



# 관 세척에 따른 색도성 물질의 제거 효과

## Removal of discoloration materials by water mains cleaning on water distribution pipes

이호민<sup>1</sup>·최태호<sup>1</sup>·윤현우<sup>1</sup>·김동홍<sup>2</sup>·배철호<sup>1,\*</sup>

Ho-Min Lee<sup>1</sup>·Tae-Ho Choi<sup>1</sup>·Hyun-Woo Yun<sup>1</sup>·Dong-Hong Kim<sup>2</sup>·Cheol-Ho Bae<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>한국수자원공사 K-water연구원

<sup>2</sup>한국수자원공사 전남지역협력단

<sup>1</sup>K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation

<sup>2</sup>Jeonnam Regional Collaboration Office, Korea Water Resources Corporation

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

### ABSTRACT

In this study, air scouring cleaning was selected and applied among 5 small blocks (S1~S5) in domestic 5 cities to analyze the cleaning effect of particles causing discoloration. In order to identify the cleaning effect, 10 locations were selected as water quality investigation point, such as the stagnant or water mains ends. Removal of solids, variation of particle components, weight and concentration were analyzed. And the level of the cleanness of the surface inside water mains using endoscope was investigated. As a result of analysis, the solids discharged after cleaning were mainly sand and gravel, pieces related to pipe materials, and corrosion products. As a result of analyzing the concentrated particles of the filter before and after cleaning, it was found that the change in discoloration on the filter was large. In addition, as a result of comparing the weight and the concentration of the particles, it was found that the particles causing discoloration were significantly removed after cleaning. From the results of the endoscopy, it was confirmed that most of the precipitated and accumulated dark yellow discoloration matters inside water mains were removed through cleaning. Therefore, it

Received 29 July 2020, revised 13 August 2020, accepted 14 August 2020.

\*Corresponding author: Cheol-Ho Bae (E-mail: [baech@kwater.or.kr](mailto:baech@kwater.or.kr))

- 이호민(선임연구원) / Ho-Min Lee(Senior Researcher)  
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045  
125, 1689beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon 34045, Republic of Korea
- 최태호(책임연구원)/Tae-Ho Choi(Principal Researcher)  
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045  
125, 1689beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon 34045, Republic of Korea
- 윤현우(사원)/Hyun-Woo Yun(Staff)  
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045  
125, 1689beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon 34045, Republic of Korea
- 김동홍(차장)/Dong-Hong Kim(Senior Manager)  
광주광역시 시청로 72, 61948  
72, Sicheong-ro, Seo-gu, Gwangju 61948, Republic of Korea
- 배철호(수석연구원)/Cheol-Ho Bae(Head Researcher)  
대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045  
125, 1689beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon 34045, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

seems that the particles causing discoloration in water decreased after cleaning. Therefore, it is expected that, if properly cleaning was applied, matters that cause discoloration can be removed from the water mains, and customer's complaints can also be reduced through water quality improvement.

**Key words:** Air scouring, Deposits, Discoloration, Non-aggressive cleaning

**주제어:** 공기주입 세척, 침전물, 색도, 세척

## 1. 서 론

일반적으로 수요자는 수질에 대한 이상을 색도를 통해 인식하며, 이러한 색도는 용존성 물질보다는 주로 미세한 입자를 통해서 발생한다 (Vreburg, 2007). 이러한 입자들은 서로 다른 크기와 밀도 등을 가지고 있으며, 발생원도 상수관망 내부가 될 수 있고, 외부가 될 수도 있다. 즉 원수에 존재하는 입자들이 정수처리 공정 이후에도 배경 농도로서 상수관망 내부로 유입이 될 수 있다 (Coller and Lin, 1997; Water, 1998; Kirmeyer, 2000; Slaats et al., 2002; Ellison, 2003). 그 이유는 정수처리공정 자체에 대한 불안정한 처리에 기인할 수도 있으며, 정수처리 공정 자체에서 투입되는 응집제로 인한 미세플러들, 부식억제제들, 그리고 모래여과지나 활성탄 미세입자들로부터도 발생이 될 수 있다 (Vreburg, 2007). 또한 상수관망 그 자체도 다양한 입자들을 발생시킬 수 있는데, 이는 금속 재질로 된 관이나 부속류 등의 부식이다. 과거에는 대부분 물에서 붉은색의 색도(discoloration)를 유발하는 주요 원인을 주철관종 등 금속 재질로 된 관의 부식으로 보았다. 그 외에도 미세입자들은 미생물 재생장이나 용존물질의 화학적 반응을 통해서도 발생할 수 있다. 또는 관을 설치하는 과정이나 운영 중 보수 등 유지관리 과정에서 외부 물질의 유입으로 발생할 수 있다.

상수관망 자체 또는 외부에서 유입된 이러한 물질들은 서로 다른 관 재질, 경과년수, 그리고 공급과정에서의 서로 다른 수리적, 화학적 조건에 노출되어 매우 복잡한 과정을 거쳐 관 표면에 약하게 응집하거나, 또는 단단히 부착된 형태로 축적이 가속화되므로 양적으로는 상수관망 위치에 따라 서로 달리 존재하게 된다. 그리고 대부분 급격한 수리적인 변화(유속증가, 밸브조작 등)가 발생하게 되면, 이러한 관 내부에 축적된 입자들이 일시적으로 유동하게 되고, 재부유되면서 붉은색 또는 검은색을 띠는 적수 또는 흑수 등이 발생되어 수요자의 민원을 유발하게 된다.

