상수관망 소블럭 내 소화전 설치 밀도와 개방 순서에 따른 관세척 효과 모의 분석

Flushing Effect Depending on the Installation Density and Opening Order of Fire Hydrants in Water Supply Networks

홍성진* · 주진걸** · 이수호*** · 유도근****

Hong, Sungjin*, Joo, Jin Gul**, Lee, Sooho***, and Yoo, Do Guen****

Abstract

In this study, using the WaterGEMS model, the hydrant installation density in small blocks and the flushing effect according to the opening order were analyzed for various scenarios and the results were compared. The analysis results revealed that even in the case of conventional flushing, the same flushing could be achieved by reducing the number of openings by up to 20% (30 → 24) when the optimal opening order was determined through preliminary simulation, rather than simply opening all hydrants at random. I knew it could work. In addition, it was confirmed that as the density of hydrants increased, the effect satisfaction extension through conventional flushing increased. In particular, when the number of hydrants installed in the target area was approximately 30, the flushing effect was confirmed to be achieved in most pipe extensions. The proposed methodology can be used to establish a detailed implementation plan for flushing in the detailed standards for the maintenance of waterworks pipe network facilities that mandate flushing for the water supply network.

Key words : Water Distribution Network Analysis, WaterGEMS, Flushing, Fire Hydrant

요 지

본 연구에서는 WaterGEMS 모형을 활용하여, 소블럭 내 소화전 설치 밀도와 개방 순서에 따른 관세척 효과를 다양한 시나리오에 대해 분석하고 그 결과를 비교하였다. 분석결과 재래식 관세척의 경우에도 모든 소화전을 단순히 무작위로 개방하는 것보다, 사전 모의를 통해 최적의 개방순서를 결정하는 경우 최대 20% (30개 → 24개) 정도의 개방횟수의 저감을 통해서도 동일한 플러싱 효과를 거둘 수 있음을 알수 있었다. 또한, 소화전의 밀도가 커질수록 재래식 플러싱을 통한 효과만족 연장이 커짐을 확인할 수 있었으며, 특히 소화전의 개수가 대상지역에 30개 정도 설치되는 경우 대부분의 관로 연장에서 플러싱효과를 거둘수 있음을 확인하였다. 제안된 방법론은 상수관망에 대한 관세척을 의무화한 상수도관망시설 유지관리업무 세부기준의 관세척 세부시행계획 수립을 위한 활용방법론으로 적용 가능하다.

핵심용어 : 관망해석, WaterGEMS, 플러싱, 소화전

*정회원, 수원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: yd1163124@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

**정회원, 동신대학교 토목환경공학과 부교수(Tel: +82-61-330-3137, Fax: +82-61-330-3138, E-mail: jgjoo@dsu.ac.kr)

Member, Associate Professor, Department of Civil Environmental Engineering, Dongshin University

***수원대학교 토목공학과 학부연구생(E-mail: tngh1995@gmail.com)

Undergraduate Student, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

****교신저자, 정회원, 수원대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-31-229-8676, Fax: +82-31-220-8676, E-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

1. 서 론

관세척은 배수(Drain)프로그램에 의한 세척 및 방류를 통해 관로 내 오염 발생 시 관로오염을 제거하고 세척하는 방법을 총칭하는 것으로, 상수도관망시설 유지관리업무 세부기준에서는 상수관로 내부에 기존 도장재의 손상없이 침전물, 녹, 슬라임 또는 부식 생성물 등을 제거하여 수질을 개선하는 것으로 정의하고 있다(MOE, 2021). 세척공법은 플러싱(Flushing), 피그(Pig), 맥동류 세척(Air Scouring), 아이스 피그(Ice Pigging) 등의 있으며, 이중 플러싱은 관내의 비교적 가벼운 침전물, 작은 벌레, 단단하게 부착되지 않은 물 때 등을 제거하는 공법으로 가장 간편한 세척공법이라는 점에서 국내외에서 많이 활용되고 있다. 플러싱 공법은 관 외부에 밸브, 서화전, 수도전, 이토밸브 등을 조작하여 관 내부의 흐르는 물이 외부로 배출될 때 발생하는 유속을 이용하여 관 내부를 세척하는 기술이다. 플러싱공법은 운영 방식에 따라 재래식 플러싱, 단방향 플러싱, 연속 퇴수 등으로 구분 가능하다. 재래식 플러싱(Conventional Flushing)은 배 급수 계통의 측정지역에서 설정된 수질기준이 만족될때까지 소화전을 개방하는 방법이다. 단방향 플러싱(Unidirectional Flushing)은 주위 밸브를 적절히 조정하고 특정 관로 구간을 분리하여 한방향으로 물을 보내어 높은 유속을 발생시키는 방법으로 재래식 방법에 비하여 소요되는 수량이 적은 것으로 알려져 있다. 연속퇴수는 관말지역이나 수리적으로 제약이 있는 지역에서 물을 낮은 유속(예, 0.3 m/s 이하)으로 연속적으로 퇴수하는 방법을 의미한다.

