



공기주입과 스와빙 피그를 이용한 상수관로 세척 효과 평가

An assessment of the effect of air scouring and swabbing pig cleaning technique on water distribution pipes

배철호·이두진·최두용·전홍진·박세현·최태호*

Cheolho Bae·Doojin Lee·Doo-Yong Choi·Hongjin Jun·Sehyun Park·Taeho Choi*

한국수자원공사 K-water연구원 상하수도연구소

K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT

Deposits discharged through the cleaning mainly were cement mortar, bitumen paintings and rust pieces, and fragments of perforation, stones and gravels. Deposits were more removed through swabbing pig cleaning rather than air scouring cleaning on the whole. However, air scouring cleaning were not influenced by the constraint conditions such as a change in the diameter or the presence of the valve in water mains compare to swabbing pig cleaning. So, it was thought that air scouring cleaning might be more favorable to water distribution network cleaning in the future. After the cleaning, water quality including residual chlorine and turbidity also was improved because of the removal of a significant amount of the deposits. Therefore, if the cleaning is continuously and regularly implemented in water mains, it is expected that it will help to recover the reliability and to preserve the health of water quality.

Key words: Air scouring, deposits, swabbing pig, cleaning

주제어: 공기주입 세척, 침전물, 스와빙 피그, 세관

1. 서 론

일반적으로 상수관망 내에는 원수, 정수처리공정, 그리고 관로 등으로부터 기원한 다양한 물질이 존재하며, 관로 내부의 수리적 거동에 따라 침전, 축적, 부유를 반복하며 관망 전반적으로 이동하여 수용가의 수도꼭지로 배출되거나 그렇지 못한 경우에는 결국 관 표면에 축적이 된다(Gauthier et al., 2001, Vreeburg, 2007). 관로 표면에 축적된 물질은 수리적 전단력에 의해 부착된 일부 침전물이 부상하여 적수, 흡수 또는 이물질 형태로 수질을 악화시키게 된다. 과거에는 이

러한 문제로 수질민원이 발생되면, 소화전을 통해서 관로 내 물을 대체하는 개념의 플러싱이 이루어져 왔으며, 최근에는 상수관망 내 밸브조작을 통하여 관로 내 유속을 하나로 모아 고유속을 유발하여 세척하는 단방향플러싱(Unidirectional flushing)이 사용되고 있으며, 정기적인 세척방법으로 매우 유용한 것으로 평가를 받고 있다(Friedman et al., 2002). 현재 단방향플러싱은 주로 약 300mm 이하 관로 표면에 약하게 부착된 침전물 제거에 적합한 세척방법으로 평가받고 있다(Ronald et al., 1992, Carriere et al., 2005). 그러나 상수관로 내부에는 약하게 부착된 침전물(Loose deposits)만 존재하는 것이 아니라, 단단하게 부착되어 있거나 물 때 등과 같은 응집성 침전물(Adhered or Cohesive deposits) 또는 부식에 기인한 결절(Tubercles) 등도 존

Received 27 April 2015; Revised 29 July 2015; Accepted 31 July 2015

*Corresponding author: Taeho Choi (E-mail: choistarh@kwater.or.kr)

pp. 447-457

pp. 459-468

pp. 469-479

pp. 481-491

pp. 493-502

pp. 503-510

pp. 511-517

pp. 519-531

재(Friedman et al., 2004)하므로 관로내 부착된 침전물을 모두 제거하기에는 한계가 있고, 단방향 플러싱에 필요한 고유속을 확보하기 어려운 구간도 존재한다.

따라서 외국에서는 이러한 기존 관 표면 내 오염물질의 침전부착에 따른 다양한 형태에 대응하기 위하여 단방향 플러싱 외에도 공기주입(Air scouring)과 스와빙 피그(Swabbing pig) 등의 다양한 세척방법을 적용하고 있다.

공기주입 세척은 기존 재래식 플러싱(conventional flushing)의 문제를 해결하기 위하여 압축공기를 관로내로 주입하여 높은 유속을 발생시킬 수 있으며, 동시에 물과 공기가 혼합된 덩어리(또는 수리적 피그라고도 부름)를 이용하여 관 표면에 축적된 침전물을 제거할 수 있는 기술로 알려져 있다(Vreeburg, 2007). 또한 공기주입 세척기술의 압축공기와 물의 관내 비율은 50:50이므로, 일반적인 플러싱에 비하여 세척수량을 크게 저감할 수 있는 기술로 평가 되고 있다. Vreeburg (2007)는 공기주입 세척에 대해 주로 관경 200 mm이하에 사용되며, 물 때 등 점착성 침전물 제거효과가 피그 세척보다는 낮은 것으로 보고하였고, Ellison et al.(2003)은 최대로 적용할 수 있는 관경은 약 300 mm 이하로 보고하였고, 세척구간 길이는 대상관로의 관경, 공기압축기 용량의 영향, 특히 관로의 상향 또는 하향 구배여부에 따라 영향을 받는 것으로 보고한 바 있다.

