

DWTP Advisor를 이용한 소규모정수장의 성능평가 연구

A Study on Efficiency Evaluation of Small Water Treatment Plant using DWTP Advisor

○오정우 · 하은정 · 김정현 · 윤장근

1. 서 론

정수장의 규모에 대한 구분은 국내외적으로 명확한 기준이 정립되어 있지 않다. 우리 나라에서는 시설용량 5,000m³/day이하의 정수장을 소규모, 5,000~20,000m³/day 이하의 정수장을 중·소규모정수장이라 간주하고 있으며[1999, 환경부], 미국과 일본의 경우, 급수인구를 기준으로 하여 소규모정수장을 분류하고 있다. 소규모 정수장의 경우, 시설용량이나 급수인구의 비율이 적고 시설의 개선, 기술지원, 인력확보 및 행정·재정적 지원을 제대로 받지 못하고 있으며, 근무인원, 종사자의 운전관리 미숙, 검사장비의 미비로 인한 수질검사 및 관리의 미흡 등 많은 문제를 안고 있기 때문에 이와 같은 문제점을 개선할 수 있는 대안마련이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 소규모 정수장의 문제점을 개선하기 위하여, 자체시설운영평가에 의한 기능 향상을 주요목적으로 하여 정수장의 기능을 평가하고 성능을 제한하는 인자를 도출하고자 하였다. 이를 위하여 U.S. EPA에서 개발된 소규모정수장의 성능제한인자도출 및 평가를 위한 프로그램인 "DWTP Advisor"를 국내 소규모정수장에 적용시킴으로서 그 적용의 효율성과 도출되어진 성능제한인자에 대한 개선방안을 분석하였다.

2. 본 론

1) DWTP Advisor의 개요

DWTP Advisor는 정수장의 기능평가에 활용하기 위하여 정수장의 주요단위공정 성능평가와 성능에 영향을 미치는 제한인자들의 도출로 구성되어져 있다.

주요단위공정평가는 현 시설의 순간최대유량에 대한 각 단위공정의 용적처리능력을 평가한다. 각각의 단위공정은 용적처리능력이 현 시설의 순간최대유량의 95%이상일 경우 Type 1, 90%이상 95%미만일 경우 Type 2, 90%미만일 경우는 Type 3으로 분류된다.

성능제한인자평가는 단위공정과 전체 플랜트성능이 최적화 상태인지를 평가하는 단계로 행정, 유지관리, 설계 및 운전 부분으로 나뉘어져 있다. 인자들이 플랜트 성능결함의 주요원인이 되는 경우는 Factor A로 순위가 매겨지며, 플랜트 성능을 저하시키며 주기적으로 영향을 미칠 경우

Factor B로, 그리고 플랜트 성능상의 문제를 일으키지만 그 정도가 사소한 경우 Factor C로 분류된다.

2) DWTP Advisor의 적용

DWTP Advisor의 적용 대상인 N 정수장은 일일처리유량이 18,000m³/day로 앞서 서술한 규모 분류에 근거하여 중·소규모 정수장으로 분류되며, 복류수를 취수원으로 하고 있다. 급수인구는 약 42,000명이며, 처리공정은 혼화·응집 - 침전 - 여과 - 소독의 전형적인 정수처리단계로 이루어져 있다.

① 주요단위공정평가

N 정수장의 각 단위공정에 관한 용적처리능력을 평가하기 위하여 정수장의 순간최대유량, 운전시간, 연간 탁도, 수온, pH 등과 같은 공정데이터에서부터 응집, 침전, 여과 및 소독에 관련한 Check-list를 조사하였다. 대상 정수장의 경우, 응집·침전·여과에 관하여 현 시설은 정수장으로 유입되는 순간최대유량에 대하여 충분한 기능수행이 가능하지만, 소독공정은 후소독만 실시할 경우, Type 3로 분류되면서 유입유량에 대하여 소독기능수행이 어려운 것을 알 수 있다(Fig 1).

② 성능제한인자평가

성능제한인자에 대한 평가에서는 예산과 재정적인 계획의 평가 및 운전상·유지관리상에 영향을 미치는 인자를 도출하게 된다. N 정수장에서 Factor B로 도출된 성능제한인자는 침전지의 유출조건에 의한 침전슬러지의 월류와 침전슬러지의 비효율적 처리로 나타났다.

