

# 호소수질 개선을 위한 원통형 여과장치의 설계요소 연구

## A Study on the Design Factors of the Cylinder-Shaped Filter for Improving Reservoir Water Quality

이선호 · 김승현<sup>†,\*</sup>  
Sun-Ho Lee · Seung-Hyun Kim<sup>\*,\*</sup>

(주)삼영이엔티 · \*영남대학교 환경공학과  
Samyoung Engineering & Technology Co., Ltd.

\*Department of Environmental Engineering Department, Yeungnam University

(2009년 2월 16일 접수, 2009년 6월 26일 채택)

**ABSTRACT** : In order to obtain knowledge on the design and operation of practical scale Cylinder-Shaped Filters, pilot experiments were conducted to observe the effects of stepwise augmentation of production rate on water quality and clogging. A production rate increase from 0.8 L/min to 2.4 L/min did not appear to affect the removal efficiencies of BOD(Biochemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), and turbidity, as the values were maintained around 80%, over 95%, and over 90% respectively; however, COD(Chemical Oxygen Demand) removal decreased from 44% to 29%. In addition, results indicated an inverse relationship between production rate and detention time required to remove unit contaminant concentration, the observed detention time in the filter to remove 1 mg-COD/L being 83 minutes for the production rate of 0.8 L/min and 45 minutes for the production rate of 2.4 L/min, suggesting that a relatively higher production rate is likely to be more advantageous in the purification of reservoir water when compared to a lower production rate. Clogging was observed to originate from the surface and advance to the center of the filter, and although clogging seemed to increase as the production rate increased, this did not cause any difficulties in normal functioning of the filter for more than 2 years of operation, suggesting that this filter system can be used effectively in the purification of reservoir water.

**Key words** : Porous Media, Production Rate, Pilot Experiment, Cylinder-Shaped Filter, Clogging

**요약** : 원통형 여과장치의 실규모 설계 및 운전에 필요한 기초자료를 얻기 위하여 산출유량을 단계적으로 증가시키는 파일럿 실험을 수행하면서 수질지표들과 폐색도 진행을 조사하였다. 유량을 0.8 L/min에서 2.4 L/min로 증가시키는 경우 BOD, SS, 그리고 탁도의 제거율은 각각 약 80%, 95% 이상, 그리고 90% 이상으로 거의 일정하게 유지되었으나 COD 제거율은 44%에서 29%로 감소하였다. 산출유량이 증가할수록 오염물 단위농도를 제거하는데 소요되는 체류시간은 감소하였으며, 1 mg-COD/L를 제거하는데 필요한 체류시간은 산출유량 0.8 L/min인 경우 83분이었고 2.4 L/min에서는 45분이어서 양수율이 낮은 것보다는 높은 것이 호소의 오염제거에 더 유리함을 알 수 있었다. 여과장치의 폐색은 표층에서 집수관쪽으로 진행하며, 산출유량이 증가하면 폐색도도 증가하지만 2년 이상의 운전에도 폐색이 문제되지 않아 본 장치가 호소의 수질개선에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대되었다.

**주제어** : 다공매질, 산출유량, 파일럿실험, 원통형 여과장치, 폐색

### 1. 서론

호소의 수질을 개선하기 위해 유입되는 오염물질의 경감을 위하여 노력을 기울이는 있으나 많은 노력과 여러 가지의 규제에도 불구하고 대부분의 다목적댐의 수질은 2급수 내지 4급수에 이르며,<sup>1)</sup> 도심호소의 경우에는 4급수 또는 그 이상까지 악화되기도 하여 이의 개선을 위한 추가적인 노력이 요구되고 있다.<sup>2)</sup> 불가피하게 유입되거나 호소 내부에서 생성되는

오염을 제거하기 위해서는 먹이의 연쇄조절이나 호수내의 유동제어를 통한 오염물 제어법이 적용되거나<sup>3)</sup> 수중폭기 등의 다양한 공학적 수단을 적용하기도 한다.<sup>4~9)</sup> 그러나 이들 공법들은 오염제거에 필요한 환경을 조성해 주는 간접적인 방법이어서 오염제거효율이 낮거나, 복잡한 기계장치나 화학약품 그리고 전문지식이 필요하거나, 얇은 수심에서 성장한 식물체를 주기적으로 제거해야 하기 때문에 유지관리가 어렵고, 또는 별도의 부지가 필요하거나 주변경관을 해치는 처리장의 설치가 필요하기도 하여 이를 해결할 수 있는 적절한 공법의

<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail : kimsh5707@yu.ac.kr Tel : 053-810-2548 Fax : 053-810-4624

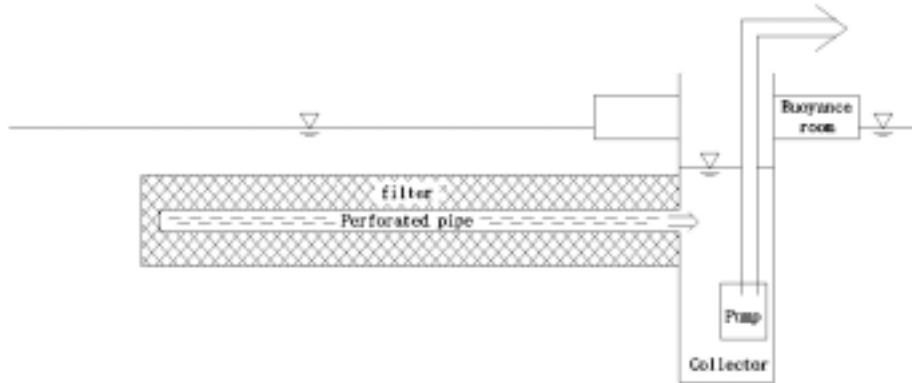


Fig. 1. Schematic diagram of the cylinder-type filter system.

