



## 수질 취약지역 및 관말에서 플러싱 적용 먹는물 수질 개선 효과

### Effects of flushing techniques on water quality at extremity with low chlorine residuals in drinking water distribution systems

고경훈<sup>1</sup> · 권지향<sup>1\*</sup> · 김인자<sup>2</sup> · 임우혁<sup>3</sup>

Ko, Kyung-hoon<sup>1</sup> · Kweon, JiHyang<sup>1\*</sup> · Kim, In-ja<sup>2</sup> · Lim, Woo-hyuk<sup>3</sup>

1 건국대학교 공과대학 환경공학과, 2 서울시 상수도사업본부 중부 수도사업소, 3 서울시 상수도사업본부 구의 아리수정수센터  
(2008년 8월 14일 접수 ; 2009년 2월 2일 1차수정 ; 2011년 2월 8일 2차수정 ; 2011년 6월 1일 3차수정 ; 2011년 6월 8일 채택)

#### Abstract

Several complaints from consumers on red or turbid waters were often filed at the same places although various efforts were made to improve water quality in the drinking water plant. The red water problems were occurred due to corrosion of main water pipe, especially at extremity. The low concentrations of chlorine indicating poor water quality were detected at the problematic location. To solve the poor water quality at the extremity, flushing techniques, *i.e.*, conventional flushing, unidirectional flushing, and continuous flushing, were recently practiced. In this study, effects of conventional flushing on water qualities were examined by comparing turbidity and residual chlorine before and after flushing. In addition, more detailed analyses on water qualities at the tap water were conducted to learn a reduction pattern during flushing. Five items from geographic information system of water distribution were used to obtain a relationship with water quality, washing duration or amounts of washing water.

The flushing was effective to meet the National Drinking Water Quality Standard with simple and relatively short time operation. The key operational parameter in flushing was amounts of washing water which should be estimated based on water quality of the consumer's tap water. The positive relationship between the residual chlorine and pipe length implied that detention time in the pipeline was the main cause of the complaints. More experiments on effectiveness of flushing are needed to determine reasonable strategies of flushing.

**Key words** : Extremity, Flushing, Red water, Residual chlorine, Improvement of water quality

**주제어** : 관말, 플러싱, 녹물, 잔류염소, 수질개선

#### 1. 서론

우리나라는 1908년 근대화 장비를 갖춘 똑도 정수장에서 수돗물을 통수한 이후 품질 향상을 위해 다방면에서 노

력해왔다. 예를 들어, 서울시의 경우 깨끗한 원수를 확보하기 위해서 구의, 자양 취수장을 팔당댐 근처인 강북취수장으로 이전하는 계획을 2008년부터 추진하고 있으며 2007년에는 영등포 정수장에 고도정수처리시설을 착공하였고

\* Corresponding author Tel:+82-2-450-4053, Fax:+82-2-450-3542, E-mail: jhkweon@konkuk.ac.kr(Kweon, J.)

2014년까지 서울의 6개 정수장에 입상활성탄 등 고도정수 처리시설을 도입할 예정이다. 또한, 1984년 이전에 매설된 노후 수도관을 스테인레스관, 시멘트라이닝 덕타일 주철관 등 녹이 안 쓰는 배관으로 교체하는 공사를 100% 정비 완료할 계획이다.(한 등, 2008)

하지만 여전히 탁수나 녹물 등 수도관에서 발생된 문제로 인해 야기되는 민원이 존재한다. 2007년 11월에 실시된 “수돗물에 대한 시민의식”에 대한 인터넷 여론 조사 결과에 따르면 서울특별시 수돗물 사용고객 전화응답자 1000명중 43명인 4.3%가 옥내배관이 아닌 배수관에서 발생된 녹물을 경험했다고 답했다(서울특별시, 2007).

녹물발생은 배관 공사 직후 일시적으로 생기기도 하고 관 말 관로 및 배관 밸브와 소화전 배관 등 정체된 구역에서 발생하기 쉬운 부식으로부터 야기되기도 한다. 토양에 매설된 관로인 배급수관은 특히 부식에 취약한 편으로 배수관의 부식은 배관 내 생물막 성장에 유리한 조건을 형성하여 수돗물의 안정성을 떨어뜨리므로 수돗물 품질 관리의 중요 요소 중에 하나이다(유 등, 2003; Lechevallier et al., 1990).

이러한 관내부 부식 생성물의 발생에 대한 지표로 잔류염소 농도 변화가 활용될 수 있다. 잔류 염소 농도의 감소는 자체적인 감소와 관 내부의 부식생성물로 인한 감소로 이루어진다(김 등 2005). 염소는 병원성 미생물 즉 박테리아, 바이러스, 원생동물, 아메바 피낭의 제어를 담당하는 소독제로 사용되는 약품이며 병원성 미생물의 재성장을 방지하도록 수돗물에 충분하게 잔류하여야만 한다(Davis et al., 2004). 국내에서는 유리염소가 4.0mg/L를 넘지 않은 농도로 잔류하도록 규정하고 있으며(환경부, 2008a), 위생학적 측면에서 저수조를 거친 수돗물도 항상 유리염소가 0.1mg/L이상으로 유지되도록 규정하고 있다(환경부, 2008b). 미국에서도 잔류염소의 최고허용농도(maximum residual disinfectant level)를 4.0mg/L로 정하고 있다(USEPA, 2008). 잔류염소의 경우 배수지와 수요자 사이의 배급수 거리가 멀고 장시간 정체시 농도 저하가 심각하여 소독력이 감소하게 되는 데 이러한 조건에서 배수관 부식이 용이하게 발생하게 된다.

탁수 민원과 잔류염소 부족 관로에 대한 문제 해결 방법으로 정수처리의 최적 운영과 함께 상수도 배관의 효율적인 관리와 교체를 들 수 있다. 최신 공법의 고도정수처리 기술에는 오존처리, 정밀여과, 환외여과, 나노여과, 역삼투여과 공법 등이 있는데 경제적 여건상 현장 적용이 신속하게 이루어지기 어려운 점이 있다. 녹물이 빈번히 발생하는 상수도 배관의 경우 관 교체가 용이하지 않다면 배관 세척 기법으로 수질 민원을 빠르고 신속하게 해결 할 수 있다. 플러싱 세척기법은 사전 계획이 필요 없고, 고도의 기술을 요구하지 않으며, 많

은 인력이 소요되지 않는 비교적 손쉬운 방법으로 탁질, 고형물, 침전물과 같은 이물질 제거를 신속하게 처리할 수 있다.

플러싱 기법에 대한 국내 연구로는 안 등(2005)이 수행한 서울시 G동 142번지 일대의 퇴수변과 소화전에 단방향 플러싱을 적용하여 탁도 저감 효과를 확인한 연구가 있다. 또한 플러싱 배출수의 탁도와 총부유고형물과의 관계를 통해 배출수 특성을 분석한 연구가 있다(안 등 2008). 현장 적용사례로는 서울시 상수도사업본부가 2007년에 배관내 녹물과 침전물을 배출하기 위해 1,842개소의 소화전에서 배관 세척을 실시한 경우가 있다(한 등 2008).

