大 韓 衛 生 學 會 誌
KOREAN J. SANITATION
Vol. 9, No. 1, 17~28(1994)

# 수돗물의 앙금발생규명 및 저감기술방안

김갑수 · 임병진 · 권은미

서울시정개발연구원 도시환경연구부

# Study on the alternatives to trace the origin and to diminish the sediments of drinking water

Kap-Soo Kim, Byung-Jin Lim and Eun-Mi Kwon

***Dept, of Environmental Management, Seoul Development Institute***

**Abstract**

There are many possibilities that may lead to low quality of drinking water. Recently, some unknown deposits in tap water raised a lot of public concern regarding the safety of drinking water in Seoul.

We analyzed the quality of tap water from several areas of Seoul, including the area where public complaints about tap water were high.

The results shows that the quality of tap water in Seoul was good, well below the environmental standards. Only the tap water from the area with high public complaints showed turbidity higher than that of other area. Also, result shows that component of deposit in tap water was Al, Fe, Mn, and Zn.

Based on the research result, we propose several measures that might help to reduce the amount of deposit in tap water as follows :

1. Using coagulant aid when coagulating or adjusting pH when filtering.
2. Replacing old water pipeline with new corrosive-resistant one.
3. Increasing water treatment efficiency by enhancing water treatment system such as automation of water treatment system, adjusting production capacity, and improving operational condition of filter basin.

4. Chlorine disinfection at the distribution reservior would help maintaining the same pH level and chlorine concentration throughout the water pipeline and reduce corrosion of pipe.

## Ⅰ. 서 론

현재 서울시의 상수취수원은 하천수질환경기준의 2등급(BOD 3㎎/ℓ 이하)을 만족하고 있는 실정이며 생산, 공급계통을 통하여 가정으로 공급되는 동안에 음용수의 질적인 저하를 초래할 수 있는 여러 가지 원인을 안고 있다. 상수원수의 수질악화, 정수처리공정에서 생성되는 유해물질과 맛, 냄새, 앙금 그리고 낡고 오래된 배·급수관으로 인한 유통과정중 수돗물의 질적저하, 저수조의 관리부실 등이 바로 그것이다.

이러한 문제점으로 인해 생성된 수돗물의 맛, 냄새, 앙금 등은 위생에 대한 의식이 높아져가는 시민들에게 불쾌감 유발과 신뢰도의 저하를 가져온 이래, 현재는 생수의 시판을 허용하는 경우에까지 이르게 되었다. 특히 수돗물을 정체시켰을 때 바닥에 고이는 앙금은 수돗물의 질적 저하를 가시적으로 증명하는 것으로 새로운 관심이 되고 있다. 그러나 현재 이 부분에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않아 정확히 어떤 성분에서 비롯된 것인지 규명하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 서울시 일부지역의 수돗물을 채수하여 수질과 앙금의 성상을 조사함으로써 앙금의 발생규명과 그 저감방안에 대해서 고찰하고자 하였다.

## Ⅱ. 이론적 배경

'앙금'이라 하면 '침전'이라 정의되어 있다(민중서림, 국어대사전). 그러므로 수돗물중의 앙금은 물속에서 형성되는 여러가지 침전물이라고 할 수 있다. 이러한 침전물의 일부는 원수에 포함된 부유물질이 정수장에서 제거되지 않고 그대로 가정에 공급되는 경우도 있으나 대부분의 경우는 물속에 용해된 화학물질이 배수관망을 거치는 사이 관내부의 새로운 환경 때문에 화학반응이 일어나서 생기거나, 관내부에 형성되어 있던 부식물들이 유속의 변화에 의해 떨어져 나가서 수돗물로 유출되기도 한다. 본 연구에서는 앙금의 범위를 정수장에서 제거되어야 했을 원수에 포함되어 있는 부유물질은 제외하고, 상수도 배급수관을 지나는 사이 화학반응 등에 의해 생성된 침전물로 국한하고자 한다.

관내부에서 침전이 생기는 가장 큰 이유는 관의 부식이라고 할 수 있다. 관의 부식에는 내부와 외부부식이 있는데, 외부부식은 관이 매립된 토양의 영향을 가장 많이 받고, 내부부식은 관에 흐르는 수질의영향에 의해서 좌우된다. 그밖에 관의 사양(재질이나 매설년도)도 관의 부식을 가름하는 주요인자가 된다. 앙금은 관의 내부부식의 영향을 많이 받는다.

부식에는 전체부식(Uniform corrosion)과 국부부식(localized corrosion)이 있는데, 전체부식은 부식이 금속의 표면 전체에 균등하게 일어나는 것 그리고 국부부식은 부식이 부분적으로 일어나는 것을 의미한다. 국부부식에는 갈바닉 부식(galvanic corrosion), 크레비스 부식(crevic corrosion), 피팅(pitting), 침식(erosion)이 있다. 배수관의 부식은 사용된 관

의 재질이 부식에 약하거나 배금수관에 유입되는 물이 부식성이 강할 때 각각 일어날 수 있다.