스와빙 피그는 관 내부에 존재하는 철 부식슬러지 또는 망간코팅 등 응집성 침전물(Cohesive deposits)을 제거하여 수질을 개선하는 세척기술로 활용하며, 관 내부에 존재하는 녹(결절) 등을 제거하여 통수능을 회복하거나 또는 라이닝의 전처리 공정으로 활용되기도 한다. Vreeburg(2007)는 피깅 기술의 경우 약 300 mm 이상 큰 관경을 갖는 송수관로에서 플러싱 최소 유속에 도달하지 못할 경우 또는 세척 방류수를 적정 지점에서 배출할 수 없을 경우에 플러싱 대안으로 적용 할 수 있다고 보고 하였다. Hill(2014)은 관내 침전물을 수중부유입자, 약하게 부착된 침전물(Loose deposits, 주로 실트), 응집성 침전물, 단단히 부착된 침전물(Adhered deposits, hard scale)

등으로 구분, 스와빙 피그는 약하게 부착된 침전물 뿐만 아니라 일부 단단히 부착된 침전물도 제거 될수 있는 것으로 보고하였다. 또한 Ellison et al.(2003)은 스와빙 피그는 도수관로, 송배수관로, 지하수 배관, 플랜트 배관 등에 모두 적용이 가능하며, 주요 제거대상 물질로는 미생물 막, 응집성 침전물, 탄산칼슘 등 광범위하게 제거가 가능한 것으로 보고하였다. 다만, 스와빙 피그 자체가 배수관로 소구경에서 소화전을 활용하여 세척을 하더라도 소화전 하단부를 해체하고, 피그 주입을 위한 별도의 주입설비를 설치해야 하는 등 번거로움도 있고, 기존 밸브 실 내에 피그주입과 배출을 위한 시설을 설치하거나 신규로 시설을 갖추어야 하고, 관경변화 또는 제수밸브 등이 존재하면 연속적인 장거리 구간에 대한 세척이 어렵다.

국내에서도 급배수관로를 대상으로 플러싱을 통한 관세척 적용 사례가 일부 있었으나, 세척대상물질에 대한 사전조사가 부족하여 적절한 기술적용이 이루어지지 못했고, 세척효과에 대해서도 세척 전·후를 비교 평가한 결과가 부족한 것이 사실이다. 본 연구에서는 수도꼭지 이물질 발생 문제로 민원이 빈번한 배수관로 구간에 대해 공기주입과 스와빙 피그 세척을 적용하고 배수관로로부터 배출되는 침전물의 종류, 침전물의 제거 특성과 세척에 따른 수질개선 효과 등 전반적인 성능을 평가하고, 각 세척기술에 대한 현장 운영조건과 절차 등을 마련코자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상 구간

PJ 배수관로 세척적용구간과 세척방법은 Table 1과 같다. Fig. 1에는 배수관로 세척 대상구간을 나타내었다. 각 세척연장은 최소 335~1,237 m 였다. 관종은 강관, 시멘트모르터 닥타일주철관, PVC 관 등이고, 관경은 50 mm에서 최대 400 mm로 구성되어 있다. 세척구간은 지속적인 수질민원 발생, 장기 미사용 후 활용에

Table 1. Applied cleaning techniques

Site	Pipe materials	Diameter, mm	Length, m	Cleaning method	Remarks
GYL	CML-DCIP, STS	50~150	904	Air scouring	Water quality complaints
BHL	CML-DCIP	80~200	1,237	Air scouring	Water quality complaints
ADD	PVC	50~100	696	Air scouring	Water quality complaints
SUL	SP	400	1,000	Swabbing pig	Unused water mains → For reuse
CHD	CML-DCIP	100	335	Swabbing pig	Unused water mains → For reuse



Fig. 1. Sites for water mains cleaning in PJ city

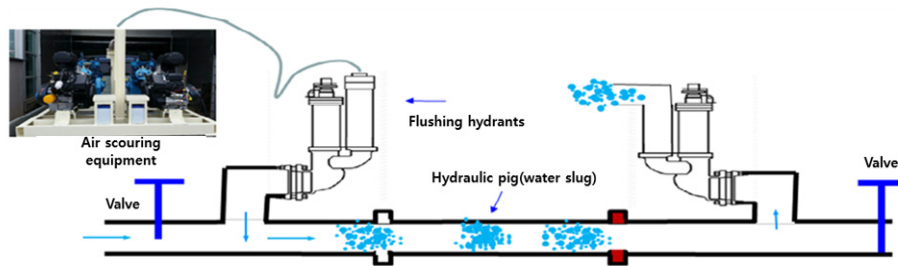


Fig. 2. Schematic of air scouring method

따른 침전물 유출위험성 등을 저감 또는 예방이 필요한 구간으로 본 연구 시범대상 구간으로 선정하였다. PJ 배수관로 세척적용구간의 경우 JY취수장에서 원수를 공급받는 GY정수장과 KP취수장에서 원수를 공급받는 MS정수장에서 생산된 정수를 각각 공급받고 있으며, 신도시와 구도시가 혼재된 특성을 가지고 있는 지역이다.

