

## 압력식 급속 자동 여과장치의 여과성능 평가

김 덕 진<sup>†</sup>, 유 해 성, 신 상 윤

장한기술(주) 부설연구소

### The Performance Estimation of Pressure-Type Rapid Automatic Filter

Deok Jin Kim<sup>†</sup>, Hea Seong Ryu, Sang Yoon Shin

**ABSTRACT:** A pressure-type rapid automatic filter of 2000mm diameter and 170 ton/h filtering capacity was fabricated. In case of no external impurity inflow, the turbidity removal efficiency on raw water was experimented and the numbers of impurities of each sizes were analyzed by particle counter. As the result of circulated filtering, the raw water of 40 NTU was filtered to 0.44 NTU and the numbers of impurities above 1 $\mu$ m were removed by approximately 95%. With the filtering efficiency experimented and the mathematical method, the turbidity change of circulation water were calculated according to the inflow rate of external impurity and water treatment method of blow-down or filtering. The cost of blow-down water was calculated from above results. And simple payback period for this filter is calculated as about one year. Nowadays, as the cost of water is continuously increasing and environment regulations will be more strict, the water quality control using this filter will be expected to satisfy the user requirement.

**Key words:** Filter(여과기), Turbidity(탁도), Water treatment(수처리), Blow-down(블로우다운)

#### 1. 서 론

산업 및 공업 용수의 사용량은 현대 문명의 발달과 산업의 고도화에 따라 급격하게 증가하고 있으나 수자원은 국가 및 지역 그리고 계절별로 점점 편중이 심해지고 있으며, 그 질적 및 양적인 문제점 또한 심각해지고 있는 실정이다. 이에 따라 각종 용수의 효율적 재사용 및 폐수 처리 등의 수처리에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 공업용수 중 약 70%는 생산공정에서의 냉각 시스템에 적용되고 있으며, 석유화학, 제철, 합성섬유 등 대형 냉각시스템에서 뿐만 아니라 소규모 냉각시스템 및 냉동기 시스템 그리고 냉난방 배

관내의 순환수에 대한 수처리가 매우 중요한 관심대상이 되고 있다.

순환수를 수처리하지 않는 시스템에서는 공통적으로, 각종 부식 인자들로 인한 열교환기 및 배관 등에 발생하는 부식(Corrosion) 장애, 칼슘 등의 침전물이 부착 및 부유하는 스케일(Scale) 장애, 조류 및 미생물 등의 오염물질에 의한 슬라임(Slime) 장애 등이 발생하며, 이로 인해 열교환 효율 저하로 인한 막대한 에너지의 낭비, 장비 및 배관의 폐쇄나 파손 등의 심각한 문제를 발생시키고 있다. 따라서 적절한 수처리를 실시하여 장애의 원인을 사전에 제거함으로써 에너지 절약 및 용수 절약, 장비 및 배관 수명의 연장, 그리고 쾌적한 환경 조성을 이루는 것이 매우 중요한 것이라 하겠다.

본 개발품은 밀폐된 용기내에 지지층과 여과층을 두어 여과층에 대용량의 용수를 급속히 통과

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel.: +82-41-359-2127; fax: +82-41-359-2121

E-mail address: djkim@janghan.co.kr

시켜 용수속의 부유고형물이나 오염물질 등의 현탁물질을 제거하고, 여재층에 포집된 현탁물질은 주기적으로 자동 역세시켜 밖으로 방출하는 압력식 여과장치로서, 각종 냉각시스템 및 냉난방 배관시스템을 주된 수처리 대상으로 하고 있다.