서울시 상수도 관망을 조사해보면 사용된 관이 철을 주소재로 하고 있다. 표 1은 서울시 상수도에 사용된 관을 재질별로 분류하여 나타낸 것이다. 이 표에서 알 수 있듯이 송수관, 배수관, 급수관 모두가 철을 주소재로 하고 있다. 이처럼 사용된 철은 자연적으로 부식될 수 있고, 그 결과로 부식물질이 형성되어서 관의 통수능력을 저하시킬 수 있다. 또, 때로는 이 부식물질이 상수도 관망을 통과해서 수돗물에 적수의 문제를 야기시키기도 한다. 실제로 건설기술연구원에서 진행된 연구에 따르면 배수관내에 형성되어 있는 스케일(scale) 성분의 82~95%가 $Fe_2O_3$로 밝혀졌다. 그밖에 급수관의 또 다른 주종인 아연도강관은 주철관보다도 산화성이 강한 금속으로 부식되어 산화 및 수산화아연을 형성할 수 있다.

칼슘은 물속의 탄산알카리도와 반응하여 탄산칼슘을 형성한다. 탄산칼슘은 관의 표면에 막을 형성해서 관을 부식으로부터 보호해 준다. 그러나 탄산칼슘의 막이 계속 누적될 때는 스케일을 형성하여 관의 통수능력을 저하시킨다.

표 1. 서울시 상수도 관종별 사용현황

| 관 종 | 송수관 | 배수관 | 급수관 |
|---|---|---|---|
| 도복장강관 | 88.4% | | |
| 주 철 관 | | 41.9% | |
| 닥 타 일 주 철 관 | | 49.9% | |
| 아연도광관 | | | 73.7% |

자료 : 상수관부식방지기법 연구, 한국건설기술연구원, 1990

마그네슘도 알루미늄과 마찬가지로 배급수관에 수산화염을 형성할 수 있다. 수산화마그네슘은 pH가 높을수록 용해도가 감소하는데 수산화마그네슘의 침전물은 관내의 수온이 높을 때 스케일을 형성해서 배급수관에 심각한 문제를 야기시킬 수 있다.

망간은 지하수에 많이 포함되어 있고 지표수에는 아주 적은 양이 존재한다. 그러나 망간은 주철관이나 닥타일 주철관을 만들 때 성분으로 사용되므로 급수관의 부식시 용출되어 앙금을 생성할 수 있다. 또한 망간은 염소와 같은 산화제와 접촉시 산화되어 산화망간을 형성한다.

표 2. 주철관 및 닥타일 주철관의 화학성분

(무게 %)

| 성분 | 닥타일 주철관 | 주철관 |
|---|---|---|
| T.C | 2.8~3.7 | 3.2~3.8 |
| S i | 1.7~2.5 | 1.4~2.2 |
| Mn | 0.2~0.4 | 0.4~0.6 |
| P | 0.1이하 | 0.5이하 |
| S | 0.015이하 | 0.1이하 |
| Mg | 0.03이상 | - |

자료 : 닥타일 주철관(한국주철관공업주식회사)

구리의 부식은 다른 물질과는 달리 국부 부식이 아닌 전체부식이 일어난다. 구리의 부식은 특히 염소에 의해서 촉진된다.

알루미늄의 재응집은 정수장에서 처리된 정수가 상대적으로 높은 잔류 알루미늄을 함유하고 있을 때 일어난다. 정수장을 통과한 잔류 알루미늄은 배급수관망에서 재응집을 일으킬 수 있다. 재응집된 알루미늄은 앙금을 형성, 배·급수관내의 탁도를 증가시키고, 증가된 탁도는 관내에서 염소소독 효율을 감소시킨다. 이는 앙금이 관내에 기생하는 미생물을 둘러

쌓아, 미생물을 소독제로부터 보호하기 때문이다(Water Treatment Principles & Design). 뿐만 아니라 앙금은 배급수관을 통과하는 물과의 마찰로 통수능력을 저하시킨다.

알루미늄은 재응집외에 용해된 상태로 존재시는 인체에 영향을 끼칠지도 모른다. 이(1989)에 의하면 사람이 알루미늄을 과다 섭취할 경우 신경계 장애인 치매와 경련 등의 뇌질환을 일으키고, 음용수에서의 높은 알루미늄 농도는 노인성치매병(Alzheimer's disease)과 관련이 있으며 고등동물의 신경원에 신경원섬유 변성을 일으키고, 신장투석환자가 치매현상을 일으키는 원인은 대개 투석환자를 치료하는 물에서 기인된다고 한다.

알루미늄의 재응집이 일어나기 위해서는 먼저 잔류 알루미늄이 배급수관에 존재해야 하는데, 알루미늄은 다음과 같은 이유에 의해 관에 도달하게 된다.

- 정수처리시 응집의 효율이 떨어진 때, 알루미늄이 효율적으로 사용되지 못해서 정수의 수질이 나쁠 뿐만 아니라, 잔류알루미늄이 배급수관에 도달한다.
- 정수처리시 알루미늄이 과다주입한 때, 잉여 알루미늄이 배급수관에 도달한다.
- 여과의 효율이 떨어진 때, 응집시 형성된 알루미늄 침전물이 배급수관에 도달한다.
- 염소살균이 염소가스형태로 정수처리 후에 행해질 때(후염소처리), 정수의 pH가 떨어져서 재응집된 알루미늄의 양이 증가한다.

