

# 여재 형상계수에 따른 여과효율 비교연구



● 강공식  
94년 고려대학교 환경공학과 졸업  
96년 한국수자원공사 회사(수도관리직)  
현재 한국수자원공사 과의 과장(수도관리) 근무 (직무:대리)

## 들어가는 말

정수처리에 있어서 여과는 핵심 공정중 하나이다. 또한 대부분의 정수장에서 여과는 정수를 처리하는 마지막 공정이므로 만일 여과가 제대로 이루어지지 않는다면 선행 공정에서의 모든 노력이 무효로 돌아가고 결과적으로 좋은 정수의 수질을 기대하기 힘들다.

따라서 여과지를 설계할 때는 보다 많은 관심과 주의가 요구되며 저렴한 건설비와 적은 유지관리비로 양질의 물이 공급될 수 있도록 계획되어야 한다. 또한 이미 설계를 반영하여 시공된 후라도 현장 운영상에 발생한 문제점에 대해서 끊임없는 보완과 개선과정을 통해 최적의 운영을 유지해야 한다.

지금까지 대부분의 설계자들은 여과지 설계에 있어 자신의 과거 경험이나 다른 기술자의 경험 또는 여러 나라의 상수도 시설기준에 근거하여 작성하고 있으며 주로 여과 속도나 하부집수장치 형태, 여층의 두께, 여재의 규격 등을 결정한다. 이때 여재의 규격에 있어 모래의 경우 유효경, 균등계수, 최대경, 최소경 등이 설계에 반영되는데 여기서 여재의 특성 중 하나인 원형도(Sphericity)는 직접 측정하기가 곤란하며 규격화에 어려움이 있다는 이유로 지금까지의 설계에서 대부분 일반적인 상수값으로 처리하거나 무시되어왔다.

원형도(Sphericity : 형상계수)란 어떤 물체의 구형

(Sphere) 강도를 나타내는 상수이며 원형도가 1에 가까울수록 물체의 형태는 공모양에 가까워진다. 따라서 여과에 있어서 원형도는 여재의 형태를 특징 지우는 인자인 동시에 여과 효율에 영향을 미친다.

여재의 원형도는 정수처리 공정에서 여과와 역세척이 반복됨에 따라 여재 사이 마찰에 의한 마모 등으로 점점 변화된다. 따라서 오래 사용된 여재 밑수목 구형에 가까운 가능성이 크며 유입수 대비 유출수의 수질이 좋을 것으로 기대된다.

본 연구의 목적은 여재의 원형도에 따른 여과효율과 역세척 효율을 비교 분석하는데 있다. 또한 여재의 원형도를 실제 설계에 반영시킬 수 있는 방법을 모색하고 원형도를 쉽게 측정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

## 본문

본 연구는 보령 정수장내에 파일럿 플랜트를 설치하여 수행하였다. 실험기간은 2000년 9월부터 2001년 6월까지이며 정수장내 걸린수 및 원수를 직접 사용하여 실험에서의 비교가 가능하도록 하였다.

보령 정수장은 인근에 위치한 보령댐으로부터 원수를 취수하여 충남 서북부 일대에 수도물을 공급하는 광역상수도 시설이며 시설용량은 285,200m<sup>3</sup>/일 이나 실험 당시 일 평균 40,000~50,000m<sup>3</sup>/일의 정수를 공급하고 있었다.

정수장에 유입되는 원수는 연평균 3NTU, 알칼리도 20mg/L로 비교적 양호한 수질을 유지하고 있었으며 응집제로는 PACl을 사용하고 별도의 알칼리제 주입은 없었다.

실험에 사용된 여재는 비교적 사용 연수의 구분이 가능한 네 군데 정수장에 협조를 얻어 사용하였다. 여과에 있어 원형도의 다른 영향 요소를 최대한 줄이기 위해 입자 크기에 통일성을 기하였다. 여재의 원형도는 깨끗한 여과저에서의 손실수두를 구하는 Kozeny식을 사용하였다.

