

— 기술정보 —

정수 슬러지 발생량 조사 및 슬러지 처리시설의 공정평가

— Technical Report —

Research of Sludge Quantity and Evaluation of Sludge Handling Facilities in Water Treatment Plants

문성용* · 김승현

Moon, Seong-Yong* · Kim, Seung-Hyun

경남대학교 토목환경공학부

Abstract

Sludge quantity has increased at "A"water treatment plant due to deterioration of raw water quality and GAC installation. Increased sludge resulted in overloading on sludge handling facilities. The object of this study is to survey sludge quantity and capacity of sludge handling facilities at "A"water treatment plant. Measured quantity of sedimentation sludge considerably exceeded the design capacity of sludge holding basin. Sludge holding basin was properly designed, but low concentration of sludge discharged from sedimentation basin caused production of large volume of the sludge. Timer operated control system for sludge withdrawal unit and leakage through a control valve were suspected to cause the low concentration. Augmentation of the control system by a turbidity meter and addition of a new control valve successfully reduced the sludge volume enough to satisfy the design capacity of sludge holding basin. Unlike sedimentation sludge, measured quantity of washwater was considerably less than the design capacity of washwater basin because it was over-designed.

Key words: Sedimentation sludge, Washwater, Sludge audit, Leakage control

주제어: 침전슬러지, 세척수, 슬러지 발생량 평가, 누수조절

1. 서 론

원수 수질 악화와 생산수량 증가 그리고 응집약품 투입량 증가로 인하여 정수 슬러지 발생량이 급속하

게 증가하고 있다. 이러한 원인으로 전체 유지관리비에 대한 슬러지 처리비의 증가가 정수장 운영에 상당한 부담 요인으로 작용하게 되었다. 한국수자원공사 자료에 의하면 자사에서 관리하고 있는 26개의 정수

*Corresponding author Tel: +82-55-249-2595, E-mail: moonjada@hanmail.net (Moon, S.Y.)

장에서 발생하는 슬러지량은 합수를 80% 습윤슬러지를 기준으로 1995년 연간 72,000m³에서 1997년 연간 114,659m³이며 2006년에는 187,500m³을 예상하고 있고, 수도권지역의 1998년 현재 톤당 처리비인 31,000원을 적용한다면 1995년 22.3억원에서 1997년 35.5억원 그리고 2006년도에는 58.1억원으로, 10년 동안 2.6배 증가할 것으로 예상하고 있다(한국수자원공사, 1995). 이 처럼 정수처리공정에서 슬러지 처리비용이 날로 증가하고 있다는 것을 알 수 있지만 정수장의 슬러지 처리시설 및 운영방식은 설계 당시 기준을 대부분 적용하고 있는 실정이다. 슬러지 처리는 발생량에서부터 설계 당시와는 너무나 다른 값을 가진다. 예로, 낙동강 하류지역의 경우 1984년 설계당시 상수원수 2등급이었던 수질은 현재 상수원수 3등급으로 수질이 악화되면서 응집제 투입량이 증가하였다. 이 결과 슬러지 발생량이 크게 증가하였다.

또한 대부분 정수장에서 슬러지 발생은 침전슬러지와 여과지 역세폐수로 구성되며, 이들은 대부분 유출밸브의 작동과 수두차에 의해 슬러지 처리시설로 이송되게 된다. 이 과정에서 밸브의 개폐는 상당히 중요한 운전인자이다. 그렇지만 장기간의 사용으로 밸브 효율이 상당히 저하되어 있으며, 슬러지 발생량은 밸브 효율에 따라 크게 영향을 받고 있는 문제점을 안고 있다.

국내 정수장의 슬러지 처리 시설은 대부분 1990년대 초반부터 운영되기 시작하여 현재 10여 년간 운영되고 있다. 그동안 발생 슬러지의 처분 또는 재활용에 관한 연구(구 등, 1998: 권 등, 1999: 김 등, 1995: 서울시, 1997)는 다양하게 진행되었지만, 정작 현재의 운영실태 파악과 운영효율 평가에 대한 연구는 미비한 상태이다. 이 시점에서 본 연구는 정수장 슬러지 처리시설의 운영에 관한 문제점을 파악하고, 현재 운영중인 처리시설의 효율을 평가하고자 한다. 또한 이 결과를 바탕으로 효율적 운영 방법을 제시하

는 것을 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 현재 운영중인 광역상수도 시설인 "A" 정수장을 대상으로 슬러지의 발생, 이송, 회수, 농축, 탈수 공정을 전반적으로 평가하고자 한다. 연구의 목적을 요약하면 아래와 같다.

- 공정별 슬러지 발생량을 조사한다.
- 이론적 계산법
- 현장실측법
- 단위공정의 시설용량을 평가한다.
- 공정개선 및 효율적 운영방안을 제시한다.

2. 조사 대상 및 평가 방법

본 연구는 낙동강 하류에 위치한 "A" 정수장을 대상으로 하였으며, 사업소의 운영자료와 현장 실측을 바탕으로 진행하였다. 대상 시설은 생산용량 400,000톤/일 규모의 광역상수도 시설로, 슬러지 처리시설은 1994년 설치되었다.

2.1. 대상 정수장의 일반 현황

대상 정수장은 일반 정수시설 이외에 전오존, 전염소, 후오존, 활성탄 여과 등의 고도정수 처리시설을 적용하고 있다. 대상정수장의 처리공정을 Fig. 1에 개략적으로 나타내었다.

