

# 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향 조사

이경우<sup>\*</sup>, 송만식, 정일용, 황오주, 이만호, 김복순

수질분석부 수질연구과

# 요 약 문

## I. 연구제목

미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향 조사

## II. 연구기간

2014년 5월 ~ 2015년 4월

## III. 연구목적

미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사하여 수돗물의 안전성을 확인하고 시민들이 갖고 있는 막연한 불안감을 해소하여 음용물 향상에 기여하고자 한다.

## IV. 연구내용

미세먼지가 수질에 미치는 영향을 조사하고자 열린 황사, 황사 주의보·경보, 미세먼지 주의보, 초미세먼지 주의보 발령 전·후의 취수 원수와 정수 수질을 분석하였다. 그리고 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 빗물과 강우 전·후의 취수 원수와 정수를 대상으로 중금속 및 이온성분 등 총 25항목을 선정하여 분석을 실시하였다.

## V. 연구결과

아리수정수센터의 취수 원수와 정수를 대상으로 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

## 1. 미세먼지의 영향

- 1) 옅은 황사, 황사 주의보·경보, 미세먼지 주의보, 초미세먼지 주의보 발령 전·후의 수질검사 결과, 카드뮴, 납, 비소 등의 미량 유해 중금속은 취수 원수와 정수에서 모두 “불검출” 되었으며 검출된 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨의 농도 변화는 크지 않은 것으로 나타나 황사 및 미세먼지의 영향은 없는 것으로 확인되었다.
- 2) 황사 및 미세먼지 주의보·경보 발령 전, 후의 이온성분 분석결과, 불소는 모든 시료에서 “불검출” 되었으며 염소이온, 질산성질소, 황산이온, 암모니아성질소의 농도 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.
- 3) 또한 수소이온농도(pH), 탁도, 증발잔류물, 입자수, 총유기탄소(TOC)의 농도 변화도 크지 않은 것으로 나타나 미세먼지가 취수 원수와 정수의 수질에 미치는 영향은 없는 것으로 확인되었다.

## 2. 산성비의 영향

- 1) 빗물 수질검사 결과, 미량 유해 중금속은 “불검출” 되었고 칼슘은 0.17→0.08→0.03 mg/L, 마그네슘은 0.02→0.01→0.01 mg/L, 나트륨은 0.07→불검출→0.06 mg/L, 칼륨은 0.03→0.01→0.01 mg/L 로 취수 원수와 정수의 검출 농도 대비 약 1/10 수준으로 측정되었으며 농도는 강우 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 산성비가 내리기 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 모든 시료에서 미량 유해 중금속은 “불검출” 되었으며 검출된 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨은 강우 전과 후에 농도 변화가 크지 않았다.
- 2) 빗물에서 불소는 “불검출” 되었지만 염소이온은 0.3→0.2→0.1 mg/L, 질산성질소는 0.5→0.1→0.07 mg/L, 황산이온은 3→1→0.6 mg/L, 암모니아성질소는

1.34→0.38→0.24 mg/L 측정되어 강우 시간이 경과함에 따라 농도가 감소함을 알 수 있었다. 강우 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 불소는 모든 시료에서 “불검출” 되었으며 염소이온, 질산성질소, 황산이온, 암모니아성질소의 농도 변화는 거의 없는 것으로 나타나 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다.

3) 빗물의 수소이온농도(pH)는 4.2→4.3→4.8 로 강우 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그리고 빗물의 탁도는 1.79→0.78→0.51 NTU, 증발잔류물은 6→2→불검출 mg/L, 총유기탄소(TOC)는 2.08→1.33→0.68 mg/L 측정되어 강우 시간이 경과함에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 빗물의 수소이온농도(pH) 증가 및 농도 감소 현상은 강우가 지속적으로 내리면서 대기가 세정되어 미세먼지 등의 오염 물질 농도가 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다. 강우 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 수소이온농도(pH)는 취수 원수에서 7.0~7.1, 정수에서 6.9~7.1 범위로 안정적인 수질을 나타내었다. 비가 내린 후 탁질 증가에 따라 취수 원수의 탁도와 증발잔류물은 다소 증가하였으나 정수 처리 공정을 거쳐 생산된 정수의 탁도와 증발잔류물은 강우 전과 후에 유사한 수질을 나타내었다. 또한 취수 원수와 정수의 총유기탄소(TOC), 입자수 분석결과, 강우 전·후의 수질 변화가 크지 않아 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다.

## VI. 활용방안

아리수정수센터 취수 원수와 정수를 대상으로 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사하여 아리수의 안전성을 확보하고 음용률 향상에 기여하고자 한다.