개발이 필요한 실정이다.

오염된 물이 짧은 깊이의 다공매질을 통과하면서도 그 수질이 크게 개선되었다는 여러 연구결과를 응용하여,<sup>10~14)</sup> 기존 호소수질 개선공법들의 단점을 보완하기 위한 방안으로 ‘원통형 여과장치’가 개발되었으며, 이에 관한 첫번째 연구인 이와 김의 연구에서는 실험을 통해 이 장치가 BOD와 SS 그리고 탁도의 제거에 큰 효과가 있고 COD의 제거에도 효과가 상당하며 2년 가까운 운전에도 폐색으로 인한 유량감소가 없어 호소수질개선에 사용될 수 있음을 확인하였다.<sup>15)</sup> 이 장치는 개공눈(slot)이 다수 설치된 집수관을 일정두께의 토목섬유로 감아서 물속에 수평으로 설치한 후 이를 집수실에 연결하고, 다공질인 섬유층을 통과하면서 정화된 후 집수관을 통해 집수실로 모여든 여과수를 양수하여 수역의 다른 지점으로 방류하거나 상수원수 등의 용도로 사용하는 것이다. 이 장치의 개요도는 Fig. 1에 있다.

이와 김의 연구에서 사용한 실험방법은 일정한 직경과 길이의 원통형 다공매질 중심에 집수관을 설치하여 한가지의 산출유량만으로 양수하면서 여과거리에 따라 여러 가지 오염항목들이 제거되는 정도를 파악하였다.<sup>15)</sup> 그러나 이 장치를 실규모로 설치 및 운영하기 위해서는 산출유량에 따른 다공매질의 적절한 소요두께 즉 여재의 직경이 결정되어야 하고 장기간의 운전에 따른 다공매질의 폐색진행을 정량적으로 파악하여야 한다. 이러한, 집수관의 길이와 직경 그리고 개공을 등의 결정에는 본 장치와 수리학 및 수질학적으로 유사한 하상여과에서의 연구성과를 적용할 수 있다.<sup>16)</sup>

본 연구에서는 이와 김의 연구에서<sup>15)</sup> 연구 수행시 관측되었으나 보고되지 않은 다공매질의 폐색도 진행을 정량적으로 해석하고, 산출유량을 단계적으로 증가시키면서 오염물질들의 제거 정도와 매질의 폐색도 진행을 파악함으로써 본 장치를 실규모로 설계 및 운전하기 위해 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

본 연구에 사용된 장치는, 폭 12 cm이고 두께 약 1 cm인 폴리에스터 재질의 토목섬유 띠를 외경 10 cm, 길이 40 cm, 그리고 두께 2.2 mm인 아크릴 원통(집수관)의 한쪽 끝에 감아서 직경이 120 cm인 얇고 넓은 원통형태로 만든 후 원통형 섬유여재의 양쪽 면을 아크릴판으로 접합한 것이다. 여재의 중심부에 설치된 집수관은 줄눈을 다수 설치하여 개공율이 약 20%가 되도록 하였고 집수관의 한쪽은 얇은 아크릴판을 접합하여 폐쇄하였다. 사용된 폴리에스터 섬유 올의 직경은 8.6 μm이었고, 여재의 간극율은 약 97%이었다. 원통형 여재의 가장자리에서 집수관, 즉 중심방향으로 11 cm, 22 cm, 33 cm, 그리고 44 cm 지점에 시료채취구를 설치하여 시료채취와 수두측정에 이용하였다. 이 장치를 원수로 가득찬 수조의 바닥에 가라앉힌 후 여재의 중앙부에 있는 집수관에서 물을 양수하여 원수가 원통형 여재의 바깥(원주)면을 통해 유입되도록 하였다. 양수시 집수관의 수위는 여재보다 항상 높게 유지하여 여재에 불포화대가 형성되지 않도록 하였다. 실험장치의 개략도는 Fig. 2에 나타내었다.

실험장치는 경북 경산시에 소재한 저수지인 삼천지의 제방 동쪽 끝에 인접하여 설치한 가건물에서 가동하였고, 가건물은 온도를 조절하지 않았다. 원수는 삼천지에서 취수하였고, 수조로 원수를 계속해서 공급하여 수조의 수위를 일정하게 유지하였다. 본실험 이전에 예비실험을 수행하였으며, 본실험에 사용된 실험장치를 실내에 설치하여 운전하였다. 예비실험에서는 삼천지의 호소수와 본 장치를 통과한 여과수를 혼합하여 그 혼합액을 원수로 공급하였다. 이때 양수유량은 0.8 L/min이었다. 예비실험은 2006년 10월초부터 2007년 4월 말까지 약 7개월간 지속하였으며, 다공질 여재를 이용한 호소수질 개선이 가능한지 확인하고 부가적으로는 여재내부에 미생물막을 형성하기 위해서였다.