외국에서의 상수도 배관 세척 기술은 플러싱, 공기세척, 스왑 및 피그 세척, 워터젯 등 다양하다. 특히 플러싱은 재래식, 단방향, 연속식으로 나뉘지며, 재래식 플러싱 세척은 소화전을 이용하여 물을 빼내는 세척 방법이고 단방향 플러싱 세척은 배관 밸브를 조정하여 배관 내 최대 유속을 유지하면서 세척하는 방법이다. 연속식 플러싱은 수질이 극도로 안 좋은 배관에 대해 실시하는 방법이다(Ellison et al., 2003). 미국 뉴욕시는 배급수관망 소화전의 정체된 물을 배출시키는 플러싱 작업을 주기적으로 수행하고 있으며 이를 통해 tetrachloroethylene에 의한 수질문제를 해결하였다고 밝혔다(Bloomberg, 2007). 캐나다 브리티시 콜럼비아의 Port Coquitlam에서도 1996년 이후로 잔류염소농도를 높이고 미생물 재성장을 방지하기 위하여 매년 단방향 플러싱을 실시하는 프로그램을 진행하고 있다(Pynenburg, 2006).

국내는 플러싱 액션 프로그램이 상당히 부족한 상황이며 다양한 플러싱 기법에 의한 수질 개선 효과에 대한 체계적인 연구가 절실한 상황이다. 간단하고 현장 적용이 용이한 재래식 플러싱은 활용 가능성이 높음으로 수질취약지점 혹은 관말 상시 정체관로에서 발생하는 탁질 민원이나 잔류염소 부족현상의 해결 정도를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 재래식 플러싱 세척기법에 의한 수질 개선효과를 탁도와 잔류염소 농도 측면에서 파악하고자 한다. 수질 개선 효과를 뚜렷이 파악하기 위해 기존자료를 조사하여 대상 수질 취약 지점과 관말 정체 관로를 선정하였다. 선정된 지역의 소화전에서 바로 플러싱 세척하거나 분기관 없이 단일관으로 매설된 관말정체관로 소화전에서 밸브 조작 없이 세척을 실시하였다. 플러싱 세척 실시 전·후 수요가에서의 수질 변화를 분석하였고, 플러싱 대상 관의 수질변화도 분석하였다. 주기적인 플러싱 액션 플랜 계획시 필요한 인자들을 도출해보고자 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 항목인 세대 수, 관 길이, 관 구경, 관 중, 관 설치연도 등에 따른 수질 특성 및 사용된 세척량과의 관계를 분석하였다.

## 2. 대상관로 선정 및 실험방법

### 2.1 대상관로 선정

본 연구를 위해 한강 원수를 사용하는 K정수장과 D정수장 수계지역인 서울특별시 J수도사업소 관내 J구와 J' 구 관로중 관말정체 구간으로 수질이 취약할 것으로 판단되는 곳을 선정하였다. 대상 지역의 수도물은 서울특별시 K, D정수장에서 정수되어 D대배수지 또는 B터널 배수지와 각 지역 소매수지를 지나 J수도사업소 관할 지역인 J구와 J' 구에 공급된다. 잔류염소 저감 및 탁질 증가가 예상되는 관로로 선정된 곳은 J구는 14지점, J' 지점은 15지점이다. GIS를 통해 각 세척 대상 관로에 대한 급수 세대 수, 관 길이, 관 구경, 관 종, 관 설치 연도, 정체 및 수질 저하요인, 세척 주기, 세척 방식을 정리하여 다음 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

### 2.2 실험방법

재래식 플러싱의 실험 절차는 다음 Figure 1에 나타내었다. 플러싱에 의한 수질 효과 분석은 지상·지하소화전과 퇴수변 및 다용도밸브에서 5분 간격으로 시료를 채수하여 먹는물수질기준(탁도 0.5NTU 이하) 및 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 제2조 3항(잔류염소 0.10mg/L 이상) 충족여부를 확인하였다. 또한 인근 수요가에서 플러

싱 세척 전·후 수질을 측정하여 개선 효과를 파악하였다. 플러싱 세척 후에는 배관 내 난류가 발생하므로 20~30분 정도 안정화 된 후 수요가에서 수질검사를 실시하였다. 플러싱 효과에 대한 정밀 분석을 위해 29개의 선정관로 중 3개의 관로를 선택하여 탁도, 잔류염소 등 기본 실험 이외의 pH, 온도, 철, 구리, 일반세균, 총대장균군, 대장균을 추가적으로 실험하여 수질 개선 정도를 좀 더 심도 있게 파악하였다. 정밀분석용으로 선정된 관로는 탁질 및 침전물 다량 출수로 인한 민원이 많은 관로인 J구 8번 관로, 그리고 배관 공사가 시급하게 필요하다고 결정된 J구 14번 관로와 배수 지로부터 가장 먼 관로인 J' 구 13번 관로이다. 채취된 시료는 1L 채수병에 담아 탁도는 2100P, 잔류염소는 Free Chlorine Reagent Powder를 넣어 Pocket colorimeter<sup>TM</sup>으로, pH와 온도는 Istek pH meter pH-20N으로 현장에서 측정하였고, 나머지 철 및 구리는 DR-2500, 일반세균은 Standard plate count, 총대장균군 및 대장균은 Enzyme Substrate test 방법으로 실험하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 플러싱 세척 효과

#### 3.1.1 플러싱에 의한 수질 개선 효과

연구 대상 29개 관로를 2007년 일년 간 세척하고 플러싱

Table 1 Information of the pipes selected for flushing in J area

관로	관로 현황				급수 세대 수	정체 및 수질 저하요인	세척 주기	세척 지점
	구경 (mm)	연장 (m)	관 종	부설 연도				
# 1	150	137	DP	1998	60	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 2	50	65	SSP	1992	32	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 3	100	45	DP	2004	52	관말 정체관로	50일	지하 소화전
# 4	80	45	DP	1992	28	관말 정체관로	40일	퇴수변
# 5	150	91	DP	1987	52	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 6	300	110	CIP	1978	24	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 7	250	510	CIP	1978	13	관말 정체관로	30일	다용도 밸브
# 8	100	50	DP	1987	10	관말 정체관로	60일	지상 소화전
# 9	200	100	DP	1992	3	관말 정체관로	60일	지하 소화전
# 10	250	460	DP	1993	8	관말 정체관로	40일	퇴수변
# 11	80	78	DP	1988	36	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 12	100	230	DP	1997	14	관말 정체관로	40일	지상 소화전
# 13	80	120	DP	1988	22	관말 정체관로	50일	퇴수변
# 14	100	140	DP	2007	3	관말 정체관로	30일	지하 소화전
총	50~300	2,181			357			

DP : ductile pipe (덕타일 주철관), CIP: cast iron pipe (주철관), SSP: stainless steel pipe (스테인레스 관)