2.2 세척기술 적용절차

공기주입 세척은 Fig. 2와 같이 압축공기를 간헐적으로 관로 내로 주입하면 물과 혼합되면서 그 부피가 일시적으로 팽창하고, 관로 내부를 빠르게 이동하면서 관 표면에 약하게 부착된 침전물과 점착성 침전물을 관 외부로 배출하여 관을 세척하는 기술이다. 공기

주입 세척의 적용관경은 300 mm이하까지 적용이 가능하고, 세척구간 내 환경변화 또는 밸브 등에 대한 제약은 없다. 배수관로 내 주입되는 압축공기의 요구 주입량은 관경에 따라 영향을 받는데, 관경 100 mm 이하는 38 L/sec.이며, 관경 300 mm는 250 L/sec.가 필요하다(Ellison et al., 2003). 본 연구에서는 Ellison et al.(2003) 등이 제안한 공기주입 장치 가이드라인을 참고하여 동등수준의 공기주입 장치를 제작하여 현장적용 평가에 활용하였으며, 관경별로 필요한 압축공기를 주입하였다.

스와빙 피그세척은 Fig. 3과 같이 대상구간에 주입장치인 런처(Launcher)와 배출장치인 리시버(Receiver)를 사전에 배수관로상의 점검구 또는 소화전에 설치하고, 폴리우레탄 재질의 피그를 런처를 통해 관로내

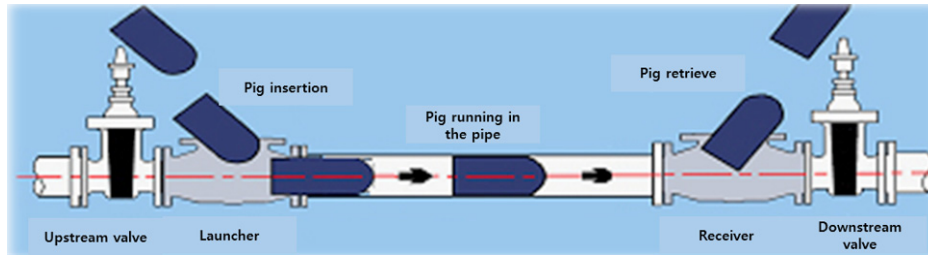


Fig. 3. Schematic of swabbing pig

Procedure of air scouring cleaning		Procedure of swabbing pig cleaning	
Previous work	▶ Investigate about v/v and hydrant locations, and isolate all service connections	Previous work	▶ Investigate about v/v and hydrant locations, and isolate all service connections
Installation of air scouring equipment	▶ Check on air scouring equipment (compressor, electric power, hose connection, etc) ▶ Install air injection tap on a hydrant	Working for pig insertion and retrieve	▶ Install the launcher and receiver in the pipe
Air scouring equipment operation starting	▶ Operate air compressor ▶ Open the hydrant in the downstream	Swabbing pig insertion	▶ Insert swabbing pig into the launcher in the order of more flexible pig ▶ Close the launcher cap
Compressed air injection into a hydrant	▶ Control the injection of air volume ▶ Inject given compressed air into a hydrant every 2 seconds	Swabbing pig running	▶ Open the valve in the upstream ▶ Monitor water pressure from a tap connected to the launcher
Air scouring cleaning	▶ Monitor air pressure of the equipment ▶ Control both the valve in the upstream and the hydrant in the downstream to make the proper formation of water slug in the pipe ▶ Monitor water quality(turbidity, residual chlorine)	Swabbing pig retrieve	▶ Retrieve swabbing pig from the receiver, and repeat the above process
Air scouring equipment operation stopping	▶ Stop the Injection of compressed air, and flush the water in the pipe until the requirement of water quality(turbidity, residual chlorine) is met	Swabbing pig stopping	▶ Flush the water in the pipe until the requirement of water quality(turbidity, residual chlorine) is met
Air scouring ends	▶ Check water quality at service connection, and then supply drinking water to customers	Swabbing ends	▶ Check water quality at service connection, and then supply drinking water to customers

Fig. 4. Procedure of air scouring and swabbing pig cleaning methods

로 삽입하고, 리시버 후단 밸브를 개방한 후 런처 전단의 밸브를 개방하여 관로 내부의 수압을 통해 피그를 주행시켜, 물때 등 점착성 침전물을 제거하는 기술이다. 세척시 피그 주행에 필요한 유속은 입자성 물질들의 크기나 비중에 따라 재침전할 수 있으므로 최소한 단방향플러싱과 동등수준 이상의 유속(1.0~1.5 m/sec.)이 필요하다.

현장에서 공기주입과 스와빙 피그세척 절차는 Fig.

4와 같은 단계로 수행하였다. 각 배수관로 세척을 시행하기 전에 세척구간에 대한 압축공기 또는 스와빙 피그 주입과 세척수 방류 또는 피그 배출을 위한 소화전 유무를 조사하였고, 적절한 지점에 소화전이 없는 경우에는 점검구 등과 같은 세척을 위한 별도의 인프라를 구축하였다. 또한 세척 시행시 단수가 발생되므로 단수계획에 대하여 수용가와 해당 관련기관에 단수와 일정을 통보하였고, 세척 수행시 발생될 수 있



는 사고에 대비하여 비상용수공급이 가능하도록 준비하였다.