관세척에 대한 대부분의 선행연구는 플러싱, 피그 등의 관세척 공법에 대한 세척효과를 평가하거나 배출수의 수질 특성을 분석하는 것에 집중되어 있다(Bae et al., 2015; Ahn et al., 2008; Kim et al., 2015). Bae et al. (2015)은 공기주입과 스와빙 피그를 이용한 상수관로 세척 효과를 입자성분분석과 육안조사분석 등을 통해 평가한 바 있다. Kim et al. (2015)은 단방향 플러싱에 의한 입자성 물질의 제거에 관한 연구를 통해 상수관에 연결된 소화전에서 제수밸브까지의 거리가 플러싱을 통한 입자의 제거율에 영향을 미칠 수 있음을 밝힌바 있다.

관세척 중 플러싱에 대한 기존 연구에서는 적정 유속을 다양한 범위로 제안하고 있으며, 이러한 유속은 관로 내 입자의 크기, 관경 등에 따라 달라진다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 관세척에 대한 효과를 나타내는 최소유속기준에 대한 연구가 국내외에서는 중점적으로 진행된바 있다(Friedman et al., 2002; Bae et al., 2015; AWWA, 1986). 이와 관련한 대표연구로 AWWA (1986)은 플러싱을 이용하여 침전물을 제거하거나 잔류염소를 감소시키기 위해서는 0.9 m/s의 최소유속이 필요함을 제시하였고, 생물막의 제거를 위해서는 1.5 m/s 이상의 유속이 확보되어야함을 제시한 바 있다.

위와 같이 현재까지 관세척 및 플러싱과 관련된 대부분의 연구는 관세척 공법의 효과와 플러싱 효과를 달성할 수 있는 기준에 대한 연구가 단일 관로 및 구간에 실험적으로 집중 진행된 반면, 관세척이 수행되어야 하는 전체 소블럭 등 대상지역의 여건(소화전 위치, 밀도, 수리학적 특성 등)에 따른 효율적 플러싱 절차 및 순서 등에 대한 공학적 접근을 수행한 사례는 매우 드물다 할 수 있다. Hong et al. (2021)은 최근 WaterGEMS 관망해석 모형을 활용하여 소블럭 내의 일부 영역에 대한 재래식 관세척과 단방향 관세척을 모의하고 소화전 개방 순서의 변경에 따른 효과정량화 가능성을 단일시나리오분석을 통해 제시한 바 있다. 본 연구에서는 Hong et al. (2021)이 활용한 WaterGEMS 모형을 활용하여, 소블럭 내 소화전 설치 밀도와 개방 순서에 따른 관세척 효과를 다양한 시나리오에 대해 분석하고 그 결과를 비교하였다.

2. 연구방법론

WaterGEMS는 Bentley (2021)에 의해 개발 공급되고 있는 상수관망 수리, 수질해석 상용 소프트웨어로 상수관망해석의 공용프로그램인 EPANET2의 해석 엔진을 기반으로 개발되었다. WaterGEMS 모형에서는 재래식 및 단방향 세척 과정을 포함한 관세척 모의가 가능하도록 지원하고 있으며, 특히 연속적 플러싱 모의를 통해 대상 블록의 관세척에 따른 정량적 효과를 최소유속 이상을 만족시키는 관로정보와 순차적 모의에 의한 관세척효과가 발휘될 수 있는 관로 누적연장의 값으로 제시하여 관세척 순서를 의사 결정할 수 있도록 구현되어 있다(Fig. 1).