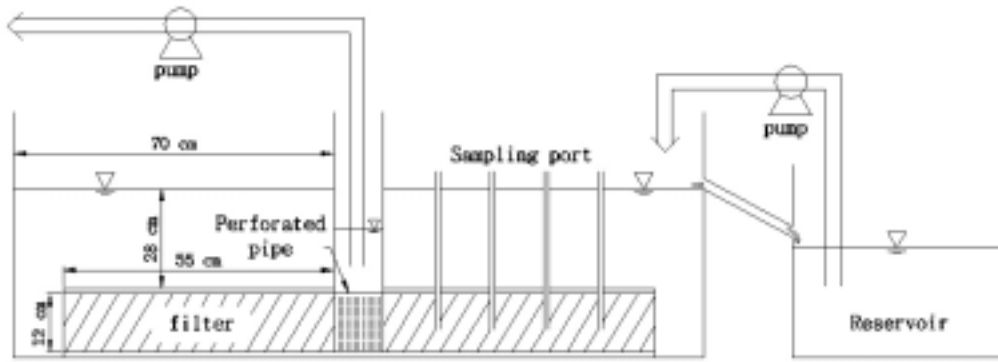


Fig. 2. Schematization of the experimental apparatus.

2007년 5월 1일 실험장치를 삼천지 인근의 가건물로 옮겨 본실험을 수행하였다. 본실험에서의 양수유량도 예비실험과 같은 0.8 L/min이었다. 운전 시작 후 매주 원수와 각 시료채취구에서의 수두값과 시료의 pH, COD, 그리고 DO 등을 측정하였다. COD와 DO의 농도분포로 보아 운전을 시작한지 약 2주 후에 운전이 안정된 것으로 판단되어 5월 15일부터 각 시료채취구에서의 시료에 대해 본격적인 측정을 실시하였다. 측정항목은 앞의 항목들 이외에도 SS(Suspended Solids), 질소, 인 등을 포함하였으며, 2~3주 간격으로 2008년 5월 15일까지 1년간 분석하였다. 실험의 후반부터는 BOD<sub>5</sub>와 탁도의 측정도 추가하였다. 실험장치와 방법 그리고 예비실험과 약 1년간의 본실험 결과에 관해서는 이와 김의 연구에 상술되어 있다.<sup>15)</sup>

산출유량 0.8 L/min으로 약 1년 동안 가동한 후인 2008년 5월 15일 산출유량을 1.6 L/min으로 높였으며, 3주 후인 2008년 6월 5일에 그 운전이 안정화 된 것으로 판단하여 약 7주 동안 1~2주마다 각 시료채취구에서의 수두, pH, COD, BOD, DO, SS, 탁도 등을 측정하였다. 2008년 7월 31일 산출유량을 다시 증가시켜 2.4 L/min로 운전하였으며, 한달 후인 2008년 9월 1일에 그 운전이 다시 안정된 것으로 판단하였고 10주 동안 1~2주마다 앞의 항목들을 측정하였다. 운전이 안정화되는 것을 파악하기 위해서는 COD과 DO, 수두, pH, 그리고 탁도를 주 1회씩 측정하였으며, 이들 항목들 특히 COD 제거율이 일정하게 수렴하는 경우 운전이 안정화된 것으로 판단하였다.

본 연구에서 BOD<sub>5</sub>와 탁도의 분석은 Stanadard Method로<sup>17)</sup> 그리고 COD는 COD<sub>mn</sub>으로 HS-3100 Water Analyzer(휴마스사, 대한민국)를 이용하였다. DO는 Multi-parameter Analyzer C535(CONSORT사, 벨기에)로 그리고 pH는 692 pH/Ion meter (Metrohm사, 스위스)로 측정하였다. SS는 수질오염공정시험법에 의해 측정했다. 모든 시

료의 분석은 3회 반복 수행하였으며, 그 평균을 취하였다.

### 3. 여재의 수리학적 해석

본 연구에서 개발하고자 하는 장치는 오염제거효율이 높아야 할 뿐 아니라 폐색에 의한 산출유량의 감소도 크지 않아야 한다. 오염된 물이 다공매질을 통과하면서 그 수질이 개선되는 과정에는 오염물의 포획이나 흡착과 함께 오염물을 기질로 사용하는 미생물의 부착생장이 포함되므로 필연적으로 간극의 폐색이 수반되고 이는 투수계수의 감소로 이어져 산출유량을 감소시키게 된다. 따라서 이 여과장치의 설계를 위해서는 매질의 폐색특성을 파악할 필요가 있다.

다공매질의 폐색특성은 그 투수계수의 변화를 통해 간접적으로 파악할 수 있으며, 투수계수의 변화는 매질에서의 수두와 유량을 관측하여 파악할 수 있다. 이 과정에는 지하수 유동해석에 사용하는 수단을 적용할 수 있으며, 수부터 투수계수를 구하는 공식인 식 (1)를 사용한다.