원수는 낙동강 하류의 수질 악화로 인하여, 탁도가 높은 편이다. 하절기에는 평균 탁도가 30 NTU를 넘고, 11월~2월까지의 동절기에만 10 NTU 미만을 유지하고 있다. 사용되는 응집제는 알루미늄계인 황산알루미늄(LAS, Liquid Aluminum Sulfate), 고분자 응집제인 PACS(Poly aluminum sulfate silicate)이다. 부철조류발생이 심할 경우 황산알루미늄을 사용하고, 나머지는 PACS를 주로 사용하고 있다.

Fig. 1. 정수처리 개략도.

2.2. 슬러지 처리과정

대상 정수장의 슬러지 처리과정은 침전, 농축, 개량(약품응집), 탈수 등이 적용되고 있으며, Fig. 2에 슬러지 처리공정을 제시하였다. 슬러지 발생원은 침전슬러지와 급속여과 및 활성탄여과 공정의 역세척공정이다.

Fig. 2에서처럼 역세척슬러지는 바로 회수조로 이송되어 일정시간 체류 후, 최초 정수공정인 착수정으로 회수된다. 반면, 침전슬러지는 배슬러지지로 이송된 후 농축과 탈수공정을 거치게 된다. 따라서 직접적인 슬러지 처리시설의 처리대상은 침전슬러지 뿐이며, 역세척 슬러지는 전량 착수정으로 회수된다.

2.3. 슬러지 발생량 조사 방법

슬러지 발생량 조사는 이론적 계산법과 현장실측법을 동시에 실시하였다. 이론적 계산법은 원수의 탁도와 응집제 종류 및 주입량을 바탕으로 산정하였다. 현장실측에 의한 방법은 배슬러지지와 회수조 수위를 인위적으로 감소시킨 후, 시간에 따른 수위변화를 측정하는 방법을 적용하였다. 실측된 현장 기록 자료는 중앙운영실의 기기작동 일지와 시간대별로 비교·분석하여, 유입원별 슬러지 발생량을 계산하였다. 발생 슬러지 농도는 유입시간에 따라 크게 다르기 때문에 1~5분 간격으로 시료를 채취하고, 시간대별 고품물

농도를 측정하여 평균 값을 적용하였다. 또한 탈수된 슬러지 탈수케이크 방출량을 조사하여 현장실측 자료를 검증하였다.

2.4. 시설용량 평가 방법

슬러지 처리공정의 시설용량은 조사된 발생량과 공정의 유입 슬러지량을 바탕으로, 시설용량 및 오염부하를 계산하였다. 평가기준은 환경부 상수도시설기준(환경부, 1995)을 적용하였다.

3. 공정별 슬러지 발생량 조사

3.1. 침전슬러지 발생량

침전슬러지 발생량 조사는 원수의 탁도와 수처리약품 등을 이용한 이론적 계산법과 현장실측법을 통해 슬러지 발생량을 조사하는 방법 등이 있으며, 현장실측의 어려움으로 인하여 이론적 계산법이 가장 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 이론적 계산법과 현장 실측법을 적용하여 발생량을 조사하고, 월별, 조사방법별 발생량을 비교하여 나타내었다.

대상 정수장의 침전지는 총 8지로 구성되어 있다. 형상은 직사각형이고, 1지의 총 용적은 5,760m³로 침전지내의 평균 체류시간은 3.1시간(생산량 360,000m³/일 적용)으로 운전되고 있다. 각 지에서는

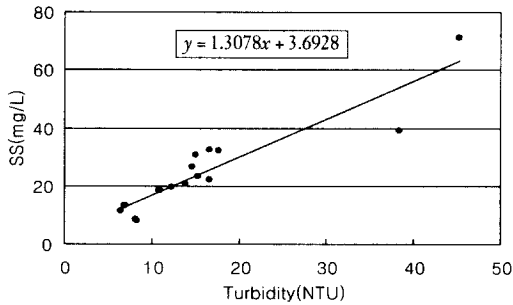


Fig. 3. 탁도와 부유물질 환산율.

중앙운영실의 조정에 의해 일정시간 간격으로 슬러지 배출밸브가 작동된다. 이렇게 배출된 침전슬러지의 전량은 배슬러지지로 이동된다.

3.1.1. 이론적 계산법

(1) 적용공식

이론적 계산법은 원수의 탁도와 주입 약품의 특성을 이용하여 발생량을 결정하는 방법으로, 아래의 [식 1]이 적용되고 있다.

$$S = Q(T \cdot E_1 + C \cdot E_2) 10^{-6} \quad \text{[식 1]}$$

여기서, S: 침전슬러지 건조중량(ton/일)

Q: 정수량(m³/일)

T: 원수탁도

E₁: 탁도와 부유물질(SS)의 환산율

E₂: 응집제에 의한 슬러지 발생계수

C: 응집제 주입율(mg/L)

① 원수 탁도(T)

[식 1]에서 원수탁도는 개개 정수장의 원수와 취수 위치 등의 입지환경상의 요건을 고려하여 설정되어야 한다. 일반적으로 원수의 수질 변동이 적은 하천의 경우는 전량처리를 원칙으로 하고, 수질 변동이 큰 경우 연간 일수의 95%까지 처리하는 것을 목표로 한다. 대부분의 하천의 경우 연간 평균 부유물질농도의 4배를 적용함으로써 충분한 처리목표를 달성하게 된다(환경부, 1995). 본 연구에서는 현재 발생량을 목표로 하기 때문에 매월 단위의 평균 원수탁도를 직접 적용하였다.