실험 장치는 내경 4.4cm 총 길이 2m인 네 개의 아크릴 컬럼과 유입수를 공급하는 정량펌프 1대 그리고 유입수량을 제어하는 제어장치로 구성하였다. 각각의 실험장치 제원은 표 1과 같으며 전체적인 구성도는 그림 1과 같다.

각각의 컬럼은 20cm 자갈층 위에 여재 길이 60cm가 되도록 설치하였고 5cm와 10cm 간격으로 수위계를 설치하여 여과저 내부에 발생하는 손실수두와 수질을 측정할 수 있도록 하였으며 여상에서 30cm 떨어져서 역세척 배수관을 설치하였다.

표 1. 실험장치 제원

구분	제원	설치대수
아크릴 column	φ44×L1910, 두께 3mm	4대
정량펌프	제조사: E-HWA Chemical Feeder Co. Model: EWM-1000 Power: 0.4kw Capacity: 1500ml/min	1대
유량계	제조사: Ower Instrument	5개

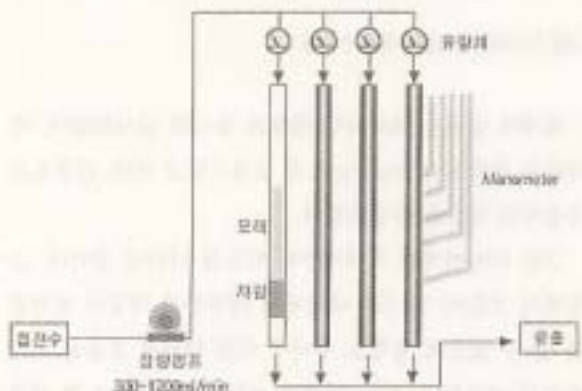


그림 1. 실험장치 구성도

## 실험 결과

우선 여재 사용 연수에 따른 원형도의 변화를 살펴보면 예상했던 바와 같이 오래 사용한 여재 일수록 원형도가 좋았다. 오랜 시간 여과와 역세척 공정이 반복되면서 여재간 마찰에 의해 마모현상이 일어나고 자연스럽게 원형도가 커진다. 원형도는 Kozeny 식에 의해 측정하였고 각각의 여재에 대한 원형도 조사 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 '가' 정수장 여재의 원형도가 '나' 정수장 보다 좋은 것으로 원형도에 있어서 여재를 3~4년 정도 사용할 경우에는 그리 큰 차이가 발생하지 않음을 알 수 있고 반면에 '가'와 '나' 그리고 '다'와 '라'를 비교해보면 원형도가 사용 연수에 따라 점차 변화하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 사용연수별 원형도의 변화

제과 장소	사용 연수	여재 입경의 기하평균(mm)	원형도 $\psi$
'가' 정수장	새것	0.92	0.77
'나' 정수장	3년	0.92	0.72
'다' 정수장	10년	0.92	0.89
'라' 정수장	15년	0.92	0.82

그림 2와 3은 계절별 각각의 여과 컬럼의 여과지속시간에 따른 손실수두 발달을 나타낸 것이다. 전체적으로 겨울철에 비해 여름철의 손실수두 발달이 크고 여재별 형상계수와 손실수두 발달간에 상관관계를 알 수 있다. 겨울철과

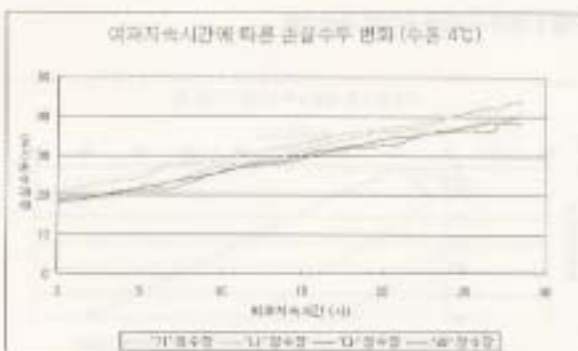


그림 2. 여과지속시간별 손실수두(겨울)

여름철 모두 형상계수가 큰 '다', '라' 정수장 보다 '가', '나' 정수장의 손실수두 발달이 빠르고 기울기가 가파른 점을 미루어 형상계수가 큰 여재 일수록 여과 지속시간이 길어진다고 할 수 있다.

