

정수장에서 발생된 탈수슬러지의 량에 의한 배출수처리시설용량에 대한 평가

Estimation on the Design Capacities of Residuals Treatment Facilities by the Quantity of Dewatered Sludge Generated from Water Treatment Plants

문용택*

Moon, Yong-Taik*

한국수자원공사 수자원연구원

(2004년 7월 22일 논문접수; 2004년 12월 3일 최종수정논문 채택)

Abstract

The quantity of residuals generated from water treatment plants depends upon the raw water quality, dosage of chemicals used, performance of the treatment process, method of sludge removal, efficiency of sedimentation, and backwashing frequency. Sludge production by the physical separation of SS occurs under quiescent conditions in the primary clarifier, where suspended solids are allowed to settle and to consolidate on the clarifier bottom. Raw primary sludge results when the settled solids are hydraulically removed from the tank. The relative solid and liquid fractions of a slurry are most commonly described by the solids concentration, expressed as mg/L or percent solids. The purpose of the present investigation is to estimate a suitability on the design capacities of residuals treatment facilities by the quantity of dewatered sludge generated from water treatment plants.

Key words: residuals, raw water quality, dosage of chemicals, capacities of residuals treatment facilities, quantity of dewatered sludge

주제어: 침전물, 원수수질, 약품주입량, 침전효율, 역세척 빈도, 배출수처리시설의 용량, 탈수슬러지량

1. 서론

현재 공업용수를 생산하는 KS 정수장은 농축조 상

징수를 하천방류하지 않고, 착수정으로 회수하고 있어 수질이 불량한 상징수가 착수정으로 유입되어 수처리에 악영향을 미치고 있다. 또한 슬러지의 침강성이 매우 불량하여 낮은 농도의 슬러지가 농축조로 유

*Corresponding author. Tel: +82-42-860-0377, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: ymoon@kowaco.or.kr (Moon, Y.T.)

입되면서 유입량이 설계치보다 다량으로 유입되어 시설설계용량이 130,000m³/일이나, 최근 60,000m³/일의 정수량 생산에도 시설용량이 매우 부족하여 정상적인 정수장 운영이 어려울 뿐만 아니라 수질사고 발생이 우려되는 실정이다.

정수장에서 발생하는 슬러지량은 원수의 SS 농도에 비례하며, SS 농도는 일반적으로 원수탁도에 비례한다. 그러나, 대부분의 정수장에서는 원수의 SS 농도를 일상적으로 측정하지 않기 때문에 새로운 정수장을 계획할 때 처리대상 원수와 유사한 원수를 처리하는 정수장의 SS/탁도 비를 구하지 못하는 경우가 대부분이다. 계절적 경향을 파악할 때까지는 SS 농도와 탁도 비를 일주일 간격으로 측정하는 것이 이상적이고, 그 이후에는 월 간격으로 측정하여 상관관계를 검토하는 것이 바람직하나 대부분 자료가 미흡한 실정이다. 또한 정수장에서 사용하는 응집제의 종류와 투입량도 슬러지 발생량에 큰 영향을 미치나 탁도와 약품주입량의 낮은 상관관계로 인하여 슬러지의 발생량 산정에 있어 이론식에 의한 시설설계가 매우 불합리한 경우가 많을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 KS 정수장에서 발생되는 탈수케익의 함수율에 의한 실측치와 이론식에 의한 예상치를 상호 비교하여 이론식에 의한 시설용량 산정의 문제점을 제시하고, 탈수케익의 함수율에 의한 실측치로 시설용량을 평가하여 실측치에 의한 시설설계 가능성을 제시하고자 한다.