② 탁도와 부유물질(SS)의 환산율(E₁)

탁도와 부유물질의 환산율(E₁)은 일반적인 경우 1.0~2.0의 범위이며, 일반적으로 하천을 수원으로 하는 경우가 저수지를 수원으로 하는 경우보다 높은 값을 가진다(환경부 1995). 대상 정수장의 경우 2000년 6월 5일부터 11월 6일까지의 수질분석 결과를 바탕으로 환산율(E₁)을 결정하였다. 대상 정수장의 환산율을 Fig. 3에 제시하였다.

Fig. 3에 의해서 환산율은 1.31로 결정되었다. 이

Table 1. 슬러지 발생계수

	Al ₂ O ₃ content	KOWACO	AWWA	Kawamura
Alum(L)	8.1% (1.2)*	0.149	0.252	0.26
PACS	17.0% (1.35)*	0.351	0.594	(0.61)**

*: ()는 비중

**: ()는 비례식으로 계산된 값

Table 2. 월별 유입유량, 응집제 종류 및 주입량

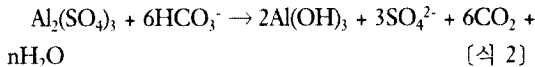
Month	Flow rate m ³ /d	Turbidity NTU	Coagulant type	Coagulant dosage ppm
6	318,800	16.2	LAS/PACS	51.8/26.8
7	353,900	40.0	PACS	25.0
8	356,600	37.3	PACS	22.4
9	353,200	34.9	PACS	19.4
10	351,400	7.7	PACS	14.7

값은 한국수자원공사(0.5~2.0), 그리고 국외의 연구 결과 Kawamura(1.0~2.0), AWWA(0.7~2.2)와 크게 다르지 않았다(한국수자원공사, 1995; AWWA, 1999; Kawamura, 2000).

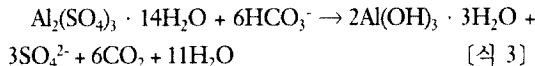
③ 슬러지 발생계수(E_2)

슬러지 발생계수(E_2)는 응집제의 주입량과 알칼리도(Alkalinity)에 의해 결정되는 값이다. 알루미늄계 응집약품에 의한 침전물은 기본적으로 수산화알루미늄($Al(OH)_3$)이지만, 분자구조와 형태에 따라 적용되는 슬러지 발생계수(E_2)가 조금씩 다르게 적용되고 있다. 한국수자원공사(한국수자원공사, 1995)와 미국수도협회(AWWA, 1999)에서 적용하고 있는 기본 반응식을 [식 2]와 [식 3]에 제시하였다.

· KOWACO



· AWWA



[식 2]와 [식 3]에 의하면 한국수자원공사의 경우 침전물의 분자식을 $Al(OH)_3$ 로 적용하고 있으며, 미국수도협회의 경우 $Al(OH)_3 \cdot 3H_2O$ 로 적용하고 있다. 본 연구의 대상 정수장에 사용되고 있는 응집제에 대하여 한국수자원공사와 미국수도협회 그리고 Kawamura가 적용하고 있는 슬러지 발생계수(E_2)를

계산하여 Table 1에 제시하였다(한국수자원공사, 1995; AWWA, 1999; Kawamura, 2000).

④ 수질인자

[식 1]의 적용을 위해 대상 정수장의 월별 유량과 응집제 종류 및 주입량을 Table 2에 제시하였다.

표 2에서 유량과 응집제 주입량은 월 평균값이며, 탁도는 강우에 의한 일시적 고탁도의 영향을 줄이기 위해 신뢰구간 95%범위의 값에 대한 평균값이다. 응집제는 6월의 경우 Alum과 PACS가 모두 사용되었다. 6월 20일까지는 액반을 그 이후에는 PACS가 사용되었다.

2) 발생량

[식 1]에 의해 계산된 월별 침전슬러지 발생량을 Fig. 4에 제시하였다.

Fig. 4에 의하면 강우가 발생하는 7~9월의 발생량이 크게 나타났고, 상대적으로 6월과 10월은 발생량이 낮았다. 한국수자원공사의 식을 이용한 경우 미국

Table 3. 현장 실측에 의한 고형물 발생량

실험기간	1회 발생량 (m3)	횟수 (회/일)	침전슬러지 발생량 (m3/일)	고형물(SS)농도 (mg/L)	침전슬러지 고형물량 (ton/일)
7월	672	22	14,784 (4.2%)*	1,050	15.5
10월	672	18	12,096 (3.4%)*	526	6.4

*처리수량에 대한 비율

Table 4. 침전 슬러지 발생량

기간 (월)	슬러지 탈수 케이크 발생량 (ton/일)	침전슬러지 발생량(ton/일)	
		이론적 계산법	현장실측법
6	-	10.3	-
7	12.0	22.7	15.5
8	14.4	21.2	-
9	13.8	19.4	-
10	10.0	6.0	6.4

수도협회 식보다 대략 85~90% 정도의 슬러지 발생량을 보였다. 슬러지 총 발생량을 탁도 성분과 응집제 성분으로 구분하여 Fig. 5 나타내었다.

