

정수장 급속여과지의 역세척 수위변화와 시간에 따른 세척 효율 평가

정용준 · 민경석[†]

경북대학교 환경공학과

Evaluation of a Rapid Sand Filter with Surface Wash and Backwash Conditions

Yong-Jun Jung · Kyung-Sok Min[†]

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

(Received 16 September 2004, Accepted 19 October 2004)

Abstract : Both surface wash and backwash are considered as one of the most important methods that can improve the filtration efficiency in the existing water treatment plant. This study has mainly focused on the improvement of filtering efficiency by controlling surface wash and backwash time, and water level before backwash (when drained up to the trough, when drained up to 10 cm above filter bed, and when drained below 10 cm filter bed). Filtration efficiency was shown a little bit of differences depending on the operating conditions like surface wash injection pressure, the distance control between filter bed and the facility, and the types of surface wash. When the water level before backwash was reached up to 10 cm below filter bed after draining, however, the filtration velocity and the turbidity removal efficiency in the filter bed was improved. When the surface wash followed by backwash is longer, it showed a similar result. Because the proper adjustment of surface washing time makes filtration efficiency higher, therefore, it is necessary to set up the backwash time moderately.

keywords : Surface wash, Backwash, Rapid sand filter, Water treatment, Filtration

1. 서론

재래식 정수처리공정에서 여과는 최종 공정인 소독의 전 단계 공정으로서, 정수공정중 침전지에서 제거되지 못한 현탁물질, 세균, 일부 유기물 및 무기물을 제거하는 중요한 공정이다. 침전지로부터 유출되는 미소 플록들은 병원성 원생동물, 박테리아, 바이러스 등 미생물의 보호층 역할을 하므로, 여과과정에서 플록의 제거효율은 후속 소독과정에서 살균효율과 최종적인 정수의 수질에 영향을 미친다(AWWA & ASCE, 1998).

효율적인 여과지 운영을 위해서는 적절한 여과지 구조물의 설계(Raymond et al., 1991; 최 등, 2000), 적절한 여재의 선정(김 등, 1995; 박 등, 1995), 여과보조제의 사용(안 등, 2000) 그리고 역세척 방식의 선정(이 등, 1999; 안 등, 1999; Amirtharajah et al., 1972; 최 등, 1996)이 적절하게 조화를 이뤄야 한다. 특히 각 정수장이 가지고 있는 여과지의 구조물이나 여재를 가지고 향상된 여과효율을 얻기 위해서는 여재의 세척이 매우 중요하다. 세척이 효과적으로 이루어지지 않으면 여과지 표면에 머드볼(mudball)이 형성되어 여과 유효면적의 감소로 인한 여과저항의 증대, 주변 여과속도의 증대 및 여과지 벽체와 여과재 사이에 일정한 간격이 형성되어 플록이 유출되는 등 여과효율 저하의 직접적인 원인이 된다.

한편 국내 정수장 여과지의 현황(최 등, 2000)을 보면, 역세척의 시점은 손실수두로 결정하는 경우가 28개소(45%)로 가장 많고, 손실수두와 여과지속시간을 고려하여 결정하는 경우가 12개소(19.4%), 여과지속시간으로 결정하는 정수장이 15개소(24.2%), 수질을 기준으로 하여 역세척 시점을 결정하는 경우는 2곳(3.2%)으로 보고되었다.

대부분의 정수장 여과지는 표면 및 역세척시 여과지의 물이 트라프면까지 차 있거나 여과지 표면상 15~20 cm 정도 차 있는 상태에서 세척이 시작된다. 실제 표면세척은 여과지 표면에 jet 수류가 분사되어 표면에 있는 머드볼과 탁질의 파괴로 효율적인 세척을 수행하기 위한 것이나, 표면세척을 여과지 표면에 물이 고여 있는 상태로 실시할 경우에는, 단지 수류에 의한 전단력이 일시적으로 증가하게 되어 그 효과는 매우 감소된다(Amirtharajah, 1981; Cleasby, 1984).