현재 이러한 색도를 유발하는 상수관망 내 입자성 물질을 저장하거나 예방하기 위해 원수부터 정수처리 공정상에서 상수관망 내로 유입되는 입자를 최소화하도록 최적화할 필요가 있으며, 관 재질적 측면에서도 내식성 자재의 사용, 그리고 관 설치나 보수 등 유지관리 과정에서 외부 물질이 유입되지 않도록 노력이 필요하다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고, 관로 내 입자의 유입이나 발생 등을 완벽히 예방하기는 어렵다. 따라서 시간이 경과하면, 상수관망마다 시기는 다를 수 있지만, 입자로 인한 침전물이 형성되고, 결국 색도를 유발할 수 있다. 따라서 선진국에서는 상기의 노력 외에도 정기적으로 관 내부를 세척하여 상수관망의 건전성을 유지하기 위해 노력하고 있다. 즉 상기의 방법들은 세척의 주기를 최대한 늘려줄 수 있는 다양한 방법으로 볼 수도 있다.

일반적으로 관 내부에 유입, 침전, 발생되어 축적된 물질을 관 외부로 배출하여 제거하는 기술을 세척기술로 볼 수 있으며, 현재 가장 보편적으로 많이 사용되는 세척기술로는 재래식플러싱, 단방향플러싱, 공기주입 세척, 스와빙 피그 등이 있다. 재래식플러싱은 기존 상수관망 내부가 이미 입자들의 재부유로 인해 물 자체가 색도를 가져 소화전을 개방하여 색도성 물을 방류하고, 그 전단의 깨끗한 물로 대체하는 방식이다. 이러한 방법은 주로 색도에 대한 민원이 발생할 때 주로 사용되지만, 단순히 소화전을 개방하는 것으로 세척에 대한 효과를 거두기는 어렵다.

세척을 위해서는 어느 정도의 고유속이 필요하며, 기존 상수관망이 운영되는 형태로는 고유속의 확보가 어려우므로 큰 관경부터 작은 관경으로 세척구간을 설정하고, 밸브조작을 통해서 주변 관로를 고립하고, 관로구간마다 유량이 통과하도록 하면 고유속 확보가 가능하며, 세척 효과를 거둘 수 있다. 현재 이 방법을 단방향플러싱이라고 하며, 세척에 필요한 유속은 1.5~1.8 m/sec 이상으로 보고 있고, 현재 단방향 플러싱은 약하게 부착된 물질의 제거에 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 국내에서 단방향플러싱을 통해 세척하기에는 현실적인



어려움이 크다. 그 이유는 상수관망의 단방향플러싱에 적절한 위치에 고립밸브, 세척방류수를 배출할 수 있는 인프라 등의 설치가 부족하며, 설치된 밸브도 고장 등에 따라 실제로 차수가 가능한지 여부에 대하여 유지관리 측면에서의 관리가 부족한 상황이기 때문이다.

따라서 그 대안으로 현재 공기주입 세척이나 스와빙 피그 등이 사용되고 있다. 이중 공기주입 세척은 맥동류 세척이라고도 하는데, 이는 대개 소화전을 통해 압축공기를 간헐적으로 주입, 관 내부에 흐르는 물과 공기가 혼합 팽창하면서 순간적으로 “water slug”를 형성, 관 내부를 빠르게 통과하면서 관 표면에 약하게 부착, 또는 응집성 침전물들을 떨어뜨려 관 외부로 배출하여 제거하는 세척기술이다. 현재까지 공기주입 세척의 적용 관경은 300 mm 이하까지 가능한 것으로 알려져 있으며, 관경에 따라 “water slug” 형성을 위한 압축공기 주입량은 100 mm 이하 관경에서는 38 L/sec이며, 300 mm 관경의 경우 250 L/sec로 알려져 있다 (Ellison, 2003).

스와빙 피그는 스펀지 형태의 피그를 관로에 넣고 관로를 따라 주행시켜 관 표면을 닦아내는 세척기술로 소구경부터 대구경까지 적용이 가능하다. 다만 관경의 변화가 많거나 버터플라이 밸브 등이 있는 경우, 주행에 제약이 될 수 있어, 1~2 km 이상 장거리 세척이 어려울 수 있다.

현재 국내에서는 지자체에서 운영중인 상수관망을 통해 공급되는 수도물에서 색도성 물질의 유출로 인한 문제가 발생하고 있다. 그러나 이러한 세척을 통한 색도성 물질의 제거와, 정량적인 수질적 개선 효과 등에 대한 관련연구는 매우 부족한 상황이다.

따라서 색도성 물질로 인한 수질적 문제가 발생할 경우, 특정 세척기술을 선정하는데도 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 세척기법들 중에서, 관로 내 색도성 물질 유출로 문제가 발생하고 있는 지자체를 대상으로 색도를 유발하는 물질 제거에 공기주입 세척기법을 적용하여 세척 전과 후의 효과를 분석하고, 향후 색도성 물질 제거에 대한 세척기술로의 적정성을 검토하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상 구간

본 연구의 대상지역인 S 도시의 중블록은, J 정수장

으로부터 주 배수관로(DCIP, D350 mm)를 통해 중블록으로 자연유하로 용수를 공급중이며, 배수지와 급수구역의 표고차(약 71 m)가 커 감압밸브(파일롯식, D200 mm)를 설치, 운영중에 있다. 해당지역의 수용가는 약 2,514전으로 일평균 2,966 m<sup>3</sup>을 공급중이며, 2019년 6월까지 우수율은 약 65.7%로 나타났다. 배수관로의 총연장은 68 km로(배수본관 9 km, 배수관 42.6 km, 급수관 16.3 km), 수용가로부터 색도를 띠는 수도물에 대한 민원이 빈번하게 발생하여 공급 전과정의 수도물 안전성 확보를 위해서는 관 세척을 통한 수질 개선이 필요한 상황이었다.