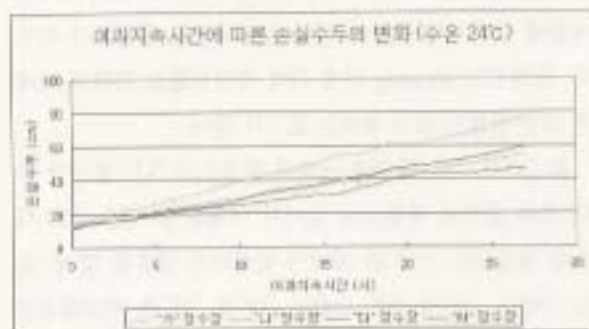


그림 3. 여과지속시간별 손실수두(여름철)

그림 4, 5, 6은 여재 깊이별 손실수두의 변화를 나타낸 것이다. 여과 초기에는 여재 깊이별 손실수두의 차이가 비슷하지만 여과가 진행될수록 여재 내부에 손실수두 차이는 명확히 구분되었다. 여과개시 7시간 만에 가, 나, 다 정수장의 여재는 부압이 걸리기 시작했지만 가장 원형도가 좋은 '라' 정수장의 여과지는 아직 여유가 있었다.

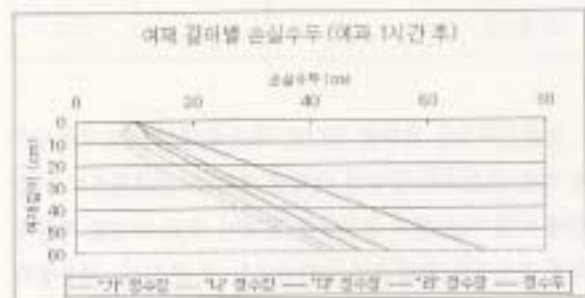


그림 4. 여과1시간후 깊이별 손실수두



그림 5. 여과7시간후 깊이별 손실수두



그림 6. 여과 17시간 후 깊이별 손실수두

이것은 원형도가 작은 여재보다 큰 여재가 여재층 깊숙히 탁질을 제거함을 의미하고 따라서 그만큼 여과지속시간은 길어지게 된다.

그림 6에서도 여과 17시간후 '다'와 '라' 정수장의 손실수두 곡선이 뒤쪽에서 따라가고 있음을 확인 하였다.

그림 7은 각 컬럼 유출수의 수질은 시간별 탁도를 조사한 것이다. 비교적 침전수의 탁도가 낮고 파일럿 플랜트의 조건상 각 컬럼의 유출수 탁도는 0.05NTU 정도로 실험 종료시까지 비슷하게 유지되었다.



그림 7. 여과지속시간별 유출수수질

역세척 실험은 여과실험 종료와 동시에 실시하였다. 역세척수 유속은 0.7m/min으로 고정시켰고 30초 간격으로 유출수의 탁도를 측정하였다.

그림 8은 여재별 역세척수의 탁도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 1-2분 내외에서 대부분의 탁질이 제거됨을 알 수 있으며 원형도 차이에 의한 역세척 효율을 비교하기가 어려웠다. 이는 역세척 실험을 위해 보다 큰 관경의 파일럿 플랜트가 필요한 것으로 판단된다.