2.3 효과분석

본 연구에서는 관 세척 전·후 효과를 비교하기 위하여 관 내부 수질변화, 입자거동, 그리고 침전물 제거 특성 등을 비교 평가하였고, 조사내용은 Table 2와 같다. 세척으로 GYL 등 5개 구관 세척을 통해 배출된 침전물들이 무엇인가를 조사하기 위해 세척수 방류지점에 각각 Bag filter를 설치하여 50 μm의 공극을 갖는 침전물을 포집하고, 이후 Bag filter 내부에 포집된 유출 침전물을 육안 관찰을 수행하였다.

탁도, 잔류염소, 그리고 입자크기와 개수 등 수질변화는 세척구간 후단에 설치된 소화전에 탭(Tap)을 설치하여 24시간 전·후로 현장에서 측정하였다. 물 속에 존재하는 입자의 전체적인 변화를 파악하기 위하여 입자농축 시험을 수행하였다. 입자농축 시험은 세척 24시간 전·후로 단위시간 동안에 일정 수압(1.5 kgf/cm²)까지 0.45 μm 필터(Cellulose acetate filter)로 여과하여 농축하였다. 다만 세척 전·후로 물 속에 존재하는 입자들의 농도에 따라 필터 폐색시기가 달라 여과되는 물의 부피도 달라지는 특성을 있으므로 필터에 농축된 입자농도 변화는 일정 시간과 일정 부피를 갖는 물이 필터에 여과되어 농축되었을 때의 농도(mg/hrL)로 나타내어 세척에 따른 변화를 분석하였다.

그리고, 세척과정 중 유출되는 입자물질의 주요성분

을 파악하기 위하여 세척 방류수가 유출되는 배관라인에 별도의 샘플링 탭을 설치하였다. 세척 후 방류되는 물의 탁도를 측정하고, 탁도가 가장 높게 나타날 때 방류수 2 L를 샘플링하여 방류수 속에 포함된 입자물질의 주요조성과 성분을 분석하였다. 성분분석은 강열감량(560°C 이상)을 통하여 유기물과 무기물에 대한 양을 추정하기 위하여 강열감량 시험을 수행하였고, 총 부유고형물 중 휘발성부유고형물(VSS, Volatile Suspended Solid)은 유기물로 보았으며, 강열감량 후 남은 시료에 대해서는 무기물(Inorganic substance)로 추정하였다. 또한 무기물에 대해서는 별도로 Fe, Al, Cu, Mn, Ca, Zn, Si 등 주요 7개 성분을 분석하였다.

3. 연구결과

3.1 세척에 따른 침전물 종류와 제거 특성

3.1.1 세척을 통한 유출 침전물 종류

본 연구에서는 공기주입 또는 스와빙 피그 세척을 통하여 배출된 침전물들을 조사하기 위해 세척수 방류지점에 각각 Bag filter를 설치하였으며, 이러한 침전물을 Fig. 5와 같이 모두 포집하였다. 이후 Bag filter 내부에 포집된 유출 침전물을 육안 관찰하여 Fig. 6과 같이 종류별로 분류하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 세척 과정에서 포집된 침전물들은 주로 시멘트 모르타르와 결절 등이었다. 닥타일 주철관에서는 주로

Table 2. Analysis and Investigation of cleaning effect

Division	Item	Method	Remarks
Deposits	Type	Visual	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identification of removed deposits type and amount ▶ Investigation for the change of internal surface condition in the pipe
	Removal amounts	Bag filter(50 μm) collection	
		Endoscope camera(NQ15)	
Water	Inorganic components	ICP(Perkin Elmer, OPTIMA 7300DV)	▶ Measurement for the change of inorganic components in water
	Residual chlorine	Pocket Colorimeter(HACH)	▶ Assessment for the Improvement of residual chlorine
Particulate	Turbidity	2001P Turbidimeter(HACH)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Measurement for the change of particle size, number, amount in water ▶ Measurement for the change of particle composition in water
	Particle size and number(#)	Particle counter(PC2400PS)	
	Particle concentration	ICP(Perkin Elmer, OPTIMA 7300DV)	
	Particle composition	ICP(Perkin Elmer, OPTIMA 7300DV)	



(a) GYL(Air scouring)

(b) CHD(Swabbing pig)

Fig. 5. Collected deposit material by bag filter during the cleaning



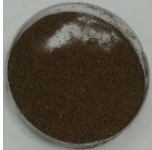
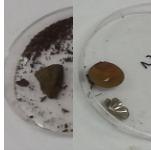

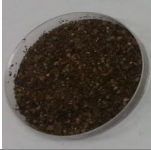
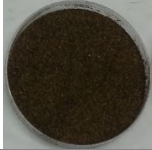

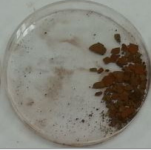
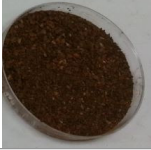
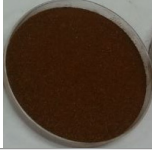


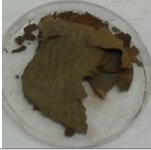
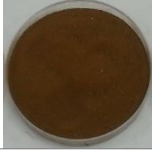



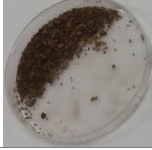

GYL				
	Fragments of cement mortar lining	Rust and pieces of bitumen paintings ($600 \mu\text{m} <$)	Rust and pieces of bitumen paintings ($< 600 \mu\text{m}$)	Rust and fragments of perforation
BHL				
	Fragments of cement mortar lining	Rust and pieces of bitumen paintings ($600 \mu\text{m} <$)	Fine pieces of bitumen paintings ($< 600 \mu\text{m}$)	Gravel, etc.
ADD				
	Fragments of cement mortar lining	Rust and pieces of bitumen paintings ($600 \mu\text{m} <$)	Fine rust particle ($< 600 \mu\text{m}$)	Rust (tubercles)
SUL				
	Rust (tubercle)	Pieces of epoxy lining	Fine rust particle ($< 600 \mu\text{m}$)	Gravel, etc.
CHD				
	Rust (tubercle)	Sand and pieces of bitumen paintings	Rust and pieces of bitumen paintings	Gravel, etc.