2. 배출수처리시설의 현황 및 실험방법

2.1. 기본설계 조건

| 슬러지발생량 (ton/일) | 탁도(NTU) | | SS(mg/L) | |
|-------------------|---------|----|----------|----|
| | 평균 | 설계 | 평균 | 설계 |
| 4.91 | 10.6 | 12 | 12.0 | - |

(단, 설계시 설계탁도는 평균탁도와 비슷하게 산정하여 반영)

2.2. 처리시설 규격

1) 총 시설 용량 : 130천m³/일

■ I 단계: 75.4천m³/일

■ II 단계: 54.6천m³/일

2) 배출수 처리시설

■ 탈수기: 벨트프레스형, 2mW × 3대

■ 회수조: W 4.5m × L 18.0m H3.0m × 2지

■ 농축조: R 14.5m × H 3m × 2지

2.3. 실험방법

1) 탈수케익 발생량을 이용한 고형물 발생량 파악
탈수케익 발생량을 토대로 역산하여 고형물 발생량을 파악할 수 있는데 다음 식을 적용한다면 가능하다.

$$\text{고형물 발생량(톤/일)} = \text{탈수케익 발생량(톤/일)} \div \{100/(100-\text{함수율})\} \times \text{최대발생량/평균발생량} \quad (1)$$

2) 유입슬러지량 계산

현장에서의 유입슬러지 농도와 비중을 적용하여 유입슬러지량을 파악할 수 있는데 다음 식을 적용한다면 가능하다.

$$\text{유입슬러지량} = \text{고형물 발생량} \div \text{슬러지의 비중} \times 100/(100-\text{함수율}) \quad (2)$$

3) 이론적 발생량 계산

수처리약품과 물의 반응을 이용한 이론적인 공식을 사용하는 것이 현재의 추세이며 다음과 같이 표시가 가능하다.

$$S = Q(b \cdot Tu + k_1 \cdot SAS + k_2 \cdot LAS + k_3 \cdot PACl + Ca(OH)_2 + AC + A) \times 10^{-6} \quad (3)$$

여기서

S: 건조중량으로 표시되는 슬러지 발생량(ton DS/일)

Q: 정수생산량(m³/일)

b: 탁도와 SS의 환산비(SS/TUR)

k1, k2, k3: 약품사용에 의한 슬러지 발생비율

SAS: 고체 황산 알루미늄 주입량(mg/L)

- LAS: 액체 황산 알루미늄 주입량(mL/m³)
- PACl: 폴리 염화알루미늄 주입량(mL/m³)
- Ca(OH)₂: 소석회 주입량(mg/L)
- AC: 분말 활성탄 주입량(mg/Lg)
- A: 유기고분자 응집제, 가성소다 중금속 제거 화학약품 등 부가적으로 첨가되는 수처리 약품

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 현재 발생하는 KS 정수장의 운영상의 문제점을 파악하고 그 해결책을 제시하고자 처리장 운영을 위한 농축조의 초기 설계용량과 실제로 운영시 요구되는 용량을 파악하여 비교·분석하였다. 실제 정수장 운영시 요구되는 농축조의 용량은 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

3.1. 용량평가

3.1.1. 탈수케익 발생량을 이용한 용량 평가

년도별 KS 사업소의 용수 공급량 및 2001년 농축조의 유입, 유출 슬러지 농도, 탈수케익 함수율을 **Table 1**, **Table 2**, **Table 3**에 나타내었다.

위와 같은 자료들을 이용하여 탈수케익 발생량을 토대로 역산하여 고형물 발생량을 파악할 수 있는데 다음 식을 적용한다면 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{고형물 발생량(톤/일)} = & \\ & \text{탈수케익 발생량(톤/일)} \div \{100/(100-\text{함수율})\} \\ & \times \text{최대발생량/평균발생량} \end{aligned}$$

Table 1에서 2002년 탈수케익 발생량은 2,211톤/년으로 제시되었다. 실제로 2002년 동안의 탈수케익 발생일 수를 조사해 본 결과 145일이었으며 당시의

Table 1. 용수공급량 및 슬러지 배출량(1999-2003.5, 현장자료)

| 년도별 | 용수공급량 (m ³ /일) | 슬러지 케익 배출량(ton/년) | 비고 |
|------------|------------------------------|----------------------|----------------|
| 1999년 | 36,900 | 1,720 | |
| 2000년 | 49,600 | 2,000 | |
| 2001년 | 50,600 | 1,810 | |
| 2002년 | 49,900 | 2,211 | |
| 2003. 5월까지 | 55,000 | 890 | 년간 2,500ton 예상 |