# 목 차

1. 서 론 .....	93
2. 연구방법 .....	94
2.1 미세먼지 영향 조사 .....	94
2.2 산성비 영향 조사 .....	95
2.3 분석 항목 및 방법 .....	96
3. 결과 및 고찰 .....	97
3.1 미세먼지가 수질에 미치는 영향 .....	97
3.2 산성비가 수질에 미치는 영향 .....	100
4. 결 론 .....	104
참고문헌 .....	107

## 표 목 차

표 1. 미세먼지 영향 조사시 기상 발령 현황 .....	95
표 2. 산성비 영향 조사 지역의 일강우량 .....	95
표 3. 분석 항목별 분석 기기 .....	96
표 4. 미세먼지 발생시 취수 원수의 중금속 분석결과 .....	97
표 5. 미세먼지 발생시 정수의 중금속 분석결과 .....	98
표 6. 미세먼지 발생시 취수 원수의 이온성분 및 기타항목 분석결과 .....	99
표 7. 미세먼지 발생시 정수의 이온성분 및 기타항목 분석결과 .....	99
표 8. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 중금속 분석결과 .....	101
표 9. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 이온성분 분석결과 .....	102
표 10. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 기타항목 분석결과 .....	104

## 그림 목 차

그림 1. 빗물에서 검출된 중금속의 농도 변화 .....	100
그림 2. 빗물에서 검출된 이온성분의 농도 변화 .....	102
그림 3. 빗물에서 검출된 기타항목의 농도 변화 .....	103

## 1. 서론

우리가 활동하고 있는 대기 중에는 매우 많은 수의 부유 먼지 입자들이 존재하고 있으며, 인간 및 자연 생태계에 직·간접적으로 많은 영향과 피해를 유발시키고 있다(공미연, 2002). 부유 먼지는 입자 크기에 따라 미세먼지와 초미세먼지로 분류될 수 있다. 미세먼지(PM-10)는 입자의 크기가 10  $\mu\text{m}$  이하의 먼지이며, 초미세먼지(PM-2.5)는 입자의 크기가 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 더 작은 먼지를 말한다(이순봉, 2011). 이러한 부유 먼지는 자연적인 원인과 인위적인 원인에 의하여 발생되지만 인간의 활동에 의한 인위적인 발생이 많은 부분을 차지한다. 작은 크기의 미세먼지는 호흡기를 통하여 인체 내에 유입되기 쉽고 비표면적이 커서 각종 질산염, 황산염, 암모늄 등의 이온성 분과 금속화합물, 탄소화합물 등의 유해물질을 다량 포함하고 있기 때문에 환경·보건학적으로 매우 중요하다(공미연, 2002; 이순봉, 2011). 인체 영향에 대한 연구결과를 살펴보면 미세먼지는 천식과 같은 호흡기 계통의 질환을 악화시키고, 특히 초미세먼지는 흡입시 기도에서 걸러지지 않아 대부분 폐속 깊이 침투하여 폐 기능 저하를 초래한다(공미연, 2002; 이순봉, 2011). 그리고 미세먼지는 시정장애 현상을 발생시키고, 식물의 신진대사 방해 및 건축물의 부식 등을 유발하여 많은 피해를 주고 있다(이순봉, 2011).

또한 오염원으로부터 배출된 질소산화물( $\text{NO}_x$ ), 황산화물( $\text{SO}_x$ )은 대기 중에 부유하다가 수증기와 화학반응을 거쳐 강산성 물질인 질산, 황산으로 되는데, 이 물질들이 빗물에 녹아 수소이온농도(pH) 5.6 이하의 산성비를 발생시키는 것으로 알려져 있다(조하만, 1998; 이민희, 1989). 현재 지구상에는 스웨덴, 노르웨이, 핀란드 등의 북유럽, 미국과 캐나다의 동부 및 동북아시아 지역에 산성비가 내리고 있다(김준호, 2005). 이러한 산성비의 영향으로 수중 생태계의 파괴, 농작물의 생산성 저하, 산림의 고사, 건축물의 부식 현상이 나타나고 있으며 미세먼지와 마찬가지로 인간과 생태계에 큰 손실을 입히고 있다(조하만, 1998).

우리나라의 주요 도시 미세먼지 연평균 농도는 북경 보다 낮으나 뉴욕, 런던, 파리

등의 OECD 국가의 주요 도시 대비 여전히 높은 수준으로 대기질 관리 강화가 요구되고 있다(이순봉, 2011; 환경부, 2014). 또한 우리나라에 내리는 산성비는 약산성이나 대도시를 포함한 지역에서는 강수의 산성도가 증가하고 있는 상황이다(방소영, 2003). 그러나 현재까지 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구 결과가 제시되어 있지 않아 시민들의 입장에서는 수돗물이 안전한지에 대하여 걱정과 의문을 가질 수 있다.