이러한 화학물질외에 미생물도 앙금을 유발하는 원인이 될 수 있다. 일부 미생물들은 부유물질을 응집시킬 수 있는 유기중합체(organic polymer)를 생성할 수 있다.이러한 유기중합체가 방출되어서 물속에 있는 부유물질을 응집시키며 앙금을 형성할 수 있다. 이렇게 형성된 앙금은 관내에 부착되어 있다가 유속이 강한 때에 떨어져 나가 수돗물에 검출될 수 있다.

## III. 실험방법

### 1. 수돗물의 수질조사

본 연구에서는 취수원의 위치에 따라 상수원수의 수질에 차이가 있는 점을 감안하여 같은 상수원수를 사용하고 있는 정수사업소를 동일한 그룹으로 보고 각 그룹에서 한개씩을 선택하여 광암, 구의, 노량진 정수사업소를 조사대상으로 선정하였다. 채수지점은 각 정수사업소별로 상수원수와 정수를 채수하였고 수돗물중 건물이 신축된 연도가 5년, 10년, 15년된 곳을 각각 선정하여 각 지점의 물탱크 통과수와 배관수(직수)를 채수하였다. 채수기간은 1993년 2월부터 11월까지 매월 1회씩 총 10회를 분석하였다. 각 지점에서 채취한 시료는 탁도, pH, $KMnO_4$소비량, 황산이온, 암모니아성질소, 질산성질소, 증발잔류물, 철, 망간, 아연, 동, 알루미늄, 알카리도 등 13개 항목을 분석하였다.

또한 수돗물에서 이상한 불순물이 나온다고 민원이 있었던 S동의 수돗물도 1993년 5월, 6월 및 7월에 채수하여 동일한 항목을 분석하였다.

### 2. 수돗물중 앙금의 성상분석

그러나 배관매설년도에 따라 수질의 변화가 일정하지 않을뿐 아니라 육안으로 구별할 수 있는 민원발생지역 수돗물의 수질도 일반적인 지역과 비교하여 볼때 거의 차이가 없었다. 따

라서 수돗물중 앙금의 성상분석 및 발생원인을 파악하고 도출하기 위하여, 민원이 있었던 S동 아파트(92년 4월 입주시작)에서 93년 7월에 지하저수조 유입전의 직수와 지하 및 옥상저수조를 거친 아파트내의 수도꼭지물(이하 탱크수)을 채수하였다. 그리고 민원지역의 수돗물과 비교 검토하기 위하여 아직 앙금이 발생되지 않은 지역으로서 깨끗한 팔당원수를 이용하고 있는 광암정수사업소에서 생산되어 공급된 K동 D아파트(입주시기 : 약 5년)의 지하저수조 유입전의 직수와 지하 및 옥상저수조를 거친 아파트내의 수도꼭지물(이하 탱크수)을 같은 날짜에 채수하였으며, 각 시료수를 앙금의 성상분석의 원수로서 사용하였다. 또한 그후 민원이 있었던 지역에서도 시료를 채수하여 앙금성분을 분석하였다.

상기의 각 시료수 10ℓ를 GF/C 여과지로 여과하여 여과지에 걸린 물질을 채취하여 건조시킨 후 건조된 각 시료에 증류수 80mℓ와 질산 20mℓ를 첨가하였으며, MDS-2000(고주파시료전처리기 : Microwave Sample Preperation System)으로 전처리하고 여과하여 앙금분석의 시료로 하였다. 전처리한 시료는 유도쌍플라즈마분석기(Inductively coupled plasma spectrometer; ICP)를 이용하여 분석하였다.

한편 상기의 조사지역에서 채취한 각 수돗물중의 중금속농도를 측정하기 위하여 각 수돗물 80mℓ와 질산 20mℓ를 첨가하여 100mℓ로 한 후 그 자체의 중금속농도 파악을 위한 원수로 사용하였다. 또한 여액중에 포함된 각 중금속농도는 각 시료수의 여과전 수돗물에 포함된 농도에서 여지중에 여과된 부유물질의 농도의 차로 구하였다.

## Ⅳ. 실험결과 및 고찰

### 1. 수돗물의 수질조사

서울시내 3개 정수사업소에서 공급되는 수돗물의 수질은 표 3과 같다. 조사대상 전지역에서 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 없었으나 Al은 아직 우리나라의 수질기준에는 포함되어 있지 않지만 WHO 수질권장치인 0.2mg/ℓ 보다 높게 측정되기도 하였다. 직수나 탱크수간에 수질의 차이가 일정하지 않았으며, 배관매설년도에 따른 수질도 일정한 경향을 나타내지 않았다.

### 2. 민원발생지역의 수질

민원발생지역인 S동의 몇몇 지역에서 채취한 시료의 수질은 표 4 및 표 5에서 보는 바와 같이 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 없었으나 Al은 1차 수질검사 결과에서 역시 WHO 수질권장치보다는 높게 나타났다. 또한 탁도가 앞서 조사한 지역보다 약간 높았을뿐 다른 항목에서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

### 3. 수돗물중 앙금의 성상분석

표 6에 나타난 바와 같이 조사지역중 S동 아파트의 수돗물에서는 부유물질(앙금)의 농도가 K지역의 각 시료수보다 높았으며, 또한 S동 직수는 탱크수보다 1.15mg/ℓ 정도 높았다. 한편 K동의 경우도 마찬가지로 직수가 탱크수보다 0.22mg/ℓ 정도 높았으며, 각 부유물질의 색깔은 K동 지역이 노란색 혹은 연노란색이었으며, S동은 직수 및 탱크수 양쪽 모두 적색으로 나타났다.