본 연구에서는 관세척이 필요한 소블럭 내의 대상구역을 설정하고, 대상구역 내의 소화전 설치 밀도를 다양하게 변화

Fig. 1. Example of Simulating Flushing in WaterGEMS Model

시킨다. 결정된 소화전 위치정보를 활용하여 Fig. 2의 단계와 같이 재래식 관세척을 통해 세척효과가 발휘될 수 있는 관로를 순차적으로 결정한다. 이후, 재래식 관세척 모의 결과 관세척 효과를 달성하지 못한 관로를 대상으로 제수밸

브의 조작을 통한 단방향 관세척을 Fig. 3의 단계를 통해 모의하고 관세척 전후의 유속을 비교평가하였다. 본 연구에서는 모든 관로의 양단의 끝에 제수밸브가 설치되어 있다고 가정하였다.

(a) Step 1 Flushing simulation function selection and representative scenario selection

(b) Step 2 Set up a pipe set to review flushing properties

(c) Step 3 Set flushing minimum velocity and hydrant outflow emitter coefficient, etc.

Rating fish base									
Fish Cat	Rating	Base Weight (kg)	Conversion Factor (kg)	Conversion Factor (kg)	Base Weight (kg)	The Weight (kg)	The Potential (kg)	Base Potential (kg)	Value (kg)
Sea-10	Controlled	150	1.75	1.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	180	1.80	1.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	210	1.85	1.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	240	1.90	1.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	270	1.95	1.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	300	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	330	2.05	2.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	360	2.10	2.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	390	2.15	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	420	2.20	2.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	450	2.25	2.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	480	2.30	2.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	510	2.35	2.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	540	2.40	2.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	570	2.45	2.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	600	2.50	2.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	630	2.55	2.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	660	2.60	2.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	690	2.65	2.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	720	2.70	2.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	750	2.75	2.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	780	2.80	2.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	810	2.85	2.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	840	2.90	2.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	870	2.95	2.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	900	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	930	3.05	3.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	960	3.10	3.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	990	3.15	3.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1020	3.20	3.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1050	3.25	3.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1080	3.30	3.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1110	3.35	3.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1140	3.40	3.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1170	3.45	3.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1200	3.50	3.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1230	3.55	3.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sea-10	Controlled	1260	3.60	3.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(d) Step 4 Operation and result analysis (check whether flow conditions are satisfied, etc.)

Fig. 2. Simulated Procedure of Traditional Flushing

(a) Step 1 Set Uni-directional flushing function among flushing simulation functions

(b) Step 2 Setting the location of the hydrant and setting the minimum flushing velocity and the hydrant outflow emitter coefficient

(c) Step 3 Set up the control of the isolation valve around the flushing target pipe

(c) Step 4 Operation and result analysis (check whether flow conditions are satisfied, etc.)

Fig. 3. Simulated Procedure of Uni-directional Flushing

재래식 및 단방향 플러싱 기법의 관망해석을 통한 모의효과 분석을 위해, 세척 효과 달성이 가능한 최소유속의 값과 소화전의 개방에 따른 유출을 결정하기 위한 에미터계수의

Table 1. Emitter Coefficient depending on the Outlet Size (Bentley, 2021)

Outlet size inch (mm)	Emitter Coefficient (gpm/psi ^{0.5})	Emitter Coefficient (L/s/m ^{0.5})
2.5 (63.5 mm)	150-180	11-14
Two 2.5 outlets	167-185	13-15
4.5 (114.3 mm)	380-510	30-40