본 연구에서는 고도정수처리공정으로 운전되고 있는 실제 정수장의 여과지를 대상으로 세척전의 수위 변화에 따른 표면세척과 역세척의 효율을 비교하였다. 또한 기존 운영방식인 트라프면까지 배수시와 사면상 10 cm 배수시의 경우에 표면세척과 역세척 시간의 변화에 따른 세척효율을 분석하여 여과지의 효율 향상 방안을 제시하고자 하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

kmin@knu.ac.kr

2. 실험

2.1. 시설 개요

본 연구는 응집, 침전, 여과, 오존 및 활성탄 처리를 실시하고 있는 시설 용량 800,000 m³/일의 실제 정수장 여과지를 대상으로 하였다. 안트라사이트와 모래가 각각 40 cm와 50 cm로 포설된 이중여재 여과지는 여층의 저항에 의해 여과수량이 감소되는 감쇄여과방식으로 유량을 조정하고 있으며, 하부집수장치는 스트레이너형을 사용하고 있다. 미국의 경우 여과수의 수질향상을 위하여 개별 여과지의 수질을 감시하는 방향으로 목표를 정하고 있으나, 국내 정수장 여과지의 경우, 일부 여과지에서만 개별 감시가 가능하다는 정수장이 15개소로 24%, 개별 감시가 가능하다는 정수장이 43.5%, 구조상 불가능하다는 정수장이 22.6%로 나타나고 있다(최 등, 2000). 본 연구에서는 개개의 여과지가 독립적으로 운전될 수 있어 개별 배수와 역세척이 가능한 시설을 대상으로 하였으며, 여재의 역세척은 표면세척과 병용할 수 있도록 운전되고 있다.

2.2. 여과지

실험 기간 중, 침전수의 pH는 7.0~7.3, 탁도는 1.2~1.5 NTU였고, 여과수의 pH는 7.0~7.2, 탁도는 0.09~0.12 NTU

로 나타났다. 여재의 유효경과 균등계수는 여과지의 여과 효율에 영향을 미치는 중요한 인자로서 작용하므로, 표면세척과 역세척의 효율 평가에 앞서 이들을 조사하였다.

Table 1에 표시한 바와 같이 상수도시설기준(한국수도협회, 1997)으로 판단할 때(유효경: 0.45~1 mm, 균등계수: 1.7이하), 역세 전후의 유효경은 1 mm이하로 비교적 양호한 것으로 나타났으나, 균등계수는 표층 2.5 cm 이하와 심층 35 cm 이상에서는 기준을 벗어나고 있었다.

2.3. 운전

본 연구에서는 정수장 급속여과지의 효율 향상을 위하여 표면세척과 역세척의 개선방안을 Table 2와 같은 운전 조건하에서 평가하였다.

역세척전 여과지의 수위를 mode 1,2,3과 같이 3가지로 변화시켜 역세척 효율을 평가하였다. 정수장의 실제 운영 방식대로 mode 1에서는 트라프면까지 배수를 실시하였고, mode 2와 3에서는 사면상 10 cm와 사면하 10 cm까지 배수하여 역세척 효율을 평가하였다. Cleasby(1981)는 효과적인 역세척 시간을 3~12분으로 보고하였으나, 본 연구에서의 역세척 시간은 모든 조건에서 현장 운영 조건인 표면세척 2분, 표면세척과 역세척 병용 2분 및 역세척 6분으로 동일하게 설정하였다.