한편 K동 수돗물의 중금속농도는 표 7과 같이 원수는 각각 미량 검출되었으며(0.065~

표 3. 각 정수사업소의 상수원수 및 각 수돗물의 평균수질현황

(단위 : mg/ℓ, Turb : NTU, pH : -)

| 구 분 | | | Turb | pH | $KMnO_4$ | $NH_3$-N | $NO_3$-N | $SO_4^{2-}$ | TS* | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | Alkalinity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 음용수 수질기준 | | | 2도 이하 | 5.8 -8.5 | 10 이하 | 0.5 이하 | 10 이하 | 200 이하 | 500 이하 | 0.3 이하 | 0.3 이하 | 1 이하 | 1 이하 | - | 300 이하 |
| 광암 | 원수 | | 8.5 | 7.44 | 4.18 | 0.09 | 1.08 | 12.26 | 122 | 0.108 | 0.011 | 0.013 | 0.003 | 0.162 | 38 |
| | 정수 | | 0.3 | 7.24 | 2.00 | 0.02 | 0.80 | 9.82 | 71 | 0.027 | 0.006 | 0.243 | 0.001 | 0.214 | 34 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.3 | 7.28 | 2.00 | 0.02 | 1.20 | 9.27 | 88 | 0.016 | 0.005 | 0.035 | 0.004 | 0.395 | 34 |
| | | 10 | 0.4 | 7.31 | 1.48 | 0.02 | 1.64 | 13.90 | 100 | 0.024 | 0.007 | 0.101 | 0.016 | 0.287 | 35 |
| | | 15 | 0.3 | 7.20 | 2.29 | 0.02 | 1.17 | 10.37 | 101 | 0.079 | 0.008 | 0.212 | 0.012 | 0.304 | 34 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.3 | 7.36 | 1.62 | 0.02 | 0.97 | 7.63 | 91 | 0.035 | 0.007 | 0.100 | 0.002 | 0.165 | 35 |
| | | 10 | 0.3 | 7.26 | 1.87 | 0.01 | 1.10 | 9.58 | 81 | 0.030 | 0.007 | 0.126 | 0.008 | 0.246 | 34 |
| | | 15 | 0.3 | 7.29 | 2.04 | 0.04 | 1.17 | 10.46 | 71 | 0.036 | 0.006 | 0.108 | 0.015 | 0.236 | 34 |
| 구의 | 원수 | | 13.6 | 7.36 | 4.48 | 0.19 | 1.30 | 15.01 | 139 | 0.118 | 0.018 | 0.086 | 0.007 | 0.335 | 39 |
| | 정수 | | 0.4 | 7.10 | 2.03 | 0.07 | 1.21 | 11.75 | 88 | 0.062 | 0.018 | 0.106 | 0.003 | 0.342 | 33 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.4 | 7.16 | 2.00 | 0.03 | 1.37 | 11.00 | 80 | 0.126 | 0.013 | 0.204 | 0.005 | 0.303 | 36 |
| | | 10 | 0.5 | 7.16 | 1.98 | 0.03 | 1.27 | 9.89 | 118 | 0.024 | 0.014 | 0.109 | 0.005 | 0.215 | 35 |
| | | 15 | 0.5 | 7.18 | 1.98 | 0.03 | 1.16 | 10.97 | 75 | 0.030 | 0.013 | 0.159 | 0.004 | 0.250 | 35 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.4 | 7.15 | 2.48 | 0.04 | 1.32 | 10.94 | 102 | 0.047 | 0.012 | 0.229 | 0.004 | 0.147 | 36 |
| | | 10 | 0.4 | 7.26 | 2.37 | 0.04 | 1.17 | 10.98 | 94 | 0.096 | 0.012 | 0.172 | 0.007 | 0.222 | 36 |
| | | 15 | 0.5 | 7.20 | 1.85 | 0.11 | 1.28 | 10.93 | 98 | 0.075 | 0.011 | 0.210 | 0.007 | 0.339 | 35 |
| 노량진 | 원수 | | 9.0 | 7.36 | 5.0 | 0.1 | 1.4 | 12.7 | 211 | 0.090 | 0.014 | 0.018 | 0.002 | 0.313 | 37 |
| | 정수 | | 0.4 | 7.22 | 2.5 | 0.0 | 1.1 | 9.1 | 115 | 0.069 | 0.019 | 0.022 | 0.002 | 0.349 | 30 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.4 | 7.16 | 2.3 | 0.0 | 1.3 | 9.2 | 75 | 0.031 | 0.012 | 0.288 | 0.002 | 0.290 | 35 |
| | | 10 | 0.4 | 7.22 | 3.2 | 0.0 | 1.2 | 9.7 | 55 | 0.026 | 0.013 | 0.077 | 0.005 | 0.205 | 33 |
| | | 15 | 0.4 | 7.17 | 3.0 | 0.1 | 1.2 | 8.7 | 77 | 0.030 | 0.014 | 0.158 | 0.005 | 0.268 | 33 |
| | 배관탱크수 | 5 | 0.5 | 7.18 | 2.5 | 0.0 | 1.1 | 10.2 | 98 | 0.050 | 0.013 | 0.387 | 0.004 | 0.232 | 35 |
| | | 10 | 0.5 | 7.15 | 2.6 | 0.1 | 1.1 | 9.7 | 85 | 0.027 | 0.009 | 0.143 | 0.006 | 0.189 | 32 |
| | | 15 | 0.5 | 7.18 | 2.2 | 0.0 | 1.0 | 9.4 | 61 | 0.041 | 0.011 | 0.120 | 0.007 | 0.140 | 33 |