Fig. 5에 의하면 대상 정수장의 경우 침전슬러지의 대부분은 탁도 성분으로 강우기간인 7~9월에는 전체의 80% 이상을 차지하였다. 반면, 원수의 평균탁도가 상대적으로 낮아지자(6월, 10월) 응집제 성분이 차지하는 비중이 35~41% 까지 높아졌다.

3.1.2 현장실측법

현장조사는 7월과 10월 2회 실시하였으며, 슬러지 발생량의 정확한 조사를 위하여 두 번 이상의 반복실험을 실시하였다. 슬러지 발생량은 배슬러지지로 유입되는 침전 슬러지의 농도와 유량을 측정하여 결정하였다.

(1) 발생량

대상 정수장의 침전슬러지 유출은 유출밸브의 동작으로 이루어지며 평균 1.5~2분간 개방된다. 유출된 슬러지는 대형 관로를 통해 배슬러지지 유입구로 이송되며 평균 체류시간은 5분 이상이다. 유입되는 침전슬러지는 약 30분간 일정한 양으로 유입되므로, 유입 시간별 고형물농도를 측정하여 적용하였다. 실측된 고형물 농도는 Fig. 6에, 현장 실측에 의한 발생

량 조사 결과는 Table 3에 제시하였다.

Fig. 6에서 가로축의 시간은 침전슬러지 배출밸브가 개방된 시간부터의 경과시간을 나타낸다. 유출되는 침전슬러지의 농도가 일정한 피크점을 나타내지 않고 30분 이상 비슷한 농도를 보이고 있다.

Table 3의 유출횟수는 7월과 10월의 대표 값을 평균하여 적용하였다. 고형물농도로 적용된 부유물질 농도는 총고형물의 약 95%였다. 측정된 1일 총고형물 발생량은 7월에 15.5 ton, 10월에 6.4ton 이었다. 그리고 7월의 평균 부유물질 농도는 1,050mg/L이고, 10월은 526mg/L인 것으로 조사되었다. 측정된 침전슬러지 농도는 기계식 수집 장치가 있는 장방형 침전지의 일반적인 농도 범위인 0.5~1.5% (Kawamura, 2000)에 비해 아주 낮은 값이었다. 또한 침전슬러지량을 살펴보면, 7월의 경우 전체 처리수량의 4.2%이고, 10월의 경우 3.4%였는데, 이것은 Kawamura가 제시한 일반적 배출수량비인 0.1~0.5% 범위를 크게 초과하고 있다. 이렇게 침전슬러지의 농도가 낮고, 발생량이 많을 경우 이 후 공정의 처리용량 부족을 초래하게 된다.

3.1.3. 침전슬러지 발생량 비교

이론적인 방법과 실측에 의한 방법을 적용하여, 침

전슬러지 발생량을 조사하였다. 두 방법에 의한 조사 결과와 실제 슬러지 탈수케이크 발생량을 Table 4에 제시하였다.

Table 4에서 슬러지 탈수케이크 발생량은 실제 정수장의 운영 자료를 바탕으로 조사하였으며, 측정된 함수율은 80.2%로 적용된 함수율은 80%이다. 이론적 계산법에 의한 발생량은 한국수자원공사의 방법을 적용한 결과이다.

Table 4에 의하면 실측값과 이론값의 차이가 큰 것으로 나타났다. 7월의 경우는 이론값이 실측값 보다 약 45% 높게 나타났지만, 10월의 경우는 오히려 실측값이 6% 높게 나타났다. 7월과 10월의 발생량 합계를 보면 현장실측치는 실제 슬러지 탈수케이크 발생량인 22.0 ton/일과 거의 유사한 21.9 ton/일로 조사되고, 이론적 방법에 의한 발생량은 28.7 ton/일로 다소 높게 나타났다. 특히, 7~9월에 이론적 발생량이 높게 나타났다. 이처럼 이론적 계산법에 의한 값이 전반적으로 높게 나타나는 것은 유입부에서 슬러지 탈수공정까지의 체류시간에 의한 오차와 슬러지 발생이 대부분 탁도에 의한 것이라는 점을 착안해 볼 때, 탁도와 부유물질 환산율이 높게 결정되었거나, 월류웨어를 통해 여과지로 유출되는 양이 보정되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

이상에서 탁도가 높은 하절기의 경우 이론적 계산법에 의한 발생량은 현장실측값의 약 1.5배 높게 조사되었으며, 원수탁도가 상대적으로 낮은 10월의 경우 거의 유사한 값을 나타내었다. 슬러지 체류시간과

유출탁도에 의한 손실부분을 적용한 이론적 계산법과 실제 슬러지 탈수케이크 발생량을 비교한 결과 하절기인 7~9월의 경우 이론적인 방법은 실제 발생량의 1.4~1.5배 인 것으로 조사되었다.

3.2. 역세척슬러지 발생량

대상 정수장은 일반적인 급속여과지와 고도정수처리공정으로 활성탄여과지를 운전하고 있다. 급속여과의 경우 총 여과지는 28지로 1지의 여과면적은 120m²이고, 평균 여과속도는 110 10m/일, 역세척 주기는 0.1~0.4회/일로 운전되고 있다. 또한, 전체 여과지가 하나의 중앙배수로에 연결되어 있어, 개별적인 수질 측정이나 관리에 불리한 구조를 하고 있다. 활성탄여과지의 경우는 총 16지이며, 각 지의 여과면적은 108m²이고, 평균 여과속도는 190 10m/일, 역세척 주기는 10.7일 이다. 발생된 역세척 폐수는 전량 회수조로 이동되고 일정시간 침전 후, 착수정으로 회수되게 된다. 급속여과와 활성탄여과의 세척수량은 모두 회수조로 이송되기 때문에, 이 후의 슬러지처리공정에는 직접 영향을 미치지 않는다.