따라서 본 연구를 수행하여 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사함으로써 서울시 취수 원수와 정수의 안전성을 확인하고 수돗물에 대한 시민들의 불안감을 해소하여 음용률 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 미세먼지 영향 조사

2014년 5월 26일, 28일, 29일에 열린 황사가 5월 31일에는 미세먼지 주의보가 발령되었으며, 2015년 2월 22일에는 황사 주의보·경보가 2월 23일에는 황사 주의보·경보 및 초미세먼지 주의보가 발령되었다. 표 1과 같은 기상 조건에서 황사, 미세먼지, 초미세먼지 주의보 및 경보 발령 전·후의 구의아리수정수센터 취수 원수와 정수를 대상으로 미세먼지가 수질에 미치는 영향을 조사하였다.



표 1. 미세먼지 영향 조사시 기상 발령 현황

일 시	기상 발령 현황
2014년 5월 25일	평 상 시
2014년 5월 26일	열은 황사
2014년 5월 28일	열은 황사
2014년 5월 29일	열은 황사
2014년 5월 31일	미세먼지 주의보
2015년 2월 21일	평 상 시
2015년 2월 22일	황사 주의보·경보
2015년 2월 23일	황사 주의보·경보 및 초미세먼지 주의보

## 2.2 산성비 영향 조사

산성비가 수질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 비가 내리기 전인 2014년 7월 22일과 비가 내린 후인 7월 23일, 24일, 25일에 구의아리수정수센터의 취수 원수와 정수를 채수하였다. 그리고 서울시 광진구에 소재한 서울물연구원 옥상에서 빗물을 채수하여 산성비 성분을 조사하였으며, 이때의 일강우량은 표 2와 같다. 빗물 채수는 당일 오전 9시부터 익일 오전 9시까지 채취한 빗물을 시료로 하여 총 3회 실시하였고, 중금속 및 이온성분 등의 오염을 최소화하기 위해 폴리에틸렌 재질의 용기를 사용하였다.

표 2. 산성비 영향 조사 지역의 일강우량 (단위 : mm)

일 시	일강우량
2014년 7월 22일	8.0
2014년 7월 23일	37.5
2014년 7월 24일	55.0
2014년 7월 25일	26.5

※ 출처 : 기상청 관측 자료

## 2.3 분석 항목 및 방법

분석 항목은 환경부 및 지방자치단체에서 운영하는 대기중금속 측정망과 산성강하물 측정망의 시험 항목 및 먹는물수질기준 등을 고려하여 중금속 15항목, 이온성분 5항목, 기타 5항목을 포함한 총 25항목을 선정하였다(국립환경과학원 2014; 환경부, 2013). 분석 항목별 분석 기기는 표 3과 같다.

표 3. 분석 항목별 분석 기기

구분	분석 항목	분석 기기
중금속 (15항목)	카드뮴, 크롬, 구리, 망간, 철, 니켈, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨	유도결합플라즈마 원자방출분광기 (Horiba Jobin Yvon, Activa M, France)
	납, 비소, 베릴륨, 수은, 셀레늄	유도결합플라즈마 질량분석기 (PerkinElmer, Elan DRCII, USA)
이온성분 (5항목)	불소, 염소이온, 질산성질소, 황산이온	이온크로마토그래프 (Dionex, ICS-3000, USA)
	암모니아성질소	자외선/가시선 분광광도계 (PerkinElmer, Lambda650, USA)
기타 (5항목)	수소이온농도	pH 미터계 (Thermo, Orion Versa Star, USA)
	탁도	탁도계(Hach, 2100N, USA)
	증발잔류물	건조기(Jeio Tech, OF-22, Korea) 전자저울(Mettler Toledo, CH/AX205, USA)
	입자수	입자계수기 (PAMAS, PAMAS-SBSS, Germany)
	총유기탄소	총유기탄소분석기 (GE, Sievers 900, USA)

※ 빗물, 취수 원수에 대하여 중금속 항목은 탁질 영향을 제거하기 위하여 0.45 μm 필터로 여과 후 분석하였으며 입자수는 기기의 오염을 고려하여 분석 미 실시