Table 2 Information of the pipes selected for flushing in J' area

관로	관로현황				급수 세대 수	정체 및 수질 저하요인	세척 주기	세척 지점
	구경 (mm)	연장 (m)	관종	부설 년도				
# 1	150	159	DP	1997	25	(가압수) 경계관로	30일	지하 소화전
# 2	80	5	DP	1993	5	(가압수) 정체관로	30일	지하 소화전
# 3	150	164	DP	1992	22	(자연수) 정체관로	30일	지상 소화전
# 4	300	107	DP	1988	45	(자연수) 정체관로	60일	지하 소화전
# 5	100	72	DP	1988	9	(자연수) 정체관로	50일	지하 소화전
# 6	100	115	CIP	1980	4	(자연수) 정체관로	50일	지하 소화전
# 7	80	160	DP	2006	18	(자연수) 정체관로	50일	지하 소화전
# 8	80	63	DP	1992	21	(자연수) 정체관로	60일	퇴수변
# 9	200	110	DP	1990	12	(자연수) 정체관로	30일	퇴수변
# 10	80	49	DP	2005	17	(가압수) 정체관로	30일	지상 소화전
# 11	40	39	SSP	1990	7	(배수지) 경계관로	20일	지하 소화전
# 12	80	59	DP	1991	11	(가압장) 정체관로	30일	퇴수변
# 13	100	100	DP	1997	2	(배수지) 정체관로	30일	지하 소화전
# 14	80	92	DP	1994	9	(가압장) 정체관로	30일	퇴수변
# 15	80	80	DP	2006	13	(가압장) 정체관로	40일	퇴수변
총	40~300	1,374			220			

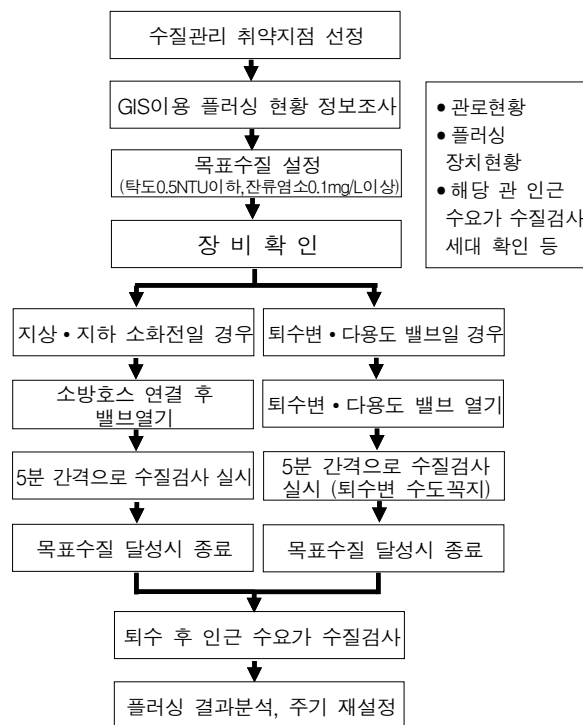


Figure 1 Experimental procedures for conventional flushing.

전 후로 수요가 수질을 파악하여 수질기준에 적합여부를 진단하였다(Table 3). 1~2월 동절기에는 플러싱 세척시 지

상식 소화전에서 나온 세척수가 동결될 가능성이 있으므로 플러싱 세척을 하지 않았다.

플러싱 세척 전 대상 관로 인근 수요가에서 먹는물 수질기준과 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙(탁도 0.5 NTU 이하, 잔류염소 0.10mg/L 이상)을 만족하지 못한 경우는 잔류염소 부족이 14건 이었으며, 탁도와 잔류염소가 동시에 불만족한 곳도 2곳이 존재하였다. 플러싱 세척 후 수요가에서는 모두 먹는물 수질기준을 만족하여 플러싱 세척으로 인한 수질개선 효과를 확인할 수 있었다.

Table 4는 대상관로 플러싱에 의한 수질개선 효과를 좀 더 구체적으로 파악하기 위해 세척 전과 후의 수요가 수질상태 그리고 플러싱 관의 수질 상태를 정리하여 나타낸 것이다. 세척 전과 후에 수요가에서 측정된 수질을 살펴보면 대체적으로 관로 세척 후 탁도가 낮아지고, 잔류염소가 높아지는 개선효과를 확인할 수 있었다. 다만, J구 #6관로의 경우는 탁도, J' 구 #11관로는 잔류염소에 대한 개선효과가 나타나지 않았다. 플러싱 세척 전 먹는물수질기준 0.5NTU에 근접하는 0.3NTU 이상을 나타내는 고탁도 수요가가 7곳으로 24.1%이었는데, 플러싱 세척 후에는 모두 0.3NTU이하로 떨어졌다. 플러싱 전 초기 잔류염소 농도가 0.10~0.20mg/L로 소독능이 취약한 관로가 6곳이었지만 J' 구 #11관로를 제외하고 플러싱 후 모두 0.20mg/L 이상을 유지하였다.

Table 3 Effects of conventional flushing on water quality criteria in 2007

구별 (월)	세척 전				세척 후			
	적합	부적합			적합	부적합		
		계	탁도	잔류염소		계	탁도	잔류염소
계	70	12	0	12	82	0	0	0
3월	10	1	0	1	11	0	0	0
4월	19	0	0	0	19	0	0	0
5월	28	3	(2)	(2)1	31	0	0	0
6월	19	2	0	2	21	0	0	0
7월	17	3	0	3	20	0	0	0
8월	13	2	0	2	15	0	0	0
9월	8	2	0	2	10	0	0	0
10월	8	2	0	2	10	0	0	0
11월	5	1	0	1	6	0	0	0

※( )는 같은 관로에서 탁도(NTU), 잔류염소(mg/L) 중복 부적합

Table 4. Effects of flushing on turbidity and residual chlorine

관로	플러싱 전 수요가		플러싱 관 수질상태				플러싱 후 수요가		비고
	탁도 (NTU)	잔류염소 (mg/L)	초기 탁도 (NTU)	최종 탁도 (mg/L)	초기 잔류염소 (mg/L)	최종 잔류염소 (mg/L)	탁도 (NTU)	잔류염소 (mg/L)	
J구 #1	0.28	0.25	4.61	0.28	0.32	0.40	0.18	0.38	
J구 #2	0.25	0.28	3.42	0.29	0.35	0.43	0.18	0.36	
J구 #3	0.25	0.36	12.3	0.35	0.36	0.42	0.18	0.39	
J구 #4	0.24	0.40	15.8	0.35	0.38	0.49	0.15	0.45	
J구 #5	0.28	0.39	5.59	0.33	0.40	0.42	0.19	0.42	
J구 #6	0.23	0.21	3.24	0.38	0.27	0.36	<b>0.40</b>	0.28	
J구 #7	0.24	<b>0.19</b>	5.68	0.49	<b>0.05</b>	0.25	0.15	0.24	
J구 #8	<b>0.32</b>	<b>0.17</b>	12.3	0.47	0.15	0.31	0.18	0.27	
J구 #9	0.26	0.22	30.6	0.63	<b>0.09</b>	0.35	0.18	0.31	
J구 #10	0.28	0.22	5.37	0.09	0.58	0.38	0.18	0.32	
J구 #11	0.28	0.36	9.84	0.38	0.35	0.41	0.18	0.38	
J구 #12	0.25	0.26	34.7	0.39	0.14	0.32	0.15	0.31	
J구 #13	0.28	0.32	7.60	0.37	0.28	0.38	0.19	0.35	
J구 #14	<b>0.38</b>	<b>0.13</b>	13.6	0.81	<b>0.04</b>	0.34	0.22	0.25	관교체
J'구 #1	0.29	0.34	5.68	0.43	<b>0.07</b>	0.40	0.18	0.37	
J'구 #2	<b>0.42</b>	<b>0.11</b>	19.9	0.38	0.33	0.48	0.20	0.33	
J'구 #3	0.23	0.23	9.17	0.50	0.26	0.32	0.16	0.27	
J'구 #4	<b>0.39</b>	0.38	6.31	0.37	0.39	0.43	0.18	0.46	
J'구 #5	0.26	0.26	9.56	0.40	0.24	0.33	0.18	0.30	
J'구 #6	0.24	0.32	9.66	0.43	0.19	0.35	0.18	0.33	
J'구 #7	0.30	0.27	7.38	0.40	0.24	0.33	0.19	0.30	
J'구 #8	0.27	0.30	15.7	0.36	0.24	0.35	0.17	0.32	
J'구 #9	0.26	0.33	8.78	0.25	0.20	0.35	0.19	0.34	
J'구 #10	0.24	0.30	11.5	0.27	0.21	0.43	0.16	0.38	
J'구 #11	<b>0.31</b>	<b>0.13</b>	58.4	0.57	<b>0.02</b>	0.07	0.18	<b>0.13</b>	관교체
J'구 #12	<b>0.31</b>	0.23	7.69	0.44	0.22	0.37	0.18	0.34	
J'구 #13	<b>0.31</b>	<b>0.09</b>	18.3	0.47	0.10	0.30	0.21	0.21	
J'구 #14	0.27	0.28	5.28	0.40	0.44	0.51	0.18	0.41	
J'구 #15	0.23	0.37	16.3	0.38	0.22	0.37	0.17	0.31	
평균	0.28	0.27	12.91	0.40	0.25	0.37	0.19	0.33	