주요단위공정평가에서 Type 3로 도출된 소독공정에 대해서는 N 정수장의 경우, 현재 전·후소독을 동시에 실시하고 있으므로 각 공정별 용적처리능력은 정수장으로 유입되는 순간최대유량에 대하여 기능 수행상 문제는 없는 것으로 나타났다. 그러나, 침전슬러지의 월류(Carry Over)는 침전지 유입·유출 구조 등의 설계에 문제가 있을 경우 지내 이상적인 흐름을 방해할 수 있으며 이로 인하여 상승류 및 편류가 발생하여 침전지 기능을 제대로 수행할 수 없는 경우와 수온의 일간변화에 의한 밀도류 및 용량효율의 저하 등이 원인이 될 수 있다.

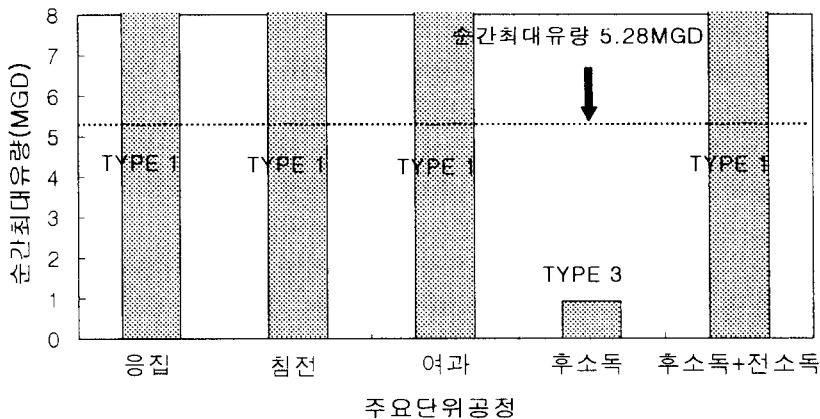


Fig 1. Performance Potential Graph of N WTP

3) 침전지의 흐름특성

일반적으로 침전지에서는 횡방향의 난류유속이 존재하므로 독립입자는 분산되어 침전효율이 감소하게 된다. 수평류식 침전지에서 침전과정은 Reynolds Number에 의해서 영향을 받으며 Reynolds Number로 수평류의 흐름상태를 층류($Re \leq 500$), 천이류($500 < Re < 2000$) 및 난류($Re \geq 2000$)로 구분한다. 아래와 같은 침전지 조건에서 N정수장의 Reynolds Number는

- 처리유량 : $Q = 22,000 \text{ m}^3/\text{day} = 0.255 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 침전지 규격 : $B \ 8.0\text{m} \times L \ 26.0\text{m} \times H \ 5.0\text{m} \times 3\text{지}$

$$\text{Reynolds Number} \quad Re = \frac{V_0 R}{\nu} = 3195.98 \quad \text{으로 나타났다.}$$

따라서, 대상정수장의 침전지 흐름은 난류상태임을 알 수 있다.

여기서, R은 운반, V_0 는 유속, 동점성계수 ν 는 수온 6°C 에서 $1.471 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ 이다.

또한 침전지의 흐름 안정성은 Froude number인 관성력과 중력의 비율로 정의된다

$$Fr = \frac{V_0^2}{gR} > 10^{-5} \quad (\text{Stable})$$

장방형 수평류식 침전지에서

$$V_0 = \frac{Q}{BH} \quad R = \frac{BH}{B+2H} \quad \text{이므로}$$

$$Fr = \frac{Q^2}{g} \frac{B+2H}{B^3 H^3}$$

여기서 g 는 중력가속도, B는 침전지의 폭, H는 침전지의 깊이, 그리고 Q는 유량을 나타낸다.