입력이 필요하다. 본 연구에서는 세척효과와 보수적 접근을 위해 기존 문헌의 일반적인 최소유속 범위인 0.9~1.5 m/s에서 가장 큰 값인 1.5 m/s를 최소유속 만족값으로 설정하였으며, 에미터 계수의 경우 Table 1과 같이 Bentley (2021)의 매뉴얼에서 제시하고 있는 북아메리카에서 플러싱 모의를 위한 소화전 환경 및 소화전 유출구 개수에 따른 실무적 설정값을 참고하여 설정하였다. 즉 유출량의 경우에도 보수적 접근을 위해 일반적 소화전 구경(50-100 mm)에 해당하는 11-14 L/s/m^{0.5}의 범위구간을 설정하고, 해당 구간 중 최소의 값인 11 L/s/m^{0.5}를 에미터 계수로 결정하여 모의하였다.

3. 적용 및 결과

3.1 적용지역 및 분석사례

본 연구에서 제안된 플러싱 순서와 소화전 밀도에 따른 분석결과의 차이점을 확인하기 위하여 적용된 지역은 국내 J시의 CM 소블럭이다. 대상지역의 전체 상수관망도는 Fig. 4와 같으며, 직경 80 mm 이상의 관거는 142개(총 연장 12.15 km)이다. 재래식 및 단방향 플러싱을 직접적으로 수행해야 하는 구역은 파란색으로 표시된 CM 소블럭 내의 일부구역(A소구역)이다.

관세척 대상지역으로 설정된 A소구역 내 수요절점은 총 29개로 구성되어 있다. 대상구역의 총 연장은 3.558 km이며 총 75개의 관로로 구성되어 있다. 본 연구에서 설정한 소화전 설치 시나리오는 Fig. 5와 같이 총 3가지로, 3.558 km의 길이를 갖는 관로 구간에 10, 17, 그리고 30개의 소화전이 설치되어 있음을 가정하였다.

소화전의 위치 및 전체 개수가 결정된 각 경우(Case)별로 대상 구역의 소화전 개방순서를 상이하게 구성하고, 개방순

Fig. 4. A Small Block Water Supply Network Diagram

Fig. 5. Simulation Scenarios depending on the Density of Hydrants

서 시나리오(Scenario 1, 2)에 따른 관세척 모의를 순차적으로 실시하고 그 결과를 도출하였다. 관세척 모형 구동을 통해 각 시나리오 별로의 연속적인 소화전 개방에 따른 최소유속(1.5 m/s) 이상의 관세척이 가능한 관경의 길이와 누적연장을 도출하고 그 결과를 표출하는 형태로 분석을 실시하였다.

3.2 Case 별 적용결과

3.2.1 Case 1 (소화전 10개)

Fig. 6은 소화전 10개가 설치된 Case 1의 사례에서 소화전 개방순서를 Scenario 1-1 및 Scenario 1-2의 2가지로 구분한

Fig. 6. A Small Block Flushing Application Sequence (Case 1)

Table 2. Results of Scenario 1-1

Scenario 1-1			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-17	890	890	890
H-18	1,207	1,268	378
H-16	1,255	1,268	0
H-20	1,347	1,509	241
H-19	1,301	1,581	72
H-24	1,499	1,661	80
H-21	974	1,661	0
H-6	1,510	1,752	91
H-3	1,640	2,097	345
H-2	1,489	2,196	99
Total	13,112	-	2,196

사항을 보여주고 있다. Scenario 1-1은 대상구역의 상단부터 하단의 순서로 소화전을 개방하는 것을 고려하였으며, Scenario 1-2는 다수의 시나리오를 시행착오적으로 진행한 결과 가장 적은 소화전 개방이 가능한 경우로 설정하였다. 각 시나리오 별 구동 결과는 Tables 2 및 3과 같다. Scenario 1-1은 10개의 소화전을 모두 개방하여야 2,196 m에 해당하는 관로연장이 관세척의 효과를 거둘 수 있는 최소유속조건을 만족하게 된다. 반면, Scenario 1-2는 8개 소화전의 개방으로 동일한 관세척의 효과를 거둘 수 있는 것으로 평가되었다. Scenario 1-1과 1-2의 모의 결과는 동일한 구역을 대상으로 관세척을 수행할 경우 소화전 개방의 순서 조정에 따라 최소한의 소화전 개방개수를 통해 최대의 재래식 관세척 효과를 거둘 수 있는 방법이 제안될 수 있음을 의미한다.

