韓國環境科學會誌 第4卷(第5號), 481~488, 1995
J. of the Korean Environmental Sciences Society

낙동강 하류원수에 적합한 여과지의 여재구성

김상구 · 류동춘 · 이영식* · 손진언*

부산시 상수도 본부 수질검사소, *동아대학교 화학공학과
(1995년 7월 3일 접수)

The adaptive filter configuration for down stream of Naktong river

Sang-goo Kim, Dong-choon Ryou, Yung-sik Lee* and Jin-eun Son*

Water Quality Institute of Water Works HQ. Pusan City
**Dept. of Chemical Engineering, Dong-A University, Pusan, 604-714, Korea*
(Manuscript received 3 July 1995)

Abstract

This study was carried out to evaluate the variations of headloss rate and of specific deposit to depths with effective size of media and configuration of filter layer during algae blooming period.

0.51mm size media was disqualified because most of headloss occurred rapidly below 5cm from surface layer. however 0.91mm size media acted deep filtration more than 20cm from top, as result 0.91mm size media filter had 2~3 times longer filtration time than 0.51mm size media filter, but 0.91mm size media have break-through potentiality. multi-layer filter with 1.02mm anthracite and 0.51mm sand had large deposit volume in upper layer that could longer filtration time, moreover smaller media in lower layer that could protect break-through.

Key Words : media size, single layer filter, multi-layer filter, headloss, specific deposit, Algae

1. 서 론

여과지는 침전지에서 침전되지 못한 미세 floc들을 최종적으로 정수 처리하는 공정으로 여과지의 여재구성에 따라 여과지속시간과 현탁물 처리효율에 큰 영향을 미친다. 현재 상수도시설기준의 여재 유효경은 0.45~1.0mm으로 정하고 있으나, 이 두 여재입경 사이에서 발생되는 여과지의 손실수두 비가 2배 이상 차이가 있는 것을 고려하여 볼때 정수장에서 사용되는 여재입경의 선택에 따라서 경제적인 면과 수질적인 면에서 큰 영향을 미칠수 있다.

조류가 많은 원수는 응집이 잘 되지 않아 이를 처리하기 위하여 소요되는 응집제량은 탁도처리를 위하여 사용되는 응집제보다 많이 소모되고 또한 형성된 floc도 침전지에서 침전되지 못하고 부상하여 침전지를 월류하게 되어 여과지의 부하가 크게 된다.[1] 이와같이 원수의 성상에 따라 응집제 사용량이 달라지고 또한 생성된 floc의 성질도 달라진 현탁물질을 여과지에서 효율적으로 제거하기 위해