S 도시의 중블록은 6개 소블록으로 구분되며, 이중 5개 소블록(S1~S5)을 관 세척 대상구역으로 선정, 총 18개 세척구역(S1-1~S5-3)으로 분할, 공기주입 세척을 시행하였다. 대상구역 전체 소블록 내 배수관로는 약 32 km이며, 급수전수는 2,162전이다. S 도시의 중블록 내의 배수관의 경우, 읍내에 위치한 혼잡지역으로 세척을 위한 별도의 시설 설치가 어렵고 비용이 과다하게 발생할 것으로 판단, 스와빙 피그에 비해 인접구역 영향이 작고 장거리 세척이 가능하며 관경변화와 밸브종류(버터플라이 밸브 등)에 제약이 없는 공기주입 세척을 적용하였다. 공기주입 세척을 위한 소블록의 분할은 Fig. 1과 같다.

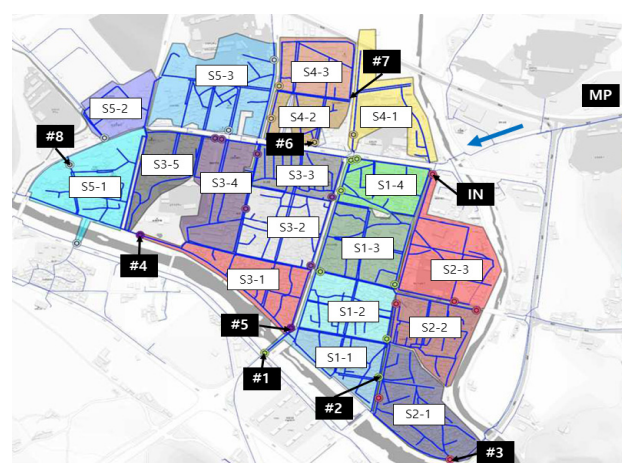


Fig. 1. Cleaning target small blocks of S city(S1~S5) and water quality monitoring locations.

### 2.2 세척방법

본 연구에서는 S 도시의 중블록 내 5개 소블록(S1~S5)의 세척을 위하여 Fig. 2의 절차에 따라 공기

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

주입 세척을 시행하였다.

세척 절차는 각 소블록을 순차적으로 세척하기에 앞서, 정수장 이후 인근 배수지로부터 중블록 유입지점까지 연결된 배수본관 내에서도 세척이 진행되는 동안 급격한 유속증가로 인해 침전물이 재부유하여 수질이 악화, 배수관로 세척에도 부정적 영향을 줄 수 있어, 사전에 총 2회에 걸쳐 단방향플러싱을 적용하여 관내 유속을 평시 유속의 2배 이상 증가시켜 세척을 수행하였다.

이후 각 분할된 소블록 내에 공기를 주입할 수 있는 지점을 선정하고, Fig. 3과 같이 공기주입 세척 장비 설치, 압축공기를 간헐적으로 동시에 주입하여 세척을 시행하였다. 세척 후 방류수는 세척구역 내 소화전 또는 급수전 2~3개소를 통해 배출되도록 설정하고, 순차적으로 방류위치의 소화전 또는 급수전을 open→close로 변경하면서 면적 개념으로 세척을 진행하였다.

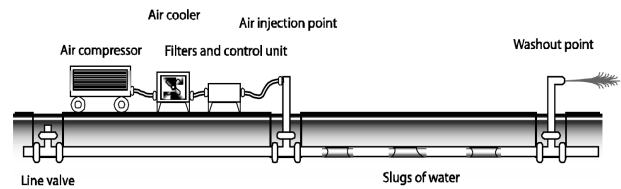


Fig. 3. Achieving slug flow during air scouring (Chambers et al., 2004).

또한 본 공기주입 세척 과정에서는 세척시행 시 분관 탁질발생 방지를 위해 최대공급량을 초과하지 않도록 계획하였고, 관 세척 계획에 따라 구역별로 순차적인 단수가 필요하므로 주민들에게 단수로 인한 불편을 최소화하고 혼란을 방지하기 위하여 사전에 각 수용가에 세척시행에 대한 홍보를 하였다. 소블록 전체에 대한 세척은 약 18일이 소요되었다.

### 2.3 수질 조사지점

본 연구에서는 공기주입 세척을 통해 관 내부의 색도를 유발하는 물질의 제거 효과를 분석하기 위하여 공급 전과정에 대해 수질조사 지점을 선정하였다. 조사지점은 J 정수장 이후 주변(MP), 배수본관을 거쳐 중블록 내로 유입되기 전(IN), 중블록 이후 각 소블록으로 유입되는 지점 중 정체구간과 관말(#1~#8)을 중심으로 총 10개소를 선정하였다 (Fig. 1).

### 2.4 효과분석

본 연구에서는 관 세척에 따른 효과를 전반적으로 확인이 가능하도록 Table 1과 같이 관내 고형물 제거, 성분, 물속 입자농도, 수질변화(탁도 등) 분석, 내시경 조사 등을 수행하였다.

세척에 따른 고형물 제거 효과분석을 위해서 Bae et al. (2015)의 사례와 유사한 방법으로, 세척 방류 시 bag filter(50 μm 이상)를 설치하여 고형물 포집하고, 관 세척에 따른 관내 고형물의 제거수준을 평가하였으며, 이때 제거된 고형물을 육안분석을 통해 종류별로 분류하고, 미세입자(unknown)는 건조 후 SEM-EDS(scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy) 기기를 통해 그 성분을 조사하였다. 사용된 SEM-EDS 장비는 JEOL사에서 제작된 JSM-6390 모델이며, 전자총으로부터 방출된 전자를 높은 전압(30 kV)으로 가속하여 집속렌즈로 모아 시료 표면에 조사, 방출되는 신호 중