Table 4에 제시된 바와 같이 Scenario 1-1과 1-2에 의한 재래식 관세척을 수행하더라도, 18개 정도의 관로는 관세척 효과기준인 1.5 m/s의 유속이 만족되지 않는 것으로 평가되었고, 최소유속이 만족되지 않은 관로의 총 연장은 1.362 km이다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 유속이 만족되지 않는 관로를 대상으로, 단방향 관세척 공법을 이용하여 관로를 고립시킨 후 유속을 증가시켜 세척효과를 만족할 수 있도록 모의를 수행하였다.

Fig. 7은 단방향 관세척을 위한 대상 관로와 차단 밸브를 표현하고 있으며, 밸브차단에 따른 관세척을 수행한 전후의 관로의 유속변화를 나타낸다. 제시된 단방향 관세척 결과는 재래식 관세척을 통해 관세척 효과를 만족시키지 못하는 관로는 단방향 관세척을 통해 유속을 증가시킬 수 있음을 나타낸다. 즉, 단방향 플러싱을 통해 901 및 905 관로의 경우 플러싱 실시 전후 유속이 각각 1.23 m/s에서 1.86 m/s, 0.97 m/s에서 1.68 m/s로 증가될 수 있음이 확인되었다. 궁극적으로 소화전이 10개 설치된 경우, Table 5와 같이 재래식 플러싱 및 단방향 플러싱을 통해 2,383 m의 구간에

Table 3. Results of Scenario 1-2

Scenario 1-2			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-17	890	890	890
H-18	1,207	1,268	378
H-20	1,347	1,509	241
H-19	1,301	1,581	72
H-24	1,499	1,661	80
H-6	1,510	1,752	91
H-3	1,640	2,097	345
H-2	1,489	2,196	99
Total	13,112	-	2,196

Table 4. Pipes That Do Not Satisfy the Flow Rate by Scenario 1-1, 1-2

Pipe (ID)	Velocity (m/s)	Length (m)
391 (805(2))	1.31	18
596 (P-3)	1.24	39
178 (901)	1.23	101
379 (886(2))	1.11	36
174 (905)	0.97	86
205 (873)	0.84	49
595 (P-2)	0.83	131
206 (872)	0.82	14
204 (874)	0.76	187
280 (798)	0.75	97
278 (800)	0.37	59
311 (919)	0.36	40
181 (898)	0.36	50
598 (P-4)	0.36	88
167 (912)	0.29	77
279 (799)	0.23	129
166 (913)	0.11	90
186 (893)	0.09	71
Total		1,362

Fig. 7. Scenario Application Result and One-way Flushing Application (Case 1)

Table 5. Pipe Length Ratio Satisfying the Minimum Velocity according to Flushing (Case 1)

Total Target Length (m)	Pipe Length Met (m)	Pipe Length Not Met Target (m)	Met Ratio (%)
(1)	(2)	(3)	(2)/(3)
3,558	2,383	1,175	67.0

플러싱 효과가 나타나며(전체 대상 연장의 67.0%), 나머지 1,175 m의 경우 플러싱 효과가 달성될 수 있는 최소유속을 만족하지 못함을 알 수 있다.

3.2.2 Case 2 (소화전 17개)

Fig. 8은 소화전 17개가 설치된 Case 2의 사례에서 소화전 개방순서를 Scenario 2-1 및 Scenario 2-2의 2가지로 구분한 사항을 보여주고 있다. 각 시나리오별 구동 결과는 Tables 6 및 7과 같다. Scenario 2-1과 2-2의 결과를 비교하면,

Fig. 8. A Small Block Flushing Application Sequence (Case 2)