Table 1. Effective size and uniformity coefficient of filter basin

Depth (cm)	Before backwashing		After backwashing	
	Effective size(mm)	Uniformity coefficient	Effective size(mm)	Uniformity coefficient
0-2.5	0.55	2.2	0.57	2.3
2.5-10	0.88	1.6	0.90	1.7
5-10	0.90	1.6	0.92	1.6
10-25	0.93	1.6	0.92	1.6
25-35	0.90	1.7	0.92	1.6
35-45	0.67	2.3	0.66	2.7
45-60	0.50	2.0	0.55	2.4
60-80	0.85	1.6	0.80	1.8
80-	1.05	2.6	0.75	1.9
Anthracite	0.83	1.74	0.85	1.76
Sand	0.80	2.07	0.70	2.03

Table 2. Operating condition

Mode	Operating condition
1	Drain up to trough
2	Drain up to 10cm above bed layer
3	Drain 10cm below bed layer
(1)*	surface wash(1min) / surface+backwash(3min) / Backwash(5min)
(2)*	surface wash(2min) / surface+backwash(2min) / Backwash(6min)
(3)*	surface wash(3min) / surface+backwash(1min) / Backwash(7min)
(4)*	surface wash(4min) / surface+backwash(2min) / Backwash(6min)

Note) *: applied to only mode 1 and 2.

또한, 트라프면까지 배수한 조건(mode 1)과 사면상 10 cm까지 배수한 조건(mode 2)하에서 각각 표면세척과 역세척 시간의 변화에 따른 역세척 효율을 평가하기 위하여 Table 2에 표시한 바와 같이 4가지 조건을 설정하였다. 조건 (1)에서 (3)까지는 전체적인 표면세척(역세척 병용 시간 포함) 시간을 4분으로 설정한 뒤, 표면세척과 역세척 병용 시간을 조절하였으며, 조건 (4)에서는 표면세척 시간을 2분 더 연장하였다.

2.4. 분석

표면세척과 역세척 효율을 평가한 본 연구에서의 역류탁질량은 Kawamura(1991)가 제시한 방법대로 수행하였고, 세정 배수의 탁도는 역세척중에 트라프로 율류하는 시료를 일정한 시간 간격으로 채수하여 HACH사의 2100N Turbiditymeter로 측정하였다. 또한 여과수의 탁도는 여과지의 여과수 수로에 on-line 탁도계(PS1201, HACH사)를 설치하여 측정하였다. 한편, 대상 정수장의 여과지는 각 여과지마다 별도의 유속계가 없고, 수위가 다른 여과지와 일정하게 유지되도록 운영되어지는 감쇄여과방식을 채택하고 있으므로, 여과지 하단에 설치되어 있는 퇴수밸브를 수동으로 열어서 여과지 수위가 20 cm간격으로 감소할때의 여과속도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 역세척전 수위변화에 따른 역세척 효율 평가

역세척전 수위 변화에 따른 역세척 전후의 여과지 깊이 별 역류탁질량은 운전 조건에 관계없이 모두 여재면 10 cm까지는 95% 이상의 높은 탁도 제거율을 보였고, 10~20 cm까지는 90%이상을 나타냈다. 하지만, Fig. 1에 표시한 바와 같이 가장 효율이 좋은 mode 3에서도 30 cm이상의 사면에서는 역류탁질량의 제거율이 40% 이하를 나타냈는데, 이는 표면 세척설비가 여재면에서 20 cm정도의 깊이까지는 jet수류의 전단력이 작용하나, 그 이상에서는 크게 감소하여 탁도 제거효율이 감소한 원인으로 해석된다.

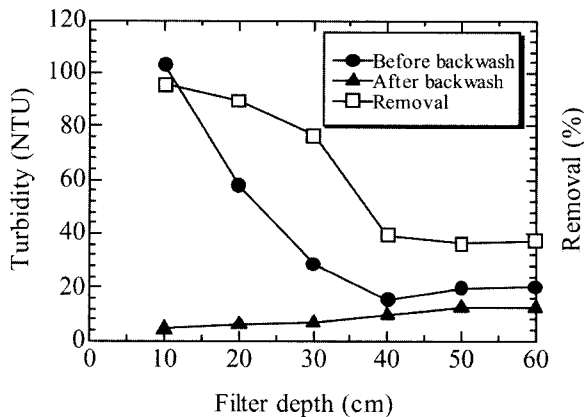


Fig. 1. Turbidity profile of before and after backwashing in mode 3.