3.2.1. 이론적 계산법에 의한 조사

급속여과지의 역세척 공정은 표면세척과 역세척으로 이루어지며 활성탄 여과지의 세척은 공기세척과 역세척 그리고 표면세척으로 이루어진다.

(1) 배출수량

여과지 역세척에 따르는 1지의 배출수량은 [식 4]

Table 5. 급속여과지 세척조건 및 발생량

표면세척		역세척		표면적 (m ² /지)	잔류수량 (m ³)	급속여과지 세척수량 (m ³ /회)
수량 (m ³ /m ² · min)	운전시간 (min)	수량 (m ³ /m ² · min)	시간 (min)			
0.15	10	0.70	10	120	180	1,200

Table 6. 활성탄여과지 세척조건 및 발생량

역세척		표면적 (m ² /지)	잔류수량 (m ³)	활성탄여과지 세척수량 (m ³ /회)
수량 (m ³ /m ² · min)	운전시간 (min)			
0.67	36	108	162	2,767

에 의해 산출할 수 있다.

$$Q_f = A(V_1 T_1 + V_2 T_2) + \alpha \quad \text{[식 4]}$$

여기서, Q_f : 배출수량($m^3/지$)

A : 여과표면($m^2/지$)

V_1 : 표면세척속도($m/분$)

V_2 : 역세척속도($m/분$)

T_1 : 표면세척시간($분/회$)

T_2 : 역세척시간($분/회$)

α : 여과지 세척 전후의 잔류수량차

운전시간 적용은 정수장 운영자료를 바탕으로 조사하였으며, 잔류수량은 역세척 전후의 수위차인 평균 1.5m를 적용하여 산출하였다. 배출수량은 이론적인 방법에 의해 결정하고 역세척 폐수의 농도는 유출수의 시간별 농도를 측정하여 적용하였다. [식 4]의 적용을 위한 여과공정의 세척조건 및 발생량을 Table 5와 Table 6에 제시하였다.

3.2.2. 현장실측에 의한 발생량 조사

실측에 의한 여과지 세척수량은 회수조에서의 수위변화를 현장 측정을 통해 조사하였다. 조사 결과 10월의 경우 급속여과지에서 1회 역세척시 발생하는 폐수량은 1,180 m^3 이며, 1일 평균 3.8지에서 역세척이 실시되었다. 활성탄 여과지는 1지를 1회 세척하는데 2,550 m^3 의 역세척 폐수가 발생하며 1일 평균 1.5회 역세척이 실시되고 있다. 역세척 폐수의 농도는 회수조 유입부에서 1~5분 간격으로 부유물질 농도를 측정하여 적용하였다. Table 7에 여과지 역세척에 의한 발생량을 제시하였다.

Table 7에서 급속여과지의 평균역세척 주기는 7.4

일로 일반적인 세척주기인 1~2일에 비해 아주 긴 것으로 조사되었다. 발생하는 역세척 수량은 여과수량의 1.3%로 Kawamura가 제시한 2~3% 보다 낮게 나타났다. 또한 UFRV(unit filtration run volume)은 (AWWA, 1998) 814 m^3/m^2 으로 아주 양호한 것으로 조사되었다. 반면, 여과면적당 1회 발생량은 9.8 $m^3/m^2/회$ 로 AWWA가 제시한 역세척수량 4~8 $m^3/m^2/회$ 을 초과하는 것으로 조사되었다.

이상에서 1회 발생하는 역세척 수량의 경우 기준을 초과하지만, 역세척 주기가 7.4일로 매우 길기 때문에 여과수량 및 UFRV가 기준을 만족하는 것으로 조사되고 있다. 이처럼 역세척 주기를 길게 운전하는 것은 회수조의 용량부족을 고려하여, 역세척 수량을 감소시키려는 운영상의 목적 때문이다. 그렇지만 역세척 주기가 길어지면 여재상층의 수심이 증가하게 되고, 여재 압밀현상이 발생하여 세척효율이 감소할 수 있다. 또한 여과지 전체의 운전수위가 높게 유지되면서, 잔류수량의 증가로 1회 역세척 발생량이 증가하는 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 역세척 주기를 감소시키고, 운전 수위를 감소시켜서 1회 역세척 발생량을 감소시키는 것이 효과적이라고 판단된다.

Table 7. 역세척슬러지 발생량

공정	1회 발생량 ($m^3/회$)	평균역세척주기 (일)	고형물농도 (mg/L)	1일 발생량 ($m^3/일$)	발생고형물량 ($ton/일$)	UFRV (m^3/m^2)
급속여과지	1,180	7.4	25	4,484 (1.3%)*	0.11	814
활성탄여과지	2,550	10.7	42	3,825 (1.1%)*	0.16	2,033

*처리수량에 대한 비율

3.2.3 역세척 폐수 발생량 비교

이론적 계산법과 현장실측법에 의해 조사된 1회 역세척수량을 Fig. 7에 제시하였다.