Table 6. Results of Scenario 2-1

Scenario 2-1			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-17	804	804	804
H-18	1,003	1,052	248
H-15	804	1,052	0
H-16	1,315	1,362	310
H-8	994	1,552	190
H-19	1,332	1,552	0
H-20	1,377	1,552	0
H-21	975	1,552	0
H-22	1,488	1,591	39
H-24	1,499	1,671	80
H-4	1,104	1,718	46
H-5	1,556	1,808	90
H-6	1,510	1,852	44
H-7	1,554	1,984	132
H-1	1,479	2,157	172
H-2	1,598	2,220	63
H-3	1,687	2,388	168
Total	22,079	-	2,386

Table 7. Results of Scenario 2-2

Scenario 2-2			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-17	804	804	804
H-18	1,003	1,052	248
H-16	1,315	1,362	310
H-8	994	1,552	190
H-22	1,488	1,591	39
H-24	1,499	1,671	80
H-4	1,104	1,718	47
H-5	1,556	1,808	90
H-6	1,510	1,852	44
H-7	1,554	1,984	132
H-1	1,479	2,157	173
H-2	1,598	2,220	63
H-3	1,687	2,388	168
Total	17,591	-	2,388

Table 8. Pipes That Do Not Satisfy the Flow Rate by Scenario
2-1, 2-2

Pipe (ID)	Velocity (m/s)	Length (m)
174 (905)	1.50	86
312 (918)	1.49	51
277 (801)	1.49	107
178 (901)	1.40	101
475 (929(2))	1.39	29
280 (798)	0.83	97
204 (874)	0.68	186
278 (800)	0.41	59
311 (919)	0.35	40
181 (898)	0.31	50
168 (912)	0.26	77
279 (799)	0.26	129
166 (911)	0.26	90
186 (893)	0.11	70
Total		1,172

Scenario 2-1은 17개의 소화전을 모두 개방하여야 2,388 m에 해당하는 관로연장이 관세척의 효과를 거둘 수 있는 최소유속조건을 만족하게 된다. 반면, Scenario 2-2는 13개의 소화전의 개방으로 동일한 관세척의 효과를 거둘 수 있는 것으로 평가되었다.

Fig. 9. Scenario Application Result and One-way Flushing Application (Case 2)

Table 9. Pipe Length Ratio Satisfying the Minimum Velocity according to Flushing (Case 2)

Total Target Length (m) (1)	Pipe Length Met (m) (2)	Pipe Length Not Met Target (m) (3)	Met Ratio (%) (2)/(3)
3,558	2,505	1,053	70.4

Table 8에 제시된 비와 같이 시나리오 1과 2에 의한 재래식 관세척을 수행하더라도 14개 정도의 관로는 관세척 효과기준인 1.5 m/s의 유속이 만족되지 않는 것으로 평가되었고 총 연장은 1.174 km이다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 유속이 만족되지 않는 관로를 대상으로, 단방향 관세척 공법을 이용하여 관로를 고립시킨 후 유속을 증가시켜 세척효과를 만족할 수 있도록 모의를 수행하였다.

Fig. 9는 단방향 관세척을 위한 대상 관로와 차단 밸브를 표현하고 있으며, 밸브차단에 따른 관세척을 수행한 전후의 관로의 유속변화를 나타낸다. 단방향 플러싱을 통해 929(2) 및 911 관로의 경우 플러싱 실시 전후 유속이 각각 1.39 m/s에서 1.83 m/s, 0.26 m/s에서 2.76 m/s로 증가될 수 있음이 확인되었다. 궁극적으로 소화전이 17개 설치된 경우, Table 9와 같이 제래식 플러싱 및 단방향 플러싱을 통해 2,505 m의 구간에

플러싱 효과가 나타나며(전체 대상 연장의 70.4%), 나머지 1,053 m의 경우 플러싱 효과가 달성될 수 있는 최소유속을 만족하지 못함을 알 수 있다.

