

The assessment of self cleaning velocity and optimal flushing velocity in water distribution system

상수관망의 자가세척 유속과 적정 플러싱 유속 평가

Bae, Cheol-Ho¹ · Choi, Doo Yong¹ · Kim, Ju-Hwan¹ · Kim, Do-Hwan^{2*}

배철호¹ · 최두용¹ · 김주환¹ · 김도환^{2*}

¹Water and Waste Water Research Center, K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation · ²Water Quality Institute, Busan Water Authority

¹한국수자원공사 K-water연구원 상하수도연구소 · ²부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

Abstract : The flushing is important to maintain good water quality in water main. It is a technique of using water velocity to remove sediments in water distribution system. The variety of water quality problems can occur in a distribution system, so too can a variety of benefits be gained by system flushing. In order to effectively perform the flushing, the contaminants to be removed to set up and it can be solved, it is necessary to ensure the proper flow rate. In this study, the removal of contaminants present in the inner water pipe attached loose deposits such as fine particles of granular activated carbon, sand and iron corrosion product sought to derive flow rates. Thus, the constant observation of using pilot plant scale water distribution plant for the movement of floating characteristics of particles were assessed.

Key words : Flushing, Water main, Loose deposits, Particles

주제어 : 플러싱, 상수관로, 약하게 부착된 침전물, 입자성 물질

1. 서론

플러싱(Flushing)은 상수관망에서 밸브 등을 조작하여 관 내부의 흐르는 물이 외부로 배출될 때 발생하는 유속을 이용하여 관 내부에 있는 침전물 등을 세척하여 제거하는 기술이다(Ronald et al., 1992; Ellison et al., 2000; AWWA, 2001). 플러싱은 상수관망 관리를 위해 미국 등 선진국에서는 많이 사용하는 방법으로 인식되고 있으며, 환경적 영향을 최소화하는 방안까지 고려하는 수준으로 발전하였다(Antoun et al., 1999). 현재는 단방향플러싱(Unidirectional flushing, UDF) 등의 효율적인 수행을 위한 수리

모델, 지리정보시스템(GIS), 전산유체역학(CFD) 등을 이용하여 플러싱에 따른 수리거동을 예측하고 지점별로 관로 내부의 침전물이 부상 가능한 플러싱 적정유속 등을 산정하여 최적화하는데 노력을 기울이고 있다(Friedman et al., 2002; 2004).

최근 국내에서는 상수관로 수질에 대한 관심이 고조되면서 서울시, K-water, 그리고 일부 지자체에서 단방향 플러싱 등에 대한 효과를 평가한 바 있으나, 현재까지 상시 세척을 위한 도구로써 활용되지 못하고 있는 실정이다.

상수관로 내부에는 다양한 오염물질이 존재하며, 이들 오염물질은 관 표면에 약하게 또는 점착성으로 존재하거나 강하게 부착된 상태로 존재한다. 따라서 적절한 단방향플러싱 유속을 확보하

• Received 09 June 2014, revised 01 August 2014, accepted 07 August 2014.

* Corresponding author: Tel : 051-669-4789 Fax : 051-669-4609 E-mail : dhkim7441@korea.kr

라도 관로 내의 모든 오염물질을 제거하기는 어렵다. Friedman et al. (2004)은 관 내부에서 발생하는 오염물질로 주로 실트, 모래, 퇴적물, 철 플록, 철 슬러지, 철 미립자, 망간 미립자 등이 존재하고 있으며, 이중 망간 또는 응집제 플록 등 물때와 같은 슬라임에는 고(高) 유속의 플러싱으로도 제거하기 어렵기 때문에 피그(Pig) 등과 같은 세척기구를 이용한 방법을 권고하였다. Carriere et al. (2005)은 상수관망 내부에 약하게 부착된 침전물의 제거를 위해서 단방향 플러싱을 적용하여 평가를 하였다. 플러싱을 효과적으로 수행하기 위해서는 제거하고자 하는 오염물질을 설정하고 해결할 수 있는 적정 유속을 확보하는 것이 필요하다.

AWWA (2000)에서 권고하고 있는 플러싱의 적절한 유속으로는 1.5 m/sec 이며, 강을 횡단하는 관로의 모래와 실트제거를 위해서는 대략 3.7 m/sec의 고(高) 유속이 필요하다고 제시하고 있다. Antoun et al. (1999)의 연구에서 침전물과 생물막의 제거를 위해서는 1.8 m/sec가 필요한 것으로 제시한 바 있다. Friedman et al. (2004)은 pilot plant(연장 10 m 이내)을 활용한 연구에서 관로 내부에 약하게 부착된 침전물(입상활성탄(GAC), 모래, 철 부식생성물 등)을 제거하기 위해서 GAC는 0.45 ~ 0.52 m/sec, 모래는 0.55 ~ 0.58 m/sec, 그리고 철 부식생성물은 0.48 ~ 0.72 m/sec의 유속이 필요한 것으로 제시하였다.