Fig. 7에서처럼 역세척 폐수의 발생량은 이론적 계산법에 의한 값과 현장실측값이 유사하게 조사되었다. 활성탄 여과지의 경우가 급속여과지의 경우보다 1회 발생량이 크게 나타났다. 이것은 활성탄여과지의 경우 충분한 세척을 위해 장시간 역세척을 실시하기 때문이다.

4. 단위공정의 시설용량 평가

슬러지 처리공정은 1994년에 설계·시공되었으므로 지금의 슬러지 발생량과 운영상의 특성들을 반영

시키지 못하고 있다. 따라서 발생량의 증가에 따른 적절한 용량 평가가 이루어져야 하겠다. 공정평가방법은 각 공정에서 실측된 자료를 바탕으로 상수도시설기준의 설계기준을 적용하여 평가하였다.

4.1. 슬러지 처리공정의 시설용량

대상 정수장의 슬러지 처리공정의 형태 및 설계기준을 Table 8에 제시하였다. Table 8의 시설용량을 바탕으로 발생된 슬러지량에 의한 용량평가가 설계기준에 적합한지 조사하였다. 배슬러지지와 회수조의 설계기준은 단지 용량에 의한 용적의 크기 결정만을 기준으로 하고 있고, 농축조의 경우는 용량과 고�형물부하량을 동시에 규정하고 있다. 그리고 탈수기의 경우는 적절한 설계기준은 제시되지 않았지만 여포폭에

Table 8. 슬러지 처리공정의 형태 및 설계기준(환경부, 1995)

공정	형태		평가항목	설계기준
	규격(W×L×H)	수		
배슬러지지	10×40×4.2	3지	용량	· 24시간 평균 배슬러지량 또는 1회 배출슬러지량 이상
회수조	13×40×4.0	2지	용량	· 1회 세척배출수량 이상
농축조	D16.5×H4.0(원형)	2지	용량 고형물부하	· 계획슬러지량의 24~48 시간 · 10~20kg/m ² ·일
탈수기	여과속도: 40kg/m ² ·hr 여포폭: 3m	5대	여포폭	-

Table 9. 배슬러지지와 회수조의 시설용량 및 슬러지 유입량

공정	시설용량 (m ³)	24시간 평균 배슬러지량		1회 배출슬러지량 (m ³ /회)
		7월	10월	
배슬러지지	5,040	14,784	12,096	672
회수조	4,160	급속여과지	4,484	1,180
		활성탄여과지	3,825	2,550
		배슬러지지 유출	-	515(m ³ /h)

Table 10. 농축조의 시설용량 평가

공정	시설용량 (m ³)	유입슬러지량 (m ³ /일)	유입고형물 평균농도 (%)	유입고형물량 (ton/일)	고형물부하 (kg/m ² ·일)	용적부하 (hr)
농축조	1,710 (φD16.5 H4.0)	7월	1208	125	15.1	34.0
		10월	925	0.67	6.2	14.5

대한 평가를 일부에서 제시하고 있으므로 이에 대한 평가를 실시하였다.

4.2. 배슬러지지 및 회수조

배슬러지지와 회수조의 시설용량 및 슬러지 유입량을 Table 9에 제시하였다.

Table 9에서 배슬러지지의 경우 1회 배출슬러지량은 만족하였지만, 24시간 평균 배슬러지량이 시설용량을 초과하였다. 10월은 2.9배, 10월은 2.4배나 많은 배슬러지량이 발생하였다. 회수조는 1회 발생 슬러지량인 3,730m³에 충분한 용량을 가지고 있다. 그렇지만, 배슬러지지 용량초과에 의해 일정한 양이 유출웨어를 통해 유출되게 되는데, 이 유출분인 515m³/h량을 포함시킬 경우 다소 부족한 용량인 것으로 평가된다.

4.3. 농축조

농축조 용량 결정 기준은 고형물부하와 설계용량이다. 농축조의 시설용량과 유입 슬러지량을 Table 10에 제시하였다.

Table 10에서 농축조 유입슬러지량은 농축조의 수위를 인위적으로 낮춘 다음, 배슬러지지 이송펌프를 작동시켜 유입량을 측정하는 방법을 적용하였다. 유입고형물의 농도는 농축조 유입부에 있는 분배수조의 시간대별 농도를 측정하여 결정하였다. 측정 결과 고형물농도는 0.3~2.5%이며, pH는 6.8~7.2 범위였다.

농축조의 용적부하는 설계기준인 24~48시간에 만족하였다. 반면, 고형물부하는 강우기인 7월에 35.3kg/m²·일로 설계기준인 10~20kg/m²·일을 초과하였다. 따라서 설계 당시의 예상 발생량보다 현재의 슬러지 발생량이 많은 것으로 조사되었다.

4.4. 탈수기

탈수기의 효율은 벨트프레스기의 압축력과 속도 그리고 유입 슬러지의 탈수특성 및 유입량에 의해 결정되며, 개량공정에서의 응집제 주입량과도 깊은 관계가 있다. 탈수기의 용량평가를 위해 벨트프레스기의 여포폭을 조사하였다. [식 6]은 벨트프레스기의 용량 계산식이다.

$$B = \frac{S}{100} \cdot \frac{Q}{V} \quad \text{[식 6]}$$

여기서, B: 유효여포폭(m)

S: 탈수케이크의 고형물함량(%)

Q: 유입슬러지량(kg/시간)

V: 탈수속도(kg/m²·시간)

[식 6]을 이용하여 여포폭을 계산하였다. 탈수 속도는 탈수기의 기기 사양에 의해 결정되었고, 나머지는 현장측정을 통해 결정하였다. 7월의 경우 유입 슬러지량의 고형물량은 15.0ton/일이고, 탈수속도는 40kg/m²·시간을 적용하였다. 계산된 필요 여포폭은 4.4m였다. 따라서 본 사업소의 탈수기 여포폭인 15m(3m×5기)는 충분한 시설용량인 것으로 조사되었다.