압력식 여과장치에서의 주요 설계 및 성능 인자들 즉 여과속도, 탁도, 질량농도, 적층방법, 압력변화, 수두손실, 여과성능, 입경분포, 역세척 등의 특성에 관하여 현재 활발한 연구가 진행 중에 있다<sup>(1-4)</sup>. 이 중 본 연구에서는 원수를 순환여과시켰을 경우 원수의 탁도변화를 실시간 측정하고, 원수에 포함된 불순물의 입경별 개수 및 제거율을 파악하고, 여기서 얻은 데이터를 기반으로 현장에 적용하였을 경우 원수 수질 변화를 예측함과 수처리의 비교 대상이 되는 블로우다운(Blow-down)량과의 경제성 검토를 수행하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구를 위해 직경 2000mm 그리고 여과유량 170 ton/h의 제품을 개발하여, Fig. 1과 같이 원수용량 20 ton을 대상으로 실험 장치를 구성하였다. 역세수는 여과 완료 후 깨끗해진 원수를 투입하는 구조이며, 여과유량과 역세유량을 조절 및 측정할 수 있도록 글로브밸브와 유량계를 설치하였다.

작동원리는 다음과 같다. 펌프는 항상 가동 중이며, 원수 여과과정일 경우 상단 및 하단의 역세용 전동밸브(CV3,4)가 닫힌 후 여과용 전동밸브(CV1,2)가 열리고, 원수의 현탁물질들은 여과기 내의 상부에서부터 하부로 흐르는 동안 여재

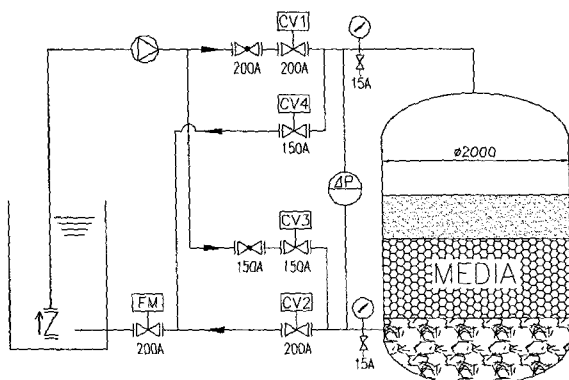


Fig. 1 Schematic diagram of pressure filter.

(Media) 표면과 내부에서 포집 및 제거되어 수조로 방출된다. 순환여과 지속 후 차압이 상승되면 역세척 과정으로 자동 수행되나 본 실험에서는 차압이 별로 상승되지 않은 관계로 탁도 개선이 더 이상 이루어지지 않는 시점 즉 정상상태(Steady-state) 유지를 기준으로 역세척을 실시하였다. 역세척 과정으로 전환되면 상단 및 하단의 여과용 전동밸브(CV1,2)가 닫히고 역세용 전동밸브(CV3,4)가 열리며, 여과기 하부로 역세수가 투입되어 여재를 세척한 후 저수조로 방출된다.

현재 폐사에서 생산 중인 압력식 급속 자동 여과 장치는 울트라샌드라는 상표명으로 그 외형은 Fig. 2와 같으며, 소용량인 직경 200mm부터 대용량인 직경 2000mm까지 다양한 모델이 생산되고 있다.

## 3. 실험결과 및 고찰

개방형 냉각탑 시스템 동일 경우 대기공기와 냉각수와의 접촉으로 인해 시스템 외부에서 먼지 등의 불순물이 계속 투입되며, 밀폐계 시스템일 경우에도 역시 기존 부식 및 스케일 등이 순환수로 유입된다. 그러나 불순물 유입량은 실시간마다 다르며 또한 지역별, 시스템별 등 모두 서로 다르다. 위의 경우를 모두 실험할 수는 없으므로, 외부에서 투입되는 불순물이 없는 상태에서 실험적으로 여과기의 성능을 파악한 후 수식적 기법을 적용하여 불순물 투입 농도에 따른 원수의 변화를 예측하고자 한다.

Fig. 3에는 시간에 따른 원수의 탁도 변화가 나타나 있다. 원수 초기의 탁도는 30 NTU 이며,

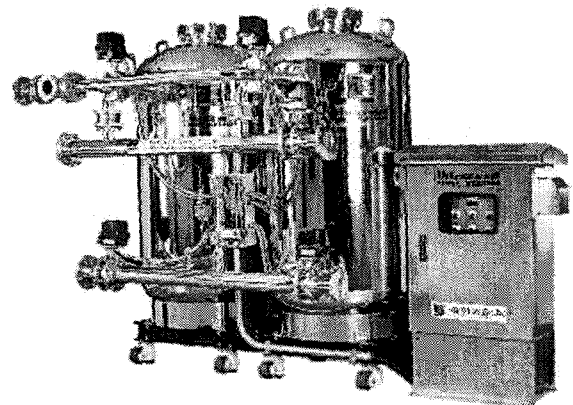


Fig. 2 Pressure-Type Rapid Automatic Filter.