상수관망 수질관리 측면에서 가장 중요한 것은 정수장 이후 송·배수관로 내부에 입자성 물질이 축적되지 않도록 하는 것이다. 이러한 대표적인 연구가 바로 자가세척 유속(self-cleaning velocity)을 갖는 관망에 대한 다양한 연구이다 (Blokker et al., 2007; Buchberger et al., 2008; Blokker et al., 2010). 자가세척은 관로 내 유속을 통해서 입자들의 침전을 억제하고 유출시킬 수 있는 최소 유속이다. 다만 이러한 유속은 상시일 필요는 없으며, 최소 유속이 하루 1회 또는 2회 정도만 발생이 되더라도 관로

내부는 청결해질 수 있는 것으로 보고하고 있다 (Blokker et al., 2010). 현재까지 자가세척 능력이 되기 위해서는 피크시간의 유속이 정체시간 또는 저(低) 유속시 침전되어 있는 입자를 재부유할 정도는 되어야 한다. Vreeburg (2007)는 실험실 규모의 연구에서 자가세척 가능 유속이 한계유속으로 0.4 m/sec임을 설명한 바 있고, Blokker et al. (2010)은 실제 상수관망에서 0.2 ~ 0.25 m/sec 이상이면 자가세척이 가능한 것으로 보고한 바 있다. 또한 네덜란드에서는 1999년 자가세척 능력을 위한 설계 가이드라인이 공식적으로 도입된 바 있으며, 점차적으로 자가세척이 가능한 새로운 관망에 대한 관심이 고조되고 있다.

본 연구에서는 관로 내부에 존재하는 오염물질들 중에 약하게 부착된 대표적인 침전물로 알려진 입자들인 활성탄 미세입자, 모래 미세입자 및 철 부식생성물 입자들의 크기에 따라 어느 시점에 이들 입자들이 이동하고, 부유해서 관 외부로 배출 및 제거가 가능한지 그 유속을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 pilot plant규모의 상수관망 모형플랜트를 이용하여 관로 내부에서의 이동과 부유에 대한 특성을 평가하였다. 또한 상수관망 내부로 유입된 입자들이 침전하지 않고 그대로 배출될 수 있는 자가세척 유속조건에 대해서도 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 상수관망 모형플랜트

본 연구에서는 상수관망 내 유입되는 입자들이 침전하지 않고 유출될 수 있는 유속, 즉 자가세척 유속과 관 내부에 약하게 부착된 입자성 물질의 수리적인 거동 특성을 분석하기 위하여 약 300 m에 달하는 상수관망 모형플랜트를 설치하였다. 상수관망 모형플랜트는 지하에 매설된 주요 관종인 시멘트모르타 라이닝 닥타일주철관(CML-DCIP), 플라스틱관으로 폴리에틸렌 관(PE), 강관으로는 내면에폭시, 외면 폴리에틸렌

으로 도복된 강관, 그리고 노후관으로 무라이닝 주철관종을 각각 설치하여 운전하였다. 관경은 지방상수도에서 배수관종 중 비율이 높은 100 mm로 하였다.

또한 각 관종마다 관 내부에서 발생하는 상황을 모니터링하기 위해 투명 아크릴관(약 30 cm)을 각각 2개씩 총 8개 지점에 설치하였으며, 내부 수질변화를 모니터링 할 수 있도록 총 8개 이

상의 샘플링 탭을 설치하였다. 운영은 실험방법에 따라 저수조 탱크로부터 펌프를 통하여 공급되는 물이 관 내부를 지나 다시 저수조 탱크로 유입될 수 있는 순환구조와 순환하지 않고 바로 원수가 공급되는 착수정 또는 배출수지로 바로 유출이 되는 형태로 설계하였다. 세부적인 상수관망 모형플랜트의 설치내용과 관망구조를 Table 1과 Fig. 1 ~ 2에 나타내었다.

Table 1. Specification of water distribution pilot plant

Classification	Unit	Condition of Installation	Remarks
Facility area	m ²	316	
Diameter	mm	100	Avg. diameter in water distribution system
Pipe material	-	Steel pipe coated epoxy resins(new), Polyethylene pipe(new), CML-DCIP(new), Unlined-DIP(old),	Major materials
Total length	m	270 m	Avg. length of each pipe material : 60 ~ 70 m
Range of water velocity	m/sec	0.07 ~ 2.0	
Water pressure	kgf/cm ²	less than 10	
Vol. of water storage tank	m ³	81	min retention time, 5 min

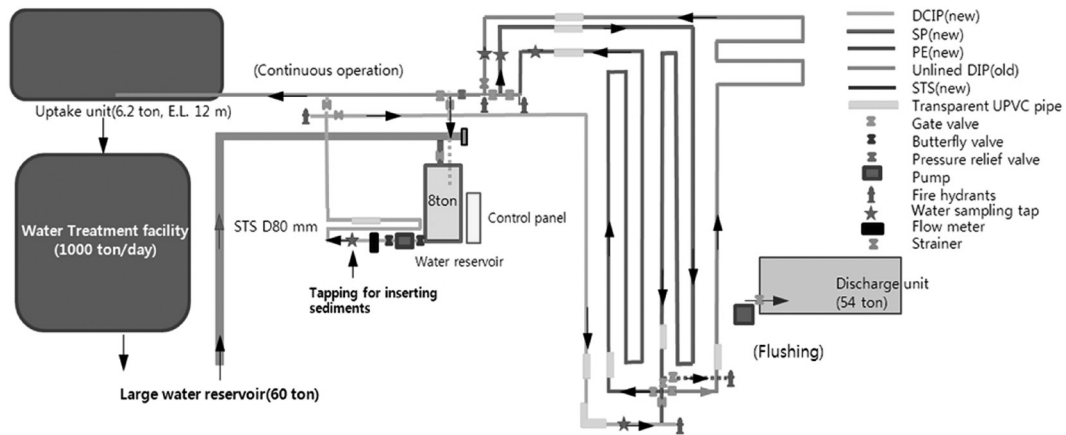


Fig. 1. Layout of water distribution pilot plant.

