

안쓰라사이트 여재 원형도가 여과 효율에 미치는 영향

The Effects of Anthracite Media Sphericity on Filtration Efficiency

정원석¹ · 최승일^{2,*}

Won-suk Cheong¹ · Suing-il Choi^{2,*}

1 한국수자원공사 수도권지역본부운영처

2 고려대학교 환경시스템공학과

(2007년 11월 11일 논문 접수; 2007년 12월 7일 최종 수정논문 채택)

Abstract

There are many design parameters affecting filtration efficiency such as filtration rate, media packing depth, size distribution, and so on. The sphericity, the ratio of the surface area of an equal volume sphere to the real surface area of the particles, is one of major physical characters of media. The effect of sphericity on the performance of anthracite filter has been investigated. Media from eight water treatment plants have been collected. The sphericity of each media has been calculated by using well known headloss equations such as Kozeny equation, Dahmarajah equation etc.. Columns packed with anthracite media having different sphericity have been used to compare headloss development, floc accumulation in the bed, particles in embedded water, filtrate turbidities after backwash and so on. The repeated experiments have indicated that the sphericity of anthracite media may not have remarkable influence on the filter performance as it has been suspected. It also has been prospected in the experiment that the media of higher sphericity would store more particles in the bed and give better filtrate quality, if provided that the effective size and the size distribution of media would be the same.

Key words: Sphericity, filtration, anthracite media, headloss

주제어: 원형도, 여과, 여재, 손실수두, 입자, 탁도

1. 서 론

여과수의 수질에 영향을 미치는 인자들은 원수의 수질, 여재의 특성, 여과속도 등 여럿이 있으며 이러한 개개의 인자들은 여과지 상태에 따라 단독 또는

복합적으로 여과수질에 영향을 미친다. 지금까지 대부분의 여과지 설계와 운전에는 여과속도나 하부집수 장치 형태, 여층의 두께, 여재 규격 등에 주로 관심이 모아져 왔다. 여재 규격에는 일반적으로 유효경, 균 등계수, 최대경, 최소경 등이 설계에 이용되고 있으며, 각종 진단 및 평가의 기준이 되고 있다. 원형도

*Corresponding author Tel: +82-2-3290-3976, FAX: +82-2-928-730, E-mail: eechoi@korea.ac.kr (Choi, S.I.)

(Sphericity) 역시, 이와 같은 여재의 물리적 특성 중 하나이며 여재 형태를 나타내는 값이다. 즉, 여재와 동일한 부피를 갖는 구(sphere)의 표면적을 실제 여재의 표면적으로 나눈 값이다. 따라서 원형도 값이 1에 가까워질수록 여재 형태는 점점 공 모양을 띠게 된다. 많은 정수장 운영자들이 막연하게나마 공 모양의 여재가 많은 여과지와 각진 모양의 여재가 많은 여과지 사이에는 여과효율에 차이가 있을 것으로 추정하고 있다. 또한 원형도도 여재 개개의 원형도와 모래여과상의 원형도와는 일치한다고 할 수 없으나 아직 여과상의 원형도를 측정하는 공인된 방법은 없었다고 할 수 있다.

이에 대하여 이미 발표된 논문에서 여과상에서 평균적인 여재 원형도를 측정하는 방법이 제시되었으며(정원석, 최승일 2005), 모래여재의 원형도에 의한 영향은 평가된 바가 있다. 그러나 모래보다 원형도가 낮으며, 마모가 심할 수 있는 안쓰라사이트 여재의 원형도가 여과에 미칠 영향의 여부에 대하여는 아직 실험을 통하여 평가된 바가 없다. 그러므로 본 연구는 이미 발표된 모래의 원형도 측정에 사용된 방법을 사용하여 안쓰라사이트의 원형도가 여과에 미치는 영향을 평가하여 보았다.