3.2.3 Case 3 (소화전 30개)

Fig. 10은 소화전 30개가 설치된 Case 3의 사례에서 소화전 개방순서를 Scenario 3-1 및 Scenario 3-2의 2가지로 구분한 사항을 보여주고 있다. 각 시나리오별 구동 결과는 Tables 10 및 11과 같다. Scenario 3-1과 3-2의 결과를 비교하면, Scenario

Table 10. Results of Scenario 3-1

Scenario 3-1			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-30	949	949	949
H-29	1,081	1,143	194
H-28	876	1,215	72
H-27	1,377	1,552	337
H-26	1,157	1,552	0
H-25	980	1,552	0
H-24	1,506	1,609	57
H-23	1,499	1,689	80
H-22	1,390	1,689	0
H-21	1,486	1,689	0
H-20	1,102	1,736	47
H-19	1,556	1,826	90
H-18	1,484	1,843	18
H-17	1,632	1,976	132
H-16	1,290	2,025	49
H-15	1,567	2,126	101
H-14	1,541	2,182	57
H-13	1,760	2,311	128
H-12	1,659	2,422	111
H-10	1,647	2,460	38
H-11	1,759	2,571	111
H-7	1,787	2,817	245
H-8	1,744	2,828	11
H-6	1,873	2,933	105
H-3	1,796	2,933	0
H-9	1,835	3,120	187
H-5	2,033	3,170	50
H-4	1,794	3,170	0
H-2	1,824	3,300	129
H-1	1,814	3,318	18
Total	45,798	-	3,316

(a) Scenario 3-1 (b) Scenario 3-2

Fig. 10. A Small Block Flushing Application Sequence (Case 3)

Table 11. Results of Scenario 3-2

Scenario 3-2			
Hydrant	Pipe Length Met Target (m)	Cumulative Pipe Length Met Target (m)	Incremental Pipe Length Met Target (m)
H-30	949	949	949
H-29	1,081	1,143	194
H-28	876	1,215	72
H-27	1,377	1,552	337
H-24	1,506	1,609	57
H-23	1,499	1,689	80
H-20	1,102	1,736	47
H-19	1,556	1,826	90
H-18	1,484	1,843	18
H-17	1,632	1,976	132
H-16	1,290	2,025	49
H-15	1,567	2,126	101
H-14	1,541	2,182	57
H-13	1,760	2,311	128
H-12	1,659	2,422	111
H-10	1,647	2,460	38
H-11	1,759	2,571	111
H-7	1,787	2,817	245
H-8	1,744	2,828	11
H-6	1,873	2,933	105
H-9	1,835	3,120	187
H-5	2,033	3,170	50
H-2	1,824	3,300	129
H-1	1,814	3,318	18
Total	37,195	-	3,316

Table 12. Pipes That Do Not Satisfy the Flow Rate by Scenario 3-1, 3-2

Pipe (ID)	Velocity (m/s)	Length (m)
388 (929(2))	1.42	11
167 (911)	1.26	88
324 (913(1))	1.08	28
325 (913(2))	1.08	62
318 (893(1))	0.71	53
Total		242

Fig. 11. Scenario Application Result and One-way Flushing Application (Case 3)

3-1은 30개의 소화전을 모두 개방하여야 3,316 m에 해당하는 관로연장이 관세척의 효과를 거둘수 있는 최소유속조건을 만족하게 된다. 반면, 시나리오 2는 24개의 소화전의 개방으로 동일한 관세척의 효과를 거둘 수 있는 것으로 평가되었다.

Table 12에 제시된 바와 같이 시나리오 1과 2에 의한 재래식 관세척을 수행하더라도 5개 정도의 관로는 관세척 효과기준인 1.5 m/s의 유속이 만족되지 않는 것으로 평가되었고, 총 연장은 0.241 km이다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 유속이 만족되지 않는 관로를 대상으로, 단방향 관세척 공법을 이용하여 관로를 고립시킨 후 유속을 증가시켜 세척 효과를 만족할 수 있도록 모의를 수행하였다.