Fig. 6. Collected deposit material type by bag filter



관 내부에서 탈리된 시멘트 모르타르, 역청재, 녹 조각 등이 주로 유출되었으며, 비록 주 관로가 닥타일주철관이 아닌 ADD지점(주로 PVC)에서도 동일한 종류의 침전물이 유출되었는데, 이는 전단에 설치된 주철 관종으로부터 탈리 이동되어 축적된 침전물들이 세척을 통하여 유출된 것으로 판단된다. 관종이 내부 에폭시 도장 강관인 SUL 구간에서는 주로 녹이었고, 일부 탈리된 에폭시 도장재가 유출되었다. 그 외 공사 중 유입된 것으로 추정되는 천공시편, 돌, 자갈 등이 유출되었다.

3.1.2 세척에 따른 침전물 제거량

Fig. 7에는 Bag filter에 포집된 50 μm 이상의 침전물에 대하여 각 세척구간 길이를 고려하여 단위 m 당 유출된 침전물의 양을 비교하여 나타내었다. 그림에서 보면 스와빙 피그 세척이 이루어진 SUL 구간에서 가장 많은 침전물이 유출되었으며, 그 다음으로는 CHD 구간으로 나타났다. SUL구간은 m 당 1,000 mg 이상, CHD는 650 mg 이상 높게 나타났다. 공기주입 세척이 이루어진 GYL, BHL, ADD 등은 스와빙 피그 세척구간 보다는 낮은 160~210 mg/m이 유출되었다. 이는 스와빙 피그 세척은 피그를 통해 직접적으로 관 표면을 닦아내면서 침전물을 관 외부로 배출하였기 때문이다.

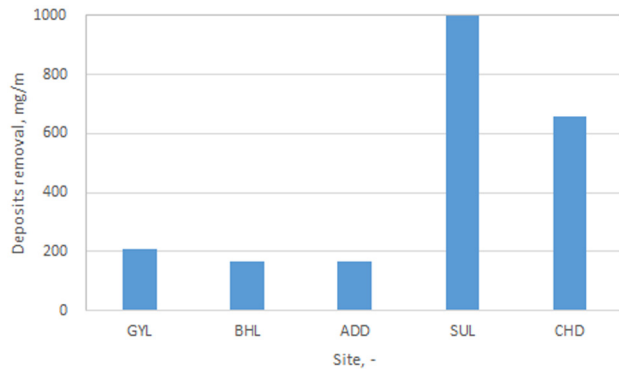


Fig. 7. Comparison of a removed deposit amount after the cleaning

3.1.3 세척에 따른 탁도의 변화와 입자물질 주요성분 분석

Fig. 8에는 대표적으로 GYL, ADD, SUL에 대한 세척과정 중 탁도의 변화과정을 나타내었으며, 탁도는 5 분간격으로 측정하였다. 그림에서 세척 전 탁도는 주로 0.252~1.557 NTU 범위였으나 세척이 진행되는 동안 GYL와 ADD는 공기주입 10분 후 각각 최대 탁도

인 319 NTU와 554 NTU까지 상승하였으며, SUL는 피그 주행 35분 경과 후 최대 탁도 926 NTU까지 상승하였다. 대부분 최대 탁도 도달 후부터 탁도가 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 이후 구간에 따라 차이는 있으나 최대 탁도 보다는 낮은 2차 또는 3차 탁도 피크(Peak)가 나타났다. 이러한 경향은 관 내부에 존재하는 입자물질들의 크기와 비중이 달라 세척과정 중 유출되는 시간대가 상이하기 때문으로 판단된다.

Fig. 9에서 최대 탁도 피크를 보인 시간대에 채취한 세척 방류수 속에 포함된 입자물질의 주요 조성을 나타내었다. 각 구간의 입자물질 주요 조성의 차이가 크게 나타났다. GYL와 BHL 등에서는 주로 VSS 성분의 비율이 높았으며, ADD, SUL, CHD 등에서는 무기물 비중이 더 높게 나타났다. 이는 Fig. 6에서 보듯이 GYL과 BHL 등에서는 상대적으로 600 μm 미세 역청재 조각 등이 주요 성분이었고, ADD, SUL, CHD 등은 녹 등이 주요성분이었기 때문으로 추정된다. Fig. 9에서 Unknown 물질은 7개 무기물을 제외한 무기물 성분비율을 나타낸다.