(n=10), *TS : Total Solid, 증발잔류물

표 4. 민원발생지역인 S동의 1차 수질분석 결과

(단위 : mg/ℓ)

| 구분 | 탁도 (NTU) | pH (-) | $KMnO_4$ 소비량 | 암모니아질소 | 질산성질소 | 황산이온 | 증발잔류물 | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | 알카리도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0.5 | 6.75 | 0.58 | ND | 0.62 | 5.85 | 40 | 0.024 | 0.010 | 0.280 | 0.003 | 0.158 | 27 |
| B | 0.6 | 6.81 | 1.16 | ND | 0.59 | 5.64 | 150 | 0.002 | 0.016 | 0.139 | ND | 0.122 | 33 |
| C | 0.6 | 7.13 | 0.58 | ND | 0.65 | 6.17 | 190 | 0.021 | 0.024 | 0.860 | ND | 0.970 | 35 |
| D | 0.5 | 7.17 | 0.87 | ND | 0.59 | 5.74 | 80 | 0.034 | 0.019 | 0.965 | 0.007 | 0.694 | 38 |
| E | 0.8 | 7.03 | 0.58 | ND | 0.56 | 7.02 | 150 | 0.120 | 0.016 | 0.079 | ND | 0.261 | 29 |
| F | 0.8 | 7.16 | 1.16 | ND | 0.70 | 6.49 | 110 | 0.033 | 0.027 | 0.420 | 0.001 | 0.825 | 39 |
| G | 0.6 | 7.16 | 1.16 | ND | 0.62 | 6.28 | 50 | 0.051 | 0.029 | 0.712 | ND | 0.461 | 39 |
| H | 0.8 | 7.02 | 0.87 | ND | 0.66 | 6.06 | 150 | 0.045 | 0.022 | 0.426 | ND | 0.414 | 28 |

표 5. 민원 발생지역인 S동의 2차 수질분석 결과

(단위 : mg/ℓ)

| 구분 | 탁도 (NTU) | pH (-) | $KMnO_4$ 소비량 | 암모니아질소 | 질산성질소 | 황산이온 | 증발잔류물 | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | 알카리도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 0.7 | 6.71 | 2.32 | ND | 1.14 | 10.74 | 80 | 0.022 | 0.006 | 0.045 | ND | 0.125 | 15 |
| C | 0.4 | 7.04 | 2.61 | ND | 1.02 | 11.67 | 160 | 0.020 | 0.025 | 0.750 | ND | 0.120 | 21 |
| E | 0.5 | 7.00 | 2.61 | ND | 0.97 | 11.11 | 130 | 0.020 | 0.015 | 0.060 | ND | 0.110 | 22 |
| F | 0.5 | 7.10 | 2.03 | ND | 0.79 | 12.59 | 150 | 0.021 | 0.016 | 0.050 | ND | 0.119 | 29 |
| G | 0.8 | 6.98 | 2.61 | ND | 0.88 | 12.96 | 120 | 0.030 | 0.020 | 0.410 | ND | 0.121 | 24 |
| H | 0.7 | 7.03 | 2.90 | ND | 1.15 | 11.67 | 130 | 0.050 | 0.025 | 0.505 | ND | 0.111 | 29 |

표 6. K동 및 S동의 부유물질(앙금)의 농도 및 색깔

| 시 료 명 | 농도(mg/ℓ) | 색 깔 |
|---|---|---|
| K동 직 수 | 0.40 | 노 란 색 |
| K동 탱크수 | 0.18 | 연노란색 |
| S동 직 수 | 2.35 | 적 색 |
| S동 탱크수 | 1.20 | 적 색 |

0.617mg/ℓ), 그중 Cu농도가 0.617mg/ℓ로 가장 높았다.

한편 각 중금속에 있어서는 여과지에 걸린 앙금의 농도는 Zn, Al만 높게 검출되었으며 직수 및 탱크수의 원수농도에 대한 앙금의 농도 퍼센트가 Zn이 84.7% 및 70.6%이었으며, Al은 각각 38% 및 97.5%로서 서울시정 업무자료에 의하면 전체 급수관중에서 57.4%를 차지하고 있는 아연도강관에서 Zn의 용출이 발생했다고 생각되며, Al은 정수처리시 사용된 응집제의 성분이 잔류하다가 공급되는 과정에서 재응집되어 생긴 결과라고 생각된다.

특히, 이것은 직수에서 38.0%였고 탱크수가 97.5%인 점을 감안하면 탱크수에서 체류하는 동안 일어난 재응집때문에 비롯되었다고 생각된다.