대부분의 정수장에서는 역세척 시간을 고정시켜 운전하고 있으나, 효율적인 여과지의 운영을 위해서는 주기적으로 세정배수의 탁도를 관찰하여 적절한 역세 시간을 설정할 필요가 있을 것으로 사료된다. Fig. 2에는 3가지 운전 mode에서의 세정배수 탁도를 표시하였는데, 각각 3~4분 사이에 최고를 나타냈다. 이는 초기의 단독 표면세척에 의한 강한 jet 수류의 분사에 의해 여재사이의 탁질을 파괴하고, 역세척수에 의해 여층을 유동화시켜 여재상호간의 충돌, 마찰, 수류전단력으로 탁질을 여층에서 배출하게 되는 방식으로 운전되었기 때문인 것으로 사료된다.

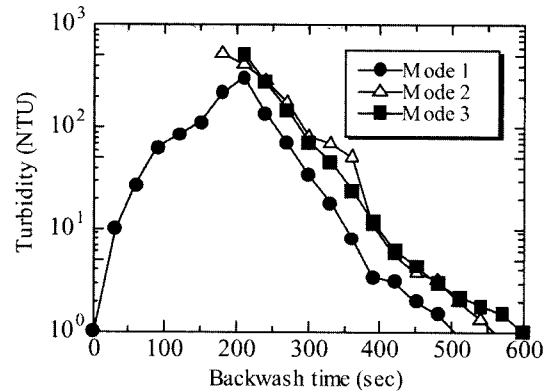


Fig. 2. Turbidity monitoring of filtrate water with the variation of backwashing time.

역세척전 수위에 따른 여과속도 변화를 Fig. 3에 비교·평가하였다. 평균 여과속도는 mode 1에서 mode 3으로 갈수록 증가하였는데, 각각 93.9 m/d, 96.0 m/d 및 97.9 m/d로 나타난 바와 같이 사면하 10cm로 배수할 경우 여과속도 증가에 다소 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

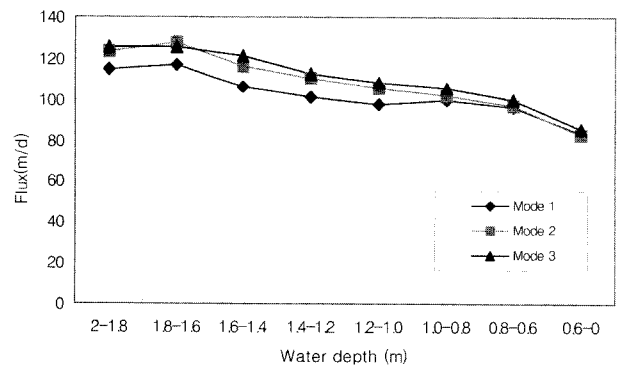


Fig. 3. Monitoring of flux variation in each mode.

Figure 4는 역세척 직후의 시간 경과에 따른 여과수의 탁도변화를 나타내고 있다. 본 연구에서 설정한 3가지 운전 mode에서는 역세척 직후의 여과수의 초기 탁질 누출이 거의 없는 것으로 나타났지만, 역세척수를 착수정에 반송하고 재이용을 필요로 할 경우에는 발생시기별 처리방법의 차별 선택(문 등, 2003)과 응집제를 역세척 직후 여과사에 주입(Francois et al., 1985)하는 방법등을 고려할 수 있다.