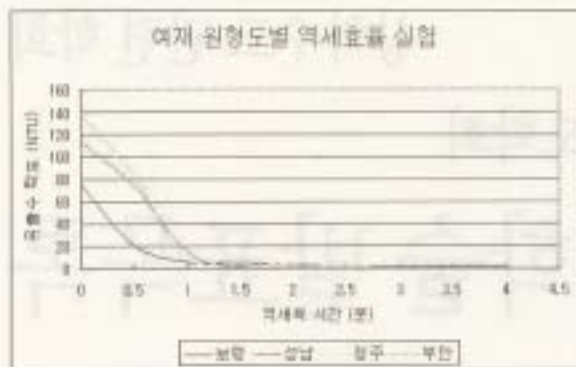


그림 8 원형도에 따른 역세효율 조사

## 맺음말

지금까지의 모든 실험결과를 정리하면 아래와 같이 결론지을 수 있다.

① 여재의 형상계수(원형도, Sphericity,  $\phi$ )와 여재의 사용연수는 비례관계가 성립한다. 본 연구 결과 새로 설치한 여과사와 적어도 10년 이상 사용한 여과사의 형상계수는 10% 이상 차이를 나타내었다. 이로써 정수처리 공정에서 여과와 역세척이 반복됨에 따라 여재간의 마찰로 인한 마모가 이루어지고 있음을 확인하였다.

② 여재의 형상계수 차에 의한 여과수의 수질 차이는 미미하다. 앞서 언급한 바와 같이 파일릿 플랜트의 한계성으로 인하여 여과수질의 차이를 확인할 수 없었다. 그러나 이것은 실제 현장 스케일의 실험에서도 충분히 개연성 있는 결과라고 판단된다. 왜냐하면 여재의 형상계수가 다소 차이가 있다고 하더라도 여과수질에 영향을 미치지 않을 것 때문이다.

③ 여재의 형상계수 차에 의한 여과지속시간은 비례관계가 성립한다. 즉 형상계수가 큰 여재 일수록 손실수두의 증가량이 적었으며 그만큼 여과지속시간이 길어졌다. 본 실험에서는 새로 구입한 여과사와 10년 이상 사용한 여과사 간에 여과가 진행될수록 손실수두의 차이가 벌어짐을 확인하였다.

④ 여재의 형상계수 차에 의한 여재 깊이별 탁질 억류에 상관관계가 있다. 다시 말하면 원형도가 좋은 여과사의 경우 여재 깊숙히 까지 탁질이 억류되고 있었고 따라서 여재 내부에 부압이 발생할 확률도 적었다.

⑤ 여재의 형상계수 차에 의한 역세척 효율은 미미하였다. 이는 본 파일릿 플랜트가 역세척 실험에는 적절한 규모가 아님을 반증한다고 할 수 있다.

## 국내 최초 AWWA 최우수논문상 수상

금년 2월 미국수도협회(AWWA) 논문심의회에서 한국과학기술원 건설환경공학과 박희경 교수와 환경부 대기환경과의 김지연 사무관이 함께 쓴 「상수-하수분리에 의한 상수원 관리(Separating Wastewater Systems is Key in Protecting Source Waters)」가 국내 최초로 최우수논문상으로 선정됐다.

수상 논문에서는 국내 수도권과 유사한 규모의 대도시로서 지표수를 상수원으로 이용하고 있는 일본과 미국의 대도시(도쿄, 모사카, 시카고, 뉴욕)의 관리현황과 국내의 관리현황을 비교·검토하여, 대한민국에서 '상수-하수분리'에 의한 상수원 수질관리 방안을 제안했다.

논문 내용은 협회지 다음 호에 소개할 예정이다.



박희경(박희경)

- 한국과학기술원 건설환경공학과 교수
- 86.1 ~ 90.5 미국 일리노이주립대 대학원공학박사
- 92.11 ~ 94.6 현대건설 주식회사 해외도역 사업본부
- 95.6 ~ 현재 한국과학기술원 도목공학특수교수



김지연(金志妍)

- 환경부 대기환경과 환경사무관
- 96.3 ~ 98.8 한국과학기술원 도목공학과 원장전공공학박사
- 98.4 행정자치부 소속 환경사무관직에 임용(기술고서 33회)
- 01.4 - 현재 환경부 대기보전국 대기환경과 환경사무관