플러싱을 실시할 경우 관내 초기 탁도는 순간적으로 많이 높아져서 평균 12.9NTU로 나타났다. 이는 급작스런 소화전 밸브 조작으로 인한 유속의 변화로 관로 표면의 침전물 및 이물질이 떨어져 나오는 것으로 사료되었다. 플러싱 후 최종 탁도는 대체적으로 0.5NTU이하 이었다. 플러싱 실시 관로에서의 초기 잔류염소 농도가 0.10mg/L이하인 관로는 5지점으로 17.2%였는데 플러싱 후에는 4지점에서 잔류염소 0.10mg/L 이상으로 회복되었다. 잔류염소 회복이 어려운 J 구 #11관로의 경우는 플러싱만으로는 안전한 수돗물 공급이 어렵다고 판단되며 관교체 등의 방법을 추구해야 한다고 사료되었다.

### 3.1.2 플러싱 세척량 분석

현재 재래식 플러싱을 실시할 때에는 관로 특성에 알맞은 세척량이 정해져서 세척을 실시하는 프로토콜이 정해져 있지 않고, 현장에서 5분 간격으로 측정하는 수질 데이터를 이용하여 어느 정도 세척을 실시해야 하는지를 결정하고 있다. 따라서 현재는 플러싱에 대한 기초자료를 수집하는 단계라고 할 수 있다. 현장에서 수집해야 하는 자료 중에 가장 중요한 것이 유수율과 밀접한 관련이 있는 세척량이다. 세척량은 세척시간을 측정하고 다음 식 (1)과 같은 오리피스 식을 이용하여 계산하였다. 세척량 산정에 사용된 식(1)은 서울특별시 수도시설 등 원인자 및 손괴자 부담금 징수조례 시행규칙 제2조(부담금의 산정)의 조례②의 수압이 있는 시간당 손실수량 오리피스 공식이다. 상수도 원형관의 경우는 관구경에 따른 단면적, 수압, 세척시간, 밸브 개도율을 입력하여 세척량을 산출할 수 있다.

$$Q(m^3/hr) = 3.2 \times \frac{\pi \cdot (D/10)^2}{4} \times$$

$$\sqrt{P} \times T \left( \frac{\text{min}}{60hr} \right) \times \frac{\text{밸브개도율}(\%)}{100} \quad (1)$$

Q는 유량(m<sup>3</sup>/hr), D는 관구경(mm), T는 세척시간, P는 수압(kg/cm<sup>2</sup>) 이다.

여기서 수압의 경우 원칙적으로 소화전에서 측정이 어려워 인근 수요가 수도꼭지에서 측정하였다. 밸브 개도율 또한 정확하게 몇%를 열었는지 개인적인 판단에 근거하므로 정확도가 높은 세척량을 구하기는 어려웠다. 플러싱 세척에 대한 적용이 늘어날 경우, 소화전에서 측정할 수 있는 수압계와 유량계의 적용이 정확한 세척량 산출을 위해 필요하다고 사료된다. 이러한 자료들이 수집되고 정보화되면 현장 운영자의 개인적인 판단에 의해서가 아니라 예측된 결과에 맞추어 체계적으로 정기 플러싱이 가능할 것이라고 판단된다.

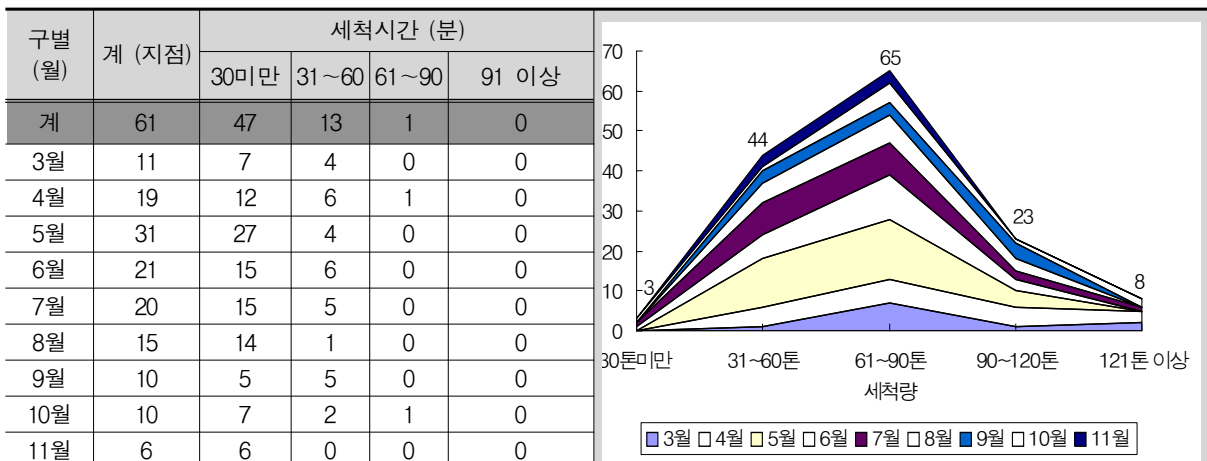
본 연구기간에 플러싱시 측정된 세척시간을 이용하여 구한 세척량을 다음 Table 5에 정리하였다. 월별 세척시간을 살펴보면 짧게는 10분 이내 길게는 60분 이상 플러싱 세척을 실시하여야 했다. 퇴수량의 경우는 61~90톤을 사용한 경우가 65회로 전체 143회 중 가장 많았다. 121톤 이상 필요한 때도 8회나 되었다.