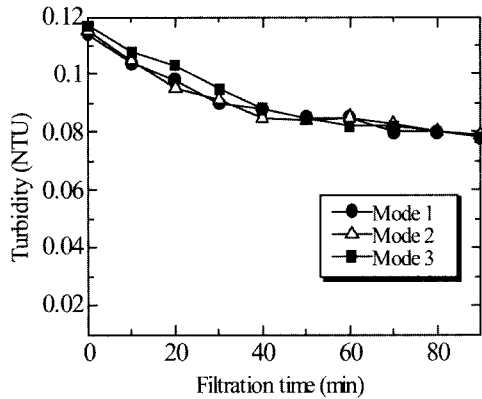


Fig. 4. Profile of filtrate turbidity after backwashing.

3.2. 트라프면까지 배수시 표면세척과 역세척 시간 변화에 따른 세척효율 평가

Kawamura(1991)는 여과지의 세정효율과 최적의 역세척 시간을 평가할 때, 세정시간에 따라 작성되어진 세정 배수 탁도의 곡선이 중요한 평가방법으로 이용하고 있다. 그러나 세정배수가 청정하게 된 것만으로 세척 효과가 좋은 것이라 판단할 수 없고, 세정 전후의 역류탁질량을 비교하여 평가해야 한다. 일반적으로 세정배수의 탁도는 5 NTU 정도가 될 때까지 역세척하는 것이 바람직하다.

Figure 5는 표면세척과 역세척 시간만을 조정한 4가지 운전 mode에서의 세정배수의 탁도를 나타낸 것으로, 최종의 세정배수 탁도가 모두 1 NTU 전후로 나타났으며, 이들 조건은 역세척 시간을 단축하여 과도한 역세척 수량의 소모를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

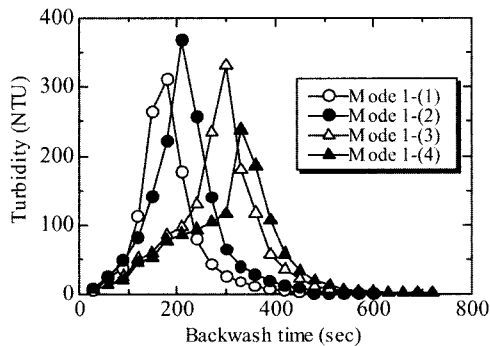


Fig. 5. Turbidity profile of backwashing water in mode 1.

본 실험의 mode 1-(1)에서 나타난 peak의 높이와 역세척 전후의 역류탁질 제거율로 평가할 때, 너무 짧은 표면세척 시간으로는 머드볼과 탁질입자가 제대로 파괴되지 않아 세정효율이 감소함을 알 수 있었으며, 반대로 비교적 긴 표면세척과 역세척의 병용시간에서는 여재 유실이 많음을 실험시 육안으로 관찰할 수 있었다.

Mode 1-(3)에서는 표면세척 단독 (3분)으로 기존에 운영되고 있는 방식(mode 1-(2))에 비하여 충분한 표면세척 시간이 확보되어 표면세척의 효율을 향상시킬 것으로 기대하였으나, 표면세척과 역세척의 병용시간이 짧은 1분으로는

표면세척에 의해 파괴된 탁질이 배출되기 위한 여재층의 유동화가 너무 짧아 세척효과가 감소하였다. Mode 1-(4)에서는 peak의 높이가 가장 낮아, Kawamura(1991)가 제시한 바에 따르면 4가지 조건 중 가장 낮은 세정효율을 나타냈다. 하지만, 단독 표세 4분 동안 지속적으로 탁질을 파괴하여 배출하고 있어서, 탁질 배출효과가 감소하였다고 볼 수 없었다. 한편, 최고의 세정배수 탁도는 각 mode별로 3분, 3분 30초, 5분 및 5분 30초로 나타났는데, 이는 표면세척과 역세척이 동시에 운영되는 단계에서 탁질의 배출이 가장 최대가 됨을 보여준다.