Table 2. 월별 탈수케익 발생량 및 고형물 발생량(2002년)

| 구분(월) | 케익생산량(톤/월) | 함수율(%) | 고형물량(톤/월) |
|-------|------------|--------|-----------|
| 1월 | | | |
| 2월 | 174 | 82.2 | 30.97 |
| 3월 | 54 | 83.2 | 14.47 |
| 4월 | 118 | 86.3 | 16.17 |
| 5월 | 241 | 82.0 | 43.38 |
| 6월 | 245 | 81.8 | 44.59 |
| 7월 | 315 | 79.7 | 63.95 |
| 8월 | 478 | 76.0 | 114.72 |
| 9월 | 214 | 70.7 | 62.70 |
| 10월 | 271 | 71.0 | 78.59 |
| 11월 | 20 | 71.2 | 5.76 |
| 12월 | 82 | 69.7 | 24.85 |
| 평균 | 201 | 77.62 | 45.47 |

Table 3. 농축조의 유입 슬러지 농도

| 년도 | 유입슬러지 농도(%) | 비고 |
|------|-------------|-----------------|
| 2001 | 0.6 | · 현장자료(월간 측정자료) |
| 2003 | 0.78 | · 실측자료(1회 측정) |

평균 함수율은 77.62%이었다. Table 2에 2002년 탈수케익 월별 발생량을 나타내었는데 월별 평균 탈수케익 발생량은 201톤/월로 나타났다. 그러나 고탁도가 유입되는 8월에는 478톤/월이 발생하여 평균 탈수케익 발생량의 약 2.4배로 나타났다. 또한 월별로 탈수케익 발생량을 토대로 고형물 발생량을 계산해 본 결과 Table 2에서와 같이 나타났는데 여기서도 8월에 114.72톤/월로 최대 발생량을 보였고 이는 월평균치인 45.47톤/월의 약 2.5배이다. 따라서 고탁도가 유입되었을 때를 고려하여 농축조 용량 산정을 해야 하므로 일별 평균 고형물 발생량의 2.5배를 적용하여 용량 산정을 하였다. 이와 같은 내용을 위 식에 적용하여 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{고형물 발생량(톤/일)} &= 15.25(\text{톤/일}) \times (100 - 77.62)/100 \times 2.5 \\ &= 8.53\text{톤/일} \end{aligned}$$

또한 Table 3의 내용에서 2001년 자료를 근거로 유입슬러지 농도를 조사한 결과 평균 0.6%로 나타났다. 이는 2003년 현장에서 측정한 평균 유입슬러지 농도 0.78%(1회 측정)와 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 2001년 자료를 근거로 유입슬러지량 산정에 유입슬러지 농도 0.6%를 적용하고, 농축조로의 유입슬러지의 비중은 침강성이 불량한 때를 고려하여 물의 비중인 1을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{유입슬러지량} &= 8.53 \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.4) \\ &= 1,422\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

위 결과는 현재 시설용량인 990m³과 비교하여 약간 초과되고 있는 것으로 나타났다. 그러나 현장에서 농축조 유입슬러지 농도가 매우 낮을 때 문제점이 있을 것으로 판단되어 2001년 현장 자료를 토대로 하여

Table 4. 농축조 월별 유입슬러지 농도(2001년)

| 구분(월) | 유입슬러지 농도(%) |
|-------|-------------|
| 3월 | 0.8 |
| 4월 | 0.7 |
| 5월 | 0.6 |
| 6월 | 0.5 |
| 7월 | 0.6 |
| 8월 | 0.2 |
| 9월 | 0.4 |
| 10월 | 0.5 |
| 11월 | 0.9 |

검토했다. Table 4에 나타난 바와 같이 농축조 유입슬러지 농도가 0.6%이하일 때가 연중 6월, 8월, 9월, 10월로 나타났으며 특히 8월에는 0.2%로 나타나 8월과 그 이외의 3개월 평균 유입슬러지 농도에 대해 농축조 용량 평가를 하였다.

8월 유입슬러지 농도를 이용한 용량 계산에서 유입슬러지 농도 0.2%로 농축조 용량 평가를 하면,

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{농축조 용량} &= 8.53 \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.8) \\ &= 4,265\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

6월, 9월, 10월 평균치를 이용한 용량 계산에서 3개월간의 평균 유입슬러지 농도 0.47%로 농축조 용량 평가를 하면,

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{농축조 용량} &= 8.53 \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.53) \\ &= 1,815\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

따라서, 침전지 슬러지의 침강성이 좋을 때는 현재 용수 수요량으로는 농축조 용량에 큰 문제가 없으나, 침강성이 불량한 6월, 8월, 9월, 10월에는 농축조 용량이 크게 부족하여 현재 시설로는 시설운영이 어렵다고 판단된다.