### 3.2 수질취약지역에서의 플러싱 효과

3.2.1 잔류염소 부족 혹은 고탁도 관로에서의 플러싱 효과  
반복적으로 플러싱 세척 작업을 진행함에도 불구하고 탁질 및 침전물 출수가 잦고 잔류염소가 부족한 J구 #8관로와 탁수 민원다발 관로인 J구 #14관로를 선정하여 플러싱 효과를 정밀 진단하였다. 선정된 지점의 관로 구성도는 다음 Figure 2와 같다.

J구 #8번 관로는 Figure 2(a)에서 보는 바와 같이 관말

Table 5 Flushing time and amounts of washing water



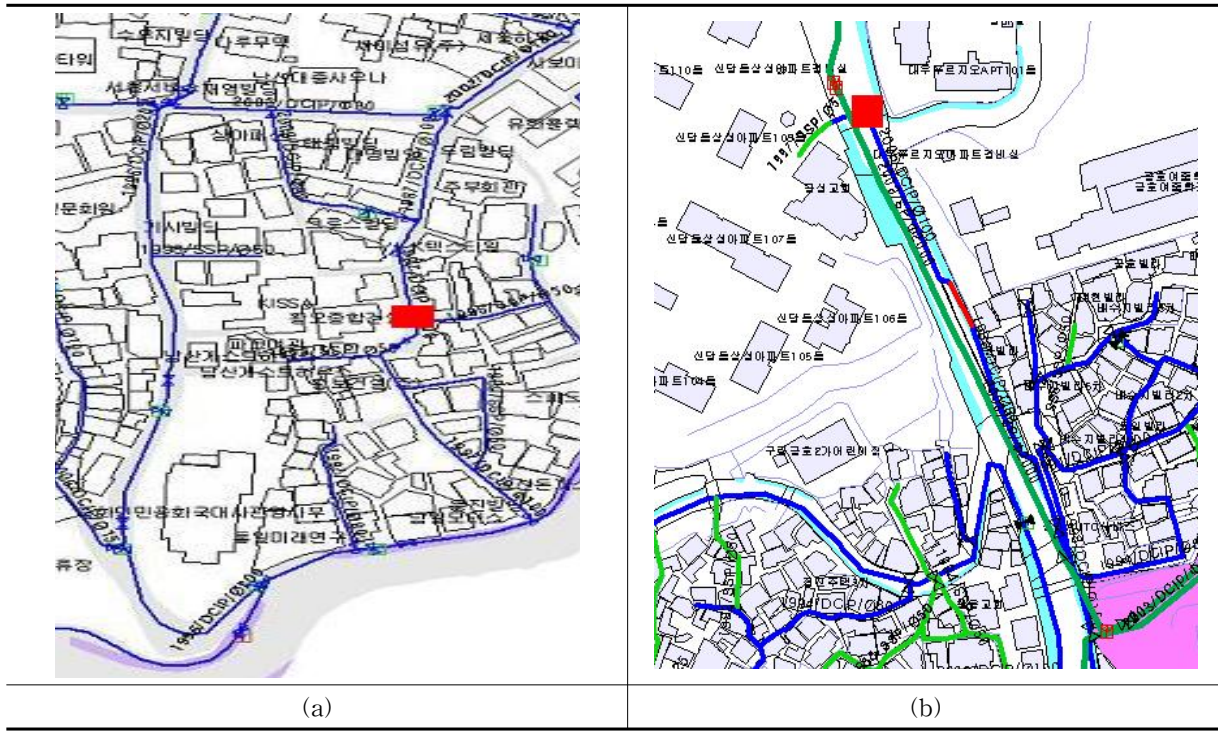


Figure 2. Map of distribution pipes and discharging point at the fire hydrant(●) (a) J #8 pipe, (b) J #14 pipe

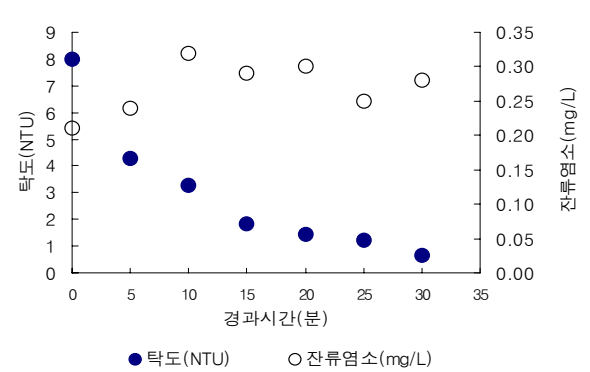


Figure 3. Turbidity and residual chlorine in the flushing water of J #8 pipe

관로가 아닌 배관연결 지역이다. 원래 #8관로의 세척 주기가 60일이지만 연구를 위해서 30일 후 실험을 하였다. 본 지역은 D정수장에서 N배수지를 거쳐서 수도물이 공급되고 있었으며 2007년 10월 D정수장 송수 시 평균 잔류염소는 0.64mg/L이었고 재래식 플러싱 세척 전의 수요가 잔류염소는 0.10mg/L 이었지만 재래식 플러싱 세척을 30분간 실시한 후 수요가의 잔류염소는 0.28mg/L까지 회복되었다 (Figure 3). 탁도의 경우는 세척 전 수요가의 탁도는 0.31NTU이었다가 세척 후 약 0.27NTU까지 개선되는 양

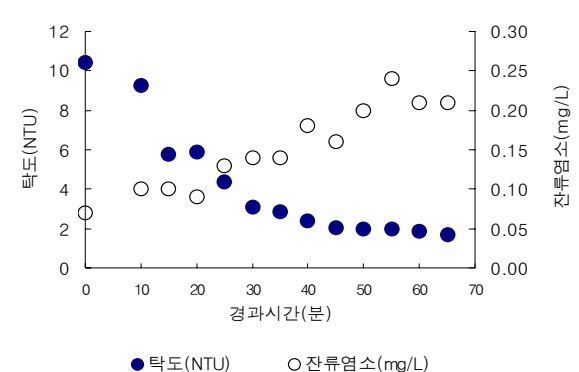


Figure 4. Turbidity and residual chlorine in the flushing water at J # 14 pipe

상을 보였다. 배관에서의 초기 탁도는 8NTU이었는데 플러싱을 실시하는 동안 약 0.67NTU까지 감소하였다. 통상 플러싱 세척 후 수요가 평균 탁도가 0.19NTU(Table 4)를 나타내는 경우에 비해서 플러싱에 의한 탁도 개선 효과는 상대적으로 미미하였다. 이는 초기 세척수의 높은 탁질과 침전물 농도에 의한 것으로 사료되었다. Figure 3에 나타내지 못한 pH, 철, 구리, 일반세균, 총대장균군, 대장균은 초기 수에서만 철이 먹는물 수질기준 0.3mg/L를 약간 초과하였을 뿐 다른 특별한 수질이상은 없었다.