또한, 역세척 방식을 변화시킨 경우의 여과속도를 관찰한 결과, 각 mode별 여과속도는 각각 93.5 m/d, 94.9 m/d, 95.8 m/d 및 97.0 m/d로 나타나, 단독 표면세척 시간이 가장 긴 경우인 mode 1-(4)에서 향상된 여과속도를 나타냈다.

역세척 직후 여과시간 경과에 따른 여과수의 탁도변화를 관찰한 Fig. 6에서와 같이, 표면세척과 역세척 시간의 변화는 초기 여과수의 탁도 변화에 별다른 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

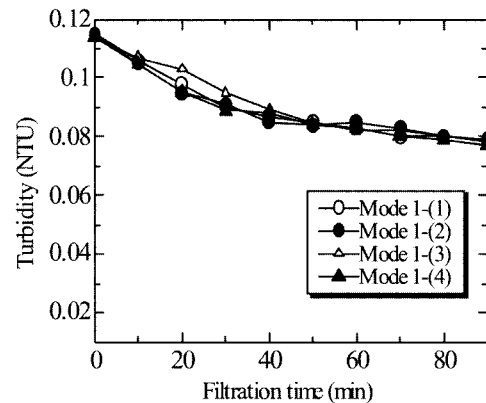


Fig. 6. Profile of filtrate turbidity after different backwashing condition.

3.3. 사면상 10 cm까지 배수시 표면세척과 역세척 시간 변화에 따른 세척효율 평가

Figure 7은 표면세척과 역세척 시간만을 조정한 4가지 조건에서의 세정배수의 탁도를 나타낸 것으로, mode 2-(1)과 (2)에서는 3분, 2-(3)에서는 4분, 2-(4)에서는 5분에서 최고의 탁도를 나타내었다. 여과사의 유출은 4가지 조건 모두 트라프면까지 배수후 표면세척과 역세척을 실시하는 방식보다 적었다. 이는 역세척수가 유입되고, 표면세척이 계속 진행되면서 수위가 트라프면까지 도달할 때 여과재가 유실되는 경향이 큰 것으로 볼 때, 사면상 10 cm까지 배수 후 표면세척과 역세척을 실시하는 경우에는 그런 영향이 적었다고 볼 수 있다. 또한, 세척 후기의 세정배수의 탁도는 모든 조건에서 5 NTU이하로 나타나, 충분한 세척이 이루어졌다고 볼 수 있다.

또한, 표면세척 시간을 2분 더 길게 한 mode 2-(4)에서 가장 향상된 여과속도를 나타냈으며, 여과초기의 탁질도 모든 조건에서 0.2 NTU 이하의 안정된 여과수를 나타냈다.

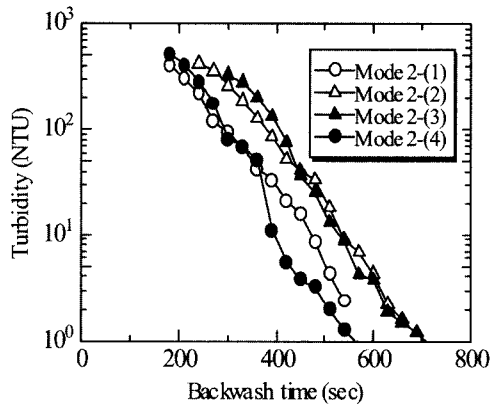


Fig. 7. Turbidity profile of backwashing water in mode 2.