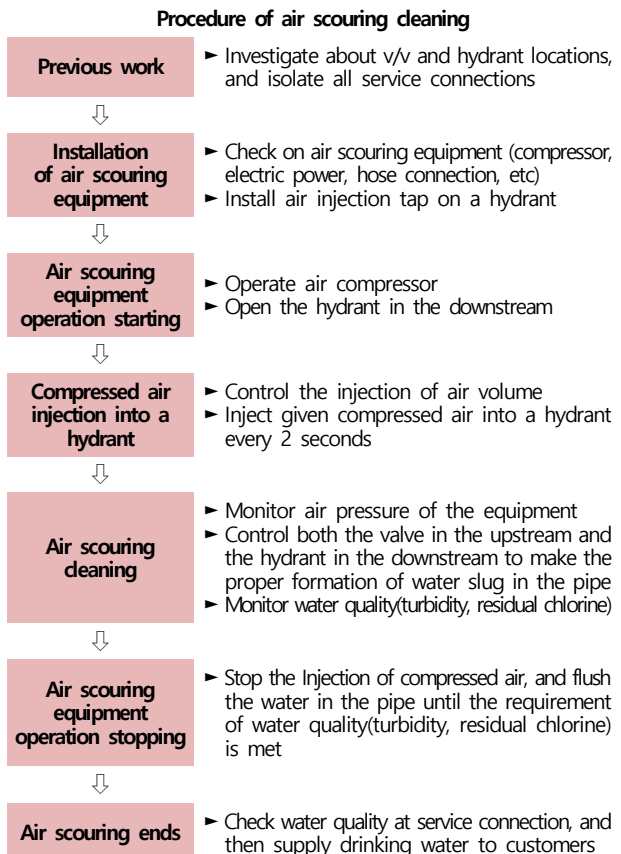


Fig. 2. Procedure of air scouring cleaning method of water distribution pipes.



**Table 1.** Pipe cleaning effectiveness analysis methods

Analysis items	Analysis purpose	Methods
① Amount of deposits removal during cleaning	Evaluate the level of deposits removal in water mains according to cleaning	Collecting deposits discharged by using bag filter(over 50 μm)
② Main types and components of deposits discharged during cleaning	Identify the source of the deposits discharged during cleaning	Classification of deposits discharged through visual and instruments
③ Analyzing the particles collected and concentrated on the filter before and after cleaning the water mains	Evaluate the impact on water quality (discoloration) by the particles moving in water	Analysis the weight and components of the particles collected and concentrated by using the 1 μm GFC filter at the point of discharge (one hour and at constant 2.4 kg/cm <sup>2</sup> internal pressure)
④ Analysis of the turbidity change before and after cleaning	Analysis of the effect of water quality improvement according to the removal of the particles in water	Measure by using portable turbidity instruments
⑤ Endoscopic investigation analysis before and after cleaning	Evaluate the level of "clean" on the inner surface of water mains	Endoscopic investigation analysis before and after cleaning at the same point

2차 전자를 검출하는 원리를 이용한다 (Bae et al., 2014; Choi et al., 2014).

또한 물속 입자(색도유발)들의 주요성분과, 침전 입자들의 이동·재부유 등으로 수질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 Gauthier et al. (1997), Nguyen et al. (2002), Vreeburg (2007), Kim et al. (2013) 등의 연구와 유사한 입자포집 장치를 적용, 관 세척 전후로 1 μm filter GFC 무게 측정 후, 관 세척수 배출 지점에서 입자를 포집하여 그 성분을 SEM-EDS를 통해 분석하였고, 관 세척 후 물속 입자 제거에 따른 수질개선 효과를 평가하기 위하여 세척 전후로 탁도를 측정하였다. 특히 세척 후 침전물의 제거로 관 내부 표면의 깨끗한 수준을 평가하기 위하여 일부 지점에 한하여 세척 전후로 부단수 내시경 조사를 시행하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 세척에 따른 유출 고형물 유형 분석

관 세척 소블록 별로 세척 후 유출된 고형물을 육안으로 조사한 결과, Fig. 4와 같이 세척 후 유출된 고형물 중에서는 관로 설치 시공 중 유입된 것으로 보이는 모래와 자갈이 약 80% 수준으로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 그 외 고형물로는 관 재질 관련 조각, 부식으로 발생된 녹 등으로 나타났

다. 따라서 수도관의 노후에 의한 영향 외에 상수관로 시공, 유지관리 등을 주의할 경우 관내 이물질 상당부분 해소가 가능할 것으로 판단된다 (Fig. 5).



**Fig. 4.** Suspended solids discharged after air scouring.

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

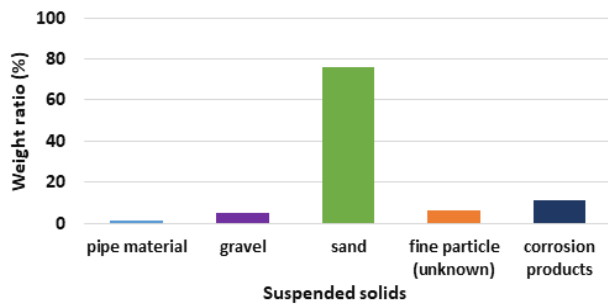


Fig. 5. Weight ratio of suspended solids discharged after air scouring.

육안으로 확인이 어려운 미세입자들(unknown)에 대해서 SEM-EDS 장비로 성분을 분석한 결과, 주로 규소(Si), 철(Fe), 알루미늄(Al) 등으로 나타났다 (Fig. 6). Choi et al. (2014)이 상수관로부터 포집한 결절이나 슬라임을 분석한 결과에서도 주로 철, 알루미늄, 망간, 규소 등이 주요성분으로 나타났으며, 다른 지역에서 분석한 결과와 비교해 보면, 이러한 성분들의 비는 지역에 따라 차이가 있는 것으로 보았다. 본 연구에서는 높은 성분비를 갖는 규소, 철, 알루미늄 등은 원수에도 존재하는 성분이므로 이들의 영향일 수도 있으며, 정수장 이후 공급과정에서 발생된 것이라면, 규소는 시공 중 유입된 모래 중 미세입자거나 배수분관이 시멘트모르터 라이닝 닥타일주철관이므로, 시멘트모르터