3.1.2 발생량 이론식을 이용한 용량 평가
고형물 발생량을 구하는 식은 다음과 같다.

Table 5. 부유물질(SS)과 탁도(NTU)비(2000년 자료)

| 측정일자 | 탁도 (NTU) | SS (mg/L) | SS/tur | 측정일자 | 탁도 (NTU) | SS | SS/tur (mg/L) |
|---------|----------|-----------|--------|---------|----------|-------|---------------|
| 03월 27일 | 5.2 | 10.32 | 1.98 | 07월 24일 | 120.0 | 187.4 | 1.56 |
| 04월 03일 | 4.2 | 8.51 | 2.03 | 07월 31일 | 16.0 | 32.8 | 2.05 |
| 04월 10일 | 4.3 | 8.46 | 1.97 | 08월 03일 | 16 | 28.5 | 1.78 |
| 04월 17일 | 4.1 | 8.39 | 2.05 | 08월 14일 | 9.2 | 19.7 | 2.14 |
| 04월 24일 | 4.4 | 8.62 | 1.96 | 08월 21일 | 13.0 | 24.8 | 1.91 |
| 05월 02일 | 9.8 | 18.75 | 1.91 | 08월 28일 | 120.0 | 208.9 | 1.74 |
| 05월 08일 | 9.9 | 17.8 | 1.80 | 09월 04일 | 17.0 | 21.7 | 1.28 |
| 05월 15일 | 5.9 | 10.5 | 1.78 | 09월 18일 | 53.0 | 59.0 | 1.11 |
| 05월 22일 | 5.1 | 11.2 | 2.20 | 09월 25일 | 7.6 | 12.6 | 1.66 |
| 06월 05일 | 4.7 | 7.6 | 1.62 | 10월 09일 | 4.4 | 11.8 | 2.68 |
| 06월 12일 | 13.0 | 19.8 | 1.52 | 10월 16일 | 6.0 | 12.3 | 2.05 |
| 06월 19일 | 8.0 | 15.6 | 1.95 | 10월 23일 | 4.5 | 10.2 | 2.27 |
| 06월 26일 | 6.9 | 10.4 | 1.51 | 10월 30일 | 4.8 | 10.8 | 2.25 |
| 07월 03일 | 8.5 | 15.4 | 1.81 | 11월 06일 | 3.4 | 10.5 | 3.09 |
| 07월 10일 | 6.5 | 10.6 | 1.63 | 11월 13일 | 3.5 | 9.8 | 2.80 |
| 07월 18일 | 16.0 | 34.1 | 2.13 | 11월 20일 | 3.6 | 10.9 | 3.03 |
| 07월 24일 | 120.0 | 187.4 | 1.56 | 11월 27일 | 3.8 | 10.2 | 2.68 |
| | | | | 1월 13일 | 6.2 | 18 | 2.90 |

S(고형물 발생량)

$$= \text{정수 생산량} \times (\text{SS/탁도 비} \times \text{설계탁도} + \text{환산계수} \times \text{약품주입량}) \times 10^{-6}$$

고형물 발생량 산정에서 KS사업소의 설계탁도(일반적으로 평균탁도의 4배)와 평균탁도에 의한 고형물 발생량을 계산해 본 결과 설계탁도시 발생하는 고형물량은 평균 고형물량(1.57톤/일)의 3.7배로 설계탁도에 의한 고형물발생량은 5.65톤/일로 나타났다. 다음은 그 계산과정을 간략화 한 것이다.

평균 탁도를 이용한 고형물 발생량 산정에서

$$\begin{aligned} \rightarrow S &= 60,000\text{m}^3/\text{일} \times (2.01 \times 10.6 + 0.164 \times 29.5) \times 10^{-6} \\ &= 1.57\text{톤/일} \end{aligned}$$

설계 탁도를 이용한 고형물 발생량 산정에서

$$\begin{aligned} \rightarrow S &= 60,000\text{m}^3/\text{일} \times (2.01 \times 42.4 + 0.164 \times 55) \times 10^{-6} \\ &= 5.65\text{톤/일} \end{aligned}$$

따라서 설계탁도에 의한 고형물 발생량은 평균탁

도의 약 4배로 나타남을 알 수 있었다. 이를 근거로 하여 설계탁도에 의한 고형물발생량을 농축조 용량 산정에 이용하였다.