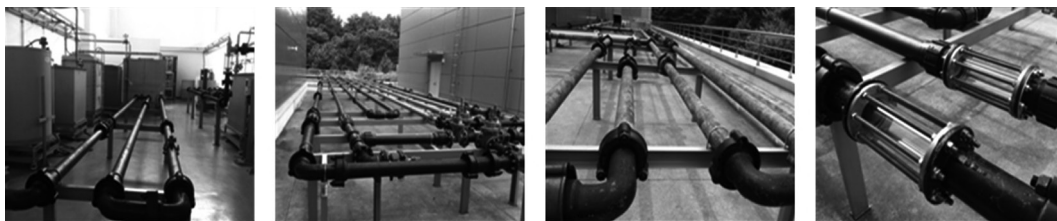


Fig. 2. Pictures of water distribution pilot plant.

2.2 부착된 입자들의 적정 부상유속

2.2.1 대상 입자물질

본 연구에서는 관로 내부에 약하게 부착된 입자성 침전물, 활성탄 미세입자, 모래 미세입자, 철 부식생성물 입자들에 대한 적정 세척유속을 평가하기 위해 활성탄 입자는 현재 고도정수처리공정에 사용 중인 입상활성탄(GAC)을 사용하였고, 모래입자는 정수처리공정에서 여과지에 사용 중인 모래를 사용하였다. 철 부식 생성물은 TY 지역에 매설된 무라이닝 닥타일주철관 내부에 존재하는 결절을 수집하여 사용하였다. 또한 수집한 활성탄, 모래, 철 부식 생성물에 대해서는 입자별 이동과 부유유속, 즉 세척이 가능한 유속을 평가하기 위해 체거름을 통하여 입자의 크기별로 분류하였다. 각 입자의 비중은 KS M 0610(2010)에 준하여 측정하였다 (Table 2). Table 2에서 실험에 사용된 입자들의 비중은 Friedman et al. (2004)이 각 물질별로 측정된 비중을 보면, GAC(1.608 ~ 1.699), 모래(2.699 ~ 2.746), 철 부식생성물(2.654 ~ 3.112)으로 나타나 본 연구에서 측정된 비중과 유사한 값을 보여주었다.

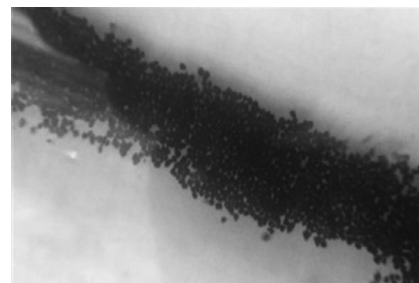
Table 2. Particle size and specific gravity of selected particle material

Particle size(μm) (Sieve classification)	Specific gravity			
	GAC	Sand	Iron corrosion products	PAC
< 75	1.32	2.33	3.53	1.54
75 ~ 106		2.60	3.48	-
106 ~ 250		2.60	2.85	-
250 ~ 425	1.26	2.62	3.12	-
425 ~ 600	1.37	2.82	-	-
600 ~ 850	1.22	2.62	-	-
850 ~ 2,000	1.30		-	-

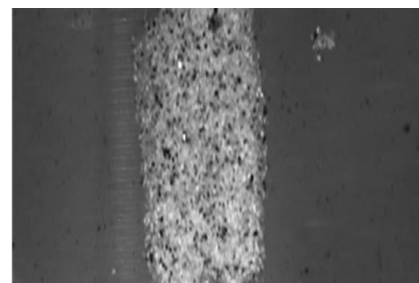
2.2.2 입자크기별 수리적 거동 시험 방법

유속변화에 따른 약하게 부착된 입자들의 크기별로 적정 부상유속을 평가하기 위해 상수관

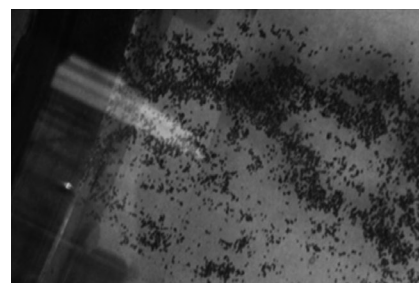
망 모형플랜트에 입자 주입을 위한 별도의 탭을 펌프 후단에 설치하였다. 탭을 통해 입자를 주입하기 용이하도록 체거름으로 분류된 입자들을 수돗물에 혼합하여 슬러리 행태로 제조하였다. 이후 관로 내로 유입된 입자들은 약 1시간 동안 정체를 시켰고(Fig. 3), 이후 펌프를 0.0 m/sec에서 순차적으로 0.03 ~ 0.05 m/sec씩 유속을 증가하여 목표 유속에 도달하면, 각 관 재질별로 설치된 관찰경을 통해서 입자의 움직임과 부유 상태를 확인하였다. 입자의 각 크기별로 구분하여 관측을 하였으며, 각각의 유동 형태에 대한 유속을 영상으로 촬영하고 기록하였다.



(a) GAC
(850 μm <)



(b) Sand
(425 ~ 600 μm)



(c) Iron corrosion product
(250 ~ 425 μm)

Fig. 3. Pictures showing particulate matters before flushing.

그리고, 1회 시험이 완전 종료가 되면 이후 입자크기 및 입자 재질별로 반복하여 실험을 수행하였다.