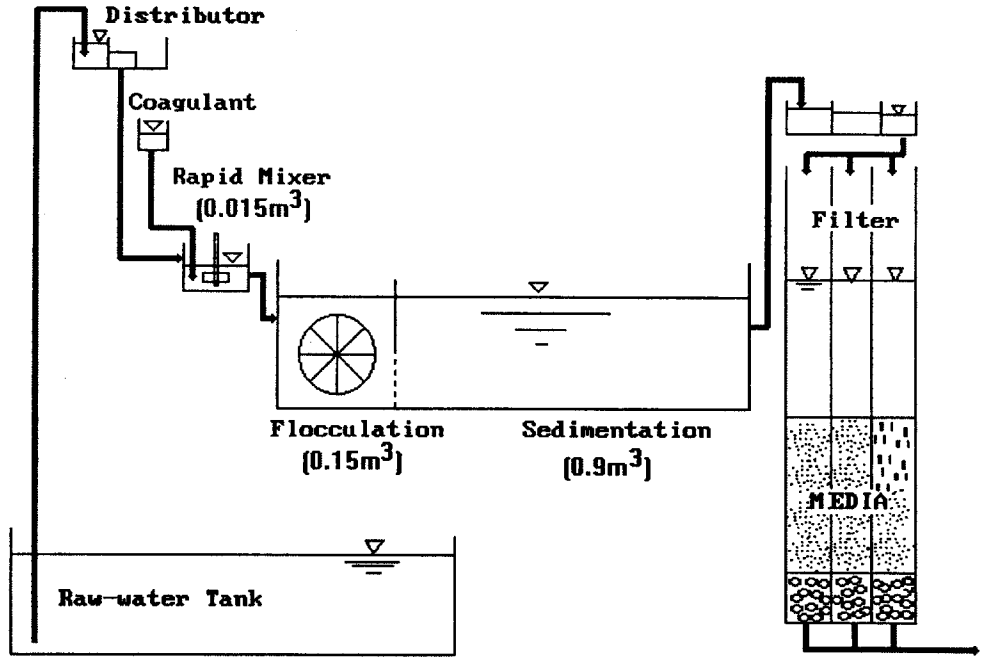

Fig. 1 Schemetic diagram of pilot-plant system.

서는 여과지의 여재구성을 사용하는 원수에 적합하도록 설치하여야 한다.

특히 물금지역의 경우 낙동강 하류에 위치하는 관계로 인하여 수질이 타 수역보다 열악한 위치에 있으며, 또한 일년에 2~3개월은 취수지역에서 조류가 다량 발생하여 응집 침전 효율이 낮아져 여과지의 부하가 커지고 이에 따라서 역세주기가 짧아 여과지의 운영에 많은 애로를 겪고 있다. 따라서 원수에 조류가 많이 발생한 경우에도 운전가능한 여과지로의 개선이 필요한 실정이다.

본 연구는 낙동강 하류지역의 원수에 적합한 여과지의 구성을 선정하기 위하여 조류번성기(*Microcystis.sp*)에 부산시 수질검사소에 설치되어 있는 Pilot-plant를 이용하여 단층여과지와 다층여과지의 여과시간에 따른 손실수두 변화 및 여과수탁도를 조사하였으며, 또한 여재입경과 여층깊이에 따른 여과특성을 비교 평가하기 위하여 여층깊이별 손실수두를 측정하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 실험의 시료수는 물금취수장 침사지를 거치기 전에 채취 된 낙동강 원수를 사용하였다. 파이롯트-플랜트의 개략적인 구성은 Fig.1 과 같이 급속혼화조, floc형성지, 침전지, 여과지로 되어있으며 응집제는 급속혼화지에 주입되도록 하였다. Table 1에 각 공정의 수리학적 체류시간 및 여과속도를 나타냈다.

여과지 여재로 여재입경이 0.51mm, 0.91mm인 모래와 1.02mm인 안트라사이트를 이용하였다. 단층 모래여과지의 여층깊이는 55cm로 하였으며, 이층여과지의 경우 상부여층은 여재입경이 1.02mm인 안트라사이트를 30cm 충진시켰으며, 하부여층은 여재입경이 0.51mm인 모래를 25cm를 충진시켰다.

여층 깊이별 손실수두를 측정하기 위하여 여과지 여층표층에서 상부 5cm와 표층에서 5cm간격으로 총 12개의 마노메타를 설치하여 여층표층상부의 수두와 여층깊이 별 마노메타의 수두를 수압