현재 KS 정수장의 정수 생산량은 60,000m³/일이다. 또한 SS/탁도비는 운영 결과로 Table 5에 나타내었다.

위 자료에서 부유물질과 탁도 간의 연 평균값은 2.01로 계산된다. 또한 2000년에 사용된 응집제의 약품주입량(LAS)과 탁도값을 Table 6에 나타냈다.

여기서 배출시설의 설계탁도는 강우기의 원수탁도에 대하여 검토하여야 하나 연중 최대의 탁도분포를 분석하여 연간일 수의 95% 이상 발생하는 탁도를 설계탁도로 채택하는 것이 타당하다고 보고 되고 있다. 우리나라의 강우형태를 분석하면 대체적으로 연평균

Table 6. 탁도에 대한 약품주입량(LAS), 2000

| 구분 | 약품주입량(mg/l) | 탁도(NTU) |
|----|-------------|---------|
| 평균 | 29.5 | 10.6 |
| 최대 | 80.3 | 120 |
| 최소 | 16.8 | 9.8 |

탁도의 4배 정도를 산정하면 그 이하 탁도로 발생하는 일수가 연간일 수의 95% 이상을 점하게 된다. 따라서, 2000년 기준 평균탁도는 위 표에서 10.6NTU이며 이에 대한 설계탁도는 $10.6 \times 4 = 42.4\text{NTU}$ 로 산정할 수 있다. 또한 응집에 사용된 약품은 LAS로서 사용된 약품 1ml당 0.164g의 무기 알루미늄고형물을 생성하는데 위 고형물 발생량 계산식의 환산계수가 이에 해당된다. 또한 여기에는 자료가 제시되지 않았지만 탁도별 약품주입량은 설계탁도를 기준으로 결정하였는데 그 값은 55mg/L로 나타났다.

이러한 모든 값들을 식에 적용해 본 결과 고형물 발생량은,

$$S = 60,000\text{m}^3/\text{일} \times (2.01 \times 42.4 + 0.164 \times 55) \times 10^{-6} \\ = 5.65\text{톤}/\text{일}$$

로 계산되었다. 이것으로부터 농축조로 유입되는 슬러지의 고형물 농도가 0.6%일 때 슬러지 유입량을 계산해보면,

$$\rightarrow \text{유입 슬러지량} = \text{고형물 발생량}(5.655\text{톤}/\text{일}) \\ \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.4) \\ = 943\text{m}^3/\text{일}$$

와 같다. 이러한 결과는 케익발생량을 통한 용량산정과정에서 야기된 월별 유입슬러지 농도에 따른 농축조 용량 부족현상과 관련하여 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 앞에서와 마찬가지로 Table 4에 나타난 자료를 토대로 유입슬러지 농도가 가장 낮은 8월(0.2%)과 그 이외의 3개월(6월, 9월, 10월)의 평균 유입슬러지 농도(0.47%)에 대해 농축조 용량 평가를 하였다.

8월 유입슬러지 농도를 이용한 유입슬러지량 계산에서 유입슬러지 농도 0.2%로 유입슬러지량에 대한 농축조 용량 평가를 하면,

$$\rightarrow \text{유입슬러지량} = 5.65 \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.8) \\ = 2,828\text{m}^3/\text{일}$$

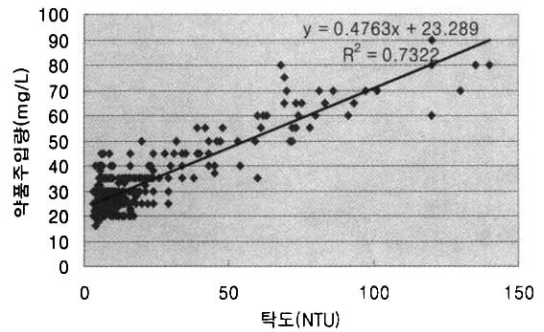


Fig. 1. 탁도와 약품주입량간의 상관관계(1998~2000, 3년간 자료 통합분석).