- 첫 번째 시각적 움직임(first visual movement, 관찰경 내 입자 중 10% 이내 유동)
- 각각의 입자들이 관의 바닥을 따라 끌려가는 움직임(입자 중 50% 유동)
- 모든 입자들이 관의 바닥을 따라 끌려가는 움직임(입자 중 100% 유동)
- 유체로 모든 입자들의 부상(입자 중 100% 부유이동)

2.3 자가세척 유속 평가

본 연구에서는 제어된 환경하에서 유속변화에 따른 입자의 거동 특성을 분석하여 입자들이 침전하지 않고 그대로 유출이 가능한 유속인 자가세척유속에 대하여 평가하고자 하였다. 이를 위해 300 m 규모의 실증 관 모형 플랜트를 설치 및 운영하였다. 자가 세척 기능은 상수관로 내부에 유입된 입자들이 침전하지 않고 그대로 유출될 수 있는 유속이므로 상수관망 모형플랜트의 저수조 유출지점부터 최종 유출지점까지 유속변화에 따른 탁도와 입자의 변화 거동을 탁도계 및 입자계수기(PC 2400PS, HEMTRAC system Inc.)를 이용하여 고찰하였다. 유속변화는 0.17 m/sec 이상에서 1.0 m/sec까지 변화를 주었다. 이때 기존 관로 내 입자성 물질의 영향을 배제하기 위하여 2 ~ 3회 1.5 m/sec 이상의 고유속으

로 30분 이상 관을 세척한 후 수행하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 입자의 종류별 유속에 따른 수리적 거동

3.1.1 GAC 입자

Table 3에는 GAC의 각 입자크기별 수리적 조건에 따른 이동과 부유훈성을 나타내었다. GAC 입자들에 대해서는 주로 미세입자인 PAC, 그리고 활성탄은 75 μ m부터 최대 2,000 μ m까지 입자를 5개의 크기로 구분하여 시험하였다. 각 입자는 상수관망 모형플랜트에 설치된 가압펌프로부터 약 8 m 이격된 탭을 이용하여 각 크기별로 나누어 순차적으로 각각 주입하여, 유량변화에 따라 각 입자의 크기에 따라 어떤 유속에서 유동이 시작되고, 부분적 또는 전체적으로 관 하부를 따라 유동이 발생되는지, 그리고 전체 입자가 어떤 유속에서 부유하여 유동을 시작하는지를 육안으로 조사하였다(Friedman et al., 2004). 관측 대상범위는 부드러운 관으로 구성된 시멘트모터 라이닝 닥타일주철관(CML-DCIP)에서 강관(SP)까지이다.

GAC 입자들은 입자크기 또는 유속에 따라 초기에 부분적으로 그룹을 형성하여 유동하다가 유속이 증가함에 따라 점차적으로 하나의 큰 그룹을 형성하여 관 바닥을 따라 유동하는 움직임을 보였다. 그리고 일정 유속에서는 부유해서 이동하는 형태를 보였다. 부유해서 이동시에도 대

Table 3. Result of initial mobility and lifting velocity on GAC particle

Particle size range (μ m)	Dosage mass (g)	Specific gravity	First ¹⁾ visual movement (m/sec.)	partly ²⁾ shuffling movement (m/sec.)	all shuffling movement(m/sec.)	all particle moved-lifted (m/sec.)
< 75 ³⁾	39.51	1.54	< 0.07, shuffling and lifting start			
75 ~ 250	7.39	1.32	< 0.07	0.11 \leq	0.16 \pm 0.02	0.53 <
250 ~ 425	35.86	1.26	0.07 <	0.14 \leq	0.16 \pm 0.02	0.46 <
425 ~ 600	44.22	1.37	0.11 \leq	0.14 \leq	0.21 \pm 0.03	0.46 <
600 ~ 850	46.64	1.22	0.125 \pm 0.15	0.16 \pm 0.02	0.23 \pm 0.02	0.495 \pm 0.35
850 ~ 2,000	51.37	1.30	0.195 \pm 0.15	0.25 \leq	0.30 \pm 0.02	0.495 \pm 0.35

¹⁾ 관찰경 내 10 \pm 3% 이내

²⁾ 50 \pm 5% 수준의 입자 유동

³⁾ PAC 포함

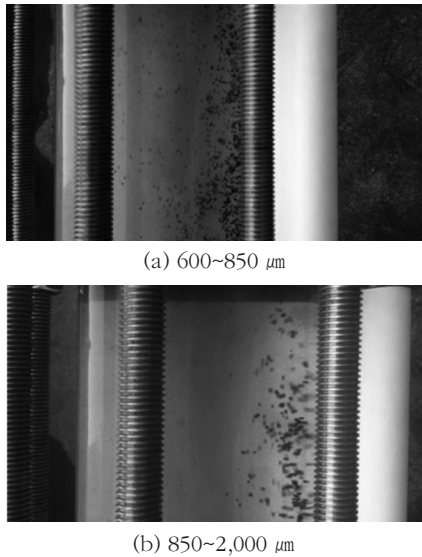


Fig. 4. Observation pictures at lifting velocity of relatively large GAC particle.

부분 입자들이 관 내부에 전체적으로 분포해서 이동하기보다는 주로 관 하부로부터 1/3 지점 이내에서 이동하는 형태를 보였다.

Table 3에서 PAC는 매우 미세한 입자로 대부분 저유속 0.07 m/sec에서도 부유하여 이동하는 것으로 나타났으며, 250 μm 이하는 0.53 m/sec 그리고 그 이상에서는 최대 0.845 m/sec까지 필요한 것으로 나타났다.

3.1.2 모래입자

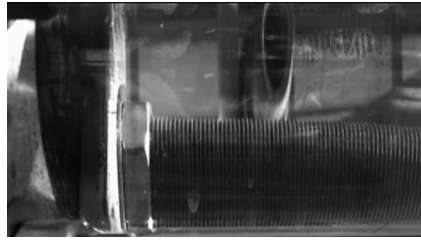
Table 4는 모래의 각 입자크기별로 수리적 조건에 따른 이동 및 부유허성을 나타내었다. 모래는 작은 입자들(106 μm 이하에서 2,000 μm까

지)을 6개의 샘플로 구성하여 각각 유량변화, 입자의 크기 및 어느 유속에서 유동을 시작하는지 관찰하였다. 그리고 부분적 또는 전체적으로 관 하부를 따라 유동이 발생하는지 관찰하였으며, 전체 입자가 어떤 유속에서 부유하여 유동을 시작하는지를 관측하였다. 모래입자의 투여조건은 GAC 입자시험과 동일하였다.