라이닝의 중성화로 인한 표면 모래화에 기인한 것일 수도 있다. 철은 배수분관이나 기타 밸브 등 부속설비 대부분이 금속재질이므로 이들 관과 부속재질에 기인할 수 있다. 알루미늄은 관 재질보다는 정수공정의 혼화·응집공정에 사용되는 알루미늄계 고분자 응집제가 정수 중 침전제거되지 않고, 미세플록 형태로 관로내로 유입된 것일 수 있다. 따라서 각 성분의 발생원은 원수, 정수처리, 그리고 공급과정 상 전반에 걸쳐 영향을 줄 수 있으므로, 공급과정 상에서 확인되는 입자들의 저감, 차단을 위해서는 원수부터 정수처리까지 입자성 물질의 관리 최적화와 관 재질의 내식성화, 유지관리 상에서의 주의가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 세척 전후 입자포집 분석 결과

#### 3.2.1 세척 전후 필터의 색도변화

Fig. 7에 각 수질조사 지점에서 세척 전후 입자포집시 사용된 필터의 색도를 비교하여 나타내었다. 정수장 이후 인근에서 측정된 지점(MP)부터 소블록 유입 직전(IN) 지점까지는 소블록 세척이 이루어진 전후 시기에 필터의 색도는 크게 나타나지 않았고, 변화는 없었던 것으로 보인다. 즉 공기주입 세척이 이루어진

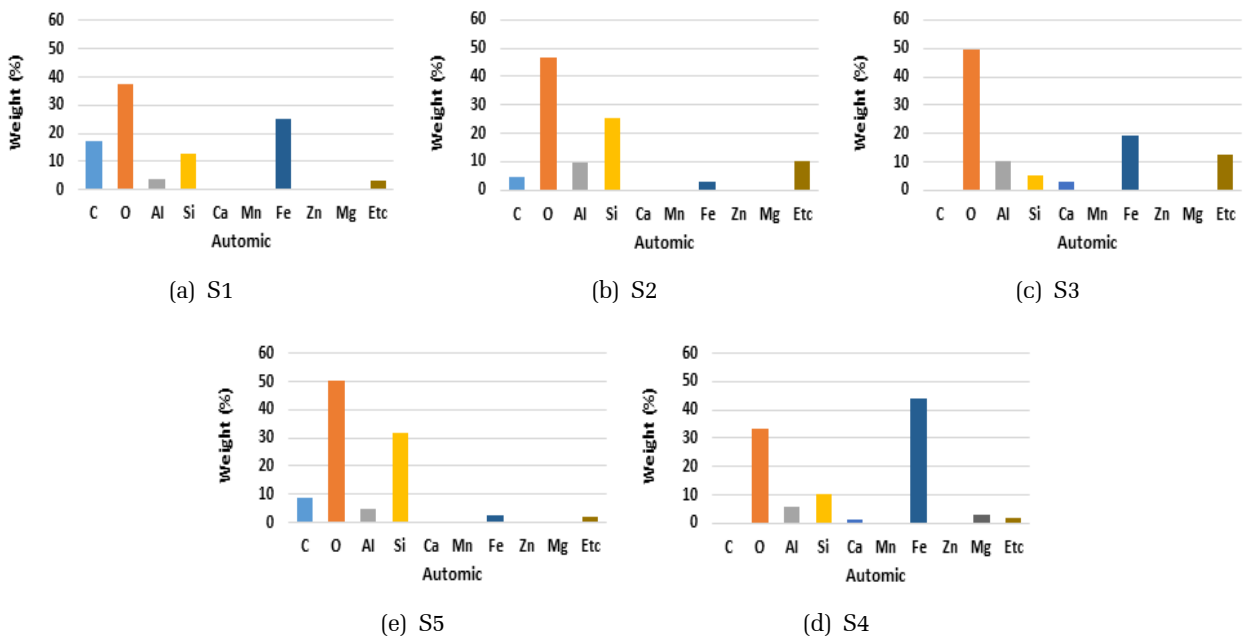
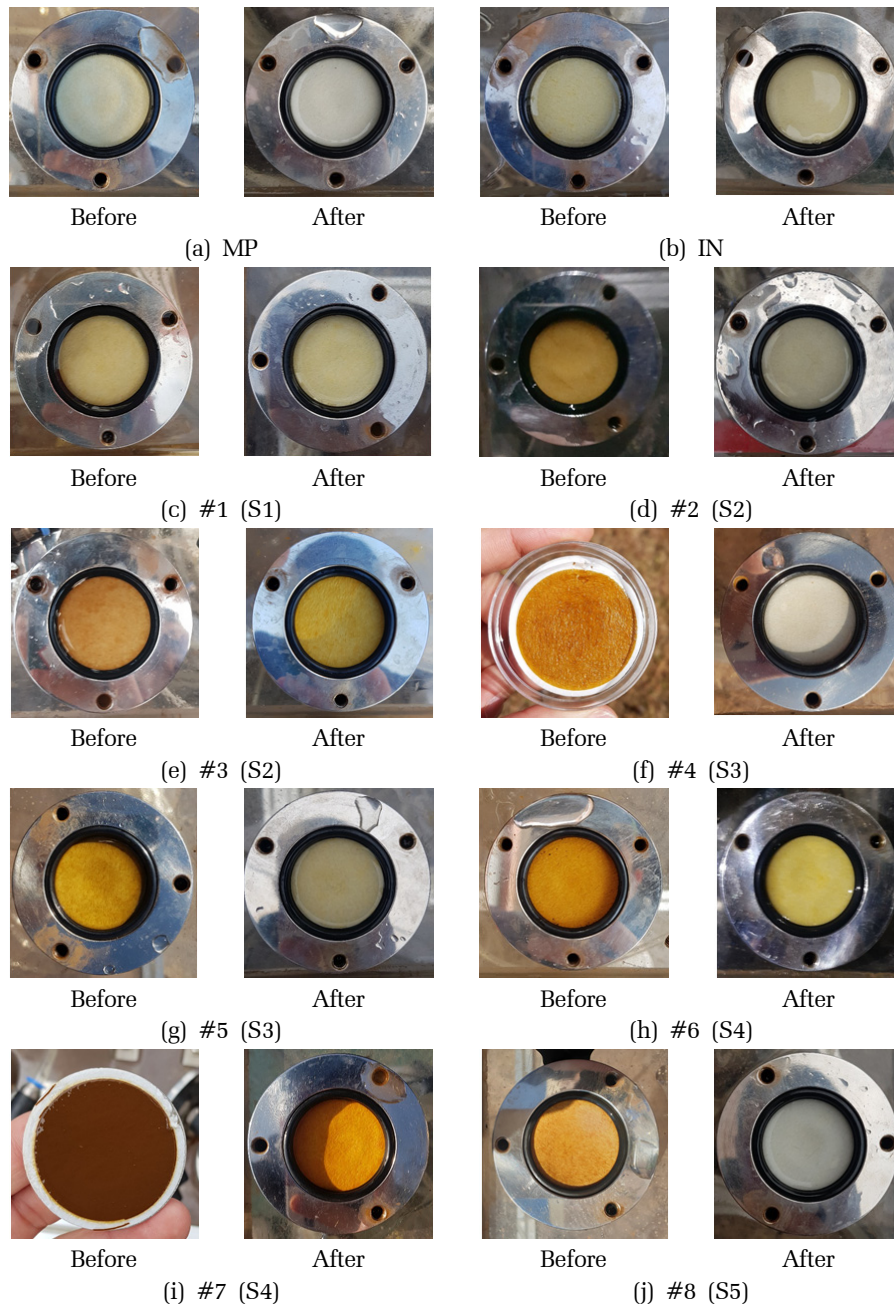