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 미세먼지가 수질에 미치는 영향

열은 황사, 황사 주의보·경보, 미세먼지 주의보, 초미세먼지 주의보 발령 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 미량 유해 중금속인 카드뮴, 납, 비소, 수은, 크롬, 니켈 등은 모두 “불검출” 되어 수질의 안전성을 확인하였다. 그리고 황사 및 미세먼지 발령 전·후의 칼슘은 취수 원수에서 19.3 ~ 22.6 mg/L, 정수에서 19.5 ~ 21.8 mg/L, 마그네슘은 취수 원수에서 4.0 ~ 4.4 mg/L, 정수에서 4.0 ~ 4.3 mg/L, 나트륨은 취수 원수에서 8.0 ~ 10.7 mg/L, 정수에서 8.1 ~ 10.6 mg/L, 칼륨은 취수 원수에서 2.4 ~ 2.8 mg/L, 정수에서 2.4 ~ 2.7 mg/L 측정되어 미세먼지에 의한 영향은 없는 것으로 확인되었다(표 4 ~ 5).

표 4. 미세먼지 발생시 취수 원수의 중금속 분석결과 (단위 : mg/L)

구분	평상시	열은 황사	열은 황사	열은 황사	미세 먼지 주의보	평상시	황사 주의보·경보	황사 주의보·경보 초미세먼지 주의보
	'14.5.25	'14.5.26	'14.5.28	'14.5.29	'14.5.31	'15.2.21	'15.2.22	'15.2.23
Pb	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cd	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cr	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cu	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Mn	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Fe	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ni	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
As	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Be	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Hg	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Se	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ca	21.0	19.9	20.6	19.3	21.5	20.6	22.5	22.6
Mg	4.3	4.1	4.2	4.0	4.4	4.0	4.3	4.4
Na	9.1	8.1	9.5	8.6	8.0	9.8	10.6	10.7
K	2.6	2.5	2.8	2.6	2.4	2.5	2.7	2.7

표 5. 미세먼지 발생시 정수의 중금속 분석결과

(단위 : mg/L)

구 분	평상시	열은 황사	열은 황사	열은 황사	미세 먼지 주의보	평상시	황사 주의보 ·경보	황사 주의보·경보 초미세먼지 주의보
	'14.5.25	'14.5.26	'14.5.28	'14.5.29	'14.5.31	'15.2.21	'15.2.22	'15.2.23
Pb	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cd	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cr	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cu	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Mn	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Fe	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ni	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
As	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Be	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Hg	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Se	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ca	19.8	20.3	19.5	19.5	20.7	20.4	20.6	21.8
Mg	4.1	4.2	4.0	4.1	4.3	4.0	4.1	4.2
Na	8.3	8.3	8.5	8.2	8.1	9.7	10.0	10.6
K	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.6	2.7

이온성분 항목 중 불소는 모든 시료에서 “불검출”, 염소이온은 취수 원수에서 11.9 ~ 19.8 mg/L, 정수에서 15.8 ~ 23.1 mg/L, 질산성질소는 취수 원수에서 1.2 ~ 2.4 mg/L, 정수에서 1.3 ~ 2.4 mg/L, 황산이온은 취수 원수에서 12 ~ 19 mg/L, 정수에서 13 ~ 18 mg/L, 암모니아성질소는 취수 원수에서 불검출 ~ 0.05 mg/L, 정수에서 모두 “불검출” 되었으며 황사 및 미세먼지에 의한 영향이 없는 것을 알 수 있었다. 그리고 수소이온농도(pH)는 취수 원수에서 7.3 ~ 7.6, 정수에서 7.0 ~ 7.4, 탁도는 취수 원수에서 2.07 ~ 3.22 NTU, 정수에서 0.04 ~ 0.05 NTU, 물속에 용해되어 있거나 현탁되어 있는 물질의 총 합을 의미하는 증발잔류물은 취수 원수에서 114 ~ 138 mg/L, 정수에서 109 ~ 136 mg/L, 물속에 들어있는 크기가 2 µm 이상인 입자의 개수를 측정한 입자수는 정수에서 13 ~ 25 개/mL, 유기탄소의 총량을 나타낸 총유기탄소(TOC)는 취수 원수에서 2.01 ~ 2.45 mg/L, 정수에서 0.41 ~ 1.49 mg/L 측정되었으며 미세먼지의 영향이 없는 것을 확인 할 수 있었다(표 6 ~ 7).