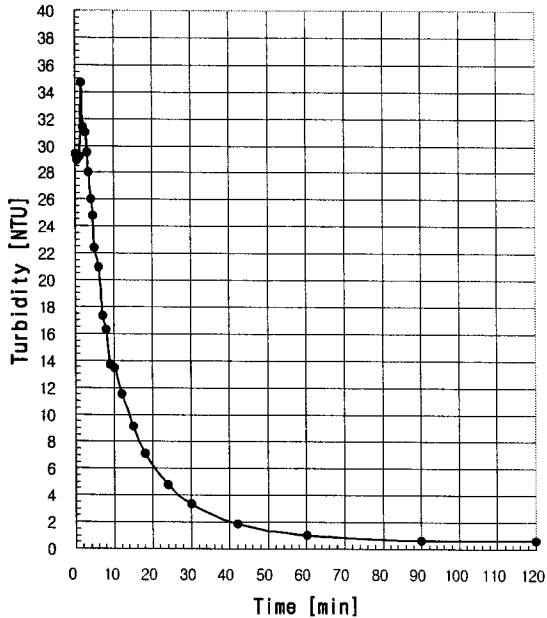


Fig. 3 Reducing of turbidity according to time.

역세수는 원칙적으로 방류시켜야 하지만 실험 조건상 원수와 역세수를 하나의 수조로 수행하므로 여과수행 시작 후 약 3분 동안 5 NTU 정도의 탁도 상승이 발생하였다. 결국 차트의 경향을 볼 때 원수의 초기 농도는 약 40 NTU 임을 알 수 있다. 원수의 탁도는 초기 급격하게 감소하다가 점점 그 감소율이 완만해지고 있다. 이 결과로써 탁도가 높을 때는 불순물 개수가 상당히 많으므로 제거율이 높고 점점 탁도가 개선될수록 불순물 개수가 적어져 제거율이 낮게 됨을 알 수 있다. 원수의 탁도 정상상태 값은 약 90분 후에 0.64 NTU 이었으나, 이때 처리수의 탁도는 0.44 NTU 이었다. 이것은 원수와 처리수의 탁도 차인 0.20 NTU 만큼 외부에서 불순물이 유입된 결과라 할 수 있으며, 그 요인으로는 대기 중의 먼지 농도가 높은 공장지역에서 실험하였기 때문에 수조 표면에서의 먼지 등의 유입이 가장 크다고 예상된다. 일반적으로 생활용수로 사용하는 수돗물의 탁도는 0.5 NTU 이다. 만약 외부에서 투입되는 불순물이 전혀 없다고 가정할 경우 본 여과기는 지속적인 순환여과를 통하여 수돗물 보다 더 투명한 원수를 만들 수 있을 것이다.

Fig. 4에는 입자계수기를 이용하여 초기 원수 및 정상상태 유지시의 원수 내에 포함된 불순물의 개수를 입경별로 측정된 값을 나타내었다. 초

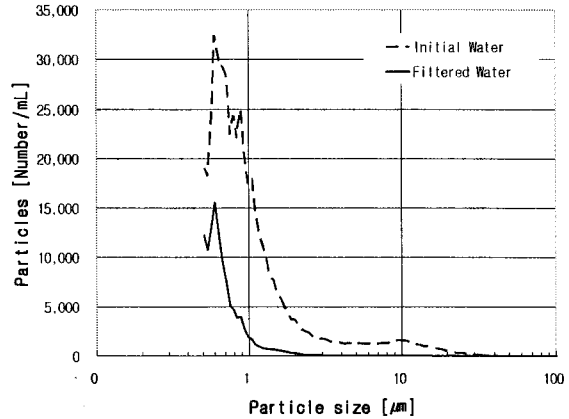


Fig. 4 Number of particles on initial and filtered water.