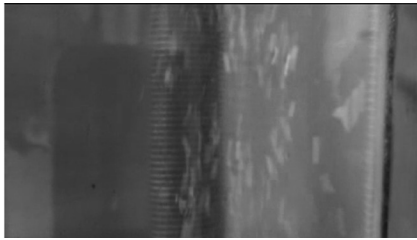
Table 4에서 모래입자들은 그 크기에 따라 0.07 ~ 0.195±0.15 m/sec에서 첫 움직임 시작되었고, 모든 모래입자들은 크기에 따라서 GAC 입자보다 더 높은 유속인 0.16±0.02 ~ 0.35 m/sec에서 관 하부를 따라 이동하기 시작하였고, 106 μm 미만 입자들은 0.28 m/sec 이상에서 모두 관 하부를 따라 이동하기 시작하였다. 그러나 그 외의 입자들은 0.62±0.09 m/sec 이상에서 모두 이동하기 시작하였으며, 일부 입자들은 부유하기도 하였다. 모든 입자크기에 따라 완전히 부유하기 위해서는 106 μm 미만 입자들은 0.62±0.09 m/sec 이상, 600 μm 미만의 입자들은 0.795±0.085 m/sec, 그리고 입자 크기가 600 μm 이상인 경우에는 최소 0.88 m/sec 이상의 유속이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 모래입자들의 크기에 관계없이 관 내부에서 이동 및 부유시켜 관 외부로 제거할 수 있는 적정 유속은 최소 0.88 m/sec 이상은 되어야 할 것으로 판단되었다. 이 유속은 GAC 입자들을 제거하기 위한 적정 평균유속 보다 더 높은 유속이다. 이는 GAC 입자들 보다 평균적으로 모래입자들의 비중이 2.33 ~ 2.82로 2배 가까이 높아

Table 4. Results of initial mobility and lifting velocity on sand particle

Particle size range (μm)	Dosage mass (g)	Specific gravity	First visual movement (m/sec.)	partly shuffling movement (m/sec.)	all shuffling movement (m/sec.)	all particle moved-lifted (m/sec.)
< 106	17.16	2.33	0.16±0.02	0.195±0.15	0.28 ≤	0.62±0.09
106 ~ 250	51.75	2.60	0.23±0.02	0.405±0.055	0.62±0.09	0.795±0.085
250 ~ 425	50.13	2.60	0.25 ≤	0.405±0.055	0.62±0.09	0.795±0.085
425 ~ 600	200.48	2.62	0.28 ≤	0.405±0.055	0.62±0.09	0.795±0.085
600 ~ 850	52.33	2.82	0.35 ≤	0.46 ≤	0.62±0.09	0.88 ≤
850 <	62.19	2.62	0.35 ≤	0.46 ≤	0.62±0.09	0.88 ≤



(a) 600~850 μm



(b) 850 μm <

Fig. 5. Observation picture at lifting velocity of relatively large sand particle.

전체적으로 동일 유속에서 부유시키기 어려웠기 때문으로 판단된다.

3.1.3 철 부식입자

Table 5는 철 부식생성물의 입자크기별로 유속에 따른 이동 및 부유특성을 나타낸 것이다. 철 부식입자는 작은 입자들(75 μm 이하에서 425 μm까지)을 4개의 샘플로 구성하여 유량변화에 따라 각 입자의 크기 및 어느 유속에서 유동을

시작하는지 관찰하였다. 부분 또는 전체적으로 관 하부를 따라 유동이 발생되는지, 그리고 전체 입자가 어떤 유속에서 부유하여 유동을 시작하는지를 관측하였다.

철 부식입자들은 입자크기와 관계없이 대부분 물속에 주입하자마자 물 색깔을 적색으로 변화시켰고, Fig. 6과 같이 적수는 0.07 m/sec 이하의 저유속에서도 관로 내 전체를 부유 및 이동하였다. 이후 유속을 증가시키자 관 하부에 남아있던 입자들이 서서히 유동하기 시작하였다. Table 5에서 초기 입자크기가 250 μm 미만은 0.71 m/sec 이상, 그리고 425 μm 미만까지는 0.88 m/sec 이상이 되어야 부유가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 이들 입자들은 표면에 포함된 일부 입자성분이 물속에 용해되면서 그 크기가 20 ~ 30% 정도 그 크기가 감소하였다. 따라서 실제 크기를 갖는 입자의 이동 유속과 부유할 수 있는 유속은 더 클 가능성도 존재한다. Friedman et al. (2004)이 수행한 연구에서 철 부식생성물 실험에서 600 ~ 1,180 μm의 크기를 갖는 입자들이 0.71 m/sec 이상에서 완전 부유하여 이동한 것으로 보고한 바가 있으므로 철 부식입자들이 완전히 부유해서 제거될 수 있는 적정 유속은 0.88 m/sec 이상이면 충분할 것으로 판단된다.