5. 효율적 운영방법 제시

본 연구에서 공정별 슬러지 발생량을 바탕으로 시설용량을 평가한 결과 배슬러지지와 회수조의 용량이 부족하고 농축조의 고형물 부하가 크게 나타났으며, 이 외의 공정에서는 효율적인 운전이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 특히, 침전슬러지의 농도가 아주 낮기 때문에 이 후 공정의 용량 부하가 큰 것으

Table 11. 침전슬러지 특성 및 적용 기준

항 목	월	실측 값	적용기준	
			AWWA	Kawamura
부유물질(SS) 농도 %	7월	0.1	0.1~1.0	0.5~1.5
	10월	0.01		
배출량/처리수량 %	7월	4.2	0.1~3.0	0.1~1.0
	10월	3.4		

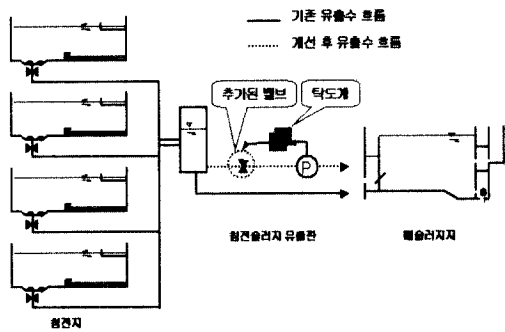


Fig. 8. 침전슬러지 배출공정 개선.

로 나타났다.

5. 1. 배슬러지지

Table 9에서 배슬러지지와 회수조의 시설용량이 부족한 것으로 평가되었다. 특히, 배슬러지지의 시설용량은 2배 이상 부족하였다. 배슬러지지의 유입슬러지는 전량 침전지에서 발생되기 때문에 배슬러지지의 시설용량 초과 원인은 침전슬러지 특성 때문이다. 침전슬러지의 농도와 발생량을 미국수도협회와 Kawamura의 적용 기준과 같이 Table 11에 제시하였다(AWWA, 1999; Kawamura, 2000).

Table 11에 의하면 대상 정수장의 경우 실측된 값은 기준농도에 비해 부유물질 농도는 아주 낮고, 배출수량비는 아주 높은 것으로 나타났다. 따라서 이런 원인으로 인하여 배슬러지지 시설용량이 부족하게 되는 것이다. 배슬러지지의 효율적 운영을 위해서는 침전슬러지 농도를 높이고 발생량을 감소시켜, 용량부하를 감소시킬 필요가 있다. 또한 침전슬러지 발생량이 감소할 경우 회수조의 시설용량 또한 만족될 수 있을 것으로 예상된다.

침전슬러지 발생량 감소를 위한 방법으로는 침전지 하부의 배출밸브 개방시간의 적절한 조절과 단협상태에서의 밸브 누수현상을 의심할 필요가 있다.

또한 배슬러지에서의 침전효율을 높이기 위해서는 침전지 배출밸브의 개방주기를 일정하게 유지하는 것이 바람직하다.

5. 2. 침전지슬러지 배출공정 개선

대상 정수장의 경우 침전지슬러지 배출밸브 개방시간은 약 1.5~2.0 분이다. 그러나 Fig. 7에 의하면, 배슬러지지 유입부에서 측정된 침전슬러지의 농도가 30분 이상 일정한 농도를 유지하고 있는데, 이것은 30분 동안 일정한 유량으로 계속적으로 유입되고 있음을 나타낸다. 즉, 배출밸브가 닫힌 상태에서도 일정한 유출이 발생하고 있어, 배출밸브에서의 누수현상을 예상할 수 있다.

본 연구에서는 침전슬러지 배출밸브의 누수현상을 줄이기 위한 방안으로 2000년 10월 말, 침전슬러지의 유출관로에 별도의 밸브를 추가하고, 밸브의 개폐를 후단에 설치된 탁도계의 탁도값을 기준으로 조절할 수 있게 하였다. 추가된 밸브와 탁도계의 위치 및 침전슬러지의 변경 흐름을 Fig. 8에 제시하였다.

Fig. 8에 의하면 기존 배출 관로의 구조는 배출밸브 개방에 의해 직접 배슬러지지로 유출되게 되어 있다. 반면, 관로 중간에 밸브를 추가하고 저수조를 설치하여 배출밸브의 누수량을 크게 감소시키는 구조를 하고 있다. 관로의 개선 후 발생하는 침전슬러지 발생량을 Table 12에 제시하였다.