표 6. 미세먼지 발생시 취수 원수의 이온성분 및 기타항목 분석결과 (단위 : mg/L)

구 분	평상시	열은 황사	열은 황사	열은 황사	미세 먼지 주의보	평상시	황사 주의보·경보	황사 주의보·경보 초미세먼지 주의보
	'14.5.25	'14.5.26	'14.5.28	'14.5.29	'14.5.31	'15.2.21	'15.2.22	'15.2.23
F <sup>-</sup>	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cl <sup>-</sup>	12.3	13.3	13.7	12.3	11.9	17.4	19.6	19.8
NO <sub>3</sub> -N	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	2.2	2.4	2.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14	13	14	13	12	17	19	19
NH <sub>3</sub> -N	불검출	0.02	0.03	불검출	0.01	0.04	0.05	0.03
pH(-)	7.5	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6
탁도(NTU)	2.38	2.65	3.09	2.35	3.22	2.31	2.07	2.44
증발잔류물	118	116	118	114	116	136	133	138
TOC	2.35	2.42	2.45	2.32	2.35	2.01	2.20	2.27

표 7. 미세먼지 발생시 정수의 이온성분 및 기타항목 분석결과 (단위 : mg/L)

구 분	평상시	열은 황사	열은 황사	열은 황사	미세 먼지 주의보	평상시	황사 주의보·경보	황사 주의보·경보 초미세먼지 주의보
	'14.5.25	'14.5.26	'14.5.28	'14.5.29	'14.5.31	'15.2.21	'15.2.22	'15.2.23
F <sup>-</sup>	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cl <sup>-</sup>	16.4	16.1	18.2	16.5	15.8	21.5	21.5	23.1
NO <sub>3</sub> -N	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	2.3	2.3	2.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14	14	13	13	13	17	17	18
NH <sub>3</sub> -N	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
pH(-)	7.3	7.3	7.3	7.2	7.4	7.3	7.0	7.1
탁도(NTU)	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
증발잔류물	112	110	109	111	114	130	128	136
입자수 (개/mL)	23	25	23	24	17	13	13	14
TOC	1.42	1.35	1.49	1.37	1.45	0.41	0.48	0.42

### 3.2 산성비가 수질에 미치는 영향

산성비가 내렸을 때 3회 채수된 빗물의 수질검사 결과, 미량 유해 중금속인 카드뮴, 납, 비소, 셀레늄, 수은 등은 모두 “불검출” 되었으며, 칼슘은 0.17→0.08→0.03 mg/L, 마그네슘은 0.02→0.01→0.01 mg/L, 나트륨은 0.07→불검출→0.06 mg/L, 칼륨은 0.03→0.01→0.01 mg/L 로 취수 원수와 정수에서의 검출 농도 대비 약 1/100 수준으로 측정되었으며 농도는 강우 시간이 지남에 따라 점점 감소하는 경향을 나타내었다(그림 1).

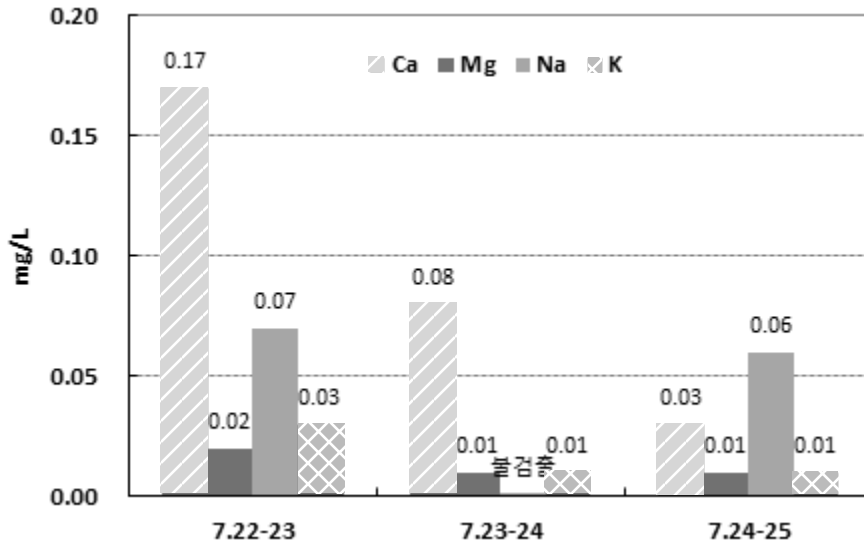


그림 1. 빗물에서 검출된 중금속의 농도 변화

산성비가 내리기 전·후의 취수 원수와 정수에서도 빗물과 마찬가지로 미량 유해 중금속 등은 모든 시료에서 “불검출” 되었으며, 칼슘은 취수 원수에서 17.3 ~ 17.9 mg/L, 정수에서 15.7 ~ 18.2 mg/L, 마그네슘은 취수 원수에서 3.2 ~ 3.5 mg/L, 정수에서 2.9 ~ 3.3 mg/L, 나트륨은 취수 원수에서 8.3 ~ 9.5 mg/L, 정수에서 8.0 ~ 9.9 mg/L, 칼륨은 취수 원수에서 2.6 ~ 2.7 mg/L, 정수에서 2.4 ~ 2.6 mg/L 측정되어 강우 전과 후에 농도 변화는 큰 차이가 없었다(표 8). 따라서 취수 원수와 정수의

수질은 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다.

