠는 것처럼 착시현상을 일으키는 것으로 사료된다. 실제로 물을 채취하여 비교한 결과, 붉은색을 띠기는 하지만 현장의 유수처럼 심한 적색을 띠지 않음을 확인할 수 있었다. 결과적으로 SBS 지점의 유입수가 현재의 상태로 계속 성복천에 유입될 경우 주변 하상에 지속적으로 침착되면서 적수현상의 영향 범위가 확대될 것으로 예측된다.

SBS의 수질이 특별히 나쁘지 않았음에도 불구하고 SS 농도가 높게 나타난 점과, 2가철이 3가철로 전환될 경우 철 입자로 전환되며 붉은색을 띠기 때문에 적수 중 Fe 성분은 용해성보다는 입자성으로 존재하는 형태가 많을 것으로 예측된다. 이에 입자성 Fe 성분 구분을 위해 유리섬유여지로 여과한 후 물의 색을 검토한 결과, 여과한 후 물의 색이 맑아진 것을 볼 수 있으며, 여과한 후 여지의 걸러진 철 성분이 많이 남아 있는 모습을 볼 수 있다(Figure 7). 따라서 SBS의 적



Figure 7. Results of water and filter paper after filtering SBS sample

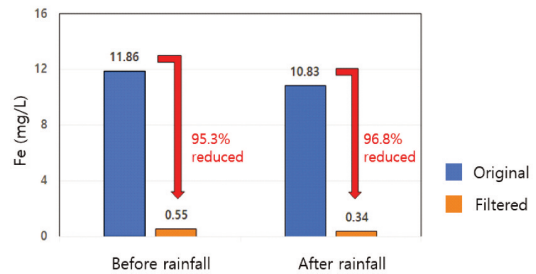


Figure 8. Results of Fe concentration reduction after filtration of samples

수는 대부분 입자성 철 성분이며, SS 농도가 높게 나타난 것도 입자성의 철 성분에 따른 결과로 판단된다.

철의 형태 중 입자성 철의 농도를 정량적으로 확인하기 위해 10월 1일과 10월 3일에 채수된 SBS 시료를 유리섬유여지로 여과한 후 수 시료 중 Fe 농도를 측정하였다. 10월 1일 시료의 경우, 여과 전 농도가 11.86 mg/L에서 여과 후 0.55 mg/L로 낮아져 95.3% 감소하였으며, 10월 3일 시료는 여과 전 10.83 mg/L에서 여과 후 0.34 mg/L로 낮아져 96.8% 감소함을 확인할 수 있었다(Figure 8). 결과적으로 해당 지점은 입자성 철 제거를 통해 Fe 농도를 일반적인 하천수 농도범위로 감소시킬 수 있다는 것을 시사한다.

3. 철 처리방안 검토

일반적으로 수중의 철을 제거하는 방법으로는 대략적으로 다음과 같은 5가지 방법으로 요약할 수 있다.

- ① 응집처리 : 응집제를 활용하여 응집-침전 또는 응집-여과 공정으로 제거
- ② 이온교환 : 이온교환수지 등을 활용하여 수중의 이온성 철을 제거
- ③ 산화처리 : 수중 산소주입 또는 염소처리 등으로 철을 산화시켜 제1철을 제2철로 전환하여 제거
- ④ 생물산화 : 철 박테리아를 이용하여 제2철로 산화하여 제거
- ⑤ 접촉산화 : 산화 수산화철을 코팅한 여재를 사용하여 여과

위의 처리기법에서 용존성의 철을 제거할 수 있는

방법은 응집처리방법과 이온교환방법을 고려할 수 있으며, 흡착하여 처리하는 방법도 가능할 것으로 보인다. 수중에 있는 용존성 Fe의 경우 직접적으로 이온교환, 응집처리, 흡착 등의 방법을 통해 제거하는 것이 가능하지만 처리의 효율성 및 경제성 등에 대한 신중한 고려가 필요하며, 실제 적용을 위해서는 실험적 검증이 우선 필요할 것으로 사료된다. 또한, 2가 철을 다양한 기작을 통해 3가철로 산화시켜 입자성으로 전환한 후 침전 및 여과 등의 방법으로 처리하는 것은 효율적인 측면에서 볼 때 가장 적절한 방법으로 판단되지만, 공정구성 시 구체적인 설계요소에 대한 검토 및 반응과 관련된 실험적 검증과 경제성 및 부지의 적정성 등에 대한 종합적인 검토가 필요할 것으로 보인다.

하지만 본 연구지점에서 발생하는 적수현상은 수중의 DO 농도가 충분하여 산화된 입자성 철 성분이 대부분인 것으로 평가되므로, 이를 제거하기 위한 적절한 여과방법 및 침전방법을 고려하는 것이 바람직하다. 따라서 용인시 내 하천의 적수현상을 억제하기 위해서는 입자성 철을 처리하기 위한 방안이 필요하며, 응집을 포함하여 침전 및 여과를 통해 제거하는 것이 가장 현실적인 방법으로 사료된다.

IV. 결론 및 요약

본 연구에서는 용인시 내 일부 하천에서 발생하는 적수현상의 원인을 분석하고 개선방안을 마련하고자 하였으며, 조사지점별 적수 발생원인과 개선방안을 제시하였다.