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2 - h_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

여기서  $K$ 는 여재의 투수계수(cm/sec),  $Q$ 는 집수관에서의 산출유량(L/sec),  $b$ 는 여재의 두께(cm),  $r_1$ 과  $r_2$ 는 여재의 중심에서 반경방향으로의 거리(cm),  $h_1$ 과  $h_2$ 는 각각  $r_1$ 과  $r_2$ 에서의 수두(cm)를 나타낸다. 투수계수의 변화로부터 간극율의 변화를 알기 위해서는 식 (2)을 사용한다.<sup>19,20)</sup>

$$\frac{K}{K_0} = (1 - \alpha)^{19/6} \quad (2)$$

여기서  $K$ 는 생물막이 발달한 후의 투수계수(cm/sec),  $K_0$ 는 생물막이 없는 깨끗한 여재의 투수계수(cm/sec),  $\alpha = n_f/n$ 는

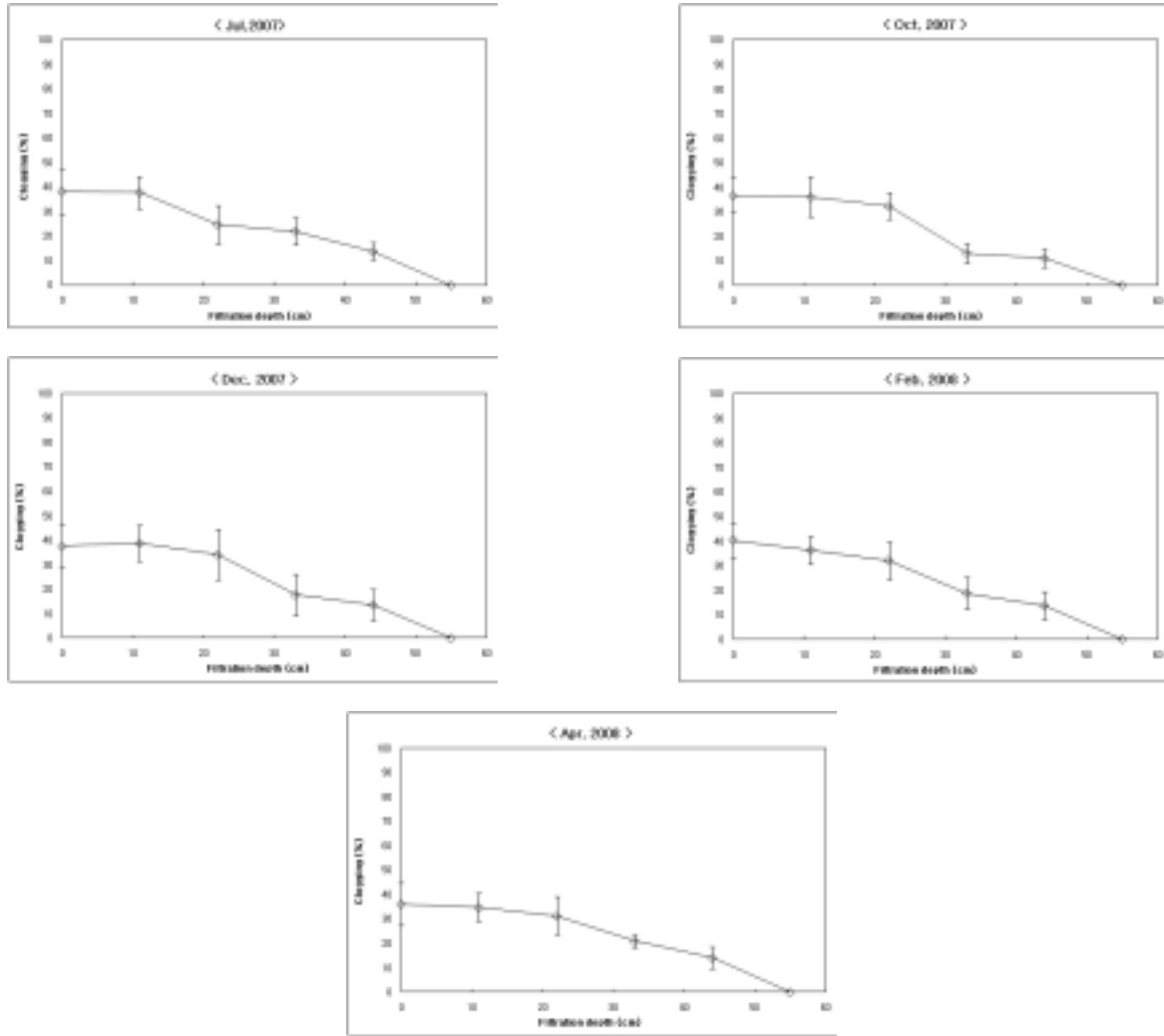


Fig. 3. Temporal variation of clogging of the cylinder-type filter during a year of experiment(constant production rate of 0.8 mL/min).

폐색도로 생물막이 여재의 간극에서 차지하는 비율(-),  $n$ 은 미생물이 없는 깨끗한 상태에서 간극율(-),  $\eta$ 는 미생물이 차지하는 공간의 간극율(-)을 나타낸다. 실험장치를 운전하면서 여재 각 위치에서의 수두측정치와 유량을 관측하여 식 (1)에 대입하면 각 구간별 투수계수를 얻을 수 있고 이를 식 (2)에 대입하면 각 구간별 폐색도( $\alpha$ )를 구할 수 있다.