2. 원형도 측정에 대한 이론적 방법

2.1. 변형된 Stoke's Law에 의한 원형도 측정

수중에서 입자가 침강할 때 중력과 부력 그리고 저항력을 받는다. 입자의 침강속도는 부력과 항력의 합이 중력과 동일해 질 때까지 증가하다가 힘의 합력이 서로 상쇄되면 등속이 된다. 원형입자가 수중에서 침강할 때 최종침강속도를 나타내는 아래 식 (1)은 이러한 힘의 균형이 수식으로 표현된 것이며 Stoke's Law 라고 불리운다.

$$V_s = \sqrt{\frac{4gd_s(\rho_s - \rho_l)}{3\rho_l C_D}} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, ρ_s : 입자의 밀도

ρ_l : 유체의 밀도

d_s : 입자의 직경, cm

C_D : drag force coefficient

R_e : Reynold's Number

그런데 고요한 수면에서 입자의 침강은 대부분 층류 영역이므로 레이놀드 수(R_e)가 $0.5 < R_e < 10^4$ 범위에 들게되고 따라서 항력계수 C_D 를 $24/R_e + 3\sqrt{R_e} + 0.34$ 로 치환시키고 입자의 원형도(sphericity)를 고려한 레이놀드수 R_e 를 $(\psi V_s d_s)/\nu$ 로 하면 식 (1)은 식 (2)와 같은 형태로 변형된다.

$$v_s = \sqrt{\frac{4g\psi d_s(\rho_s - \rho_l)}{3\rho_l \left(\frac{24}{\rho_l v_s \psi d_s} + \frac{3}{\rho_l v_s \psi d_s} + 0.34 \right) \mu}} \quad \text{식 (2)}$$

여기서 Ψ : sphericity

μ : 물의 점성계수

식 (2)에서 알 수 있듯이 원형도를 제외한 모든 미지수의 값을 측정하여 대입하면 여재의 원형도를 구할 수 있다. 단, 여기서 식 (2)가 매우 복잡한 형태이므로 trial & error 방법을 사용하여 반복적인 계산을 하여 해를 구할 수 있다.

2.2. 여재 팽창률 및 최소유동화 속도에 의한 원형도 산출

여과상의 역세척시 여재팽창율을 예측하는 방법도 여재의 원형도를 포함하고 있으므로 팽창식과 여재팽창 실험을 통해서도 원형도를 산출할 수 있다. 여과상의 팽창을 예측하는 대표적인 식은 Fair & Geyer가 팽창시 손실되는 수두와 팽창률과의 관계에서 유도한 Fair & Geyer 식, Dharmarajah 식 등 여럿이 있으나 본 연구에서는 가장 많이 사용되는 Fair & Geyer 식, Dharmarajah식에 대하여 알아보겠다.

① Fair & Geyer식에 의한 원형도 산출

Fair & Geyer의 팽창된 여과지의 공극률을 예측하는 식은 아래 식 (3)과 같다.

$$\frac{\epsilon_c^3}{1 - \epsilon_c} = \frac{k}{g} \frac{\mu}{\rho_s - \rho} \left(\frac{6}{\psi d_{eq}} \right)^2 V_b \quad \text{식 (3)}$$

여기서, ϵ_c : 팽창된 여과지의 공극률

k : Kozeny 상수, 보통 여과지에서 5

g : 중력가속도, 980cm/sec²

μ : 점성계수

- ρ_s : 여재의 비중
- ρ : 유체의 비중
- Ψ : 원형도
- d_{eq} : 동일 체적의 구에 대한 입경(cm)

이 식에서 물의 흐름이 최소유동화 속도 일때의 여재의 공극률 등 다른 미지수의 현장 측정값을 대입하면 여재의 원형도를 구할 수 있다. 단 Fair & Geyer 식은 60년대 이후부터 정수장 여과지 시설계획에 가장 많이 사용되고는 있으나 실제 팽창 보다 과도한 예측이 된다는 평가가 있다.