표 8. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 중금속 분석결과 (단위 : mg/L)

구 분	취수 원수				정수			
	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후
	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25
Pb	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cd	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cr	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cu	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Mn	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Fe	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ni	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
As	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Be	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Hg	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Se	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Ca	17.3	17.8	17.9	17.8	16.2	15.7	18.2	16.2
Mg	3.2	3.3	3.3	3.5	2.9	3.2	3.3	3.2
Na	8.9	8.3	9.4	9.5	8.0	8.7	9.9	9.3
K	2.7	2.6	2.6	2.7	2.4	2.6	2.4	2.6

빗물에서 불소는 모두 “불검출” 되었지만 염소이온은 0.3→0.2→0.1 mg/L, 질산성 질소는 0.5→0.1→0.07 mg/L, 황산이온은 3→1→0.6 mg/L, 암모니아성질소는 1.34→0.38→0.24 mg/L 측정되어 강우 시간이 경과함에 따라 농도가 점점 낮아짐을 알 수 있었다(그림 2).

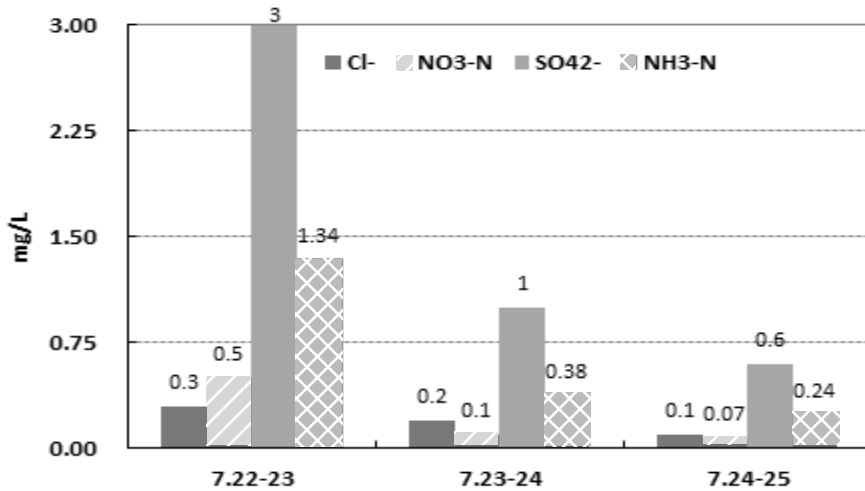


그림 2. 빗물에서 검출된 이온성분의 농도 변화

그리고 산성비가 내리기 전·후에 취수 원수와 정수의 이온성분을 분석한 결과, 빗물과 마찬가지로 불소는 모든 시료에서 “불검출”, 염소이온은 취수 원수에서 11.4 ~ 13.4 mg/L, 정수에서 15.9 ~ 20.4 mg/L, 질산성질소는 취수 원수에서 1.1 ~ 1.3 mg/L, 정수에서 1.0 mg/L, 황산이온은 취수 원수에서 12 ~ 13 mg/L, 정수에서 11 ~ 14 mg/L, 암모니아성질소는 취수 원수에서 0.01 ~ 0.08 mg/L, 정수에서 “불검출” 되었으며 강우 전·후에 취수 원수와 정수의 수질 변화가 크지 않아 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다(표 9).

표 9. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 이온성분 분석결과 (단위 : mg/L)

구 분	취수 원수				정수			
	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후
	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25
F <sup>-</sup>	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
Cl <sup>-</sup>	11.7	11.4	13.4	12.2	15.9	17.2	20.4	16.5
NO <sub>3</sub> -N	1.1	1.1	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12	12	13	13	11	12	14	14
NH <sub>3</sub> -N	0.02	0.01	0.08	0.03	불검출	불검출	불검출	불검출



빗물의 수소이온농도(pH)는 4.2→4.3→4.8 로 강우 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그리고 대기 중에 존재하는 미세먼지 등에 의하여 빗물의 탁도는 1.79→0.78→0.51 NTU, 증발잔류물은 6→2→불검출 mg/L, 총유기탄소(TOC)는 2.08→1.33→0.68 mg/L 측정되었으며 강우 시간이 경과함에 따라 감소하는 것으로 나타났다(그림 3). 이러한 빗물의 수소이온농도(pH) 증가 및 농도 감소 현상은 대기 중에 부유하고 있는 오염 물질이 초기 강우 이후 대부분 제거되고, 강우가 지속적으로 내리면서 대기가 세정되었기 때문인 것으로 판단된다(방소영, 2003).