Table 5. Result of initial mobility and lifting velocity on iron corrosion product particle

Particle size range (μm)	Dosage mass (g)	Specific gravity	First visual movement (m/sec.)	partly shuffling movement (m/sec.)	all shuffling movement (m/sec.)	a little particle moved-lifted (m/sec.)
< 75	37.29	3.53	0.18 ≤	0.265±0.015	0.335±0.015	0.71 <
75 ~ 106	27.98	3.48	0.18 ≤	0.265±0.015	0.335±0.015	0.71 <
106 ~ 250	39.00	2.85	0.18 ≤	0.35 ≤	0.495±0.035	0.71 <
250 ~ 425	37.28	3.12	0.18 ≤	0.35 ≤	0.495±0.035	0.88 <

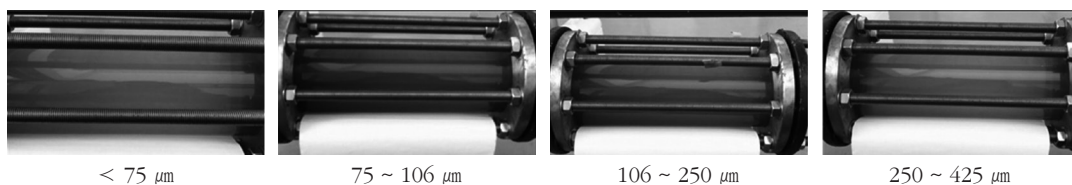


Fig. 6. Lifting characteristics of fine iron corrosion particle (< 0.07 m/sec).

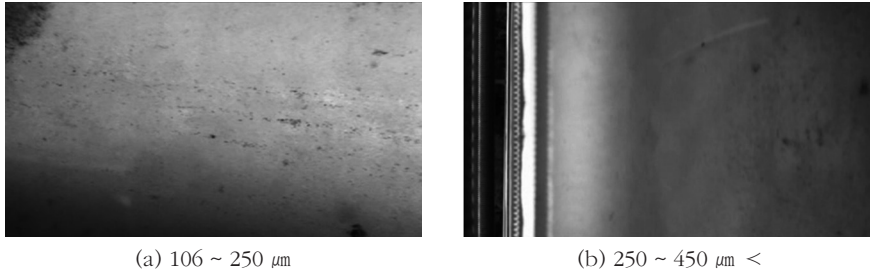


Fig. 7. Observation picture at lifting velocity of relatively large corrosion product particle.

Fig. 8은 GAC, 모래, 그리고 철 부식생성물의 입자크기별 유속변화에 따른 부유 유속을 비교하여 나타낸 것이다. 실험범위 내 입자크기에 대해서 각각 GAC, 모래, 그리고 철 부식생성물 등을 관 내부에서 부유하여 관 외부로 배출 및 제거하기 위한 최저 유속은 0.9 m/sec 이상으로 판단된다. 따라서 상수관로부터 발생하는 수질적 악화가 약하게 부착된 물질에 의해서 기인하는 경우, 플러싱을 수행할 때 최소 0.9 m/sec 이상의 유속을 확보할 필요가 있는 것으로 판단된다. 상수관로 내부에 존재하는 약하게 부착된 침전물은 플러싱을 통해서 가장 쉽게 제거할 수 있는 물질들이다. 그러므로 최소한 0.9 m/sec. 이상의 유속을 확보하기 어려운 경우에는 관 내 오염물질의 제거를 기대하기 어려울 수 있다. 또한 이러한 유속에 도달하기 어려운 경우에 상대적으로 큰 입자들은 관 내부의 하부를 따라 이동만 하게 되므로 오염물질이 확산될 우려가 존재한다. 이러한 측면에서 Vreeburg (2007)은 저 유속의 재래식플러싱을 예로 들며, 오염물질의 확산을 통해 오히려 민원의 증가 등 잠재적으로 부정적인 효과가 있음을 보고한 바 있다.

또한 GAC, 모래, 그리고 철 부식생성물 등 약하게 부착된 침전물 등을 제거하기 위해서 과도한 유속을 발생시킬 우려도 존재한다. 물론 본 연구에서 도출된 결과보다 더 큰 유속에서 이들 물질의 제거에 대한 효과는 더 클 수도 있으나 세척으로 방류되는 정수가 그 만큼 더 증가하게 되므로 플러싱 수행시 합리적인 최소유속의 선택기준을 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

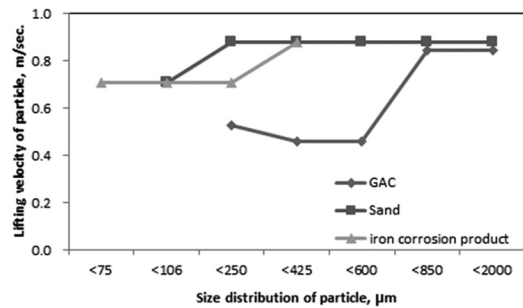


Fig. 8. Lifting velocity of GAC, sand, and iron deposit according to particle size.

3.2 자가세척 유속 평가

3.2.1 유속변화에 따른 탁도 변화

Fig. 9는 관 세척 모형플랜트의 저수조 유출수와 시멘트모르타 라이닝 닥타일주철관(CML-DCIP, 76 m), 폴리에틸렌관(PE, 71 m), 내면 에폭시 도장강관(SP, 69 m) 등 내부 표면에 결절이 존재하지 않고 슬라임 등이 존재하지 않는 부드러운 구간(= 216 m), 그리고 관 내부에 결절이 존재하는 무라이닝 닥타일주철관(Un-lined-DIP, 60 m) 이후 유출수의 탁도 변화를 유속에 따라 나타낸 것이다.