한편 S동 수돗물의 중금속농도는 앙금성상중에서 K동에서 검출되지 않았던 철 및 망간성분이 직수 및 탱크수 양쪽 모두 81.9% 및 46.6%로서 높게 검출되었으며, 또한 Mn도

표 7. K동 수돗물의 앙금 및 여액중의 중금속농도

(단위 : mg/ℓ)

| 시료명 \ 항목 | | Fe | Mn | Cu | Zn | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 수돗물 | 직 수 | 0.157 | 0.093 | 0.617 | 0.065 | 0.079 |
| | 탱크수 | 0.165 | 0.094 | 0.626 | 0.374 | 0.118 |
| 앙 금 | 직 수 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.055 | 0.030 |
| | 탱크수 | 0.012 | 0.014 | 0.001 | 0.264 | 0.115 |
| 여 액 | 직 수 | 0.157 | 0.089 | 0.617 | 0.010 | 0.049 |
| | 탱크수 | 0.153 | 0.080 | 0.625 | 0.110 | 0.003 |
| 앙금함유율 (%) | 직 수 | 0 | 4.3 | 0 | 84.6 | 38.0 |
| | 탱크수 | 7.3 | 14.9 | 0.2 | 70.6 | 97.5 |

표 8. 민원발생지역의 S동 수돗물의 앙금 및 여액중 중금속농도

(단위 : mg/ℓ)

| 시료명 \ 항목 | | Fe | Mn | Cu | Zn | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 수돗물 | 직수 | 0.277 | 0.173 | 0.617 | 0.513 | 0.107 |
| | 탱크수 | 0.189 | 0.133 | 0.607 | 0.513 | 0.131 |
| 앙금 | 직수 | 0.227 | 0.168 | 0.007 | 0.479 | 0.106 |
| | 탱크수 | 0.088 | 0.107 | 0.010 | 0.339 | 0.130 |
| 여액 | 직수 | 0.050 | 0.005 | 0.610 | 0.034 | 0.001 |
| | 탱크수 | 0.101 | 0.026 | 0.597 | 0.174 | 0.001 |
| 앙금함유율 (%) | 직수 | 81.9 | 97.1 | 1.1 | 93.4 | 99.1 |
| | 탱크수 | 46.6 | 80.5 | 1.6 | 66.1 | 99.2 |

표 9. 기타 민원발생지역의 수질분석결과

(단위 : mg/ℓ)

| 지점 | 탁도 (NTU) | pH (-) | $KMnO_4$ 소비량 | 증발잔류물 | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | Ca | Mg | 알카리도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A동 | 0.6 | 7.02 | 1.71 | 70 | 0.04 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.09 | 16.74 | 3.28 | 42 |
| B동 | 0.6 | 7.03 | 2.73 | 80 | 0.02 | 0.008 | 0.005 | 0.004 | 0.09 | 16.77 | 3.32 | 40 |
| C동 | 0.8 | 7.01 | 3.07 | 80 | 0.03 | 0.008 | 0.004 | 0.003 | 0.10 | 16.58 | 3.30 | 40 |
| D동 | 0.8 | 6.97 | 1.37 | 60 | 0.05 | 0.007 | 0.004 | 0.004 | 0.09 | 16.59 | 3.45 | 42 |

표 10. 기타 민원발생지역의 수돗물중의 중금속농도

(단위 : mg/ℓ)

| 구분 | | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 수돗물 | A 동 | 0.040 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.090 | 16.74 | 3.28 |
| | B 동 | 0.020 | 0.008 | 0.005 | 0.004 | 0.090 | 16.77 | 3.32 |
| | C 동 | 0.030 | 0.008 | 0.004 | 0.003 | 0.100 | 16.58 | 3.30 |
| 앙금 | A 동 | 0.040 | 0.007 | 0.001 | 0.001 | 0.025 | 0.01 | 0.00 |
| | B 동 | 0.008 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.00 | 0.00 |
| | C 동 | 0.022 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.042 | 0.01 | 0.00 |
| 여액 | A 동 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.003 | 0.065 | 16.73 | 3.28 |
| | B 동 | 0.012 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.074 | 16.77 | 3.32 |
| | C 동 | 0.008 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.059 | 16.57 | 3.30 |

표 11. 기타 민원발생지역의 수돗물중의 중금속함유율(%)

| 구 분 | | Fe | Mn | Zn | Cu | Al | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 앙금 | A 동 | 100.0 | 100.0 | 20.0 | 25.0 | 27.8 | 0.1 | 0 |
| | B 동 | 40.0 | 50.0 | 0 | 0 | 17.8 | 0 | 0 |
| | C 동 | 73.3 | 75.0 | 25.0 | 33.3 | 42.0 | 0.1 | 0 |
| 여액 | A 동 | 0 | 0 | 80.0 | 75.0 | 72.2 | 99.9 | 100.0 |
| | B 동 | 60.0 | 50.0 | 100.0 | 100.0 | 82.2 | 100.0 | 100.0 |
| | C 동 | 26.7 | 25.0 | 83.3 | 77.8 | 58.5 | 99.9 | 100.0 |

97.1% 및 80.5%로서 높게 검출되었다. 이것은 철 및 망간이 산화되어 철은 $Fe_2O_3$ 또는 망간은 $MnO_2$로 되어 나왔기 때문으로 생각된다.

또한 아연은 직수 및 탱크수 양쪽 모두 93.4% 및 66.1%로서 높은 비율로 앙금성상으로 나타났으며 이것은 아연도강관에 의한 용출 때문이라고 생각된다.