Table 7. 탁도와 약품주입량간의 상관관계(1998~2000)

| 년도 | 상관계수(R ²) |
|------|-----------------------|
| 1998 | 0.73 |
| 1999 | 0.73 |
| 2000 | 0.75 |
| 평균 | 0.73 |

6월, 9월, 10월 평균치를 이용한 유입슬러지량 계산에서 3개월간의 평균 유입슬러지 농도 0.47%로 유입슬러지량에 대한 농축조 용량 평가를 하면,

$$\rightarrow \text{유입슬러지량} = 5.65 \div 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.53) \\ = 1,203\text{m}^3/\text{일}$$

로 계산되었다. 이는 탁도에 대한 약품 주입량이 상호 비례관계에 있지 않고, 약품주입량을 탁도 기준으로 산정하여 오차가 큰 것으로 나타났다. 이에 대한 원인 규명을 위해 1998~2000년 자료를 토대로 하여 탁도에 대한 약품주입량의 상관관계를 분석한 결과 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이를 Fig. 1과 Table 7에 나타냈으며 3년간 전체 상관계수는 0.73으로 매우 낮게 나타났다.

이와 같이 탁도와 약품주입량의 낮은 상관관계로 인하여 슬러지의 발생량 산정에 있어 이론식보다 실제 발생량을 기준으로 하여 역산하는 것이 실제 발생량과 매우 흡사할 것으로 판단된다.

3.2. 용량 부족에 따른 공정개선 방안

3.2.1 회수조를 배슬러지지로 활용하는 방안

KS사업소의 회수조는 현재 농축조 상징수와 탈리여액이 유입되어 최종적으로 착수정으로 회수하는 기능을 갖고 있으나 현재 배슬러지지가 없어 농축조의 과부하로 인한 시설용량 부족으로 회수조는 배슬러지지로 활용할 필요성이 검토되었다. 앞에서 제시되었던 시설용량 적부판정에서의 내용에서 침전지에서 농축조로 유입되는 슬러지량이 고형물 농도 0.6%를 기준으로 현재 탈수케익 발생량을 근거로 하여 1,422m³/일로 나타났다. 현재 회수조 용량은 486m³으로 상징수 시설기준에 의하면 배슬러지지의 조정시간은 8시간 이상으로 되어 있다. 이를 근거로 다음과 같이 계산을 하여 용량 검토를 수행하였다.

$$\begin{aligned} \text{조정시간} &= \text{시설물 유효용적} \div \text{유입슬러지량/일} \\ &\quad \times 24\text{hr} \\ &= 486\text{m}^3/\text{일} \div 1,422\text{m}^3/\text{일} \times 24\text{hr} \\ &= 8.20\text{hr} \end{aligned}$$

여기서 계산된 조정시간이 약 8시간으로 상수도 시설기준에 적합한 것으로 판단되었다.

현재 침전지 슬러지의 유출횟수를 평상시에는 1회/지/일, 고탁도시에는 2회/지/일로 운영하고 있다. 평상시 1회/지/일로 운영하게 되면 배슬러지지로의 유입슬러지량이 1,422m³/일로 배슬러지지의 유효용적인 486m³/일을 초과하게 된다. 따라서 하루 동안에 침전지 슬러지의 배슬러지지로의 유출횟수를 1회 이상 늘려 침전지에서 배출되는 1회 유출량을 486m³/지 이하로 배슬러지지로 유입되도록 조정할 필요가 있다.

3.2.2. 회수조의 배슬러지지로의 활용에 따른 농축조 용량검토

현재 농축조로 유입되는 슬러지의 고형물 농도가 0.6%이나 회수조를 배슬러지지로 활용하면 배슬러지지의 상징수는 착수정으로 가고, 나머지 슬러지의 농도는 높아질 것으로 예상되어 일반적인 정수장의 농축조 유입슬러지의 농도인 1%의 농도로 슬러지 유입량을 탈수케익 발생량을 기준으로 역산하여 계산해보면,

$$\begin{aligned} \text{유입 슬러지량} &= \text{고형물 발생량}(8.53\text{톤/일}) \div \\ &\quad 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99) \\ &= 853\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

와 같다. 따라서 회수조를 배슬러지지로 활용할 경우 현재 농축조의 시설용량인 990m³/일로 충분히 처리가 가능할 것으로 판단된다.