② Dharmarajah 식에 의한 원형도 산출

Dharmarajah 식은 여재 팽창시 공극률에 의한 Reynolds Number와 원형도 그리고 공극률에 따른 A1 함수를 연립하여 만들어진 식으로 비교적 여재의 종류에 상관없이 실제와 잘 부합하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 Dharmarajah 식을 사용하여 비교적 정확하게 여재의 원형도를 산출할 가능성이 높다. 식 (4), (5), (6)은 Dharmarajah 식이다(Dharmarajah & Cleasby, 1986).

$$Re = \frac{V}{\epsilon} \frac{\epsilon}{Sv(1-\epsilon)} \frac{\rho}{\mu} = \frac{V\rho}{Sv(1-\epsilon)\mu} \quad \text{식 (4)}$$

$$A_1 = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{Sv^3\mu^2} \quad \text{식 (5)}$$

$$\log A_1 = 0.56543 + 1.09348 \log Re_1 + 0.17971(\log Re_1)^2 - 0.00392(\log Re_1)^4 - 1.5(\log \psi)^2 \quad \text{식 (6)}$$

- 여기서, ϵ : 팽창된 여과지의 공극률
- V : 최소유동화속도, Vmf
- g : 중력가속도, 980cm/sec²
- μ : 점성계수
- ρ_s : 여재의 비중
- ρ : 유체의 비중
- Ψ : 원형도
- S_v : 표면계수 (불규칙 형상에 대해서 $6/(\Psi d_{eq})$ 임)

2.3. 여과상의 손실수두에 의한 원형도 산출

여과상의 손실수두도 여재의 원형도에 영향을 받는다. 그러므로 여재의 원형도를 변수로 포함하고 있는 손실수두 공식을 통해서도 여재의 원형도를 산출할 수 있다. 여과상의 손실수두를 구하는 식 중에 원형도를 포함하고 있는 공식은 Kozeny 식이 있다. 아래에 Kozeny식을 정리하였다.

$$\frac{h}{l} = \frac{K\mu}{\rho g} \times \frac{(1-\epsilon_0)^2}{\epsilon_0^3} \times \left(\frac{6}{\phi}\right)^2 \times \sum \left(\frac{P_i}{d_i^2}\right) V \quad \text{식 (7)}$$

- ϵ_0 : 여과지의 공극률
- K : Kozeny 상수, 보통 여과지에서는 5,
- g : 중력가속도, 980cm/sec²
- μ : 점성계수
- ρ : 유체의 밀도
- Φ : 원형도
- d_{eq} : 평균여과사 입경(cm)

3. 실험재료 및 방법

3.1. 실험재료

본 실험은 한국수자원공사의 정수장으로부터 총 8종의 안쓰라사이트 여재를 수집하여 진행하였다. 정수장 내 파일롯 플랜트를 설치하고 실제 공정의 침전수를 사용하거나 정수장 유입 원수에 응집제를 적정 주입하여 여과 및 역세척 실험을 실시하였다. 여재는 체분리를 하여 동일한 체에 남겨진 여재만을 선별하

Table 1. Operation parameters of pilot plant

	description	range
raw water	Paldang turbidity (NTU)	average 2NTU
	temperature (°C)	4°C~15°C
	pH	average 7.6
	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	average 50mg/L
influent to anthracite	Turbidity of influent to anthracite	0.2-0.5NTU
	piked water	2-4NTU
coagulant	PACl (Poly Aluminum Chloride)	10-20mg/L
	PACS	10-15mg/L
operation	filtration rate (m/day)	120-150m/day
	backwash rate (m/min)	0.4-1.2m/min
media	diameter of anthracite (mm)	1.4-1.7mm

여 사용하였으며 입도분석 과정을 거쳐 원형도 외에 입경, 균등계수 등 기타 물리적 조건은 동일하도록 하였다. 자세한 실험 조건은 Table 1과 같다.

3.2. 실험장치

실험 장치는 내경 4.4cm, 총 길이 2m인 아크릴 컬럼(column)과 유입수를 공급하는 정량펌프 1대 그리고 유량을 조정할 수 있는 유량계로 구성하였다. 4개의 컬럼을 각각 독립적으로 설치하였으며 20cm 두께의 지지 자갈층과 60cm 두께의 모래여재로 구성하였다. 여재 측면은 5cm와 10cm 간격으로 수위계(manometer)를 설치하였고 별도로 직경 10mm의 구멍을 뚫어 시료 채취가 가능하도록 하였다. 실험장치의 전체적인 구성도는 Fig. 1과 같다.