Fig. 11은 단방향 관세척을 위한 대상 관로와 차단 밸브를 표현하고 있으며, 밸브차단에 따른 관세척을 수행한 전후의 관로의 유속변화를 나타낸다. 단방향 플러싱을 통해 913(1)

Table 13. Pipe Length Ratio Satisfying the Minimum Velocity according to Flushing (Case 3)

Total Target Length (m)	Pipe Length Met (m)	Pipe Length Not Met Target (m)	Met Ratio (%)
(1)	(2)	(3)	(2)/(3)
3,558	3,405	153	95.7

및 913(2) 관로의 경우 플러싱 실시 전후 유속이 각각 1.08 m/s에서 1.74 m/s로 모두 증가될 수 있음이 확인되었다. 궁극적으로 소화전이 30개 설치된 경우, Table 13과 같이 재래식 플러싱 및 단방향 플러싱을 통해 3,405 m의 구간에 플러싱 효과가 나타나며(전체 대상 연장의 95.7%), 나머지 153 m의 경우 플러싱 효과가 달성될 수 있는 최소유속을 만족하지 못함을 알 수 있다. 주목할 만한 사실은, 소화전의 개수가 17개 이하인 경우에 비하여 소화전의 개수가 30개로 늘어나는 경우, 플러싱 효과를 만족할 수 있는 관로의 연장비율이 70.4%에서 95.7%로 급격히 증가함을 확인할 수 있다. 즉, 소화전의 배치 및 운용에 따라 플러싱 효과의 극대화가 가능함을 본 결과가 제시해준다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 WaterGEMS 모형의 재래식 및 단방향 플러싱 기능을 활용하여, 설정된 소블록내 일부구역에 대한 관세척 효과를 모의분석하였다. 1개 경우의 수에 대한 적용이 아닌, 소화전의 밀도와 소화전의 개방순서에 따른 관세척 효과의 만족여부를 정량적으로 평가하였다.

분석결과 재래식 관세척의 경우에도 모든 소화전을 단순히 무작위로 개방하는 것 보다, 사전 모의를 통해 최적의 개방순서를 결정하는 경우 최대 20% (30개 → 24개) 정도의 개방횟수의 저감을 통해서도 동일한 플러싱 효과를 거둘 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 소화전의 밀도가 커질수록 재래식 플러싱을 통한 효과만족 연장이 커짐을 확인할 수 있었으며, 특히 소화전의 개수가 대상지역에 30개 정도 설치되는 경우 대부분의 관로 연장에서 플러싱효과를 거둘 수 있음을 확인하였다. 다시말해서, 소규모의 소화전 밀도 증가(10개→17개)는 대상구역의 관세척 효과를 비례적으로 거둘 수 없음을 발견하였다.

이와 같은 방법론의 제안 및 분석결과는 상수관망에 대한 관세척을 의무화한 상수도관망시설 유지관리업무 세부기준의 관세척 세부시행계획 수립을 위한 활용방법론으로 적용 가능하다. 향후 민감도 분석 및 법적 소화전 설치 기준(간격) 및 실제 설치사례자료를 활용한 모의가 추가된다면, 보다 구체적이고 합리적인 관세척 시행방법의 마련이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의 연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, J.C., Lee, S.W., Baek, K.I., Choi, Y.J., Choi, J.H., Jeong, E.S., et al. (2008). Hydraulics and water quality characteristics of flushing in distribution pipes. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 22, No. 1, pp. 93-103.
- AWWA. (1986). *Manual on maintaining distribution system water quality*. Denver, Colorado.
- 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. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 29, No. 4, pp. 459-468.
- Bentley. (2021). *WaterGEMS User's Manual*.
- Friedman, M., Kirmeyer, G.J., and Antoun, E. (2002). Developing and implementing a distribution system flushing program. *Journal-American Water Works Association*, Vol. 94, No. 7, pp. 48-56.
- Hon, S.J., Moon, G.H., Lee, S.H., and Yoo, D.G. (2021). Flushing simulation in small district meter area for water distribution networks using watergems model. *Proceedings of 2021 Conference of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*.
- Kim, D.I., Cheon, S., and Hyun, I. (2015). A study on the removal of particulate matters using unidirectional flushing. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 29, No. 3, pp. 371-380.
- MOE. (2021). *Detailed standards for maintenance of waterworks network facilities*.

Received	December 1, 2021
Revised	December 2, 2021
Accepted	December 13, 2021