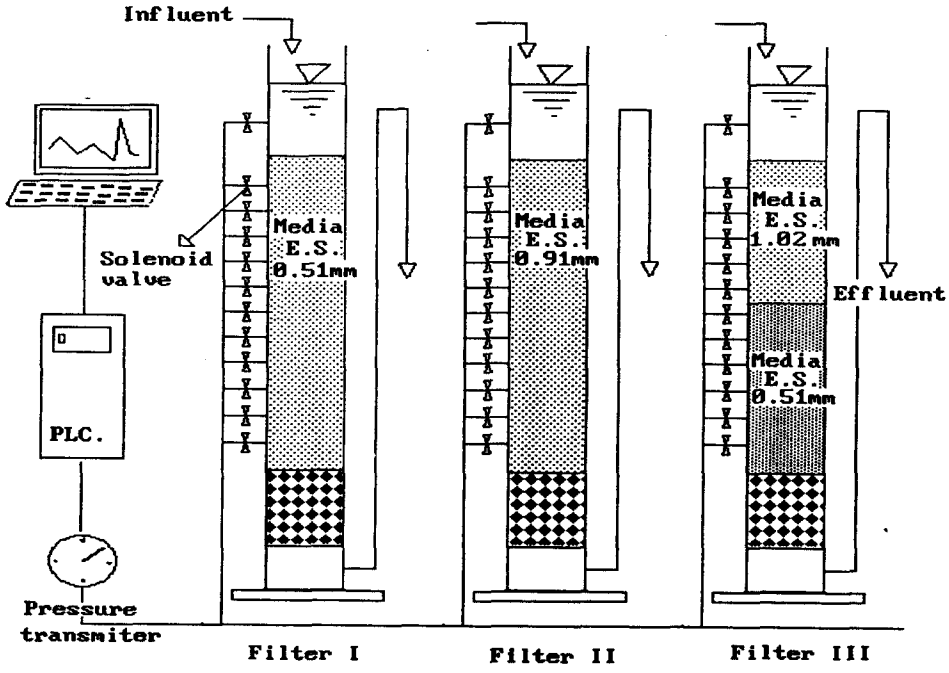

Fig. 2. Block diagram of auto headloss measuring system.

계로 측정한 후 그 수압의 차이를 여층깊이별 손실수두로 하였다.

손실수두는 각각 마노메타에 설치한 Solenoid Valve가 상부로 부터 10초 간격으로 열리게 하여 그때 측정된 수압을 T/R을 거쳐 컴퓨터로 데이타가 전송되게 하였다. 여과지의 상세도는 Fig. 2에 나타냈으며 원수의 수질은 Table 2에 나타냈다.

Table. 1 The hydraulic detention time and flow rates of processes

	Rapid Mixer	Floc-culator	Sedimen-tation Basin	Filter
Retention time(min)	3	30	180	-
Flow rate (m/day)	-	-	-	190-220

3. 손실 수두이론

여재가 깨끗한 경우 여과지의 손실수두는 물과 여재사이의 마찰에 의하여 손실수두가 발생된다. 이때 손실수두의 변화는 여재입경, 여과속도, 여재공극비등에 따라 크게 달라지게 된다. Kozeny-Carman은 청정한 여층의 경우 손실수두를 식(1)과 같이 나타냈다.

$$h_0 = \frac{k_0 \mu V L}{g \rho \phi_0^2 d_0^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \quad (1)$$

k_0 : 손실수두계수(-)
μ : 점성계수 (kg/m-sec)
V : 유속(cm/sec)
L : 여층깊이(cm)
ε_0 : 초기공극률(-)
h_0 : 초기여층 손실수두(cm)
g : 중력가속도 (m/sec^2)
ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
ϕ_0 : 여재의 형상계수(-)
d_0 : 여재입경 (cm)
*아래첨자(A_0)는 초기여과 경우

Table 2. Raw water data during experimental period

Parameter	temp (℃)	Turbidity (NTU)	Alkalinity (mg/l)	$KMnO_4$ Comp. (mg/l)	pH (-)	Chl-a (ug/l)
range	29-31	6.4-12.2	62.6-72.2	12.7-16.8	8.77-9.202	121-144
mean	30.2	7.6	78.3	14.8	9.04	132

이식을 이용하여 여과속도에 따른 손실수두의 관계를 조사해 보면 공극률 0.45, 입경 0.5mm여재를 사용하여 여과속도를 200m/day로 하면 손실수두는 여층깊이 만큼 발생하는 반면, 같은 공극률 조건에서 1.0mm의 여재를 사용한 경우의 손실수두는 여과지 깊이의 0.5배 정도 손실수두가 발생한다. 따라서 여재입경이 손실수두에 큰 영향이 있음을 알 수 있다.