Fig. 6. Major chemical components of fine particles discharged after air scouring.



**Fig. 7.** Chromaticity comparison of particle correction filter before and after air scouring.

소블록 세척 전후로 정수장부터 배수분관까지의 입자성 수질변동에 미치는 영향은 없었던 것으로 볼 수 있다.

Fig. 7에서 배수분관 이후 수질조사 지점(소블록 중간지점 또는 관말)에 따라서는 세척 전후로 필터의 색도변화가 매우 크게 변화된 것으로 보인다. 세척전 대부분 진한 황색 또는 붉은색 계열의 필터색도가 대부

분 흰색을 나타내었고, #7 지점에서만 진한 황색에서 보다 옅은 황색을 나타내었다. 이는 공기주입 세척으로 관 내부에 물 자체의 색도를 유발할 수 있는 침전, 발생된 색도성 입자들이 상당히 제거, 수질에 미치는 영향이 크게 감소되었기 때문으로 보인다. 전체적으로 보면, 공기주입 세척 후 소블록 전체 관말까지 수질이 그대로 유지되는 것으로 판단된다.

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

### 3.2.2 세척 전·후 입자농도 변화

Fig. 8~10은 각각 공기주입 세척 전후로 필터에 포집된 입자의 무게, 투과량, 그리고 물속의 입자농도의 변화를 나타낸다. 여기서 입자농도는 필터에 포집된 입자의 무게를 동일압력(2.4 kg/cm<sup>2</sup>)과 동일시간(1 hr) 동안 필터를 통과한 물의 양으로 나눈 값으로 정의하였다.

Fig. 8~10에서 정수장 이후부터 관말까지 세척 전 입자무게, 투과량, 그리고 입자농도 등이 크게 감소하는 것으로 보인다. 정수장 이후 배수본관, 소블록 유입 중간까지는 큰 폭의 변화는 없었으나, 관말지역의 경우에는 대부분 투과량은 크게 증가하고, 입자무게와

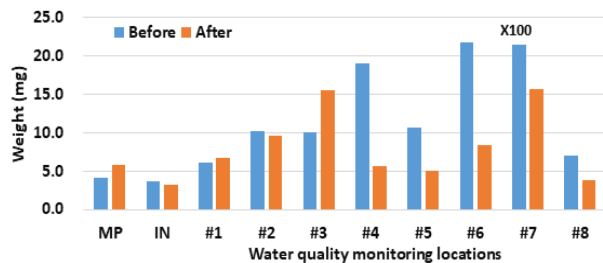


Fig. 8. Particle weight comparison before and after air scouring at monitoring locations.

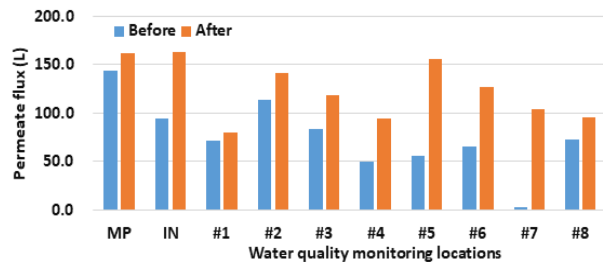


Fig. 9. Permeate flux comparison before and after air scouring at monitoring locations.

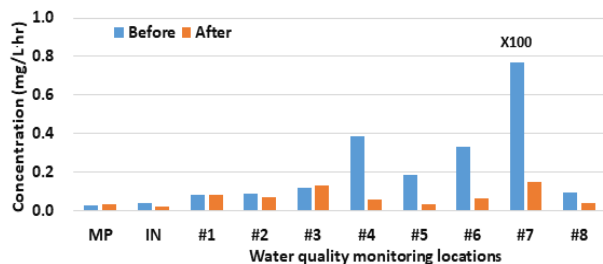


Fig. 10. Particle concentration comparison before and after air scouring at monitoring locations.

농도는 크게 감소한 것으로 나타났다. 이는 공기주입 세척으로 공급과정 상 침전된 입자성 물질이 재부유 등으로 수질에 미치는 영향이 크게 감소하였기 때문으로 판단된다.