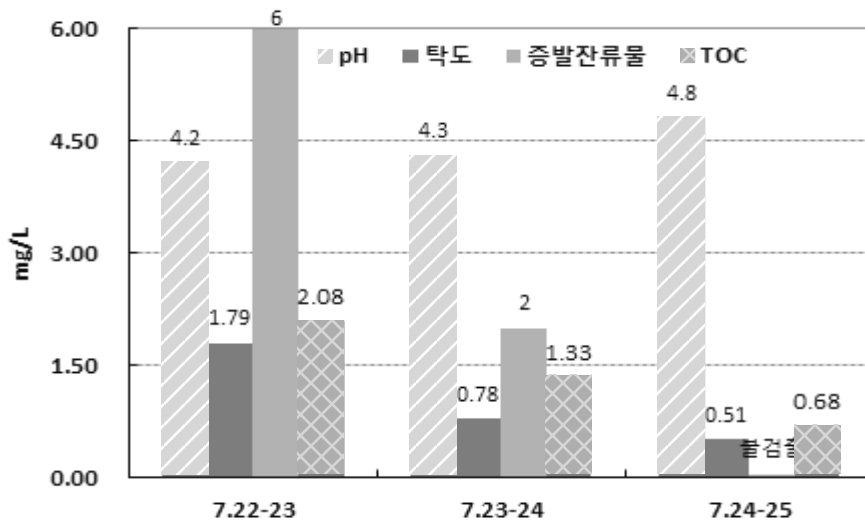


그림 3. 빗물에서 검출된 기타항목의 농도 변화  
(단, pH 단위 : -, 탁도 단위 : NTU)

산성비가 내리기 전·후의 수소이온농도(pH)는 취수 원수에서 7.0 ~ 7.1, 정수에서 6.9 ~ 7.1, 입자수는 정수에서 9 ~ 12 개/mL, 총유기탄소(TOC)는 취수 원수에서 2.07 ~ 2.45 mg/L, 정수에서 1.12 ~ 1.38 mg/L 측정되어 산성비의 영향이 없는 것으로 나타났다. 비가 내린 후 탁질 증가에 의한 영향으로 취수 원수의 탁도와 증발잔류물은 강우 전의 취수 원수보다 각각 1.13 ~ 3.02 NTU, 2 ~ 16 mg/L 증가하였다. 그러나 강우 전·후에 정수의 탁도와 증발잔류물은 각각 0.05 ~ 0.06 NTU, 106 ~ 110 mg/L 측정되어 정수처리 공정에 의해 입자성 물질이 제거됨으로써 산성비의 영

향이 없는 것을 확인할 수 있었다(표 10).

표 10. 산성비가 내릴시 취수 원수와 정수의 기타항목 분석결과 (단위 : mg/L)

구 분	취수 원수				정수			
	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후	강우 전	강우 후	강우 후	강우 후
	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25	'14.7.22	'14.7.23	'14.7.24	'14.7.25
pH(-)	7.1	7.0	7.0	7.1	6.9	6.9	7.0	7.1
탁도 (NTU)	2.48	3.61	5.50	3.85	0.06	0.05	0.05	0.05
증발 잔류물	104	106	118	120	108	106	110	108
입자수 (개/mL)	-	-	-	-	12	10	12	9
TOC	2.22	2.07	2.45	2.22	1.20	1.12	1.38	1.35

## 4. 결 론

구의아리수정수센터의 취수 원수와 정수를 대상으로 미세먼지와 산성비가 수질에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

### 1. 미세먼지의 영향

- 1) 오픈 황사, 황사 주의보·경보, 미세먼지 주의보, 초미세먼지 주의보 발령 전·후의 수질검사 결과, 카드뮴, 납, 비소 등의 미량 유해 중금속은 취수 원수와 정수에서 모두 “불검출” 되었으며 검출된 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨의 농도 변화는 크지 않은 것으로 나타나 황사 및 미세먼지의 영향은 없는 것으로 확인되었다.
- 2) 황사 및 미세먼지 주의보·경보 발령 전, 후의 이온성분 분석결과, 불소는 모든 시료에서 “불검출” 되었으며 염소이온, 질산성질소, 황산이온, 암모니아성질소의

농도 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

- 3) 또한 수소이온농도(pH), 탁도, 증발잔류물, 입자수, 총유기탄소(TOC)의 농도 변화도 크지 않은 것으로 나타나 미세먼지가 취수 원수와 정수의 수질에 미치는 영향은 없는 것으로 확인되었다.