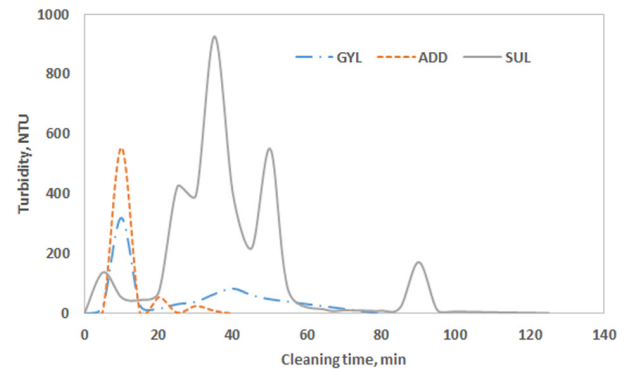


Fig. 8. Variation of turbidity during the cleaning

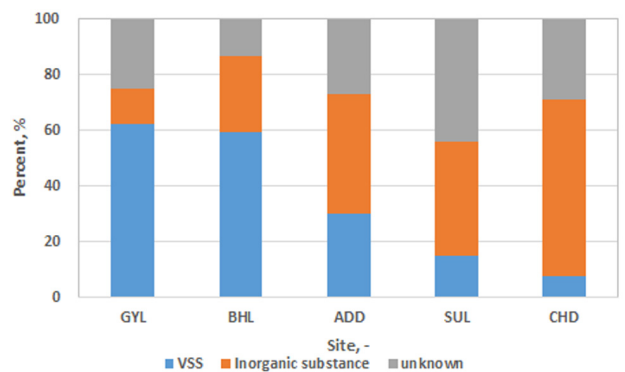


Fig. 9. Chemical ratio of chemical composition in a deposit

pp. 447-457

pp. 459-468

pp. 469-479

pp. 481-491

pp. 493-502

pp. 503-510

pp. 511-517

pp. 519-531

Fig. 10에는 강열감량 후 남은 입자성 무기물에 대해 그 주요성분을 조사한 결과를 나타내었다. 대부분 강열감량 후 무기물을 구성하고 있는 주요 성분을 보면, 세척구간에 따라 그 비율은 차이가 있으나 대부분 Fe가 주요 성분으로 나타났다. 그 외 Al과 Ca 등이 0.3~3.31 % 수준으로 나타났으며, Cu, Mn, Zn, Si 등은 0.5 % 이하로 낮게 나타났다. 입자물질 중 철이 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있다는 것은 현재 세척 구간 또는 그 전단 관로구간에서 부식에 의한 영향이 큰 것을 의미하며, Al은 원수에도 일부 존재할 수 있으나, 정수처리공정에서 사용되는 응집제 영향도 있었을 것으로 추정된다.

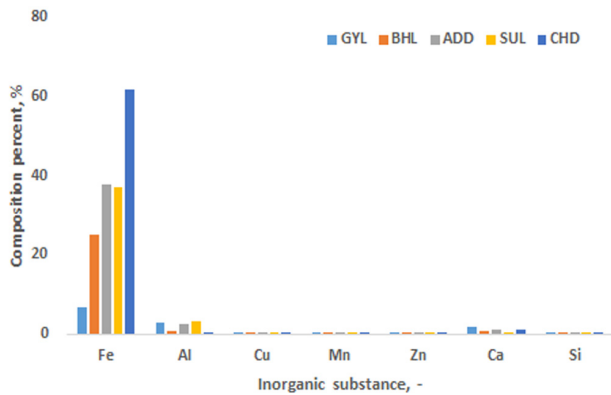


Fig. 10. Composition of major inorganic substance in a deposit

3.2 세척에 따른 수질 변화

3.2.1 잔류염소

세척에 따른 잔류염소 전·후 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 잔류염소 농도는 동일시간대에 세척 24시간 전과 세척 24시간 후에 각각 측정하였다. 그 결과 세척 전의 잔류염소 농도에 비해 세척 후의 잔류염소는 1~9.6 배까지 상승하였다. GYL 등은 세척 전 잔류염소는 0.02 mg/L이었으나 세척 후에는 0.12 mg/L로 상승하였고, SUL 구간도 0.05 mg/L에서 0.48 mg/L까지 상승하였다. 그 외 BHL, ADD, CHD 등에서도 잔류염소 농도가 향상되는 것으로 나타났다. 세척에 따른 이러한 잔류염소의 증가는 세척구간 내 정체 등 수리적인 여건 변화(전단의 물 유입 등)에 의한 것일 수도 있으나, 그간 세척구간 내 축적된 침전물이 제거됨으로써 잔류염소 감소에 영향을 주는 요소들도 제거되었기 때문으로 판단된다.