기 원수 내에 입경 100 $\mu\text{m}$  이상의 불순물은 없었으며, 입경 0.60 $\mu\text{m}$  불순물의 개수가 가장 많이 포함되어 있다고 측정되었다. 정상상태 유지시의 불순물 개수 또한 차트에서 볼 수 있듯이 95% 정도 제거되었다고 측정되었으나, 1 $\mu\text{m}$  이하의 불순물은 상당히 존재하고 있었다. 초기 원수는 붉은 색이 선명하게 띄었으나, 정상상태 유지후의 원수는 수돗물과 같은 정도로 매우 투명하였다. 따라서 원수 내 1 $\mu\text{m}$  이하의 불순물은 탁도에 영향을 크게 끼치지 못한다고 판단할 수 있겠다.

Fig. 5에는 초기 원수 대비 정상상태 유지시의 입자개수 제거율이 계산되어 있다. 1.0 $\mu\text{m}$  이상에서는 전반적으로 약 95%의 제거율을 보이고 있지만 1.0 $\mu\text{m}$  이하에서는 불순물 입경이 작아질수록 그 제거율 또한 급격히 감소함을 볼 수 있다. 따라서 본 여과기의 정밀도는 1.0 $\mu\text{m}$  이라고 할

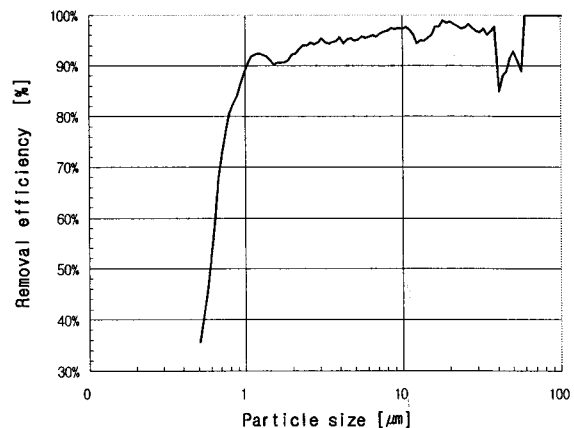


Fig. 5 Removal efficiency of particle numbers.

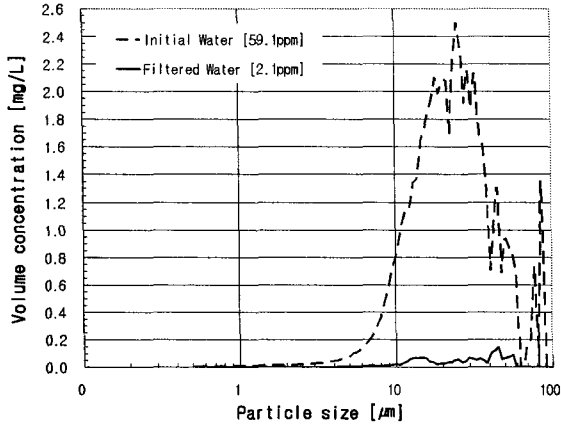


Fig. 6 Volume concentration on initial and filtered water.

수 있다.

Fig. 6에는 Fig. 4의 입경별 불순물 개수 측정값으로부터 초기 원수 및 정상상태 유지시 원수에 포함된 불순물의 부피농도를 계산한 값이 나와 있다. 부유물질의 밀도를 1.0으로 취급할 경우 부피농도는 질량농도와 같다. 이 경우 초기 원수는 59.1 ppm 그리고 정상상태 유지 후의 원수는 2.1 ppm 으로써 96.4%의 질량농도 제거율이 계산되었다. 본 차트의 내부영역은 질량농도이며, 10 $\mu$ m 이상의 영역이 대부분의 질량농도를 차지하고 있음을 볼 수 있다. 즉 여과기의 성능을 질량농도로만 판단할 경우 탁도의 개선은 별로 이루어 지지 않는데 제거효율은 매우 높다는 오류를 범할 수가 있다. 결국 Fig. 3과 Fig. 6을 비교할 때 여과기의 성능은 탁도 제거효율로 검토해야 함을 확인할 수 있다.