#### 4. 결과 및 고찰

실험장치 제작 직후 수돗물을 이용하여 측정된 깨끗한 매질의 투수계수는 5 cm/sec로 굵은 자갈에 해당하는 상당히 큰 값이었다.<sup>21)</sup> 1년간의 본실험 동안 측정된 매질의 폐색도는 Fig. 3에 나타내었다. 예비실험이 진행되면서 매질의 가장자리에서부터 갈색으로 변하는 것을 관찰할 수 있었으며, 본실험

시작시에는 갈색구간이 매질의 가장자리에서 약 15 cm까지 진행하였다. 이보다 더 중심부쪽으로는 거의 균일하게 매우 연한 갈색을 띠고 있었다. 본실험 시작 약 3개월 동안에는 수두측정을 성공적으로 수행하지 못하였고, 2007년 7월부터 정상적으로 측정하였다. Fig. 3에서 운전이 계속됨에 따라 매질은 폐색되지만 가장자리에서의 폐색도가 최대 약 40%에 도달한 후에는 가장자리에서의 매질의 폐색율이 더 이상 증가하지 않고 폐색이 여재의 중심부로 점차 진행해 들어감을 알 수 있었다. 또한, 가장자리와 내부에서의 폐색도가 비슷한 것으로 보아 여재의 표층에 슬러지 케익이 형성되지는 않은 것으로 판단되었고, 이는 육안관측이나 손으로 만져서도 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 하상여과나 강변여과에서 매질의 표층에 생성되는 슬러지 케익에 의한 폐색이 매질의 내부 폐색에 비해 더 큰 수두손실을 발생시키는 것과는 대조적이라 할 수 있으며,<sup>22)</sup> 본 연구에 사용된 여재인 섬유율이 매우 가

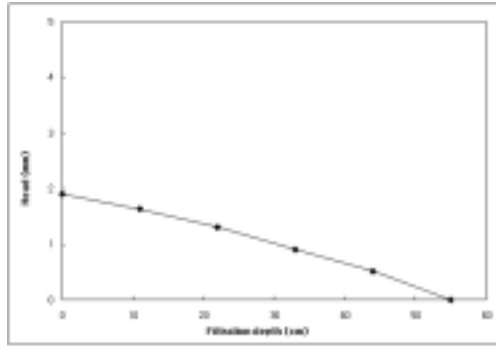


Fig. 4. An example of head distribution along the filter depth (measured on April 25, 2008).

늘고 간극도 클 뿐 아니라 그 간극율이 97% 정도로 보통의 토양에 대한 값인 30~40%에 비해 매우 크기 때문에 판단되었다. 여재의 가장자리에서 중심부로 22 cm 지점의 폐색도는 본실험 시작 약 6개월 후 폐색도가 40%로 증가하며, 33 cm 지점의 폐색도는 1년간의 본실험에서도 그 폐색도가 22%를 넘지 않는 것을 알 수 있었다. 그러나 점차 느려지기는 하지만 1년간의 본실험 동안 여재의 중심부 방향으로 폐색이 계속 진행되는 것을 알 수 있으며, 유량과 원수의 오염도가 일정한 경우 이러한 폐색은 일정한 깊이까지 진행하다가 멈출 것으로 예상되고 그 깊이는 여과수에 포함되어 공급되는 오염물과 여재의 내부에서 성장하면서 오염물을 기질로 사용하는 미생물의 양이 평형을 이루면 더 이상 증가하지 않을 것으로 판단된다. 본 연구에서 측정된 여러 지점의 수두는 그 차이가 크지 않았으며, 측정치의 한 예로 2008년 4월 25일의 수두분포를 Fig. 4에 나타내었다.

실험 전체에 걸쳐서 pH는 7.2~8.3이었으며, 원수보다 여과수에서 0.10~0.15 더 낮았고 이는 미생물 활동에 의한 생분해가 발생했음을 나타낸다고 볼 수 있다.<sup>23)</sup> 산출유량을 초기의 0.8 L/min으로부터 1.6 L/min과 2.4 L/min로 증가시킬 때 각 유량에서 여과거리에 따른 COD 농도분포곡선을 Fig. 5에 나타내었다. 여기에서 0.8 mL/min에서의 농도분포는 1년간 측정치의 평균을 나타내며, 농도 값의 오차범위가 다소 큰 것처럼 보이지만 이는 원수의 농도가 계절에 따라 변했기 때문이고 각 측정시 농도곡선의 형태는 거의 일정하였다. 유량이 증가해도 COD농도분포곡선의 형태는 거의 일정하여 여재의 표면부근에서 최대의 제거율을 보이고 여과깊이가 깊어지면서 제거율이 점차 감소함을 알 수 있다. COD 제거율은 0.8 mL/min의 유량에서 44%이었고 증가된 유량에서는 모두 약 29%로 거의 같았으며, 제거되는 농도는 1.2~2.0 mg/L이었다. 그러나 호소수에 포함된 유기물의 특성은 계절에 따라 다르고,<sup>15)</sup> 초기유량에 대한 자료는 1년간의

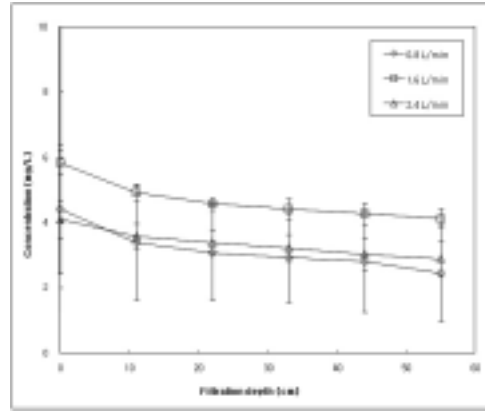


Fig. 5. COD concentration profiles along the filtration depth according to the production rate.