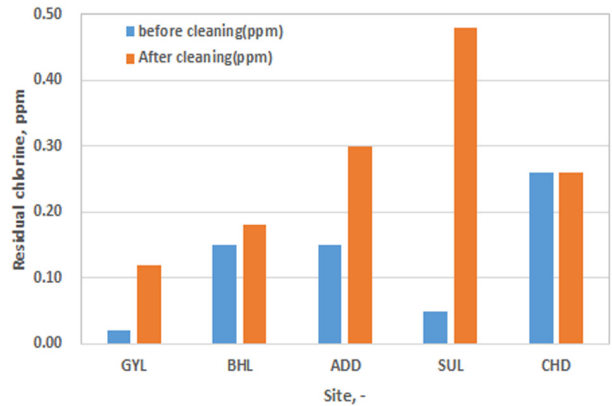


Fig. 11. Comparison of the residual chlorine concentration before and after cleaning

3.2.2 탁도변화

세척에 따른 탁도 전·후 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 탁도 또한 잔류염소와 동일하게 세척 24시간 전후 동일 시간대에 측정하였다. 그림에서 세척 전 탁도는 0.25~1.56 NTU 이었으나, 세척 후에는 0.12~0.28 NTU 범위로 나타나 탁도가 상당히 감소한 것으로 나타났다. 탁도 감소율로 보면, ADD이 25.61 % 가장 낮은 감소율을 보였고, 그 외 구간에서는 43.25~84.14 %까지 탁도가 감소하였다. 이는 공기주입 또는 스와빙 피그 그 세척을 통해서 관 내부에 축적해 있던 상당량의 침전물들이 제거됨으로써 탁도 영향물질이 감소되었기 때문으로 판단된다. 즉 일반적으로 관로내에서 입자들은 크기와 비중에 따라 축적, 이동, 재부상을 반복하는 거동 특성을 보이는데, 관내부가 청결해져 세척구간 내 수질에 미치는 입자의 거동특성 영향이 최소화되었기 때문으로 판단된다.

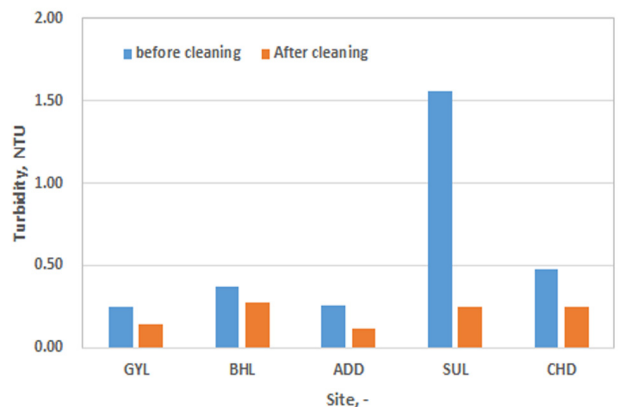


Fig. 12. Comparison of the turbidity before and after cleaning



3.2.3 입자특성 변화

Fig. 13에는 세척 전·후 입자계수의 변화를 나타내었고, Fig. 14에는 입자크기별 감소율을 Fig. 15에는 세척 전·후 물 속에 존재하는 0.45 μm 이상 크기를 갖는 입자들 농도 변화를 각각 나타내었다.

Fig. 13에서 입자계수는 세척 전에는 주로 1~4 μm 범위의 크기를 갖는 입자들이 상대적으로 높게 나타났다. 이는 입경이 작을수록 침전은 어려우나, 일단 침전 축적 후에는 미시적인 수리적 변화에도 상대적으로 큰 영향을 받아 수질에 미치는 영향을 클 수 있음을 보여준다.

Fig. 14에서 각 입자크기별로 세척을 통하여 개수 감소비율에서도 세척구간에 따라 차이는 있으나 1~4 μm 크기 입자들은 69.0~95.3 %까지 감소하였고, 4~10 μm 크기 입자들은 10.2~96.5 %, 10~32 μm 크기 입자들은 -27.3~90.0 %으로 나타나 세척 후 전반적으로 크기가 작은 입자들의 감소율이 주로 증가하는 경향을 보였다. 다만 Fig. 13에서 보듯이 10~32 μm 크기를 갖는 입자들 개수는 매우 작아 미소 변화에도 Fig. 14에서 감소비율이 크게 나타나거나 반대 경향을 보이기도 하였으나, 전반적으로 10~32 μm 크기를 갖는 입자들도 세척 후에는 감소비율이 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