유속이 0.17 m/sec 이하에서 저수조부터 강관까지의 탁도 변화를 살펴보면, 저수조 유출부에서 강관까지의 탁도가 저수조 유출수 탁도에 비하여 낮게 나타나는 경향을 보였다. 이는 저수조 유출수에 탁도를 유발하는 입자성 물질들이 침전하여 감소하였기 때문으로 보인다. 또한 강관 이후부터 관 내부에 결절이 존재하는

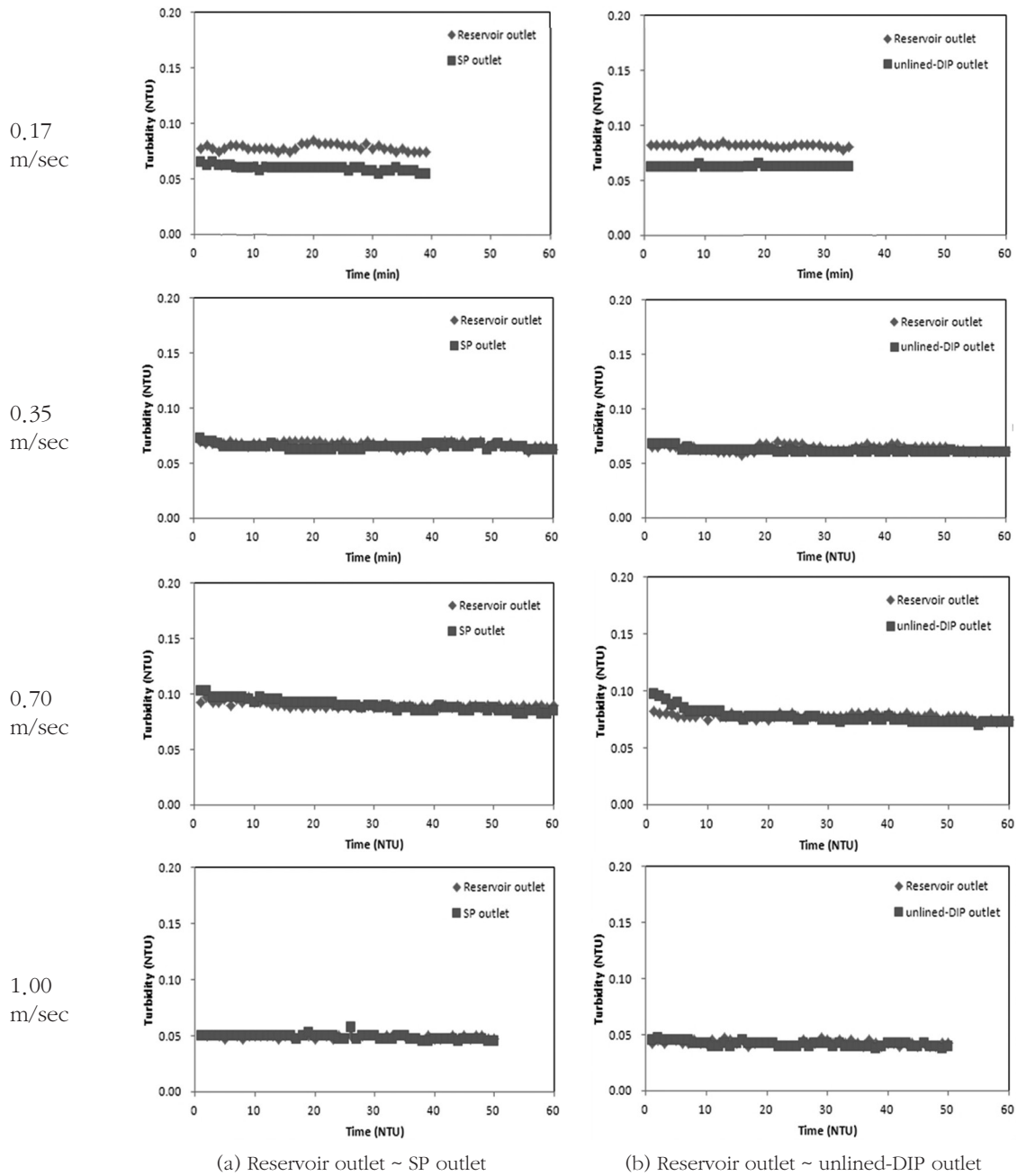


Fig. 9. Turbidity change over time with diverse water velocity.

Unlined-DIP 구간에서도 동일하게 탁도가 감소하는 경향을 보여 전체적으로 유속이 0.17 m/sec 이하에서는 주로 입자들의 침전이 지속적으로 이루어지는 것으로 판단된다. 다만, Fig. 9에서 유속이 0.35 m/sec 이하인 경우, 저수조에서 강관까지 탁도 변화는 저수조 유출수 탁도 보

다 다소 높거나 또는 동일한 수준을 나타내었다. 그리고 그 이상의 유속, 0.70 m/sec와 1.0 m/sec에서도 동일한 수준의 탁도 변화를 보였다. 따라서 최소 0.35 m/sec 이상에서는 저수조 유출수에 포함된 미세 입자들이 침전하지 않고 그대로 관 외부로 유출이 되는 것으로 판단되었다.

3.2.2 유속변화에 따른 입자 변화

유속변화에 따른 입자거동에 대한 결과를 Fig. 10에 유속별로 나타내었다. Fig. 10에서 입자개수와 입자크기별 분포를 보면, CML-DCIP 유출구 입자를 기준으로 하였을 때 대부분 탁도 감소 또는 입자개수의 변화의 원인은 주로 유속이 0.17 m/sec 이하에서 전체적으로 모든 입자크기가 감소하는 경향을 보였다. 특히, 20 ~ 32 μm 크기의 범위를 갖는 입자들의 감소폭이 더 크게 나타나 0.17 m/sec 이하에서 입자 침전의 주요 원인은 20 μm 이상의 크기를 갖는 입자에 의해서 발생되고 있는 것으로 보인다. 반면에 Fig. 10에서 0.35 m/sec 이상에서는 4 μm 이상 크기를 갖는 입자들의 변동이 크게 나타나지 않았다.