## Ⅳ. 앙금의 저감대책

앞에서 설명한 바와 같이 여러가지 화학물질이 앙금발생을 유도할 수 있으나, 현재 서울시 수돗물에서 나타난 주요성분은 철, 망간, 알루미늄이다. 철이나 망간의 경우 정수시설에서보다는 상수원수에 포함되어 있었거나 배급수관을 통과하면서 농도가 증가할 수 있다. 그러나 알루미늄은 이와는 달리 정수장이 제대로 운영되지 못할 경우 응집제로 주입된 알루미늄성분이 물속에 남아 상수원중에 포함된 알루미늄의 농도보다 높아질 수 있다. 또한 정수장에서 각 가정으로 공급되는 동안 배급수관에서 변화된 환경에 따라 재응집되면서 앙금을 형성한다.

여기서는 현재 서울시 수돗물에서 생성된 앙금의 주요성분인 알루미늄과 철, 망간을 저감할 수 있는 방안을 중심으로 제시하였다.

첫번째 저감방안은 정수장에서 사용되는 응집제 이외에 응집보조제를 적절하게 사용함으로써 잔류 알루미늄의 양을 줄이는 것이다. 또한 응집과 여과시에 pH를 적절하게 조절함으로써 잔류 알루미늄의 양을 줄일 수 있다. 즉, 알루미늄은 pH가 6일 경우 그 용해도가 최소이므로 여과전에 물의 pH를 6정도로 조절해서 알루미늄플록이 많이 형성하게 해서 이 플록들이 여과로 제거되게 함으로써 잔류 알루미늄농도를 줄일 수 있다. 응집-침전-여과로 이루어진 보통정수장은 용해물질은 제거하지 못하고 부유물질만 제거하는 것이 목적이므로 용해된 알루미늄은 제거할 수 없다. 그러므로 여과전에 될수록 많은 양의 알루미늄을 용해물질이 아닌 부유물질로 전환시킴으로써 여과지에서 부유물질을 제거하면 알루미늄의 농도는 그만큼 줄어들게 될 것이다. 이를 위해 여과전에 황산이나 염산 등의 산을 주입하거나 염소를 주입함으로써 소독효과와 pH 감소효과를 동시에 낼 수 있다. 여과지를 거친 물은 알루미늄이 될 수 있는 한 배급수관을 용해상태로 통과하도록 하는 것이 알루미늄의 재응집을 방지하기 위해서는 유리하다. 이를 위해서는 여과지를 통과한 물의 pH를 상승시켜 많은 양의 알루미늄이 배급수관에서 응집되는

대신 용해해서 배급수관을 통과하게 하는 것이다. 이와 같은 방법을 사용해서 좋은 정수효과를 거둔 예가 미국 미네서타주 Fridly정수장에서 있었다.

두번째 배급수관의 환경을 새롭게 조성해야 한다. 표 1에서와 같이 서울시의 배·급수관의 재질은 부식에 약한 철을 주소재로 하고 있기 때문에 관내부의 환경이 변화되면서 부식이 촉진되어 앙금을 형성할 수 있다. 따라서 금후 노후관의 갱생 또는 교체시에는 부식이 되지 않는 관들이 주종을 이루어야 할 것으로 생각되며, 경제적, 효율적이고 시공이 간편하고 방식과 내구성 및 충격에 강하며 또한 강도가 큰 배·급수관의 개발이 계속 필요하다고 생각된다.

또한 잔류염소는 배급수관에서의 부식에 영향을 미치는 중요한 인자중의 하나이다. 배급수관에 잔류염소가 많으면 관의 부식이 촉진될 수 있다. 따라서 배·급수관의 부식을 방지하고 가능한 한 사용기간이 길고 오랫동안 좋은 상태로서 배·급수관을 유지하기 위해서는 후염소처리시의 염소투입은 가능한 적게 하고 배수지에서 잔류염소농도를 측정한 후 필요하면 다시 주입하는 방안도 고려할 필요가 있다고 생각한다. 이때 잔류염소농도를 0.1mg/ℓ 정도로 유지하면 일반세균 및 대장균을 수질기준치 이하로 유지할 수 있으며 또한 수돗물의 맛도 향상되리라 생각된다.

셋째는 정수장의 운영조건개선에 의한 앙금저감방안이다. 정수장에서 생산량의 조정, 약품투입 자동화, 여과지 운전조건 등이 정수수질에 변화를 가져올 수 있으므로, 이 결과로 앙금의 형성에도 영향을 끼칠 수도 있다는 의문이 제기되었다. 실제로 정수장에서 생산되는 양이 일정하지는 않고 매시간, 매일, 또 매달 다르다.