3.3. 실험방법

실험은 크게 두 부분으로 나뉘어 수행되었다. 첫째는 여재의 원형도를 측정하였으며, 다음으로는 여재의 원형도가 여과와 역세척 효율에 미치는 영향에 관하여 실험하였다. 여재의 원형도를 측정하는 실험에서는 이미 발표한 바와 같이(정원석, 최승일 2005) 개개의 여재 입자에 대한 원형도를 측정하는 것은 여과지 효율조사에 있어서 의미가 없기 때문에 여층 전체의 원형도를 결정할 수 있는 방법을 사용하였다. 즉 여과시 손실수두를 계산하는 식 중에서 원형도를 변수로 포함하는 공식을 선정하여, pilot column 실험을 통하여 손실수두와 여타 물리적 변수를 모두 측정 한 후 여재의 평균적 원형도를 역산출하는 방법이다. 다음으로 원형도가 다른 여재가 여과와 역세척에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 여재를 pilot column

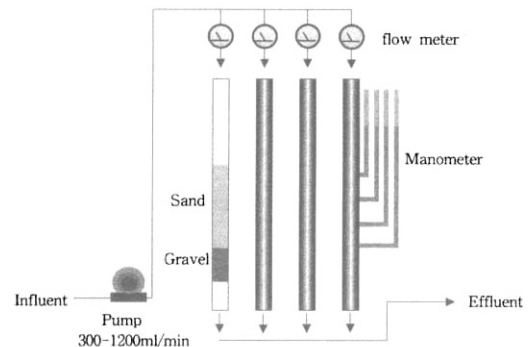


Fig. 1. Schematic layout of the experiment.

에 충전하고 여과를 진행시켰다. 여과 과정에서 나타나는 유출 수질의 변화, 여재 내부의 변화, 여과지속 시간의 변화 등을 조사하고 여과 후 여재 깊이별 역류 탁질량 조사 및 역세척 효과를 조사하였다

4. 연구결과

4.1. 여재별 원형도 조사결과

여재별 원형도를 조사한 결과 각각의 식의 이론적 배경 차이 때문에 서로 일치하는 값을 얻지 못했지만 크고 작음에 따른 경향성은 어느정도 있었다. 예를 들어 Kozeny식에 의한 원형도 값이 크다면 Dharmarajah 식에 의한 결과도 비교적 큰 값을 나타냈다. Table 2는 각 식에 따라 측정된 안쓰라사이트 원형도의 값을 산출한 것이다.

산출결과 보여지는 것과 같이 동일한 여재에 대하여서 각 산출식에 따른 원형도는 모두 다르게 나타나고 있다. 여재의 침강식을 이용하여 도출한 여재의 원형도가 0.33에서 0.51 사이로 가장 적게 평가되었

Table 2. Sphericity of media measured this experiment

sample	approximate used years	Geomic coverage of Anhracite (mm)	ϵ porosity	unit weight (g/cm ³)	Sphericity of anthracite (Ψ)				
					Modified Stoke's Law	Kozeny Eq.	Ergun Eq.	Dharmarajan Eq.	Fair & Geyer Eq.
No. 1	새것	1.54	0.48	1.49	0.40	0.64	0.64	0.49	0.57
No. 2	1년	1.54	0.46	1.53	0.34	0.61	0.61	0.49	0.57
No. 3	2년	1.54	0.46	1.54	0.33	0.58	0.57	0.49	0.57
No. 4	3년	1.54	0.46	1.47	0.40	0.64	0.63	0.53	0.62
No. 5	3년	1.54	0.46	1.47	0.46	0.66	0.66	0.53	0.61
No. 6	6년	1.54	0.45	1.50	0.37	0.71	0.71	0.56	0.65
No. 7	7년	1.54	0.50	1.50	0.44	0.65	0.65	0.52	0.59
No. 8	9년	1.54	0.52	1.41	0.51	0.64	0.63	0.52	0.59