여과가 계속 진행되면 여재공극내에 비퇴적량이 증가되어 여재공극이 줄어들고 여재입경은 커지는 현상으로 나타낼 수 있어 식 (1)은 식 (2)와 같이 변화 된다.

$$h = \frac{k \mu V L}{g \rho \phi^2 d^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_0 + \sigma)^2}{\varepsilon_0^3} \qquad (2)$$

σ : 비퇴적량(-)

식 (1) 과 (2)의 관계에서 비퇴적량과 손실수두의 관계를 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있어 손실수두비를 비퇴적량과의 관계로 나타낼 수 있다.

$$\frac{h}{h_0} = f \left(\frac{1 - \varepsilon_0 + \sigma}{1 - \varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 - \sigma}\right)^3 \qquad (3)$$

$$f = 1.06 \exp(-6.63\ \sigma)$$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 여재 입경 별 총 손실수두 및 처리수탁도 변화

Fig. 3, 4는 여재입경에 따른 총 손실수두와 처리수탁도 변화를 여과시간에 따라 나타낸 것으로 여재입경이 0.51mm인 모래는 여과 17시간 후 총 손실수두가 약 160cm까지 증가한 반면에, 여과 20.5 시간 후에 여재입경 0.91mm인 단층여과지는 130cm, 이층여과지의 경우는 약 80cm까지 증가함

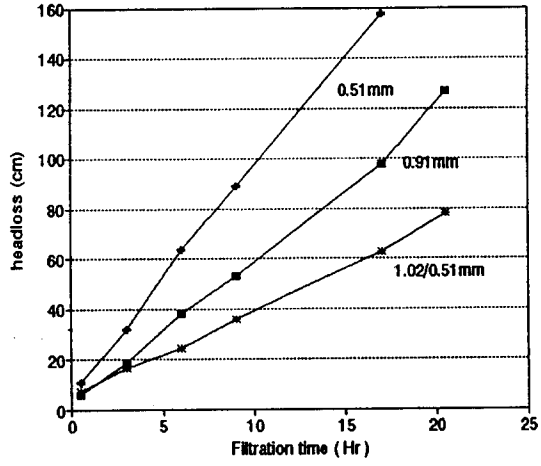

Fig. 3. Variations of headloss increase with filtration time and media size.

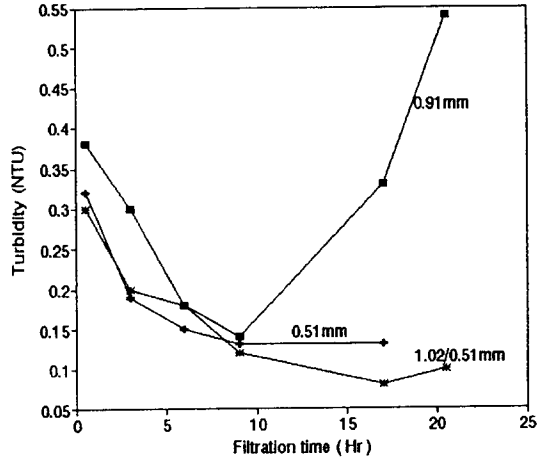

Fig. 4. Variations of Filtered turbidity with filtration time and media size.

을 알 수 있다. 이는 여재입경에 따른 손실수두의 변화양상이 많은 차이가 있음을 나타내고 있는 것으로 현재 상수도시설기준에서 정하고 있는 여재입경이 0.45 ~ 1.0mm인 점을 감안하면 사용하는 여재입경에 따라서 여과시간이 2~3배 이상의 차이가 남을 알 수 있다.