Table 12에 의하면 10월에 비해 공정개선 후인 11월에 발생량은 줄고, 부유물질 농도는 증가한 것으로 나타났다. 공정 개선을 통해 침전슬러지 총발생량은 3,696m³/일로 감소하였으며, 부유물질 농도는 10월에 비해 원수탁도가 낮아졌지만, 농도는 약 1.7배 높게 나타났다. 이 결과 배슬러지지 시설용량인 5,040m³을 만족하였다. 그렇지만 공정 개선 후에도 슬러지 농도가 일반적인 기준에 비해 낮은 것으로 조사되었는데, 이것은 조사기간인 11월의 원수탁도가

Table 12. 침전슬러지 발생량 및 농도

월	원수탁도 NTU	발생량 m ³ /일	부유물질 농도 mg/L	배출횟수 회/일	총발생량 m ³ /일
10월	7.7	672	526	18	12,096
11월	6.3	462	872	8	3,696

낮기 때문인 것으로 판단된다.

5.3. 농축조

농축조의 시설용량 평가 결과 7월의 경우 고품물 부하가 높은 것으로 나타났다. 농축조 고품물부하는 실제 발생하는 슬러지량에 의해 결정되며, 고품물 부하가 높은 것은 설계 당시의 계획슬러지발생량 보다 현재 발생량이 많기 때문이다. 농축조의 효율적 운영을 위해서는 농축시설의 확충이 필요하다.

6. 결론

본 연구는 낙동강 하류 지역의 광역상수도 시설을 대상으로, 현재 운영중인 슬러지 처리시설의 효율 평가 및 효율적인 운영을 위한 방법 제시를 목적으로 실시되었다. 대상 정수장은 낙동강 하류에 위치한 생산용량 400,000톤/일 규모의 광역상수도시설이며, 본 연구는 2000년 6월부터 11월 까지 현장조사와 운영자료의 분석을 통해 진행하였다. 슬러지 발생원은 침전지와 급속여과지 그리고 활성탄여과지이며, 이론적 계산법과 현장실측법을 적용하여 발생량을 조사하였다. 발생량 조사결과를 바탕으로 각 공정의 시설용량을 상수도시설기준에 준하여 평가하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 슬러지 발생량 조사는 이론적 계산법과 현장실측법을 적용하였다. 조사결과 탁도가 높은 하절기의 경우 이론적 계산값이 현장실측값 보다 1.5배 가량 높았고, 상대적으로 탁도가 낮은 경우는 거의 유사한 것으로 조사되었다.

2) 현장실측값은 실제 발생하는 탈수케이크 발생량과 거의 유사한 것으로 조사되었다.

3) 이론적 방법에 의한 발생량 조사결과 7~9월까지 강우기에는 80% 이상이 탁도에 의한 것이었으며, 원수 탁도가 낮았던 6월과 10월은 응집제에 의한 발생량이 상대적으로 높아 35~41% 범위를 차지하였다.

4) 현장실측 결과 침전슬러지의 고품물농도(SS)는 0.05~0.1%로 일반적 기준 보다 아주 낮은 것으로 조사되었으며, 이러한 원인으로 발생량은 전체처리량의 3.4~4.2%로 아주 높게 나타났다.

5) 시설용량 평가 결과 배슬러지 및 회수조의 시

설용량이 부족한 것으로 조사되었다. 이것은 침전슬러지의 발생량이 높기 때문이다.

6) 침전슬러지의 발생량 저감을 위해 유출밸브와 탁도계를 추가적으로 설치·운영하였다. 운영결과 침전슬러지 농도는 전월에 비해 1.7배 증가하였으며, 발생량은 전월의 30%로 크게 감소하였다.

7) 농축조의 시설용량 및 여과폭의 길이는 기준을 만족하였지만, 농축조 고품물 부하는 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이것은 설계값 보다 실제 발생량이 많기 때문이며, 대상정수장 경우 농축조 신설이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 구자공, 김유리, 신항식 (1998) 에멀전을 이용한 정수장 슬러지의 알루미늄 회수공정에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 20(4), pp. 575-582.
- 권동민, 이병현, 박은정 (1999) 전처리에 의한 정수슬러지의 농축 및 탈수성 향상, *한국물환경학회지*, 15(1), pp. 47-54.
- 김승현, 윤조희, 문성용 (2000) 유기폴리머를 이용한 정수슬러지의 농축 및 탈수특성 향상, *한국물환경학회지*, 16(3), pp. 315-324.
- 김영환, 장기운 (1995) 정수장 슬러지의 토지환원 가능성 연구, *한국수처리기술연구회*, 3(2), pp. 43-56.
- 丹保憲仁, 小笠原紘一, 유명진, 조영모 (1995) 상수처리(정수의 기술), 동화기술
- 문용택, 김정현 (2003) 정수장슬러지의 고품물량에 대한 예상치의 비교, *상하수도학회지*, 17(1), pp. 66-71.
- 이병문, 권재현, 안규홍, 이석현, 권대영 (2003) 산처리에 의한 정수슬러지 감량화, *상하수도학회지*, 17(1), pp. 34-42.
- 서울시정개발연구원 도시환경연구부 (1997) 정수장 발생슬러지 처리연구.
- 한국수자원공사 (1995) 정수장 슬러지 감량화, 기초연구
- 환경부 (1995) 상수도시설기준.
- AWWA, ASCE (1998) Water treatment plant design 3rd ed., McGraw-Hill.
- AWWA (1999) Water Quality & Treatment 15th ed., McGraw-Hill.
- Clescerl, L. S. et al. (1998) Standard Method 20th Ed., APHA, AWWA and WEF.
- Kawamura, S. (2000) Integrated design of water treatment facilities, 2nd ed., Wiley & Sons Inc.