으며, 여재의 역세척 시 팽창율을 계산하는 식을 사용하여 도출된 원형도 값이 대부분 0.49~0.65 사이의 값들을 나타내었다. 반면 여과시 여과 손실수두를 계산하는 공식으로 구한 원형도는 대부분 0.6에서 0.7 사이의 값으로 세가지 방법 중에서는 비교적 현실적으로 인정되어 오던 원형도와 유사한 값들을 도출하였다. 원형도를 도출하기 위하여 사용한 식이 다름에 따라 원형도도 다르게 산출되는 것을 볼때 정확한 원형도의 산출이 매우 어렵고 난이함을 알 수 있었다. 다만 사용된 도출 방법에 관계없이 원형도가 작은 여재들은 다른 모든 방법에서도 역시 적은 것으로 나타났다. 그러나 예상했던 바와는 달리 사용기간이 오래되었다고는 하나 원형도의 변화는 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 오히려 6년간 사용된 안쓰라 사이트 여재의 원형도가 더 크게 평가되어 사용기간 보다는 여재의 생산과정과 방법에 따른 원형도의 차이가 더 큰 것으로 예측할 수 있다.

3.2. 여재 원형도별 여과수질 및 손실수두 조사 결과

원형도의 차이가 여과수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 여과과정에서 수질 및 손실수두 발달과정을 살펴보았다. 여재의 선택은 Kozeny 공식으로 평가한 원형도와 사용기간을 참고하였다. 여재 중에서 새로이 포설한 것으로 원형도가 0.64로 나타난 1번 여재, 사용기간이 2년으로 원형도가 0.58인 2번 여재, 사용기간이 3년으로 원형도가 0.66인 5번 여재와 사용기간은 6년이지만 원형도는 0.71로 평가된 6번 여재를 상기 Fig. 1의 여과 column에 충전하여 손실

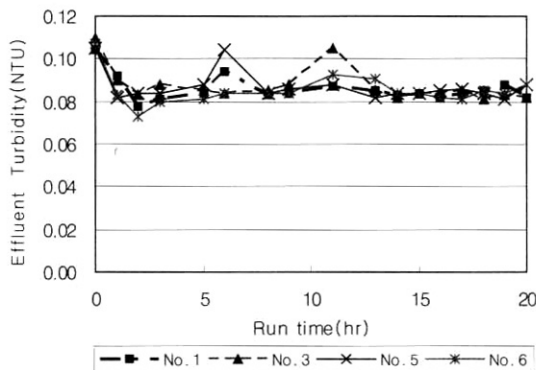


Fig. 2. Effluent turbidity versus filter run time.

수두의 발달과 여과수질을 조사하였다. 실험을 실시한 결과 아래 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 3번과 5번 여재가 충전된 여과 column의 여과수에서 한번씩 0.02NTU 정도의 차이를 보였으나, 대부분의 수질이 0.08에서 0.09NTU의 탁도를 나타내었으며 여과수질은 원형도에 따른 차이를 구별할 수 없었다. 또한 여과지 운전 시간에 따른 손실수두의 발달은 거의 직선 형태를 보였으며 원형도가 서로 다른 여재에 의한 손실수두 축적속도도 차이가 구분되지 않았다. 이로 평가하면 원형도의 차이가 여과수 수질이나 손실수두의 축적에 차이를 가져온다고 할 수 없었다.