앙금의 여러 성분중에서 알루미늄을 예를 들면, 정수에 포함된 잔류 알루미늄농도에 가장 큰 영향을 끼치는 것은 정수장의 성능이다. 정수장이 올바르게 설계되고, 잘 운영되면 잔류 알루미늄농도가 적을 것이고, 정수장의 운영이 실패하면 잔류 알루미늄농도가 증가될 것이다. 알루미늄도 다른 모든 물질과 같이 용해 알루미늄(soluble aluminum)과 불용해 알루미늄(particulate aluminum)으로 나누어 볼 수 있다. 정수장은 보통 용해된 물질은 제거하지 못하고, 불용해 부유물질만 제거할 수 있으므로 용해 알루미늄은 정수장을 그대로 통과해서 잔류 알루미늄이 될 것이고 반면 불용해 알루미늄은 침전지 및 여과지에서 모두 제거되어야 할 것이다. 그러나 침전지와 여과지가 제대로 운영되지 못하면 일부 불용해 알루미늄은 여과지에서 제거되지 못하고 그대로 배급수관으로 흘러들어갈 것이다. 또한 정수장에서 응집이 제대로 시행되지 않은 때도 알루미늄의 상당부분이 용해 알루미늄으로 존재하게 되므로 배급수관에서 잔류 알루미늄의 농도가 증가할 수 있다. 이와 같이 정수의 잔류 알루미늄농도는 정수장의 운영, 그중에서도 특히 여과지의 운영에 의해서 결정될 수 있다. 전술한 것처럼 정수수질은 정수장의 운영에 의해서 영향을 많이 받는다. 정수장에서 제일 마지막 공정이 여과이므로 여과지의 운영이 때로는 정수장의성패를 좌우한다고 해도 과언은 아닐 것이다. 여과지의 운영에 영향을 미치는 인자는 여러가지가 있는데, 역세척(back-wash)도 이중의 하나이다. 여과지가 역세척되는 데는 2가지 기준이 있는데, 이중 하나는 손실수두(headloss)이고, 또 다른 하나는 정수

수질이다. 여과지의 손실수두가 증가해서 여과지가 더 이상 지정된 여과유량을 유지하지 못한 때나 여과지를 통과하는 정수의 탁도가 지정된 기준치를 초과했을 때 여과지는 역세척된다. 서울시의 정수장은 일반적으로 여과지의 손실수두가 초과되었을 때 여과지를 역세척하고 있는데, 정수의 수질을 높이기 위해서 역세척시 두가지 기준 모두를 고려하는 것도 한 방안이 될 수 있다.

넷째는 수돗물의 고도정수시스템을 도입하여야 한다. 고도정수시설은 통상의 정수방법으로는 충분히 대응할 수 없는 방법으로서 상수원수가 2급수를 초과한 경우 생물학적 전처리에 의한 상수원수 대책과 또한 맛좋고 안전하고 깨끗한 수돗물을 공급하기 위하여 도입되는 공법이다. 고도정수시설은 원수에 있는 미량의 철이나 망간마저도 제거할 수 있어서 앙금을 저감할 수 있다. 이중 오존처리시설은 정수의 THM농도를 줄이는 데도 사용될 수 있다. 염소처리전에 오존시설을 설치하면 원수에 포함된 유기물질을 제거할 수 있으므로 수돗물의 THM농도를 낮출 수 있다. 또 활성탄흡착탄에 의한 앙금의 제거를 위한 고도정수시설의 검토 및 고찰이 필요하다고 생각된다.

## V. 결 론

지금까지 서술한 것처럼 여러가지 화학물질이 앙금발생을 유발할 수 있는데, 앙금의 성상을 분석한 결과, 현재 서울시 수도물에 나타난 앙금의 주요성분은 알루미늄, 철과 망간인 것으로 나타났다. 서울시의 경우 지표수를 상수원으로 사용하기 때문에 원수에 있는 철이나 망간의 농도는 미미하다. 반면 일부 배급수관은 노후하고 부식에 약한 재질로 구성되어 있을뿐만 아니라 관에 유입되는 물의 부식성도 강하다. 그러므로 수돗물에 검출되는 철이나 망간은 주로 배급수관의 영향을 받아 발생하는 것으로 볼 수 있다.

앙금의 원인이 되는 성분의 제거를 위해서 정수장에서는 응집보조제를 사용하거나 응집, 여과시에 pH를 적절하게 조정하는 방안을 도입할 필요가 있다. 또한 노후관의 교체시에는 부식에 강하며 시공이 간편한 재질과 구조로 된 것을 사용해야 한다. 생산량의 조정, 여과지의 운영조건 개선 등 정수장의 운영조건을 변화시킴으로써도 정수효율을 높일 수 있을 것이다. 마지막으로 염소소독을 배수지에서 실시하면 관말지역까지 균일한 염소농도와 pH를 유지하고 관의 부식을 저감시킬 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 서울시, 서울시 통계연보, 1992.
2. 이보영, 수도수중의 잔류 알루미늄에 관한 조사연구, 연세대학교 보건대학원 석사학위논문, 1989.
3. 한국건설기술연구원, 상수관 부식방지 기법연구, 1990.
4. 한국주철관공업주식회사, 닥타일 주철관, 1992.
5. 신정래, 수처리약품, 1990.
6. Costello, J.J., Post Precipitation in Distribution Systems., Journal of American Water Works Association, Vol. 76, No. 11, 48, 1984.
7. Water Chemistry, Snoeyink, V.L. and

Jenkins, D., John Wiley & Sons, Inc., 1980.

8. Qureshi, N. and Malmberg, R.H., Reducing Aluminum Residuals in Finished Water. *AWWA*, 77(10) : 101, 1985.
9. Water Quality and Treatment, American Water Works Association, Frederick W. Pontius eds., 4th. ed., McGraw-Hill, Inc., 1990.
10. Water Treatment Principles & Design, J.M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc., John Wiley & Sons, Inc., 1985.