여재입경에 따른 여과처리수의 탁도를 비교하면 여과초기(여과개시 30분후) 이층여과지의 처리수 탁도는 0.3NTU, 여재입경이 0.91mm인 여과지의 처리수 탁도는 0.38NTU, 여재입경 0.51mm인 여과지의 처리수 탁도는 0.32NTU로 나타났으며 여과시간의 경과에 따라서 최대 여과처리수의 탁도는 0.08~0.15NTU까지 처리가능하였다. 여과지의 여과시간을 처리수탁도와 손실수두에 의하여 결정할 경우 여재입경 0.51mm인 여재의 경우 여과 17시간 후 처리수 탁도는 0.13NTU로 매우 양호하게 나타났으나 손실수두가 약 160cm 까지 증가하여 여과를 중지하였다. 따라서 여재입경 0.51mm의 여과지는 손실수두에 의해서 여과시간이 결정되는 반면에 여재입경 0.91mm인 여재의 경우 여과 20.5시간 후에 손실수두는 약 128cm였으나 처리수탁도가 0.54NTU로 증가하여 파과(Break through)가 시작됨을 알 수 있었다. 따라서 0.91mm의 경우 여과시간은 처리수 탁도에 의해 결정되었다. 이층여과지의 경우 20.5 시간 여과후 손실수두는 약 79cm, 처리수탁도는 0.1NTU로 나타나 여과능력이 충분히 많이 남아 있었다.

여재입경 0.51mm인 여과지와 여재입경 0.91mm 및 이층여과지의 손실수두 증가비를 비교해 보면 여과시간에 관계없이 손실수두비가 평균 1 : 0.6 : 0.4로 나타나 이를 역세주기로 비교하면 0.91mm의 여재는 0.51mm의 여재 1.7번 역세 주기에 한번 역세가 필요하며, 이층여과지는 0.51mm여재 2.5번 역세 주기에 한번 역세 주기가 오는 것으로 이층여과지가 단층여과지에 비교해 매우 유리한 것으로 판단 할 수 있다.

정수장에서 조류가 많이 발생한 원수를 처리할 때는 응집제의 소비가 큰 방법으로 응집처리를 한다. 이러한 경우 여재 선정시 원수수질을 고려하지 않고 여재가 상수도시설기준에 적합하다고 하여 여재입경이 0.5mm이하인 여재를 사용하면 여과지내에 현탁물질의 억류공간이 줄어든다. 이는 여과시간이 짧아져 매우 비경제적인 여과지를 운영하게 되므로 억류능력이 큰 여재입경 사용이 요구된다. 그에 반하여 손실수두 증가를 둔화시키기 위하여 큰 여재입경을 사용하면 여과시간이 경과함에 따라 여과지내에 억류되었던 탁질들이 공극내에 흐르는 수류의 전단력에 못이겨 탁도의 재누출(Break through)이 발생할 수 있다. 따라서 여과지의 최적 여재구성이라 함은 여층내부에 많은 억류물을 저장할 수 있는 공간을 마련하여 손실수두의 증가를 둔화시킴과 아울러 탁질의 재누출을 방지할 수 있도록 여층을 구성 배치하여야 한다. 이를 위하여 상부에는 큰 입경의 여재를 사용하여 손실수두의 증가를 억제하고, 하부에는 작은 입경의 여재를 배치함으로서 탁질의 누출현상을 방지할 수 있는 이층여과지가 여과지속시간 및 처리수 탁도에 유리한 여층구성임을 알 수 있었다.