3.3. 여과지 운영에 따른 내부 손실수두 변화

여과지 내부의 손실수두 변화 양상을 조사하는 것은 여과지의 내부여과 또는 표면여과 경향성을 알 수 있는 손쉬운 방법이다. 또한 원형도의 차이로 인한 여과양상의 차이를 구분해 낼 수 있는 방법이기도 하다. 이번의 실험에서는 원형도는 0.65로 유사하지만 사용기한이 더 오래된 7번 여재를 5번 여재와 교체하였다. 여재를 교체한 이유는 계산상 원형도는 유사하게 나타나지만 사용기한이 오래된 것이 수식으로 표현되는 것 이상의 차이를 유발할 수 있을 가능성을 조사하기 위한 것이었다. 여재별로 여과 column에 충전하고 여과지속시간에 따라 마노메타에 나타나는 손실수두의 크기를 측정하여 내부 손실수두의 변화를 조사하였다. 조사결과는 Fig. 4, 5, 6, 7에 나타나 있다. 그래프의 y축은 여과상 표면을 0점으로 하여 여과층 깊이를 나타내었으며, x축은 역시 여과상 표면의 압력을 0점으로 하여 여과상 깊이에 따라 압력강하를 나타내었다. 그러므로 도면에 압력이 음수로 나타나는 것이 여층에 부압이 걸린것은 아니고, 표면에 서의 압력강하를 나타낸다.

안쓰라사이트 여재별 내부 손실수두 발달은 모두

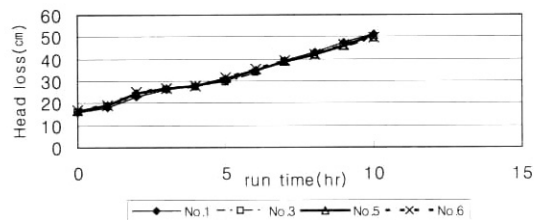


Fig. 3. Head loss development according to filter run time.

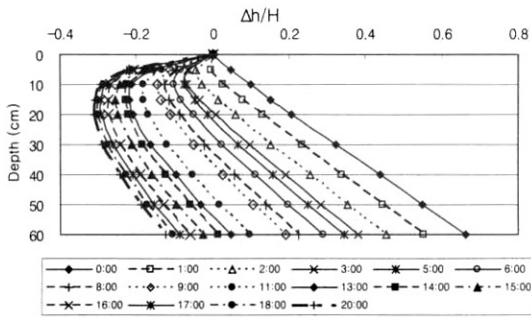


Fig. 4. Distribution of head loss along the filter depth packed with No. 1 media.

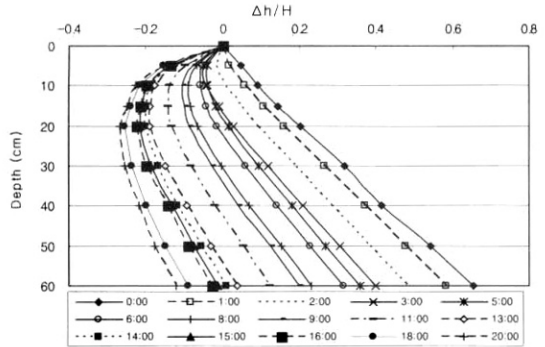


Fig. 7. Distribution of head loss along the filter depth filled with No. 7 media.

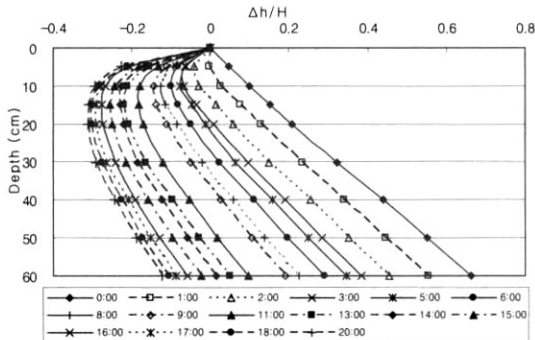


Fig. 5. Distribution of head loss along the filter depth filled with No. 3 media.

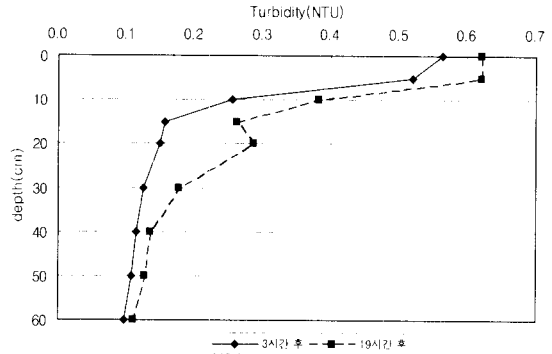


Fig. 3. Turbidity along the depth of filter packed with No. 3 media.