#### 4. 이론적 해석

원수의 수질 상태는 외부에서 유입되는 불순물량에 따라 실시간 달라지며 또한 지역별 그리고 시스템별 등에 따라 서로 다르다. 이와 같이 다양한 조건에서의 수처리된 원수의 수질을 실시간 파악하고자 할 때는 수식을 통한 수치해석이 적용되어야 하겠다. 여기서 핵심 인자는 실시간 외부에서 투입되는 불순물의 양이다.

Fig. 7은 개방 순환식 냉각시스템의 워터밸런스를 표현한 것으로써, 냉각수 및 불순물의 물질평형 방정식을 적용할 수 있다.

본 실험에서 측정된 데이터를 기반으로 개방

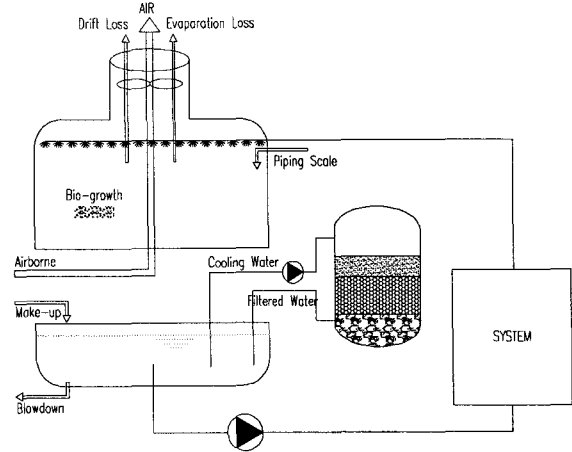


Fig. 7 Water balance of open cooling system.

순환식 냉각시스템에서 냉각수 및 불순물의 물질평형 방정식을 적용하여 원수의 탁도 변화를 예측하였다.

Fig. 8은 외부 불순물 유입으로 인해 1시간당 원수의 탁도가 0.1 NTU 씩 상승하는 경우 즉 대기의 먼지가 매우 적은 경우를 대상으로 하였다. Case 1)은 수처리를 수행하지 않고 오직 냉각유량의 0.1% 비산손실에 의한 원수의 변화를 계산한 것이다. 이 경우 초기 0 NTU의 원수는 약 15일 만에 10 NTU의 정상상태로 변화됨이 계산되었다. Case 2)는 냉각유량 대비 0.2%의 블로우다운을 수행하였을 경우에 대한 원수의 변화를 예측한 곡선으로써, 약 8일 만에 3.3 NTU, Case 3)은 냉각유량 대비 0.5%의 블로우다운을 수행하였을 경우로써, 약 3일 만에 1.7 NTU, Case 4)는 냉각유량 대비 1.0%의 블로우다운을 수행하였을 경우로써, 약 2일 만에 0.9 NTU, Case 5)는 본 여과장치를 적용하여 냉각유량 대비 5%의 수처리를 수행하였을 경우로써, 약 1.3일 만에 1.2 NTU의 정상상태가 유지되었고, Case 6)은 Case 5)와 동일한 정상상태를 유지하는 블로우다운량을 파악한 것으로써 이 값은 냉각유량 대비 0.7%이며, Case 7)은 본 여과장치를 적용하여 냉각유량 대비 10%의 수처리를 수행하였을 경우로써, 약 0.7일 만에 0.9 NTU의 정상상태가 유지되었고, Case 8)은 Case 7)과 동일한 정상상태를 유지하는 블로우다운량을 파악한 것으로써 이 값은 냉각유량 대비 1.0% 였다.