4.2 여층깊이별 손실수두 및 비퇴적량

앞절에서 여재입경 별 총손실수두와 여과수 탁도 변화 양상에 대한 결과를 여과시간에 따라 나타내었다. 이때 여과지의 여재입경 별 여과특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 여과시간에 따른 여층깊이별 손실수두(H)와 초기 청정여층의 손실수두(Ho)를 측정한 후 손실수두증가비(H/Ho)을 구해 이를 이용하여 Fig. 5~7 (A)에 여재입경 과 여층깊이별 손실수두증가비를 나타냈다. 또한 식(3)은 손실수두증가비와 비퇴적량과의 관계를 나타낸 식으로 손실수두증가비를 측정 함으로서 여과시간에 따른 여층깊이별 비퇴적량의 변화를 파악하여, 여재입경에 따른 여층깊이별 유효사용량을 알 수 있다. 이때 현탁물의 비퇴적량은 식 (3)에서 직접 계산하기 힘들어 비퇴적여층손실수두/청정여층손실수두의 비(H/Ho)와 초기공극률을 이용하여 수치대입법을 행하여 구하였으며, 그 결과를 Fig. 4~6 (B)에 도식화하여 나타내었다.

여재입경 0.51mm 여재는 여층깊이 5cm에서 손실수두증가비가 크게 나타났으며, 여과종료시 여층전체 손실수두의 70% 이상으로 나타나 대부분의 손실수두가 여층 5cm 상부에 집중적으로 나타

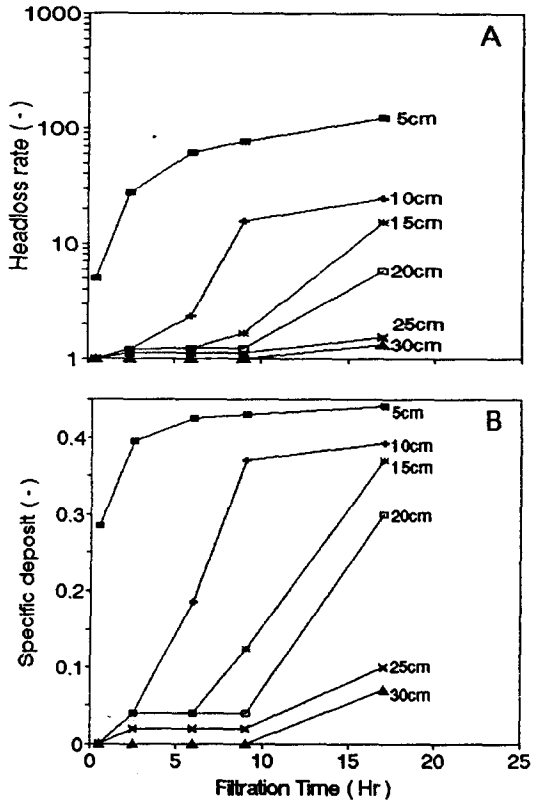

Fig. 5. The headloss rate and specific deposit to the depths with filtration time(E.S. : 0.51mm, single layer filter).

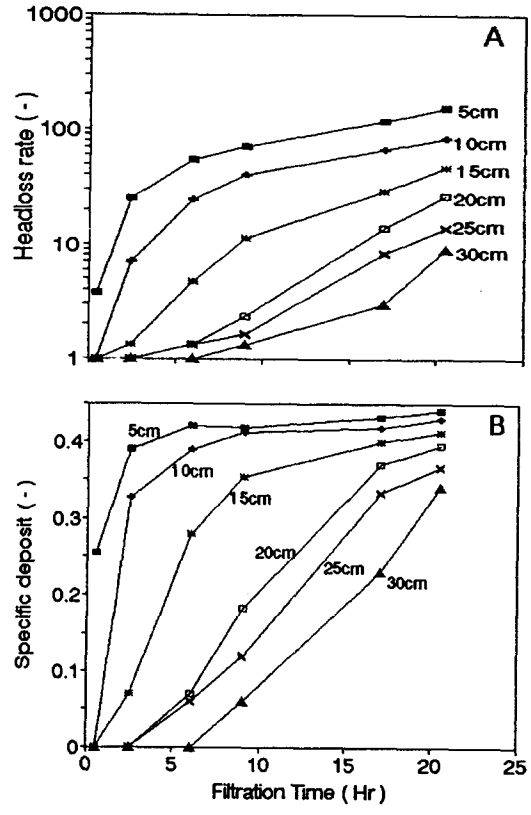

Fig. 6. The headloss rate and specific deposit to the depths to the depths with filtration time(E.S. : 0.91mm, single layer filter).