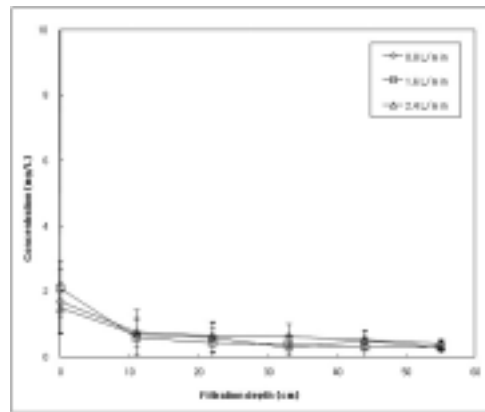


Fig. 6. BOD concentration profiles along the filtration depth according to the production rate.

평균치이지만 증가된 유량에 대한 자료는 각각 여름과 가을의 3개월 정도씩에 불과하여 계절적인 특성을 포함하고 있으므로 이 자료의 적용시 주의가 필요하다 할 것이다.

다공매질 원래의 간극율을 기준으로 1 mg/L의 COD가 제거되는데 필요한 여과수의 매질내 수리학적 체류시간은 유량 증가에 따라 각각 83분, 47분, 그리고 45분이어서 유량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 유량이 낮은 경우 쉽게 분해되지 않는 유기물까지 분해되기 때문에 판단된다. 한편, 오염물이 매질내에 체류하는 시간은 흡탈착 반응으로 인해 수리학적 체류시간보다 더 클 것으로 판단된다.<sup>24)</sup> 이로부터 본 장치를 호소수질 개선에 사용하는 경우 낮은 유량의 높은 오염제거율로 운전하는 것보다 오염제거효율이 낮더라도 큰 유량으로 운영하는 것이 COD제거에는 더 유리함을 알 수 있다.

산출유량을 증가시킬 때 각 유량에서 여과거리에 따른 BOD 농도분포곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 호소수의 BOD는 1.0~2.5 mg/L로 계절에 따라 달랐으며 COD<sub>Cr</sub>에 비해

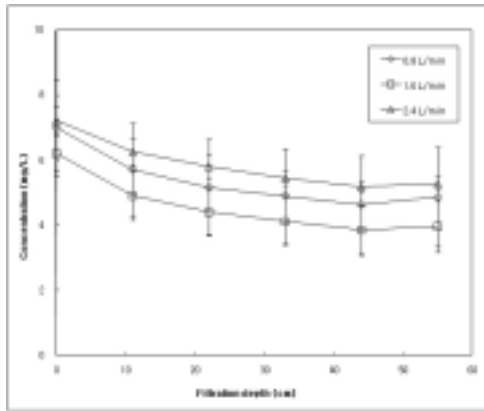


Fig. 7. DO concentration profiles along the filtration depth according to the production rate.

크게 낮은 편이었다.<sup>15)</sup> COD에서와 마찬가지로 BOD제거의 대부분은 10 cm의 여과에서 가장 활발하였으나 이보다 더 깊은 곳에서는 여재 단위 통과깊이당 제거율이 COD의 경우에 비해 더 낮았다. 이는 오염물질이 매질내에서 흡탈착을 동반하면서 이동함에 따라 체류시간이 증가하여 난분해성 유기물의 일부가 이분해성인 BOD로 전환되었기 때문으로 추정된다. 전체적인 BOD 제거효율은 75~85%로 산출유량에 따르는 않았으며, 이는 오염물의 생분해특성이 계절에 따라 변했기 때문으로 판단된다.<sup>15)</sup> 한편, 1 mg/L의 BOD가 제거되기 위해서 필요한 여과수의 매질 체류시간은 유량증가에 따라 125분, 46분, 그리고 45분으로, 유량이 작을 때는 COD의 경우에 비해 오히려 더 크며, 이는 Fig. 6이 원수의 BOD가 여재를 통과함에 따라 감소하는 것만을 나타내는 것이 아니라 COD에서 BOD로 전환되는 현상도 나타내기 때문으로 판단된다.

산출유량을 증가시킬 때 각 유량에서 여과거리에 따른 DO 농도분포곡선을 Fig. 7에 나타내었다. DO농도분포는 유량증가와 무관한 것으로 보이며, BOD보다는 COD 농도분포와 유사하였고, 이는 앞에서 언급되었듯이 체류시간 증가로 인해 일부 난분해성 오염물이 이분해성으로 전환되는 현상과 일부 암모니아성 질소의 산화로 인한 산소소모에 기인하는 것으로 판단된다.<sup>15)</sup> 따라서 Fig. 6의 BOD농도분포는 호소내의 BOD물질이 여재를 통과하면서 감소하는 현상만을 나타내는 것이라기 보다는 COD물질이 BOD로 전환되어 분해되는 과정까지도 반영하고 있다고 판단된다. 또한, 본 실험조건에서는 전체 여재깊이에 걸쳐 호기대가 유지됨을 알 수 있으며, 집수관 부근에서 DO가 오히려 증가한 이유는 대기중의 산소가 확산하였기 때문으로 판단된다. 2008년 12월 3일 실험장치를 해체하였을 때 여재의 색깔은 표면에서의 진한 갈색에서