Table 6. Effects of the flushing on water qualities of J #14 site

관로	세척시간 (분)	탁도 (NTU)	잔류염소 (mg/L)	pH (-)	온도 (°C)	철 (mg/L)	구리 (mg/L)	색도 (도)	
	세척 전 수요가	0.32	0.08						
2007년 10월8일 세척 실시									
J # 14	14:20	10.4	0.07	7.06	19.2	2.58	0	0	
	14:25	65.7	0.03	6.81	18.5	5.06	0.12	0	
	14:30	9.26	0.10	6.69	17.8	1.31	0	0	
	14:35	5.75	0.10	6.83	17.7	0.84	0	0	
	14:40	5.88	0.09	6.94	18.0	0.60	0	0	
	14:45	4.34	0.13	6.89	18.2	0.61	0	0	
	14:50	3.11	0.14	6.93	18.3	0.56	0	0	
	14:55	2.83	0.14	6.97	18.3	0.51	0	0	
	15:00	2.36	0.18	6.96	17.9	0.39	0		
	15:05	2.03	0.16	6.93	17.7	0.52	0	0	
	15:10	2.00	0.20	7.01	18.1	0.25	0	0	
	15:15	1.96	0.24	7.08	18.1	0.32	0		
	15:20	1.86	0.21	6.98	17.8	0.38	0	0	
	15:25	1.67	0.21	6.96	17.8	0.29	0		
	15:25분 세척 완료 후 수요가 수질 상태								
		15:55	2.14	0.17			0.24	0	
	16:05	1.01	0.16						
	16:10	1.17	0.13						
	16:20	1.07	0.14						
	16:30	0.95	0.16						
	17:50	0.38	0.15						

관말관로인 J구 #14는 D정수장에서 생산되어 D배수지를 거쳐 공급되는 관로인데 플러싱 세척을 실시하여도 고탁도 및 잔류염소 부족 현상이 발생하고 지속적인 탁질 민원이 접수된 관로이다. 따라서 추가실험을 실시하여 탁도와 잔류염소에 대한 자료를 Figure 4에, 여타 수질자료를 Table 6에 나타내었다. 플러싱 10분만에 잔류염소농도가 0.20mg/L까지 증가한 J#8과는 달리, 이 지점의 경우는 거의 한 시간에 가까운 플러싱을 수행하고서야 잔류염소 농도가 0.20mg/L를 유지하게 되었다. 탁도의 경우는 플러싱을 한 시간 이상 지속하였음에도 불구하고 1 NTU이하로 내려가지 않았다. 특히 수요가에서의 탁도 농도는 Table 6에 나타난 바와 같이 플러싱 후에도 상당히 높은 값을 나타낼 수 있다. 높은 철 성분 농도도 플러싱을 실시했음에도 지속적인 탁수민원이 접수되었던 사실을 반영한다고 사료된다. 플러싱 수질 분석 결과를 통해서 J #14관로처럼 특정 지역의 경우는 플러싱과 같은 세척으로 수돗물 수질관리가 어렵고 관교체 등과 같이 좀 더 항구적인 방법이 필요함을 도출해 낼 수 있었다. 현재는 실험지역인 J #14지점에 대한 관교체공사가 완료되어 먹는물 수질기준에 적합한 수

돗물이 급수되고 있다.

### 3.2.2 최종 관말에서의 플러싱 효과

J #13관로는 K정수장에서 B터널배수지를 거쳐 P1 배수지를 통해 공급되는 관로며 P1 배수지 관말정체관로로서 장기간의 플러싱 세척 시간이 필요하여 추가실험을 실시하였다(Figure 5). 플러싱에 의한 효과는 다음 Table 7에 정리하였다. 플러싱을 45분간 실시하고 안정화 후 인근 수요가에서의 탁도는 1NTU 이상이었던가 점차 낮아져서 0.44NTU를 나타내었다. 45분간의 플러싱에도 불구하고 수요가에서 높은 탁도를 나타낸 것은 배수지에서 가장 먼 관말관로이어서 관말정체현상이 심각하기 때문으로 사료되었다. 2007년 10월 시험 당시 K정수장 송수시 평균 잔류염소는 0.71mg/L 이었는데, 세척 전 인근 수요가 잔류염소는 0.24mg/L이었던가 플러싱 세척 후 0.38mg/L까지 높아졌다. 추가실험 항목인 철은 초기에만 먹는물수질기준을 초과하였지만 플러싱 세척을 하자마자 수질기준을 달성하였다. 10월 11일 이후 약 한달이 경과된 11월 8일 추가 수질 시험을 인근 수요가에서 실시한 결과 모든 항목이 적합하였



Table 7. Conventional flushing cleaning at J' #13 pipe

세척 시간 (분)	탁도 (NTU)	잔류 염소 (mg/L)	pH	철 (mg/L)	구리 (mg/L)	일반 세균 (CFU/mL)	총대장균군	대장균
세척 전 수요가	0.41	0.24	-	-	-	-	-	-
2007. 10. 11. 세척실시								
13:40 최초수	70.20	0.08	7.27	4.74	0	-	-	-
13:40 초기수	6.00	0.36	7.36	0.51	0.02	14	불검출	불검출
13:45	3.28	0.35	7.33	0.36	0.09	-	-	-
13:50	2.73	0.31	7.24	0.12	0	-	-	-
13:55	2.10	0.34	7.25	0.17	0	0	불검출	불검출
14:00	2.12	0.35	7.25	0.18	0	-	-	-
14:05	2.30	0.34	7.25	0.20	0	-	-	-
14:10	1.59	0.35	7.26	0.13	0	-	-	-
14:15	1.44	0.38	7.27	0.16	0.04	-	-	-
14:20	1.07	0.33	7.27	0.13	0	0	불검출	불검출
14:25	0.89	0.32	7.25	0.05	0.07	-	-	-
14:25분 세척 완료 후 인근 수요가 수질상태								
14:40	1.06	0.25	-	-	-	-	-	-
14:55	0.64	0.29	-	-	-	0	불검출	불검출
15:10	0.54	0.31	-	-	-	-	-	-
15:20	0.57	0.26	-	-	-	-	-	-
15:25	0.44	0.31	-	-	-	0	불검출	불검출

※최초수: 플러싱 실시 바로 채수, 초기수: 플러싱 실시 후 약 30초 후 탁질 제거 후 채수

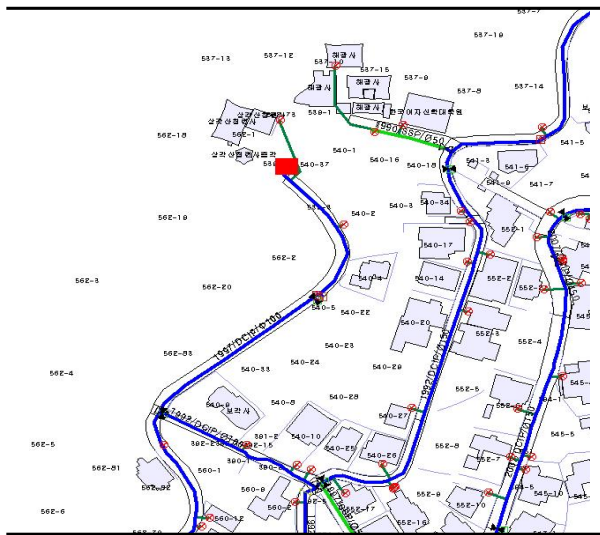


Figure 5. Map of J' # 13 pipe and the discharging point of the fire hydrant (●)

으며 pH, 구리도 뚜렷한 변화는 없었다.