났다. 여층깊이별 억류량의 변화를 살펴보면 여층깊이 15~20cm에서도 비퇴적량이 0.3정도로 비교적 큰 억류능력이 있음을 알 수 있고, 여층깊이 20~25cm에서는 억류능력이 크게 떨어져 0.1 정도로 나타났다. 따라서 여재입경이 0.51mm인 입경을 여재로 사용하는 경우 손실수두증가비가 전여층의 유효 억류량보다 빨리 나타나 본 수질에 사용할 경우 역세주기가 빨라 비경제적인 여재로 판단되었다.

여재입경이 0.91mm인 여재의 경우 여과종료시(20.5시간 후) 손실수두증가비가 여층깊이 15~20cm에서도 26정도로 나타나 여재입경이 0.51mm에 비교해 심층여과가 가능한 것을 알 수 있고, 이때 여층 깊이별 비퇴적량을 살펴보면 여층깊이 25~30cm 에서 0.34로 크게 나타나 여층깊은 곳까지 억류능력이 있음을 알 수 있다. 그러나 여재입경이 큰 여과지는 심층여과가 가능하나 손실수두증가비가 작아 역세척주기를 놓쳐 여층내 억류된 현탁물의 누출 위험이 있다.

상부 안트라사이트 1.02mm 하부 모래 0.51mm를 사용한 이층여과의 경우 여과 20.5 시간 후 여층깊이 15~25cm에서 발생된 손실수두증가비가 22.8배 정도 나타나 여층의 사용량이 매우 많음을 알 수 있다. 특히 여층깊이 25~35cm 사이는 상부여층과 하부여층이 혼합되어있어 공극이 줄어드는 부분으로 현탁물의 억류능력이 커져 손실수두증가가 많이 일어나는 것으로 나타났다. 또한 여과지속 시간에 따른 0.91mm여과지와 이층여과지의 비

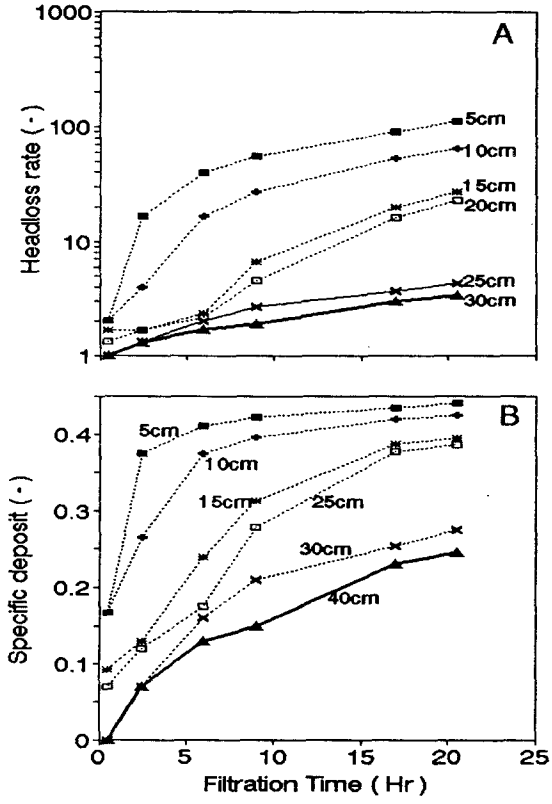

Fig. 7. The headloss rate and specific deposit to the depths with filtration time(E.S. : 1.02/0.51mm dual layer filter).