4. 결론

표면세척과 역세척의 효율적 운영을 위한 방안으로서, 실제 운영중인 여과지를 대상으로 역세척전의 수위 변화와 표면세척과 역세척 시간변화에 따른 세척효율을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 역세척전 수위변화에 따른 세척 효율을 평가한 결과, 사면하 10 cm로 배수 후 표면세척과 역세척을 실시한 방법이 가장 좋은 세척효율을 나타냈다.
2. 트라프면까지 배수 후, 표면세척과 역세척 시간 변화에 따른 세척효율을 평가한 결과, 표면 세척시간이 가장 긴 경우인, 표면세척(4분), 표면세척과 역세척(2분) 및 역세척(6분)으로 운영한 방식이 가장 좋은 세척효율을 나타내었다.
3. 사면상 10 cm까지 배수 후, 표면세척과 역세척 시간 변화에 따른 세척효율을 평가한 결과, 트라프면까지 배수한 경우와 같이 표면세척 시간이 가장 긴 경우와 유사하게 나타났다.
4. 이상과 같은 실험 결과는 각 정수장의 표면세척 분사압, 여재면과 설비의 간격, 표면세척의 종류 등 시설과 현장 여건에 따라 다소 차이가 있을 것으로 사료되나, 역세척전 수위가 낮을수록, 표면세척 시간이 증가할수록 표면세척 설비의 효율이 증가되어 세척효과가 큰 것으로 조사되었다. 하지만, 실제 정수장의 여과지를 운영할 경우에는 과도한 표면세척과 역세척은 탁도의 초기 누출이 우려되므로 적절한 세척시간이 설정되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김상구, 류동춘, 이영식, 손진언, 낙동강 하류원수에 적합한 여과지의 여재구성, *한국환경과학회지*, **4**(5), pp. 481-488 (1995).
- 문용택, 최일환, 역세척수의 원수로의 재이용 연구, *대한환경공학회 2003 춘계학술발표연구회논문집*, pp. 1131-1135 (2003).
- 박영숙, 신응배, 모래의 유효경이 여과와 역세척에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **17**(8), pp. 787-798 (1995).
- 안중호, 윤재홍, 급속여과공정에서의 여과보조제 사용에 따른 여과특성, *대한상하수도학회지*, **14**(3), pp. 260-270 (2000).
- 안중호, 윤재홍, 김기석, 여과지 역세척공정의 최소유동화속도 및 팽창율 예측식 평가, *대한환경공학회지*, **21**(7), pp. 1297-1305 (1999).
- 이정택, 안중호, 최근호, 정수처리를 위한 여과지의 역세척에 관한 연구, *대한상하수도학회지*, **13**(3), pp. 61-72 (1999).
- 최승일, 김광연, 원동찬, 유공블럭형 하부집수장치 시스템의 개발, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 · 한국수도협회 공동춘계학술발표회논문집* (2000).
- 최승일, 이형숙, 역세척 방법에 따른 세척효과의 비교, *대한환경공학회지*, **18**(12), pp. 1521-1534 (1996).
- 최승일, 정세훈, 우리나라 정수장 여과지의 현황, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 · 한국수도협회 공동추계학술발표회논문집* (2000).
- 한국수도협회, 상수도시설기준 (1997).
- Amirtharajah A., Fundamentals and theory of air scour, *J. of Envir. Eng. Div., A.S.C.E.*, **107**(EE3), pp. 455-471 (1981).
- Amirtharajah, A., and Cleaby, J.L., Predicting expansion of filters during backwashing, *JAWWA*, **64**, pp. 52-59 (1972).
- AWWA & ASCE, Water treatment plant design, 3rd ed., McGraw-Hill (1998).
- Cleasby J.L., Back to the basic, *AWWA Seminar proceedings on coagulation and filtration*, pp. 59-84 (1981).
- Cleasby, J.L., ASCE, M., and Fan, K.S., Predicting fluidization and expansion of filter media, *J. of Envir. Eng. Div., A.S.C.E.*, **110**(3), pp. 573-590 (1984).
- Francois, R.J., and Haute A.A.V., Backwashing and conditioning of a deep bed filter, *Water Research*, **19**(11), pp. 1357-1362 (1985).
- Kawamura, S., Integrated design of water treatment facilities, John Wiley & Sons, Ins. (1991).
- Raymond, L.D., Filtration strategies to meet the surface water treatment rule, *AWWARF*, Denver (1991).