### 3.3 GIS항목과 세척방법

관로와 관련하여 GIS에서 확인 할 수 있는 정보는 급수 세대 수, 관 길이, 관 구경, 관 중, 관 설치 연도 등이다. 이러한 GIS항목과 세척량, 세척시간 등 세척방법과 이에 따른

수질과의 상관관계를 도출해 보고자 하였다. GIS 항목은 플러싱에 독립적인 영향을 미치는 독립변수이므로 X축으로 하고, 플러싱에 종속적인 영향을 나타내는 인자인 세척량 및 수질 항목들을 Y축으로 하여 상관관계를 분석하였다. 각 GIS 항목을 최대한 나눌 수 있는 단위로 묶어 자료를 분석하여 추세선을 작성하였다.

각 항목 그래프 결과중 상관관계가 높게 나타난 것은 두 가지로 대상 세척 관을 사용하는 세대수와 플러싱관 초기 잔류염소농도, 그리고 관길이와 초기 잔류염소농도 이었다. 나머지 세척 관 설치 연도와 플러싱 관 종류는 세척량, 세척 시간, 수질 항목과의 관계를 찾아보기 어려웠다. 관길이에 따른 초기 잔류염소농도는 다음 Figure 6에 나타내었고 구한 관계식은 다음 식 (2)와 같다.

$$Y_{\text{초기잔류염소}} = -0.0005X_{\text{관길이}} + 0.2867, \quad R^2 = 0.85 \quad (2)$$

초기 잔류염소 농도에 직접적인 영향을 미치는 인자로는 물 사용량이나 체류시간 등 일 것이나 이와 같은 자료는 GIS항목으로 정리되어 있지 않아서 상관관계를 구할 수 없었다. 다만 관길이는 관내 체류시간과 밀접한 관계가 있으므로 간접적인 지표로 사용가능하다고 판단된다. 일반적으로 수계 내 화학물질농도 변화는 일차반응으로 해석되므로 잔류염소 역시 일차반응으로 해석되어야 하나 본 연구의 관

Table 7. Analysis as GIS items on water qualities and operational conditions of flushing waters

구분항목	측정항목	세척시간 (분)	세척관 초기탁도 (NTU)	세척관 최종탁도 (NTU)	세척관초기 잔류염소 (mg/L)	세척관최종 잔류염소 (mg/L)	세척량 (Ton)
세척관 이용 세대 (급수 세대 수)	2~5	32.98	18.41	0.54	0.15	0.36	70.36
	7~10	32.41	18.18	0.48	0.19	0.32	81.46
	11~14	29.01	14.63	0.39	0.17	0.33	84.46
	17~18	24.78	9.44	0.34	0.23	0.38	63.6
	21~25	26	8.28	0.41	0.22	0.36	62.14
	28	25	15.8	0.35	0.38	0.49	78.8
	32	22	3.42	0.29	0.35	0.43	43.2
	36	24	9.84	0.38	0.35	0.41	76.8
세척관 길이 (m)	45	25	6.31	0.37	0.39	0.44	49.5
	52~60	22.21	7.5	0.32	0.36	0.41	66.5
	5	27	19.9	0.38	0.33	0.48	64.6
	39~50	29.26	22.06	0.40	0.22	0.34	65.58
	63~100	25.80	12.23	0.41	0.27	0.38	68.5
	107~140	27.67	7.69	0.41	0.24	0.37	72.17
세척관 구경 (mm)	159~164	30.42	7.41	0.44	0.19	0.35	71.13
	230	28	34.7	0.39	0.14	0.32	59.8
	460~510	35	5.53	0.54	0.07	0.31	105.65
	40~50	33.5	30.91	0.43	0.185	0.25	67
세척관 설치 연도 (연도)	80	25.01	11.70	0.37	0.291	0.412	71.84
	100	30.56	15.77	0.47	0.17	0.34	64.01
	150~200	28.03	10.74	0.40	0.22	0.37	73.98
	250~300	28.75	5.15	0.46	0.2	0.36	80.7
세척관 설치 연도 (연도)	78~80	26.39	6.19	0.43	0.17	0.32	67.87
	87~88	24.19	8.53	0.39	0.30	0.38	63.75
	90~94	29.26	16.37	0.43	0.24	0.37	76.65
	97~98	31.06	15.82	0.39	0.16	0.36	70.9
(연도)	04~06	28.76	12.21	0.44	0.21	0.38	70.88

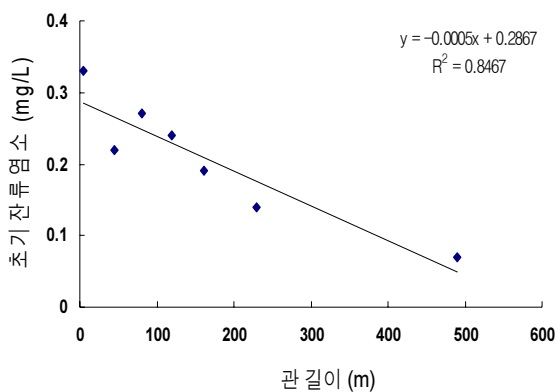


Figure 6. Flushing pipe length vs. initial chlorine residual concentration.

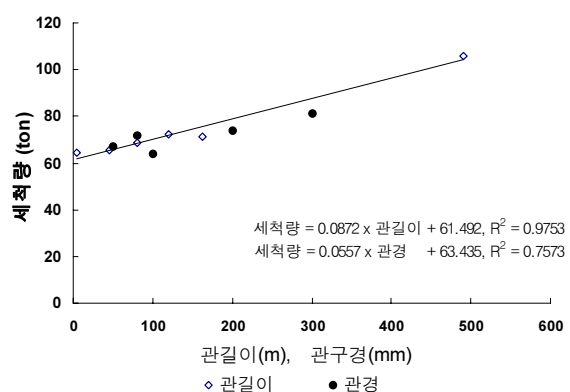


Figure 7. Flushing pipe length vs. initial chlorine residual concentration.

로 조건과 사용된 농도자료에 한해서 일차적인 상관관계가 나타난 것으로 판단된다.

플러싱을 하는 데 있어서 필요한 세척량을 GIS항목 자료를 통해 산출할 수 있는지 파악하기 위해 관길이 및 관 구경에 따른 상관관계를 구하였다(Figure 7). 세척량은 다음 식

(3)과 (4)에 나타난 바와 같이 관 구경보다는 관 길이와의 상관관계가 더 크게 나타났다. 세척 관 설치 연도와 플러싱 관 종류등과 같은 항목은 세척량, 세척시간, 수질항목의 상관관계를 찾아보기 어려웠다.

$$Y_{\text{세척량}} = 0.0872X_{\text{관길이}} + 61.492 \quad R^2 = 0.98 \quad (3)$$

$$Y_{\text{세척량}} = 0.0557X_{\text{관구경}} + 63.435 \quad R^2 = 0.76 \quad (4)$$

안 등(2008)은 관 길이와 지속시간이 비례하는 경향을 나타낸다고 보고한 바 있다. 본 실험에서는 관길이가 플러싱 지속시간( $R^2=0.83$ )보다 세척량( $R^2=0.98$ )에 더 밀접한 관계를 나타내었다. 위의 상관관계식을 이용하면 플러싱을 수행하여야 하는 관의 길이에 따라 플러싱에 필요한 수량을 사전에 대략 산출할 수 있을 것으로 사료된다. 세척량에 대한 산출을 좀 더 정확히 하기 위해서는 누수나 적수 관련 민원 발생 건수, 일정시간대의 잔류염소 농도나 탁도 변화 등에 대한 자료 등이 고려되어야 한다. 또한 이러한 세척량 산출은 관 상태에 따라 그리고 관 설치 연도에 따라 각각 달라질 수 있으므로 간접적인 판단 지표로 사용해야 할 것으로 사료 되었다.