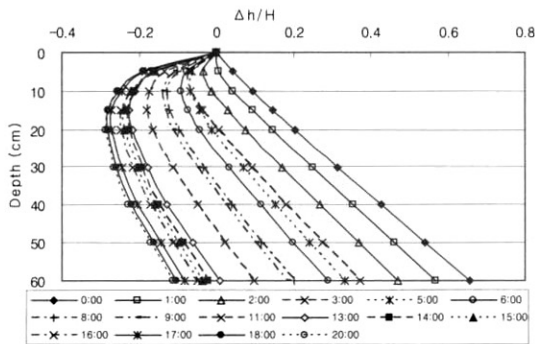


Fig. 6. Distribution of head loss along the filter depth filled with No. 6 media.

나타날 만큼의 차이는 없다고 할 수 있었다.

3.4. 여과지 내부의 수질변화

여재의 원형도에 따라 여과 수질의 차이를 조사하기 위한 방법의 하나로 여재 깊이별로 시료를 채취하여 시료수 내의 탁도와 입자개수를 조사하였다. 여층 내부의 탁질 제거양상을 추적함으로써 원형도의 차이가 원수내 입자들의 제거에 과연 차이를 나타내는지 알아보기 위함이었다. 이번 실험에는 원형도가 가장 작은 것으로 평가된 3번 여재와 원형도가 가장 크게 산출된 6번 여재를 비교하여 보았다. 실험결과 시료수의 탁도는 Fig. 8, 9에 입자개수의 결과는 Fig. 10, 11에 도시되었다.

비슷한 결과를 얻었다. 4개의 서로 다른 원형도를 가지는 여과상의 손실수두는 약 20시간 운전에서 여과상 표면에서 약 20cm 깊이에서 0.32kg/cm²의 수두강하를 가져왔다. 1번, 3번, 6번, 7번 여재로 구성된 여과 column 내부의 손실수두 구축과정은 비록 완전하게 일치하는 것은 아닐지라도 기능상의 No. 6 차별로

앞서 손실수두 변화와 마찬가지로 3번 여재와 6번 여재의 경우 Kozeny 식을 기준으로 18% 정도의 원형도 차이가 있었으나 여과 수질에 특별한 차이를 발견할 수 없었다. 여재 내부의 탁질 제거 양상은 Fig. 8과 Fig. 9에서처럼 안정적으로 제거되는 모습을 나타

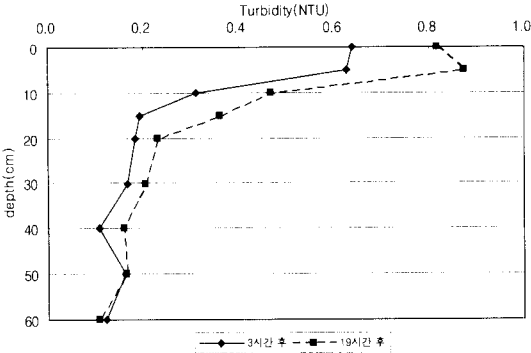


Fig. 9. Turbidity along the depth of filter packed with No. 6 media.

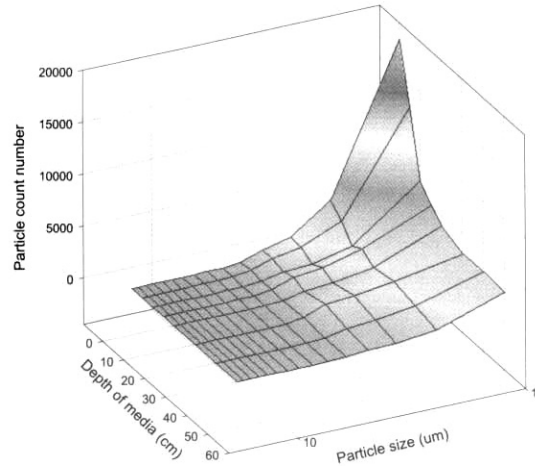


Fig. 11. Particle count for the effluent from No. 6 media after 20 hours operation.