## 2. 산성비의 영향

- 1) 빗물 수질검사 결과, 미량 유해 중금속은 “불검출” 되었고 칼슘은 0.17→0.08→0.03 mg/L, 마그네슘은 0.02→0.01→0.01 mg/L, 나트륨은 0.07→불검출→0.06 mg/L, 칼륨은 0.03→0.01→0.01 mg/L 로 취수 원수와 정수의 검출 농도 대비 약 1/100 수준으로 측정되었으며 농도는 강우 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 산성비가 내리기 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 모든 시료에서 미량 유해 중금속은 “불검출” 되었으며 검출된 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨은 강우 전과 후에 농도 변화가 크지 않았다.
- 2) 빗물에서 불소는 “불검출” 되었지만 염소이온은 0.3→0.2→0.1 mg/L, 질산성질소는 0.5→0.1→0.07 mg/L, 황산이온은 3→1→0.6 mg/L, 암모니아성질소는 1.34→0.38→0.24 mg/L 측정되어 강우 시간이 경과함에 따라 농도가 감소함을 알 수 있었다. 강우 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 불소는 모든 시료에서 “불검출” 되었으며 염소이온, 질산성질소, 황산이온, 암모니아성질소의 농도 변화는 거의 없는 것으로 나타나 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 빗물의 수소이온농도(pH)는 4.2→4.3→4.8 로 강우 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그리고 빗물의 탁도는 1.79→0.78→0.51 NTU, 증발잔류물은 6→2→불검출 mg/L, 총유기탄소(TOC)는 2.08→1.33→0.68 mg/L 측정되

어 강우 시간이 경과함에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 빗물의 수소이온농도(pH) 증가 및 농도 감소 현상은 강우가 지속적으로 내리면서 대기가 세정되어 미세먼지 등의 오염 물질 농도가 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다. 강우 전·후의 취수 원수와 정수를 분석한 결과, 수소이온농도(pH)는 취수 원수에서 7.0~7.1, 정수에서 6.9~7.1 범위로 안정적인 수질을 나타내었다. 비가 내린 후 탁질 증가에 따라 취수 원수의 탁도와 증발잔류물은 다소 증가하였으나 정수 처리 공정을 거쳐 생산된 정수의 탁도와 증발잔류물은 강우 전과 후에 유사한 수질을 나타내었다. 또한 취수 원수와 정수의 총유기탄소(TOC), 입자수 분석결과, 강우 전·후의 수질 변화가 크지 않아 산성비에 의한 영향이 없는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 2014년 『응답하라 상수도연구원!』 “물 관련 시민 궁금사항 찾습니다.” 아이디어 공모에서 채택되어 수행된 “시민공모과제”이며, 제안자 조경원님의 수돗물에 대한 깊은 관심과 애정에 감사의 뜻을 표한다.

## 참 고 문 헌

1. 공미연, 2002. 아산 및 서울 일부 지역의 미세먼지(PM2.5) 농도와 금속성분 조성. 순천향대학교 대학원 학위논문.
2. 국립환경과학원, 2014. 대기환경연보(2013).
3. 김준호, 2005. 대기산성강하물 : 한국과 세계의 산성비 실태. 한국생태학회지 28(3):169~180.
4. 방소영, 최재천, 박상순, 조경남, 오성남, 2003. 한반도 배경지역 강수 중 수용성 이온성분의 화학적 특성 분석. 한국기상학회지. 39(1):29~41.
5. 이민희, 한진석, 한의정, 신찬기, 1989. 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구. 한국대기보전학회지. 5(2):1~11.
6. 이순봉, 정덕상, 조은경, 김현아, 황은영, 강창희, 2011. PM10, PM2.5 미세먼지의 조성 및 오염 특성 : 2008년 제주도 고산지역 측정 결과. J. Analytical Science & Technology. 24(4):310~318.
7. 조하만, 최재천, 김지영, 전영신, 김산, 1998. 1994 ~ 1997년 중부지방에 내린 강수의 화학적 특성에 관한 연구. 한국대기보전학회지. 14(6):589~598.
8. 환경부, 2013. 먹는물수질공정시험기준.
9. 환경부, 2014. 미세먼지 브로셔.