#### 4. 결론

1) 플러싱 세척은 탁질 및 녹물 민원이 잦거나 잔류염소가 부족한 관말정체 관로에서 플러싱 세척은 탁도 저감 및 잔류염소 회복 등 수질 개선 효과가 있었다. 잔류 염소에 대한 수질기준을 짧은 시간에 맞출 수 있고 적은 인원(2~3명)으로 신속하게 대처할 수 있는 장점이 있었다. 따라서 플러싱 세척은 수요자에게 안전한 수돗물을 공급하기 위한 배급수 관리에 유효하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

2) 탁질 출수 지역 혹은 고탁도 및 잔류염소 부족지점에 대한 추가실험 결과, J지역 #8관말은 재래식 플러싱에 의한 탁도 저감과 잔류염소 회복이 30분이하의 짧은 시간에 현저하게 나타나나 J지역 #14관말에서는 한시간 이상의 장시간 플러싱이 필요했다. 여건에 적합한 주기적인 플러싱 방법과 그에 따른 연속적인 수질분석이 필요하다고 판단된다. 또한 이러한 플러싱과 수질분석 결과를 이용하여 관 교체, 순환 배관 설치, 혹은 관말 구경을 축소시키거나 구경이 축소되는 배관을 설치하는 방안 등과 같은 배급수관 유지관리 방안이 강구되어야 한다.

3) 플러싱 세척 추가 실험 항목인 pH, 철, 구리, 일반세균, 총대장균군, 대장균등을 실험한 결과 세척관 플러싱 세척 도중 또는 완료 후 모두 먹는물 수질기준에 적합하였다. 최적의 수질을 유지하기 위해서는 정기적으로 수질취약지점 관말정체관로를 플러싱 및 단방향 플러싱을 실시하고, 플러싱 작업 시작 및 종료 기준을 세척 수량만으로 판단하기보다는 탁도와 잔류염소, 철 등을 현장 적용한 시험을 바탕으로 결정할 필요가 있다.

4) 상수도 배관망 GIS항목(급수 세대수, 관 길이, 관 구경, 관 중, 관 설치 연도)과 수질과의 관계 분석을 통해 플러싱 작업 변수를 찾아보려고 시도하였다. 세척관 길이가 늘어날수록 세척관 초기 잔류염소는 낮아졌고, 세척관 구경이 클수록 세척량이 늘어났다는 것을 파악하였다. 관길이에 따른 초기잔류염소 농도는 85%의 상관관계를 나타내어 플러싱과 수질간의 관련 요소로 도출되었다. 세척량이나 관내 수질에 직접적인 영향을 미치는 인자는 물 사용량과 체류시간, 민원 발생건수, 탁도 변화 등이므로 이에 대한 자료가 체계적으로 구축되어야 사용가능한 플러싱 작업변수를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

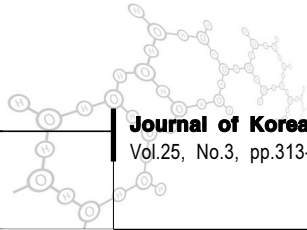
5) 국내 플러싱 연구는 상당히 미약한 상황으로 연구에 많은 어려움이 있었다. 본 연구결과가 주 배급수관 플러싱 작업이나 수질취약 및 관말관로에서 플러싱 작업을 진행할 때 참고할 자료로 활용되고, 향후 플러싱 프로그램이 활성화되어 연구 논문이 계속 발표되기를 기대한다.

#### 감사의 글

권지향 교수님 및 환경공학과 교수님들, 중부수도사업소 수질팀 직원분들, 플러싱에 대한 알게 해주신 임우혁 팀장님 그리고 건국대 환경공학과 정수처리공학 연구실 학생들에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김성진, 홍성호, 고민석, 송기산 (2005) 상수도관내의 부식생물에 의한 잔류염소 감소 특성, *대한상하수도학회-한국물환경학회 2005공동 추계학술발표회 논문집*, P-630 -P-633  
서울특별시 인터넷 여론조사, [http://research.seoul.go.kr/project\\_board/attach/20080212094025\\_815.pdf](http://research.seoul.go.kr/project_board/attach/20080212094025_815.pdf)
- 안재찬, 백광인, 박채운, 정의선, 최재호, 김효일, 장재국, 최영준, 구자용 (2005) 상수도 송배수시스템에서 수질개선을 위한 플러싱 도입방안, *대한상하수도학회 2005 공동 추계학술발표회 논문집*, E-10
- 안재찬, 이수원, 노방식, 최영준, 최재호, 김효일, 박태준, 박창민, 박 현, 구자용 (2007) 배급수계통에서 잔류염소 및 THMs 분포 예측에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 29(6), pp706~714
- 안재찬, 이수원, 백광인, 최영준, 최재호, 정의선, 박현, 구자용 (2008) 배수관 플러싱의 수리적 현상과 배출수의 수질 특성, *대한상하수도학회*, 22(1), pp93-103
- 유명진, 김용환, 박현진, 심유섭, 오덕수, 이용운, 장인성, 한인섭



- (2003), *수질관리*, pp 175, 동화기술, 서울
- 이광호 (1997) 급배수관망에서 부식 및 녹물발생의 영향인자에 관한 연구(1), *대한환경공학회지*, 19(7), pp949-958
- 한선희, 이수원, 함영국 (2008) *2008 수도물 품질보고서*, pp 3-29, 서울특별시 상수도연구원, 서울
- 환경부 (2002a) 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 별표1, 환경부령 제276호
- 환경부 (2002b) 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙, 환경부령 제289호
- Anne Pynenburg(2006), *City of Port Coquitlam water quality monitoring report*, City of Port Coquitlam, Canada, pp. 6-8
- Dan Ellison, Steven J. Duranceau, Susan Ancel, Gabrielle Deagle, Rod McCoy, (2003) Investigation of Pipe Cleaning Methods. Chapter 3-7, American Water Works Association Research Foundation, Denver, pp 35-93 CO.,
- M. W. LeChevallier, C. D. Lowry, and R. G. Lee(1990), *Disinfecting biofilm in a model distribution system*, J. AWWA, 82 (7), pp. 87-99
- Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten(2004) *Principles of Environmental Engineering and Science(International Edition)*, pp 354, McGRAW-HILL, New York
- Michael R. Bloomberg, *New York city 2007 Drinking water supply and quality report*. City of New York, pp 11
- USEPA (2008) National Primary Drinking Water Regulations: <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>