Fig. 9는 외부 불순물 유입으로 인해 1시간당 원수의 탁도가 0.6 NTU 씩 상승하는 경우 즉 대

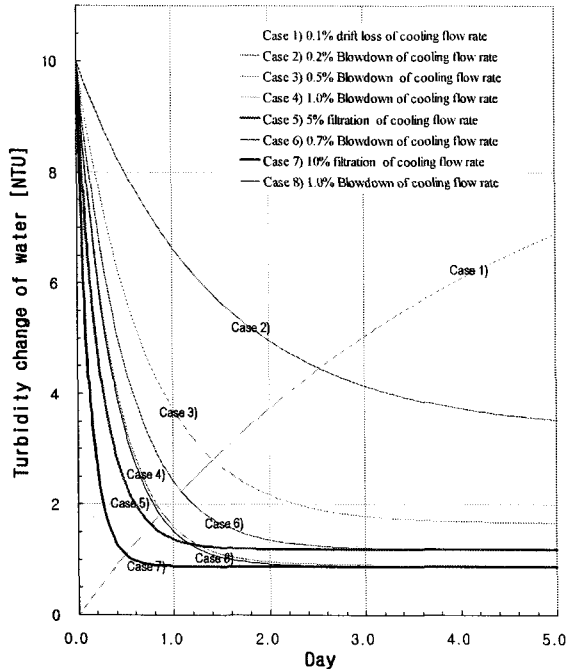


Fig. 8 Turbidity change of water at 10 NTU.

기의 먼지가 많은 경우를 대상으로 하였다.

각 경우에 대한 조건은 Fig. 8과 같으며, Case 1)의 경우 약 20일 만에 60 NTU, Case 2)의 경우 9일 만에 20 NTU, Case 3)의 경우 약 5일 만에 10 NTU, Case 4)의 경우 약 2.5일 만에 5.5 NTU, Case 5)의 경우 약 1.5일 만에 4.2 NTU, Case 7)의 경우 약 1일 만에 2.5 NTU의 정상상태가 계산되었다.

본 계산에서는 블로우다운에 적용되는 시수의 탁도는 0 NTU 라고 가정하였으며, 모든 경우에 대해 순환유량 대비 0.1%의 비산손실 조건을 적용하였다. 만약 블로우다운의 경우 공업용수를 적용한다면 위의 차트에서 계산된 탁도 개선량

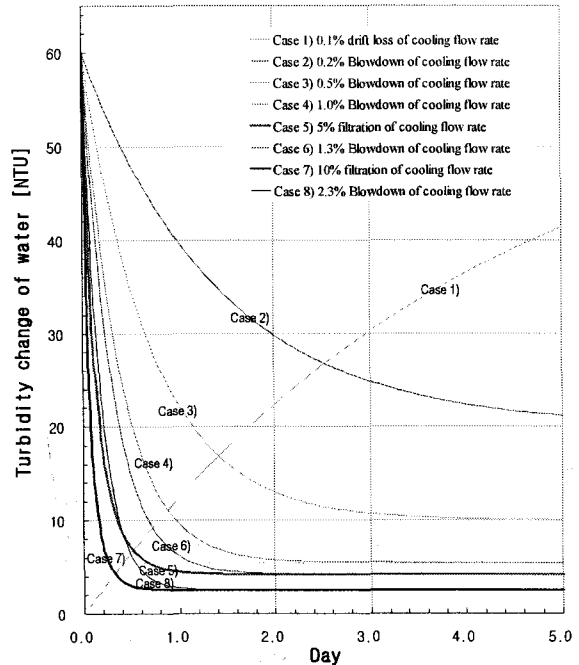


Fig. 9 Turbidity change of water at 60 NTU.

보다 공업용수가 혼탁한 만큼 덜 개선될 것이다.

Table 1에는 Fig. 8의 각 경우에 해당되는 시수의 소요비용이 계산되어 있다. 여기서 시수는 400원/톤이라 가정하였다. 본 여과기의 처리유량은 냉각유량 대비 5%가 적절하다고 판단되는 바, 이와 동급의 성능을 내는 Case 6)의 블로우다운량을 1년간 수처리시 20,271,865원이 소요된다.

Table 2에는 Fig. 9의 각 경우에 해당되는 시수의 소요비용이 계산되어 있으며, 본 여과기와 동급의 성능을 내는 Case 6)의 블로우다운량을 1년간 수처리시 36,295,983원이 소요된다.

냉각수의 상태는 외부 불순물의 유입량에 따라 실시간 변화되므로 Fig. 8과 Fig. 9에서 해석된

Table 1 Input cost of city water in case of 10 NTU, 1000 RT, 13 lpm/RT.