식으로부터 Froude number는 침전지의 용량이 클수록, 폭과 깊이가 작을수록 커진다는 것을 알 수 있다. 침전지의 수류안정성에 대한 Froude Number의 영향에 관한 이론에서(Camp, Fig 2)

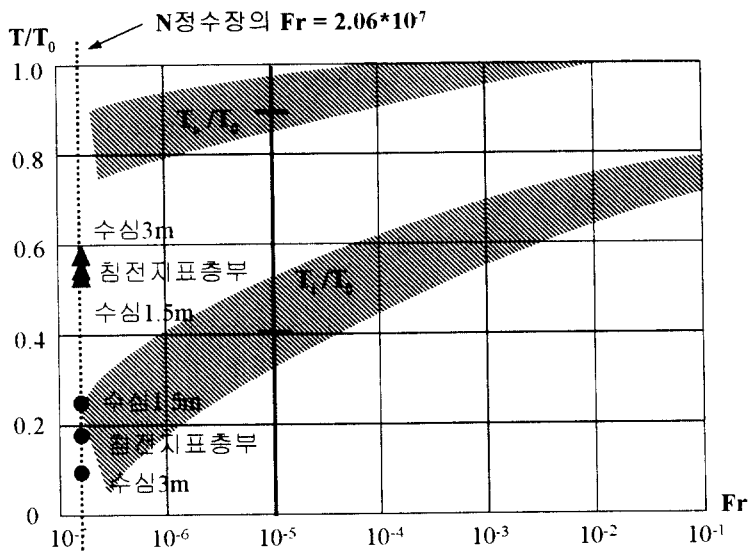


Fig 2. Influence of the Froude number on the degree of short-circuiting

일반적으로 Fr 는 10^{-5} 이 적정하며 이는 T_i (Initial Flowing Time)와 T_0 (Theoretical Flowing Time)의 비가 0.4에서 T_a (Average Detention Time)와 T_0 의 비가 0.9사이의 값으로 단락류를 방지할 수 있는 적정한 수준임을 알 수 있다. 그러나, 통상 침전지내에서 Re 10,000이하, Fr 10^{-6} 이상을 평가기준으로 하기도 한다[Kawamura, 1991]. N 정수장의 경우,

$$Fr = \frac{V^2}{gR} = 2.06 \times 10^{-7} \quad \text{으로 침전지 흐름은 난류상태를 나타냄을 알 수 있다.}$$

수평방향의 속도분포에서 유입수의 일부는 이론체류시간보다 빨리 침전지의 유출부에 도달하고 일부는 길어지기도 한다. 이는 부유입자의 체류시간별 누적빈도분포(Cumulative Frequency Distribution)로 가장 적절하게 표현할 수 있다. 실제 침전지는 원수의 불균일한 유입, 상등수의 불균일한 유출, 바람에 의한 교란, 밀도차이 등에 의해 교란된 조건하에 있으나 이론적 계산은 불가능하므로 현장에서 추적자실험(Tracer-Test)을 통해 측정할 수 있다. 추적자실험은 유입수가 일정한 농도(C_0)의 추적자물질을 갖도록 추적자를 주입하고 유출수의 추적자 농도(C)를 측정하여 시간별 C/C_0 의 누적빈도분포 그래프를 나타낸다.