Vreeburg (2007)의 자가세척에 대한 연구결과에 따르면, 실용적인 측면에서 관망에서의 자

정이 가능한 유속으로 0.4 m/sec를 제시하였으며, 이는 본 연구의 결과와도 유사한 결과라 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 상수관망에서 플러싱으로 제거가 가능하며, 약하게 부착된 침전물질을 제거하기 위해 유속에 따른 이동 및 부유유속을 평가하여 약하게 부착된 오염물질의 적정 플러싱 유속을 도출하고자 하였다. 또한 관 내부 오염물질의 축적을 최소화하기 위한 자가세척 유속을 평가하고자 하였고 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 상수관망 모형플랜트에서 실험한 결과를 정리하면, 일부 유속의 차이는 있으나 GAC는 입자크기와 관계없이 0.5 m/sec(2 mm 이하), 모래입자는 0.88 m/sec(2 mm 이하), 철부식생성물은 0.425 μm 이하에 대해서 0.88 m/sec 이상에서 완전 부유해서 제거 가능한 것으로 나타났다. 최소한 0.9 m/sec 이상이면 이들 크기를 갖는 입자들에 대해서는 세척시 제거가 가능할 것으로 판단되었다. 또한 플러싱 자체가 관 표면에 약하게 부착된 입자들을 제거하는 것을 목표로 하는 것을 볼 때, 기존에 제시된 적정 유속인 1.5 m/sec와 비교하여 2/3 수준의 유속으로도 이들 입자들의 제거가 가능하므로 세척에 따른 방류수량을 적어도 20 ~ 30% 이상 절감이 가능할 것으로 기대된다.

둘째, 상수관망 모형플랜트에서 관로로 유입되는 지점과 각 관종이 달라지는 위치에 설치된 샘플링 탭을 통해서 탁도와 입자개수에 대해 유속별로 그 변화를 측정된 결과, 0.17 m/sec 이상, 즉 0.35, 0.70, 1.00 m/sec에서는 각 지점에서 탁도, 입자개수 등이 저수조 유입수와 동등 수준으로 계속 유지가 되고 있는 것으로 나타났다. 이러한 유속에서는 관 내부에 입자들이 지속적으로 침전되기보다 계속해서 부유하여 이동하는 것으로 판단되었다. 따라서 입자들이 침전되지 않고 그대로 유출이 가능한 유속인 자가세척

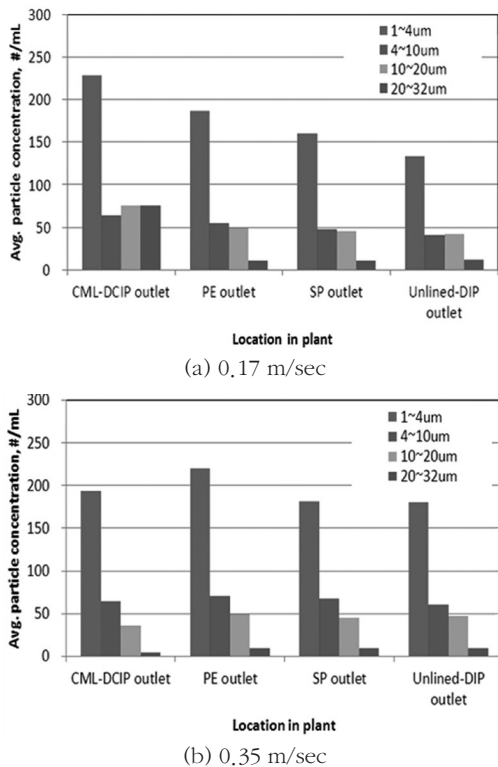


Fig. 10. Average particle count at the outlet of pipe using four different pipe materials with diverse particle sizes and water velocities.

유속은 최소한 0.35 m/sec 이상은 되어야 하는 것으로 여겨지며, 다만 이러한 유속은 상시일 필요는 없다. 자가세척 유속은 상시 유속개념이 아니며, 일중 최대 유속으로 이러한 유속확보가 가능하다면 그 관로는 자가세척 기능을 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- Antoun, Edward N., Dyksen, John E. and Hiltebrand, David J. (1999) Unidirectional flushing: A powerful tool, *Journal AWWA*, 91(7), pp. 62-71.
- AWWA, (2000) Guidance manual for maintaining distribution system water quality.
- AWWA, (2001) Rehabilitation of water mains—manual of water supply practices, M28 (2nd Edition).
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., Schaap, P. and Horst, P. (2007) Self-cleaning networks put to the test, in Proceedings of ASCE EWRI Conference, Orlando, Florida, May 15~19.
- Blokker, M., Vreeburg, J., Schaap, G. and van Dijk, C. (2010) The self-cleaning velocity in practice, Water Distribution System Analysis 2010 - WDSA 2010, Tucson, AZ, USA, Sept. 12~15.
- Buchberger, S. G., Blokker, M. and Vreeburg, J. (2008) Sizes for self-cleaning pipes in municipal water supply systems, Proceedings of the 10th Annual Water Distribution Systems Analysis Conference, WDSA 2008, Van Zyl, J.E., Ilemobade, A.A., Jacobs, H.E. (eds.), August 17~20, Kruger National Park, South Africa.
- Carriere, A., Gauthier, V., Desjardins, R. and Baebeau, 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.
- 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.