1. JJS

JJS 지점은 유수와 분리된 정체 구역에서 주로 발생되며, 주변 토양이나 지하수의 용출, 하천수의 월류 등으로 유입된 물이 산화작용에 의해 적수현상이 발생하는 것으로 추정된다. 하천수가 원활하게 흐르는 곳이 아니기 때문에 Fe를 처리하기 위한 공법적용에 한계가 있으며, 주변 유입수 차단도 어렵다. 따라서 가장 현실적인 방법으로는 식생 피복 등을 통해 외관상 보이지 않도록 하고, 식생으로 인한 uptake 작

용을 통해 추가적인 처리효과를 기대하는 것이 가장 효과적인 방법으로 판단된다.

2. SBS

SBS 지점은 지하에 매설된 관로를 통해 지속적으로 적수가 유입되고 있으며, 이후 성북천의 성서1교 직하류부에 흘러들어와 미관적으로 영향을 미치기 때문에 적절한 처리방안 강구가 필요하다. 지속적으로 철 농도가 높은 물이 유입되면서 하상이나 유수의 바닥에 침전 및 침착된 철 성분으로 보다 선명한 적색을 띠는 착시현상이 발생하고 있으므로, 시각적으로 적수현상을 감소시키기 위해 지속적으로 바닥을 청소하는 방법을 고려할 수 있다. 궁극적인 처리방법은 여과 또는 침전 등의 방법으로 제거하는 것이 바람직하다. 생물막 여과를 이용하여 약 97%의 철을 제거할 수 있다고 보고되어 있으며(Jeon et al, 2003), 트리폴리인산나트륨의 회분식 반응을 통해 99.5%의 철 이온을 제거할 수 있다고 보고되어 있다(Hyun et al, 2009). 설치장소의 적절성과 유효공간 확보, 시설비 및 운전비 등의 경제성, 처리효율에 따른 목표수질 설정 등을 충분히 고려하여 사전연구 및 실험검토가 필요하다.

다른 방법으로는 하천의 하도를 활용하여 인공습지 등 자연형 처리방법 통해 적수가 유입되는 곳이나 유입 전에 하도습지 또는 식생여과지, 식생수로 등을 설치하여 하천 내 또는 직유입 전에 처리하는 자연정화방법을 고려해 볼 수 있다. 습지조성을 통한 철 이온 제거는 습지구조에 따라 다르지만 약 20%의 철 제거효율을 보이는 것으로 보고되어있다(K-water, 2021).

3. JPS

JPS 지점의 경우 최근 하도의 변화로 물이 정체되지 않고 흐르면서 적수 현상이 해소된 상태이다. 이는 철 성분을 많이 포함한 물이 수리적 영향으로 정체되면서 수중의 높은 용존산소로 인해 산화작용으로 철 박테리아 등의 번식하여, 3가철이 입자상으로 전환되면서 적색을 띠는 것으로 추정된다. 따라서 JPS 지점은 물이 정체되지 않도록 하도를 관리하고 유수의 흐름이 유지될 수 있도록 관리가 필요하다.

사사

본 연구는 경기녹색환경지원센터의 연구비지원(과제번호 22-05-01-30-33)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cho BY. 2006. On the Crystalline Structures of Iron Oxidies formed During Removal Process of Iron in Water. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*. 26(1B): 107-111. [Korean Literature]
- Chon CM, Park JS, Kim JG, Lee YS. 2010. Relationship between Physicochemical Properties, Heavy Metal Contents and Magnetic Susceptibility of Soils. *Korean Journal of Mineralogy and Petrology* 23(4): 281-295. [Korean Literature]
- Hyun JH, Jeon HJ, Kim JH. 2009. Removal of Ca^{2+} and Fe^{3+} in Acid Mine Drainage by Tripolyphosphates. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* 10(5): 27-32. [Korean Literature]
- Jeon HB, Lim HS, Lim JS, Lee MJ, Park DS. 2003. Removal of nitrate-nitrogen, iron and manganese in biofilters. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 341-342. [Korean Literature]
- Jeong DY, Lee KJ. 1996. A Study on the Chemical Weathering Characteristics of the Weathered Granite Residual Soils prone to Laterization. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 12(4): 115-130. [Korean Literature]
- Jun SC, Jang HJ, Hahn C, Lee JH, Yi MJ. 2016. Determination of the Pathway of Injected Oxygenated Water With Tracer and the Effect of Iron and Manganese Removal in Groundwater. *Journal of the Geological Society of Korea* 52(3): 259-273. [Korean Literature]
- K-water. 2021. Efficiency verification of eco-friendly filtering wetland and derivation of factor. [Korean Literature]
- Lee MJ, Jang HJ, Cha JH. 2015. Study on the Iron-Concentrated Low-Fat Supplemental Water Continuous Injection Test. *The Journal of Engineering Geology* 15(1): 93-94. [Korean Literature]
- Lee SY, Chung Taihak. 2003. Evaluation of Bank Filtrate Water Quality in Galjon, the Downstream of Nakdong River. *Korean Society of Water & Wastewater* 17(4): 1-1. [Korean Literature]
- Na HY, Kwon DY. 2011. Study on the Water Quality of Bank Filtration Depending on Soil Characteristics. *The Journal of Korean Society of Soil and Groundwater Environment* 16(6): 19-26. [Korean Literature]