여과방식	원수탁도 [NTU]	제거율 [%]	냉각유량 대비 [%]	시수소모량 [ton/h]	시수(400원/ton)의 소요비용 [원]	
					1년	5년
Case 1)	10.0	-	0.1	0.8	2,733,120	13,665,600
Case 2)	3.3	67	0.2	1.6	5,466,240	27,331,200
Case 3)	1.7	83	0.5	3.9	13,665,600	68,328,000
Case 4)	0.9	91	1.0	7.8	27,331,200	136,656,000
Case 5)	1.2	88	5.0	0.054	189,800	949,000
Case 6)	1.2	88	0.7	5.8	20,271,865	101,359,324
Case 7)	0.9	91	10.0	0.108	379,600	1,898,000
Case 8)	0.9	91	1.0	8.1	28,338,181	141,690,906

Table 2 Input cost of city water in case of 60 NTU, 1000 RT, 13 lpm/RT.

여과방식	원수탁도 [NTU]	제거율 [%]	냉각유량 대비 [%]	시수소모량 [ton/h]	시수(400원/ton)의 소요비용 [원]	
					1년	5년
Case 1)	60.0	-	0.1	0.8	2,733,120	13,665,600
Case 2)	20.0	67	0.2	1.6	5,466,240	27,331,200
Case 3)	10.0	83	0.5	3.9	13,665,600	68,328,000
Case 4)	5.5	91	1.0	7.8	27,331,200	136,656,000
Case 5)	4.2	93	5.0	0.054	189,800	949,000
Case 6)	4.2	93	1.3	10.4	36,295,983	181,480,915
Case 7)	2.5	96	10.0	0.108	379,600	1,898,000
Case 8)	2.5	96	2.3	17.6	61,757,896	308,789,478

탁도 변화의 사이값을 가지게 될 것이며, 이 경우 블로우다운량에 의한 소요 비용은 연간 약 3천만원 정도로 예상된다. 만약 본 여과기의 구매가가 3천만원 정도라 한다면 블로우다운량 대비 투자비회수기간은 1년이 될 것이다. 앞으로 시수의 단위비용은 점점 상승할 것이며, 블로우다운으로 공업용수를 적용하는 경우라면 투자비회수기간은 더욱 줄어 들것이다.

#### 4. 결 론

직경 2000mm 그리고 여과 유량 170 ton/h의 압력식 급속 자동 여과장치를 개발하여 외부 불순물 투입이 없는 경우에 대해 순환여과에 따른 원수의 탁도제거 성능 실험 그리고 불순물의 입경별 개수 및 제거율 분석을 실시하였다. 여과 결과 초기 원수 40 NTU에서 최종 0.44 NTU 이하로 그 제거 성능을 보였으며, 입자계수기로 측정결과 불순물 입경 1 $\mu$ m 이상에 대해 약 95% 정도의 개수 제거율을 보였다.

실험으로 파악된 여과기의 성능과 수치해석적 기법을 동원하여 외부 불순물의 유입량에 따른 냉각순환수의 탁도 변화를 블로우다운 수처리의 경우와 본 여과기의 수처리 경우에 대해 각각 예측 비교하였다. 이 예측값을 기준으로 시수의 소요비용을 계산하였으며, 본 여과기를 구매하여

설치할 경우 블로우다운 소요비용 대비 투자비회수기간은 약 1년 정도라 평가되었다. 여기서 시수의 구매가격은 점점 상승할 것이고, 각종 환경규제 또한 더욱 엄격해 질 것이므로, 본 여과기를 적용한 용수의 수질관리는 사용자의 만족을 가져다 줄 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Yao, K. M., et al., 1971, Water and Waste Water Filtration : Concepts and Application, . Sci. Tech., 5, pp.1105-1112.
2. Johannes, H., and John., L. C., 1991, Biological and Physical mechanisms in slow sand filters, Slow sand filtration a Report by ASCE
3. No, S., and An, S. G., 2004, A Study on characteristics of particle size distribution and turbidity of filtered water according to different filtration conditions, Proceedings of KSEE, pp. 535-538
4. Lee, J. J., et al., 2004, Process characteristics and removal efficiency of particles with filtration velocity of fiber filter, Proceedings of KSEE, pp. 859-867