퇴적량 변화를 보면 0.91mm여과지는 여과개시 6시간 후에 여층깊이 30 cm에서 탁질의 퇴적이 나타나나 이층여과지의 경우 여과가 시작됨과 동시에 상부 전여층에서 퇴적이 일어남을 알 수 있다. 또한 여과를 계속한 경우 상부 전여층에서 여과폐색이 일어나 상부여층에 현탁물 억류가 더 이상 진행되지 못하고 하부여층으로 누출될때 누출되는 억류물들은 하부여층의 표층에 억류되어 하부여층의 표면에서 손실수두가 급격히 일어나 전체여층의 총손실수두가 급격히 증가되는 것을 다른 실험을 통하여 알 수 있었다.

전 여재의 경우 손실수두증가비는 표면에서 5cm까지 가장 높게 나타나 이를 통하여 비퇴적량을 추정하였으나 실제 여과지표층 상부에 깔려있는 floc막에 의해서 손실수두가 발생할 수 있다. 그래서 논문에서 제시한 여층깊이 0~5cm의 손실수두는 여층공극 폐색에 의한 손실수두 뿐만 아니라 표층에 억류되어 생긴 floc막에 의해 발생된 손실수두도 합해져 있다.

5. 결 론

조류가 다량 발생한 원수를 이용하여 여재입경별 여과지의 효율을 비교하기 위하여 여재입경 0.51mm, 0.91mm인 모래여재와 1.02mm인 안트라사이트를 이용하여 구성한 여과지의 여과수탁도 및 여층깊이별 손실수두와 비퇴적량의 관계를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 여재입경 및 여층구성에 따라 여과지의 손실수두증가가 2~3배 차이가 있으므로 원수에 적합한 여재입경의 선정이 필요하다.

2. 여재입경이 0.51mm의 여재를 이용한 여과지는 대부분의 손실수두는 여층 상부 5cm 이내에서 발생하였으며 여과 16시간후 손실수두가 약 160cm까지 증가하여 비 경제적인 여재로 판단되었다.

3. 0.91mm여재를 사용한 여과지는 심층여과가 가능하여 여층깊이 15~20cm에서도 손실수두증가비가 26정도로 크게 나타났다. 그러나 여재입경이 큰 경우 손실수두의 증가율이 적어 손실수두를 이용하여 역세척을 결정할 때 탁도의 누출 가능성이 있었다.

4. 상부여층을 1.02mm안트라사이트, 하부여층을 0.51mm모래를 사용하여 2층여과를 한 경우 상부여층에서 손실수두증가를 둔화시킬수 있었으며, 하부여층에서는 탁도 누출을 방지할 수 있었다.

참고문헌

姜龍太, 1982, 急速濾過池の 濾過速度と濾材構成の 研究,東京大學校 學位論文.

金相玖, 1993, 急速濾過法에 의한 淨水處理 特性에 관한 硏究, 東亞大學交 博士學位論文.

丹保憲仁, 1987, 淨水の技術, 技報堂.

藤田賢二, 1997, 急速濾過工程の 數學的表現(Ⅰ),日本水道協會雜誌,第510號.

Daniel, C. M., Melissa, C. M., Robert, S. C. and Desmond, F. L., 1993, Particle Behavior in Deep Bed Filtration Part 1 : Ripening and break-through, JAWWA, pp.69, Dec.

Daniel, C. M., Melissa, C. M., Robert, S. C., and Desmond, F. L., 1993, Particle Behavior in Deep Bed Filtration Part 2 : Particle Detachment, JAWWA, pp.82, Dec.

Ives, K. J. 1960, Rational Design of Filter, Proceedings, Institution of Civil Eng, London, Vol.16.

Julie, C. G., R. S. Summers, and Richard J. M., 1993, Particle Removal and Head Loss Development in Biological Filters, JAWWA, pp.94, Dec.

Sarah, C. C., Desmond, F. L., and Robert, S. C. 1992, Contact Filtration : Particle Size and Ripening", JAWWA, pp.61, Dec.

Water Treatment Plant Design, McGraw-Hill, 1989.

Water Treatment Principles and Design, A Willy-Interscience Publication, 1985.