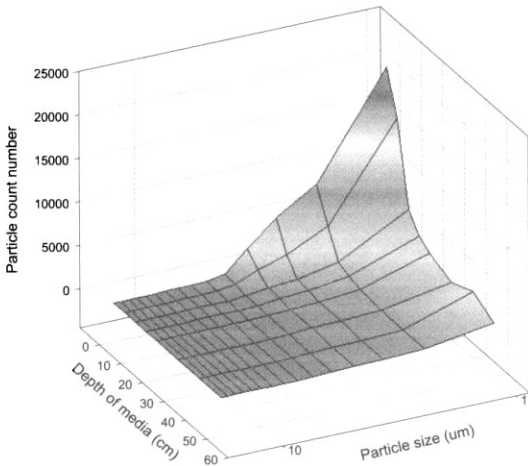


Fig. 10. Particle count for the effluent from No. 3 media after 20 hours operation.

났다. 유출수 탁도와 마찬가지로 입자개수 조사에 있어서도 원형도와 상관없이 표층부터 점진적으로 안정하게 제거되는 모습을 나타냈다.

4. 결 론

이상의 결과를 정리하면 아래와 같다.

① 안쓰라사이트 여재의 원형도(Sphericity, Ψ)를 침강식, Kozeny식, Dharmarajah식을 사용하여 측정 한 결과 일반적인 안쓰라사이트 원형도 값이 0.6 정도임을 감안할 때 Kozeny식에 의한 원형도 계산이 상대적으로 유사한 결과를 나타내었다.

② 안쓰라사이트 여재의 원형도 차에 의한 여과 손실수두의 발전과 여과 수질 차이는 발견할 수 없었다.

③ 여과상 내부의 압력강하도 안쓰라사이트 여재의 원형도에 따라 차이가 발생된다고 평가할 수 없었다.

④ 여과상 깊이별 유출수 탁도와 입자분포의 변화에서도 안쓰라사이트 여재의 원형도에 따른 차이는 발견할 수 없었다.

이와같은 실험결과로 평가하면 안쓰라사이트 여재에서는 원형도의 차이에 따라 여과기능에 차이는 발생되지 않는다고 할 수 있었다.

참고문헌

- 김상구 (1993) 급속여과법에 의한 정수처리 특성에 관한 연구, 동아대학교 대학원 박사학위논문
- 박영숙 (1995) 모래의 입도분포가 여과효율에 미치는 영향, 한양대학교 대학원 박사학위논문.
- 최승일, 최준석 (1996) 여과재의 종류에 따른 최소유동상 속도 및 팽창에 관한 연구, *상하수도학회지*, 10(2), p. 55.
- 최승일, 원동찬 (1998) 침강속도에 의한 이중여재 입경 선정 방법, *수처리기술*, 6(2), pp. 53-62, 3호
- 정원석, 최승일 (2005) 여과지에서 여재원형도 결정방법에 대한 연구, *상하수도학회지*, 19(5), pp. 565-571.
- Cleasby, J.L. (1977) Filtration I — Hydraulic Considerations and Backwashing Operations in Granular Bed Filtration, Proceedings Nineteenth Annual Public Water Supply Engineers' Conference — Water Treatment, Part II; Department of Civil Engineering - University of Illinois at

- Urbana-Champaign, American Water Works Association, Illinois Environmental Protection Agency, and Illinois Section AWWA. p 7-22, April 5-7, 1977.
7. Dharmarajah, A.H. (1982) Effect of Particle Shape on Prediction of Velocity-Voidage Relationship in Fluidized Solid Liquid Systems., Ph.D dissertation., Iowa State University.
8. Muslu, Y. (1987) A New Approach to the Prediction of Fluidization of Filter Media, Teknik Universite, Istanbul, Turkey, *Water Research*, **21**(9), 1053-1060.