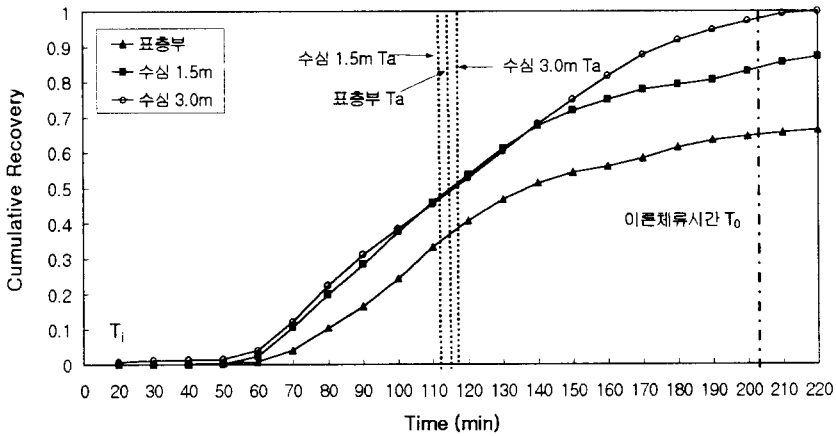


Fig 3. Cumulative Recovery Distribution of Detention Time

N정수장의 경우, Fig 3에 나타난 것처럼 각 수심별 추적자실험에서 유출측까지 도달하는 시간이 아주 짧다는 것을 알 수 있다. 이것은 최대유속이 크게 증가하였다는 것을 의미하며, 난류로 인한 간접적인 침전효율의 감소와 침전지 바닥의 슬러지를 재부상시키는 Scouring Velocity를 유발한다. 또한, 침전효율에 대하여 평균체류시간(T_a)과 초기유출시간(T_i)에 대한 이론체류시간(T_0)의 비를 살펴보면 평균체류시간이 이론체류시간과 같은 경우 침전지 효율저하에 미치는 영향은 매우 작으나 평균체류시간이 이론체류시간보다 작은 경우, 침전효율저하는 필연적으로 발생하게 된다. 따라서, 단락류의 발생이 최소화되도록 하여야한다. N정수장의 침전지 각 수심별 평균체류시간은 이론체류시간(3.4시간)보다 작음을 알 수 있으며(Fig 3), 이에 따라 침전지의 효율저하 및 단락류의 발생가능성이 예상되어진다.

3. 결 론

정수장의 응집, 침전, 여과, 소독의 각 공정을 평가하고 공정의 성능을 제한할 수 있는 인자들을 파악하여 우선적으로 개선해야할 항목들을 결정함으로써 현 시설의 개선방안을 용이하게 도출할 수 있는 DWTP Advisor를 국내 N 정수장에 적용시켜본 결과, N정수장의 각 공정별 용적처리 능력은 현 유입유량을 처리하는데 적합한 것으로 나타났으나, 침전지에서 침전슬러지의 월류가 공정의 성능에 영향을 미치는 인자로 도출되었다. 침전지는 우리 나라 상수도시설 설계기준에 적합한 설계치로 설계되어 있으나, 침전지의 Reynolds Number와 Froude Number는 각각 3159.98과 2.06×10^{-7} 를 나타냈으며, 평균체류시간과 이론체류시간을 비교해 본 결과 평균체류시간이 이론체류시간보다 훨씬 짧으므로 침전효율저하는 필연적이며 침전지의 흐름이 난류상태와 단락류 발생 가능성이 있음을 알 수 있었다. 또한, N정수장에 설치되어 있는 유출트라프는 침전지 길이에 비해 상당히 짧았으며 침전지마다 각각 다른 형태와 길이로 설치되어 이로 인한 흐름의 불안정이 침전물의 월류부하에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 일반적으로 적정한 상승유속을 갖기 위한 트라프의 설치는 침전지의 전단으로부터 1/2~2/3지점부터 트라프가 설치되어야 한다. 그러므로, 침전지는 정류벽과 같은 구조물을 설치하여 Froude Number를 높임으로서 흐름의 안정성을 증가시킬 수 있는 방법뿐 아니라, 현 시설에 부가한 트라프의 설치 또한 모색되어야 하며 침전슬러지의 월류는 침전지의 구조적 잘못과 함께 슬러지 제거의 부적합 등이 관련되어 있으므로 침전슬러지의 연속적 제거 및 배출설비의 점검이 이루어져야 한다.

<참고문헌>

1. National Research Council, Safe Water from Every Tap : Improving Service to Small Communities, 1997
2. U.S. EPA Drinking Water Treatment Plant Advisor, 1996
3. Susan M. Teefy and Philip C. Singer, Performance and Analysis of Tracer Tests to Determine Compliance of a Disinfection Scheme With the SWTR, Jour AWWA, pp 88~98, 82, 12, 1990
4. Susan Teefy, "Tracer Studies in Water Treatment Facilities : A Protocol and Case Studies", AWWA, 1996
5. Sedimentation and Flotation, IIIHE 1986
6. S. Kawamura, "Integrated Design of Water Treatment Facilities", 1991
7. 厚生省生活衛生局水道環境部, 水道統計要覽, 1996
8. 환경부, "정수장 적정운영관리 방안 및 등급제도 도입에 관한 연구", 1999
9. 대한상하수도학회 수도연구회, 깨끗하고 경제적인 수도를 생산을 위한 정수장의 성능진단(대한상하수도학회 수도연구회 심포지엄), 1998

<감사의 글>

본 연구는 환경부 환경기술연구개발사업(공공기반기술연구개발사업)의 "정수장 진단기술의 개발"연구과제의 일부로 수행되었습니다.