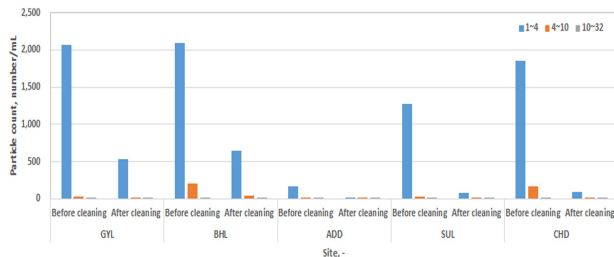


Fig. 13. Change of particle counter before and after the cleaning

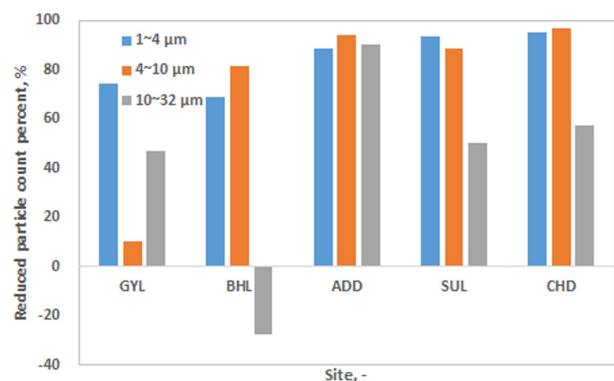


Fig. 14. Change of particle counter before and after the cleaning

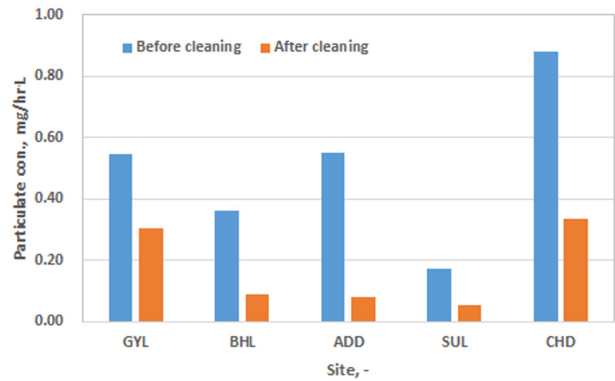


Fig. 15. Change of particle concentration (particle size < 0.45 μm) before and after the cleaning

Fig. 15에서 세척 전·후 물 속에 존재하는 0.45 μm 이상 크기를 갖는 입자들을 농축하여 그 농도변화를 나타내었다. 그림에서 보면, 세척 후 세척구간에 따라 차이는 있으나 물속에 존재하는 입자들의 농도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 세척 전 입자농도는 0.17~0.88 mg/hrL이었으나, 세척 후에는 0.05~0.34 mg/hrL로 감소하였다. 각 세척구간별 입자농도 감소율을 보면, GYL구간 44.4 %, BHL구간 75.8 %, ADD구간 85.4 %, SUL구간 68.9 %, CHD구간 61.6 %로 ADD구간에서 입자농도 감소가 가장 크게 나타났다. 이는 ADD 구간은 경질염화비닐관이 매설된 구간이지만 그 전단의 주철관종 등으로부터 상당부분 녹 입자 등이 이동하여 축적된 구간이다. 앞서 Fig. 6에서 세척 후 유출된 침전물에서도 미세 녹 입자들의 비율이 높았다.

4. 결론

본 연구에서는 PJ 지역의 5개 배수관로 구간에 대하여 공기주입과 스와빙피그 세척을 시행하고, 세척 전·후의 관 내부 수질변화, 입자거동 등 침전물의 제거 특성, 수질개선효과를 평가하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 관 세척을 통하여 배출된 침전물들의 종류는 주로 시멘트 모르타, 역청재, 녹 조각 그 외 천공시편, 돌, 자갈 등이 상당히 제거되었다. 다만 이들 침전물 종류 대부분이 녹 조각을 제외하고는 대부분 시공 또는 관 재질관 관련된 종류들이다. 따라서 관 재질에 대한 품질과 시공관리를 잘하게 되면, 상당부분 관로

내 침전물이 수질에 미치는 영향과 민원발생을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 전체적으로는 공기주입 세척보다 스와빙 피그 세척을 통해서 m 당 침전물이 비교적 많이 제거되었으며, 주요 성분은 철 성분이 가장 높았고, 그 외 알루미늄, 칼슘 등이 높게 나타났다. 다만 공기 주입 세척은 스와빙 피그 세척과 달리, 환경변화, 밸브 등 제약조건과 관계없이 세척이 가능하여, 향후 상수관망 세척에 활용성이 클 것으로 기대된다.

셋째, 세척 후 관 내부 침전물 제거로 인하여 잔류염소는 1.0~9.6 배가 증가하였고, 탁도는 25.61~84.14% 감소하였고, 입자개수와 농도 등이 감소하는 등 수질이 개선되는 경향을 보였다. 따라서 수돗물 공급과정 상의 신뢰도 회복과 수질 건강성을 확보하기 위해서는 관 세척이 매우 중요하며, 향후 상수관망 수질유지관리 기술로서 정착되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Cariere, A., Gauthier, V., Desjardins, R. and Barbeau, B. (2005). "Evaluation of loose deposits in distribution systems through unidirectional flushing", *Journal AWWA*, 97(9), pp. 82-92.
- Ellison, D., Duranceau, S. G., Ancel, S., Deagle, G. and McCoy, R. (2003). "Investigation of pipe cleaning methods", AWWA Research Foundation, Denver.
- Friedman, M., Kirmeyer, G. J. and Antoun, E. (2002). "Developing and implementing a distribution system flushing program", *Journal AWWA*, 94(7), pp. 48 - 56.
- Friedman, M., Martel, K. and Hill, A. (2004). "Establishing site-specific flushing velocities", AWWA Research Foundation, Denver.
- Gauthier, V., Barbeau, B., Milette, R., Block, J.-C. and Prevost, M. (2001). "Suspended particles in the drinking water of two distribution systems.", *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol: 1 (4): 237-245.
- Hill, A., (2014). "AWWA Webinar Program: Distribution System Issues Part 2 of 3: Water Quality and Asset Management Working Together Wednesday", September 24
- Ronald, A., Chadderton, G., Christensen, L. and Henry-Unrath, P. (1992). "Implementation and optimization of distribution flushing programs", AWWA Research Foundation, Denver.
- Vreeburg, J. H. G. (2007). "Discolouration in drinking water systems: a particular approach", Department of Civil Engineering, TU Delft, Ph. D. Thesis.