또한 유입슬러지 농도가 가장 낮은 8월과 그 이외의 3개월(6월, 9월, 10월)의 농축조 용량 평가를 함께 있어서도 회수조를 배슬러지지로 활용할 경우 배슬러지지의 상징수의 착수정에서의 회수에 따른 농축조 유입슬러지의 농도가 0.5% 이상은 유지될 것으로 판단된다.

$$\begin{aligned} \text{유입 슬러지량} &= \text{고형물 발생량}(8.53\text{톤/일}) \div \\ &\quad 1(\text{비중}) \times 100/(100 - 99.5) \\ &= 1,706\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

현재 농축조의 시설용량인 990m³/일과 비교시 초과되고 있다. 따라서 슬러지의 침강성이 불량한 경우는 배슬러지지에서 슬러지의 저류시간을 증가시켜 상징수를 가능한 한 많은 양을 착수정으로 회수하고, 농축조로 유입되는 슬러지의 농도를 1% 이상 유지할 수 있도록 조정할 필요가 있다.

장기적으로는 KS사업소의 용수수요량이 100,000m³/일(현 수요량에서 45,000m³/일 증가 예정)로 많아질 경우를 대비하여 배슬러지지와 농축조의 신설에 대한 검토를 통하여 용량부족에 대비해야 할 것으로 판단된다.

3.3. 공정개선에 따른 시설용량에 대한 용수수요량 평가

3.3.1 공정개선에 의한 용수공급 가능량 평가

평상시 침강성이 좋을 때 유입슬러지의 농도를 1%로 예상했을 때 현재 정수생산량 60,000m³/일 때 발생하는 농축조로의 유입슬러지량은 853m³/일로(현장의 탈수케익 발생량에 의한 고형물량에 의한 계산)이 값을 토대로 이와 연관해서 시설용량이 990m³/일이고, 유입슬러지량이 990m³/일 때 생산할 수 있는 최대 정수량을 비례식으로 계산해 보았다. 그 계산과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rightarrow 60,000\text{m}^3/\text{일} : 853\text{m}^3/\text{일} &= \chi(\text{용수공급량}) : \\ &990\text{m}^3/\text{일} \\ \therefore \chi &= 69,637\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

로 계산된다. 이는 침강성이 좋은 평상시에는 현재 용수공급량에서 약 9,637m³/일을 증가시켜도 처리가 가능할 것으로 나타났다.

그러나 현장에서 가장 문제점으로 대두되는 유입 슬러지 농도가 가장 낮은 8월과 그 이외의 3개월(6월, 9월, 10월)의 농축조 용량 평가를 함에 있어서도 회수조를 배슬러지지로 활용할 경우 배슬러지지의 상정수의 착수정도로의 회수에 따른 농축조 유입슬러지의 농도가 0.5%로 예상했을 때 향후 용수공급 가능한 용수수요량을 계산해 보면

$$\begin{aligned} \rightarrow 60,000\text{m}^3/\text{일} : 1,706\text{m}^3/\text{일}(0.5\%\text{일 때 유입슬러지량}) &= \chi(\text{용수공급량}) : 990\text{m}^3/\text{일} \\ \therefore \chi &= 34,828\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

따라서, 침강성이 좋은 평상시에는 현재용량으로 충분하게 처리할 수 있으나, 침강성이 불량한 시기에는 용수수요량이 6월, 8월, 9월, 10월에는 약 25,172m³/일이 더 많이 유입되어 현재의 농축조 용량은 부족한 것으로 나타났다.