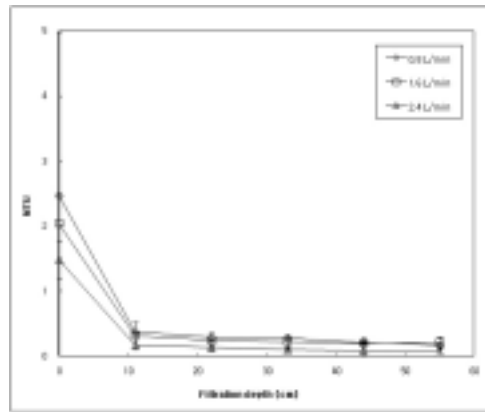
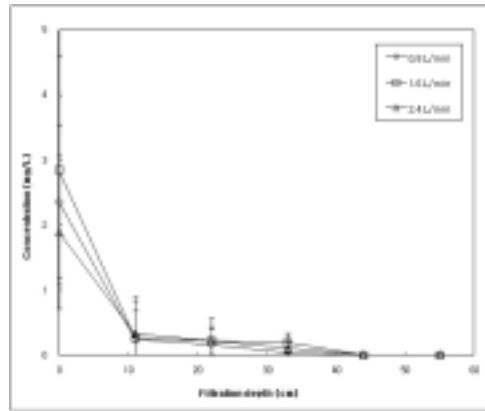


Fig. 8. SS content and turbidity profiles along the filtration depth according to the production rate.

내부로 갈수록 점차 그 색깔이 연해졌으며, 진한 색깔은 표면에서 약 15 cm 정도이었다.

산출유량을 증가시킬 때 각 유량에서 여과거리에 따른 SS 농도와 탁도의 분포곡선을 Fig. 8에 나타내었다. 삼천지는 수심이 얇고 연이 백백히 자라고 있으며 실험을 위한 원수의 취수위치가 삼천지의 유입부에서 가장 먼 곳에 위치하여 여름철의 홍수기에도 탁도가 높지 않아 원수의 SS농도와 탁도는 실험기간 동안 큰 변화가 없었다. 여과시 유량이 증가해도 그 분포곡선의 형태가 거의 같았으며, SS나 탁도 모두 여재 약 10 cm의 통과에서 가장 많이 제거되었고, 55 cm의 통과에서 SS의 대부분과 탁도의 90% 이상이 제거됨을 알 수 있었다.

지금까지의 논의에서 유량을 증가시킨 후 수질항목들이 안정되었다고 본 것은 폐색도의 진행속도가 매우 느려서 이를 유사정상상태로 가정한 것이다. 그러나 실제로는 산출유량이 일정한 범위 이내인 경우 유량증가에 따라 폐색은 증가할 것으로 판단된다. 산출유량이 2.4 L/min까지 단계적으로 증가할 때 폐색도가 변화하는 현상을 Fig. 9에 나타내었다. 산출유량이 증가함에 따라 여재의 표면에서부터 폐색도가 증가함을 알 수 있다. 본 연구에서 유량을 증가시킨 후 약 4주 동안

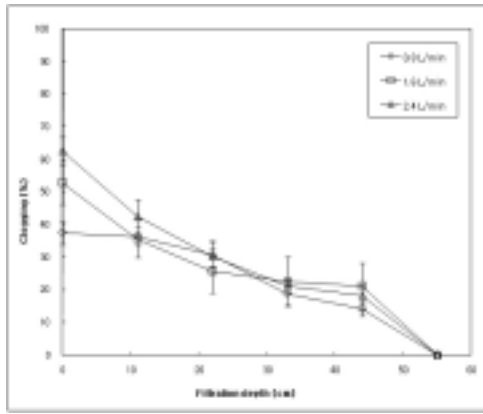


Fig. 9. Clogging of the cylinder-type filter as a function of production rate.

의 운전에서 수질항목들은 유사정상상태에 이르렀지만 폐색도 정상상태에 도달하였다고 보기는 어렵다고 할 것이다. 폐색도 증가는 Fig. 3에서 알 수 있듯이 일정한 산출유량에서도 운전시간이 증가함에 따라 계속 내부로 진행하다가 평형에 도달할 것으로 예상되기 때문이다. 그러나 2년 이상의 기간 동안 지속적으로 운전하였어도 2.4 L/min의 유량과 55 cm의 여과에서 발생하는 수두차는 2.0 cm에 불과하여 폐색으로 인한 문제는 발생하지 않았으며, 산출유량이나 오염도가 과도하지 않아서 오염부하가 미생물 성장에 필요한 기질의 공급 범위를 넘지 않도록 운전하는 경우 폐색으로 인한 문제는 피할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 원수로 사용된 삼천지의 수질은 이와 김의 연구에서 상술되어 있듯이 저수지를 거의 완전히 덮고 있는 연잎으로 인해 조류의 생장이 억제되고, 이분해성 유기물의 함량도 낮은 특징이 있다.<sup>15)</sup> 그러나 조류가 발생하여 수질특성이 삼천지와 다른 경우에 본 장치를 적용할 때에는 이에 대한 고려가 필요하다. 또한, 사용된 여재와 장치의 직경에 따라서도 오염의 제거효율이 달라지므로 이에 대한 고려도 필요하다고 할 것이다.