### 3.2.3 세척 전후 filter 포집 입자성분비 변화

Fig. 11에는 각 지점에서 포집한 입자들에 대한 주요 성분(Al, Si, Ca, Mn, Fe, Zn, Mg, 기타 성분 등)에 대한 비(%)를 나타내었다. Fig 11에서 정수장 이후 배수본관 MP~IN 지점은 소블록 세척이 이루어진 시기 전후 시기에 측정된 입자의 성분이다. 소블록 세척이 이루어지는 전과 후로 배수본관 전체적으로 보면, 물속에 존재하는 입자들의 주요 성분은 크게 변화하지 않았던 것으로 보인다. 주요 성분은 규소(Si)였으며, 그 외 색도와 관련된 성분이 철(Fe) 또는 망간(Mn) 등의 성분비는 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 그러나 소블록 내에서는 조사위치에 따라 차이는 있으나, 철 또는 망간 등의 입자 내 성분비가 다소 증가된 경향을 보였고, 또한 세척 전후로는 철 또는 망간 성분비가 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 세척을 통하여 대부분 색도성 물질이 관 표면으로부터 제거되어 물속 자체에 색도를 유발할 수 있는 입자들이 상당 부분 감소했기 때문으로 판단된다. 이러한 결과로 Fig. 7에서 보듯이 배수본관 이후 소블록 내 세척 전후 필터 색도 또한 유사한 경향을 보였던 것으로 판단된다. 따라서 적정 세척방법을 적용하여 상수관망에 대한 세척을 시행할 경우 공급과정 동안 색도유발로 인한 수질적 민원 감소에도 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

### 3.3 세척 전후 관내면 상태변화

Fig. 12는 소블록 내 한 개 구간을 선정하여 세척 전후 관 내부 표면 상태를 촬영한 영상사진이다. 조사한 관로구간의 재질은 HI-VP(high impact PVC pipe)이며, 관 내부 표면은 흰색에 가까운 재질이다. Fig. 12에서 세척 전 영상사진에서 보면(좌측), 관 표면이 흰색에서 내부 전체가 대부분 입자들이 침전 축적되어 황색을 띠고 있는 것으로 보인다. 또한 영상사진에 보면, 일부 표면으로부터 영상을 촬영하는 동안 입자들이 이동하는 것도 확인할 수 있다. 그러나 세척 후에는 황색의 침전 축적된 물질들이 대부분 제거되어 원래의



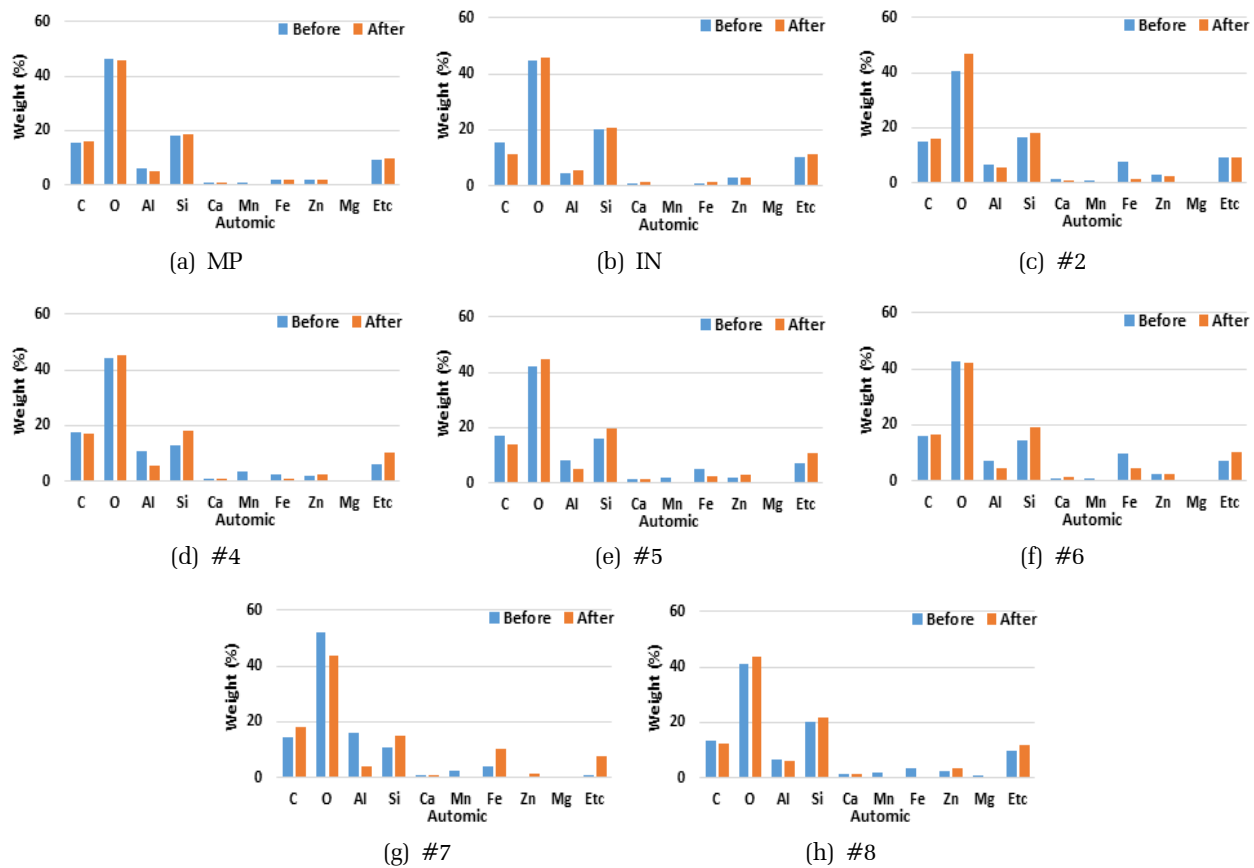


Fig. 11. Major chemical components captured by filter before and after air scouring.