3.4. 용량부족에 따른 시설증설 방안

향후 130,000m³/일을 기준으로 하여 침강성이 불량한 경우의 배슬러지 및 농축조의 시설증설을 각각 검토해보면 배슬러지지는 유입슬러지지의 농도를 0.5%로 하여 유입슬러지량을 계산한 결과,

$$\begin{aligned} \rightarrow 60,000\text{m}^3/\text{일} : 1,706\text{m}^3/\text{일}(0.5\%\text{일 때 유입슬러지량}) &= 130,000\text{m}^3/\text{일} : \chi(\text{유입슬러지량}) \\ \therefore \chi &= 3,696\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

앞에서 60,000m³/일을 기준으로 했을 때 배슬러지지의 조정시간이 약 8시간이나 시설용량 기준에 8시간 이상으로 되어있어 조정시간을 8시간으로 적용하였다.

$$\rightarrow \text{시설물 유효용적} = \text{조정시간} \times \text{유입슬러지량/}$$

$$\begin{aligned} &\text{일} \div 24 \\ &= 8\text{시간} \times 3,696\text{m}^3/\text{일} \div 24 \\ &= 1,232\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

따라서 현재 배슬러지지의 용량이 486m³/일(2지)로 지금시설과 동일한 시설로 3지가 더 필요하다.

농축조의 유입슬러지지의 농도를 1%로 하여 유입슬러지량을 계산한 결과,

$$\begin{aligned} \rightarrow 60,000\text{m}^3/\text{일} : 853\text{m}^3/\text{일}(1\%\text{일 때 유입슬러지량}) &= 130,000\text{m}^3/\text{일} : \chi(\text{예상 유입슬러지량}) \\ \therefore \chi &= 1,848\text{m}^3/\text{일} \end{aligned}$$

현재 용수공급량이 60,000m³/일을 기준으로 했을 때 농축조의 용량이 990m³/일(2지)로 현재 시설에서 농축조 2지가 더 필요하다.

따라서 130,000m³/일의 용수공급을 위해서는 배슬러지지는 현시설과 용량이 같은 시설로 3지, 농축조는 2지가 더 필요할 것으로 판단되나 지수결정에 대해서는 기초자료들을 근거로 한 세심한 검토가 요구된다.

4. 결 론

1. KS 정수장의 시설용량이 부족한 이유는 상관관계가 낮은 탁도에 대한 약품주입량을 이론식에 적용하여 고형물 발생량 산정을 하였고, 침강성이 불량한 농축조로 유입되는 슬러지의 농도가 설계기준에서는 1%로 하였으나 실측치는 0.47%로 유입량을 2배 이상 과소하게 평가했기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 실측된 발생량을 기준으로 역산하여 시설용량 평가를 한 결과 현재 KS정수장의 문제점으로

○ 침전지 슬러지의 침강성이 좋을 때는 현재 용수수요량으로는 농축조 용량에 큰 문제가 없으나, 침강성이 불량한 6월, 8월, 9월, 10월에는 농축조 용량이 크게 부족하고,

○ 평상시 1회/지/일로 운영하게 되면 배슬러지지의 유입슬러지량이 1,422m³/일로 배슬러지지의 유효용적인 486m³/일을 초과하게 된다. 따라서 하루 동안에 침전지 슬러지의 배슬러지지로의 유출횟수를 1회 이상 늘려 침전지에서 배출되는 1회 유출량을

486m³/지 이하로 배슬러지지로 유입되도록 조정할 필요가 있으며,

○ 130,000m³/일의 용수공급을 위해서는 배슬러지지는 현시설과 용량이 같은 시설로 3지, 농축조는 2지가 더 필요한 것으로 판단되었다.

2. 슬러지 발생량 산정은 정수장에서 실측된 발생량을 기준으로 역산하는 것이 실제 발생량과 매우 흡사한 것으로 판단되었다. 또한 신규시설의 설계를 할 경우에는 취수원이 비슷한 정수장을 기준으로 하여 정수생산량에 대비한 실제발생량을 고려하면 시설용량 산정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 한국수자원공사(2003) 배출수처리시스템의 효율적 운영방안. pp. 71-104.
- ASCE, AWWA (1996) Management of water treatment plant residuals, *Technology transfer handbook*, pp. 17-33.
- Cornwell, D., Bishop, M.M., Gould R.G., and C., Vandermeiden (1987) *Handbook of practice: Water treatment plant waste management*. Denver, CO: AWWA.
- Kawamura, S. (2000) *Integrated design of water treatment facilities*, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc.
- WEF, ASCE (1998) *Design of Municipal wastewater treatment plant*, 4th ed., WEF manual of practice No. 8.