## 5. 결론

원통형 여과장치의 산출유량을 증가시켜도 오염제거효율이 크게 감소하지는 않았다. 유량을 0.8 L/min에서 2.4 L/min로 증가시키는 경우 BOD 제거율은 약 80%, SS 제거율은 95% 이상, 그리고 탁도 제거율도 90% 이상으로 거의 일정하였으나 COD 제거율은 44%에서 29%로 감소하였다. 그러나 산출유량이 증가하여 여과수의 여재내 체류시간이 감

소할수록 오염물 단위농도를 제거하는데 필요한 체류시간은 감소하였으며, 1 mg-COD/L를 제거하는데 필요한 체류시간은 산출유량 0.8 L/min인 경우 83분이었고 2.4 L/min에서는 45분이었다. 이로부터 낮은 산출유량보다 높은 유량이 호소의 수질개선에는 더 유리함을 알 수 있었다. 여과장치의 폐색은 표층에서 집수관 방향으로 진행하며, 산출유량이 증가하면 폐색도도 증가하지만 2년 이상의 운전에도 폐색이 문제되지는 않아 본 장치가 호소의 수질개선에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대되었다.

KSEE

## 사 사

이 연구는 2008년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

## 참고문헌

1. 환경부, "전국수질측정자료," 환경부(2008).
2. 안창훈, 허순철, 송호면, 지재성, 박재로, "일산호수의 수질현황 조사," 대한환경공학회 춘계학술발표회, 서울대학교, 서울, pp. 504~507(1997).
3. 김범철, "우리나라 호소수질관리의 개선방향," 한국수자원학회지, **29**(5), 64~68(1996).
4. 최돈혁, 강호, "수중폭기장치 운영에 따른 호소의 수질변화," 한국수질보전학회지, **14**(1), 47~56(1998).
5. 김성훈, 유금환, 오경미, 소용두, 이광모, 박희경, "소규모 호소 내에서 표면폭기가 수질에 미치는 영향," 한국물환경학회 추계 학술발표회 논문초록집, 광주과학기술원, 광주, pp. 45~48 (1997).
6. 서성녀, 김영택, 박철휘, "산소용해수와 미생물제제를 이용한 호소 및 폐쇄수역의 정화기술," 한국물환경학회지, **21**(2), 118~124 (2005).
7. 윤태광, 윤태일, 김창균, 박세진, "부영양화 인공호소의 수질관리를 위한 초고속응집침전 공정의 적용," 대한환경공학회지, **22**(11), 2025~2036(2000).
8. 정현상, 왕창근, "폐각을 이용한 호소수의 인 및 클로로필a 제거," 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, 공주대학교, 공주, pp. 474~475(1998).
9. 김철수, 손성곤, 이정환, 오경환, "아산호 습지에서 관속식물의 군집구조와 생산성 및 영양염류의 흡수," 한국생태학회지, **23**(3), 201~209(2000).

10. Taylor, S. W., and Jaffe, P. R., "Substrate and biomass transport in a porous medium," *Water Resour. Res.*, **26**(9), 218~2194 (1990).
11. 성치돈, 안규홍, 이용훈, 공인철, 김승현, "하상여과를 이용한 하천수질개선연구-모델전개 및 모델매개변수 결정," *대한환경공학회지*, **25**(4), 486~494(2003).
12. 안규홍, 손동빈, 김승현, "하상여과 모형에서 유기물과 질소의 제거," *대한환경공학회지*, **27**(5), 525~534(2005).
13. Chung, J. B., Kim, S. H., Jeong, B. R., and Lee, Y. D., "Removal of organic matter and nitrogen from river water in a model floodplain," *J. Environ. Qual.*, **33**, 1017~1023(2004).
14. 김승현, 정종배, 하현수, Shiv O. Prasher, "불포화 사질토양을 이용한 도시하수의 3차처리," *한국환경농학회지*, **22**(2), 111~117 (2003).
15. 이선호, 김승현, "호소의 수질개선을 위한 원통형 여과장치의 평가," *대한환경공학회지*, **30**(10), 975~983(2008).
16. Kim, S. H., Ahn, K. H., and Ray, C., "Distribution of Discharge Intensity along Small-Diameter Collector Well Laterals in a Model Riverbed Filtration," *J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, **134**(4), 493~500(2008).
17. APHA (American Public Health Association), "Standard methods for the examination of water and wastewater," 20th ed., Washington, D. C., USA(1998).
18. Fetter, C. W., "Applied Hydrogeology," Macmillan College Publishing Company, Inc., New York, USA(1994).
19. Ives, K. J., and Pienvichitr, V., "Kinetics of the filtration of dilute suspension," *Chem. Eng. Sci.*, **20**, 965~973(1965).
20. Clement, T. P., Hooker, B. S., and Skeen, R.S., "Macroscopic models for predicting changes in saturated porous media properties caused by microbial growth," *Ground Water*, **34**, 934~942(1996).
21. Bear, J., "Dynamics of fluids in porous media," Dover Publications, Inc., New York, USA(1972).
22. 김승현, 손동빈, 안규홍, "하상여과 모형을 이용한 투수계수 감소현상 연구," *대한토목학회지*, **25**(4B), 301~308(2005).
23. Bouwer, H., Lance, J. C., and Riggs, M. S., "High-rate land treatment II : Water quality and economic aspects of the Flushing Meadows project," *J. WPCF*, **46**(5), 844~859 (1974).
24. Domenico, P. A., and Schwartz, F. W., "Physical and Chemical Hydrogeology," John Wiley & Sons, Inc., New York, USA (1990).