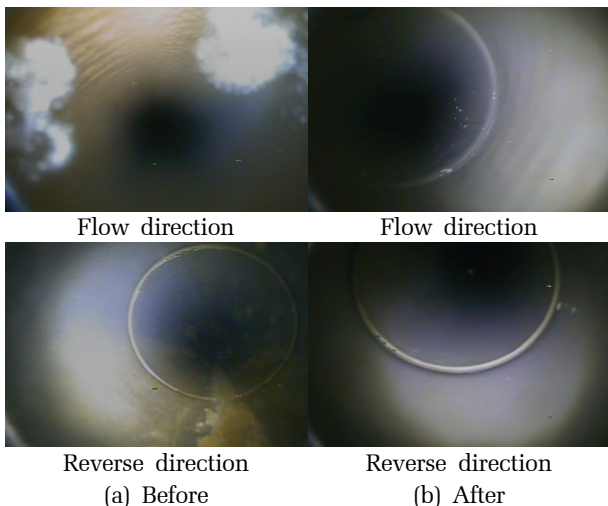


Fig. 12. Endoscope image comparison before and after air scouring.

재질 색깔인 흰색에 가까운 표면이 된 상태로 보이며, 영상 촬영하는 동안에도 물속에 부유하여 이동하는 입자성 물질이 거의 보이지 않는 것으로 보인다. 따라서

세척으로 관 표면 침전 축적된 물질이 직접적으로 수질에 미치는 영향이 감소하여 앞서 필터의 색깔 또는 물속을 이동하는 색도성 입자농도도 크게 개선된 것으로 볼 수 있다. 따라서 공급과정 상의 탁수발생, 그리고 이와 관련된 민원 등을 해결하는 방법으로 상수관망의 세척은 매우 필수적인 수단으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내 S 도시의 5개 소블록(S1~S5)을 대상으로 세척기술 중 공기주입 세척을 선정, 적용하여 세척 전과 후의 수질, 관로 상태를 다양한 측면에서 색도성 물질의 제거에 대한 효과를 분석하였고, 그 적정성을 검토하였다. 세척 효과를 분석하기 위해 배수본관, 중블록 유입지점, 정체구간과 관 말단을 중심으로 10개소를 수질 조사지점으로 선정하였고, 관내 고형물 제거, 성분, 물속 입자농도, 내시경 조사를 수행하였다.

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

분석 결과, 세척대상 중블록에서 세척 후 유출된 고형물의 대부분은 모래와 자갈이었으며, 관 재질 관련 조각, 부식으로 발생된 녹 입자 등도 포함되어 있었다. 필터를 통한 세척 전후의 입자포집 분석 결과, 중블록 유입 이후 수질조사 지점에 따라서 세척 전후의 색도변화가 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 또한 세척 전후에 대해 포집된 입자의 무게, 투과량, 입자 농도를 정량적으로 비교한 결과 투과량은 크게 증가, 입자무게와 농도는 크게 감소하여 세척을 통해 관 내부 색도유발 입자들이 제거, 관말까지 수질개선 효과를 확인할 수 있었다. 관내면 내시경 촬영 결과, 세척을 통해 침전, 축적된 황색 물질들이 대부분 제거된 것을 확인할 수 있었으며 물속에 부유하는 입자성 물질도 크게 감소한 것으로 나타났다.

따라서, 상수관망에 존재하는 색도유발 입자들로 인해 수질민원이 발생하는 경우, 적절한 세척방법을 선정하고 세척을 시행하면 상수관망의 수질을 크게 개선하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

## References

- Bae, C.H., Choi, D.Y., Lee, D.J. and Kim, D.H. (2014). A study of physical and chemical properties of internal accumulated material in water mains, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 28(5), 589-600.
- Bae, C.H., Lee, D.J., Choi, D.Y., Jun, H.J., Park, S.H. and Choi, T.H. (2015). An Assessment of the effect of air scouring and swabbing pig cleaning technique on water distribution pipes, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 29(4), 459-468.
- Chambers, K., Creasey, J. and Forbes, L. (2004). *Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems*. World Heal. Organ. IWA Publ. London, UK.
- Choi, M.A., Kim, D.H., Bae, C.H., Lee, D.J. and Choi, D.Y. (2014). The component analysis of foreign substance occurred in water distribution networks, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 36(9), 614-623.
- Coller, B.A. and Lin, J. (1997). Aluminium in a water supply, Part 3: Domestic tap waters, *J. Aus. Water Assoc.*, 24, 11-13.
- Ellison, D. (2003). *Investigation of pipe cleaning methods*. American Water Works Association.
- Gauthier, V., Portal, J.M., Rosin, C., Block, J.C., Cavard, J. and Gatel D. (1997). "How good are water distribution systems for transport of particulate matter?", *Proceedings Water Quality Technology Conference of American Water Works Association*, Denver, Colorado, USA.
- Kirmeyer, G.J. (2000). *Guidance manual for maintaining distribution system water quality*. American Water Works Association.
- Kim, D.H., Lee, D.J., Hwang, J.S. and Choi, D.Y. (2013). Characteristic analysis and effect of particulate material in drinking water distribution networks, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 35(5), 312-320.
- Nguyen, B.V., Wu, J., Grainger, C., Ryan, G., Jayaratne, A. and Mathes, P. (2002). *Particle concentration measurement in water distribution systems*. (Eds), Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, Adelaide, Australia.
- Slaats, L.P.M., Rosenthal, L.P.M., Siegers, W.G., Van Den Boomen, M., Beuken, R.H.S. and Vreeburg, J.H.G. (2002). *Processes involved in the generation of discolored water*. AWWA Research Foundation and Kiwa Water Research.
- Vreeburg, J.H.G. (2007). *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*, PhD. Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft.
- Water, Y.V. (1998). *Water Quality Report 97/98*. Melbourne, Australia: Yarra Valley Water.