

원수 수질을 고려한 군장공업용수도 설계인자 결정 연구

○안창진*, 안상진**, 이동주***, 연인성****

1. 서 론

지금까지 우리나라 수도시설의 설계는 안정적인 수량의 확보 및 공급에만 중점을 두어, 대부분 상수도시설기준에 의하여 설계되어 왔다. 이와 같은 설계기준은 좋은 원수를 대상으로 자연적으로 존재하는 토양입자나 일부의 색도를 제거하는 목적으로 설정된 것이며, 이미 1900년대 중반에 완성된 것이다. 정수처리기술은 최근 날로 발전하고 있고, 원수의 수질은 급격하게 악화되고 있는 실정이다. 정수처리기술의 발전은 기존 정수처리공정에 비하여 경제적이고 효과적인 정수장 설계를 가능하게 했으며, 극도로 오염된 물을 처리할 수 있는 기술들도 개발되고 있다. 또한, 소독부산물에 대한 연구결과 원수내에 존재하는 색도물질이나 일부의 이온성 물질이 소독이나 산화과정에서 발암물질로 변할 수 있는 사실이 발견되면서 기존의 설계기준이나 운영방법이 바뀌어 가고 있다.

그러므로 최근 외국에서는 새로운 정수장을 건설하기 위하여 다년간 pilot 규모의 실험을 수행하는 것을 의무화하고 있으며, 실험결과를 바탕으로 경제적이고, 안전한 수질을 확보할 수 있는 정수처리공정을 도입하여 설계하고 있다. 획일적인 시설 및 운영기준은 오늘날과 같이 지역적으로 색다른 경제구조를 갖고 있는 지역에 일률적으로 적용할 수 없다. 과거와 같이 지역적인 기후의 특성만을 고려할 때에는 몇몇 물리적인 인자만 고려하면 큰 문제없이 정수장을 설계하고 운영할 수 있었으나, 최근에는 유역의 경제구조에 따라 좀더 구체적으로 설계 및 운영기준을 설정하지 않으면 안되게 되었다.

본 연구는 이와 같은 시대적인 흐름에 따라 효율적이고 안전한 정수장 설계를 위한 설계인자를 제시하는 것이 최종 목표이다. 이를 위해 건설 예정인 군장공업용수도 정수장의 취수원을 대상으로 원수 수질자료를 분석하였으며, 또한 기본적인 실험을 수행하여 원수의 조건과 처리수의 수질 목표를 고려하여 가장 적합한 처리공정을 선택하고, 공정별 최적의 설계인자를 제시하고자 한다.

2. 실험방법

그림 1과 같은 2 l Jar를 이용해 침전속도 분포곡선 작성을 위한 Jar-test를 수행하였다.

* 한국수자원공사 수도건설처 부장

** 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

**** 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

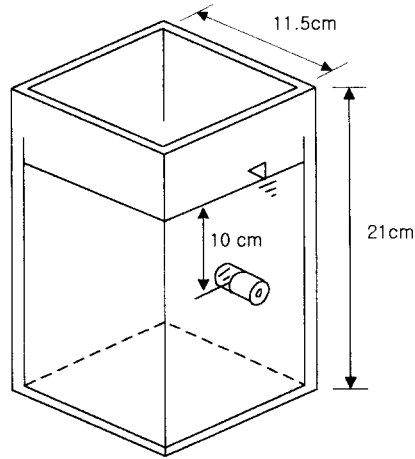


그림 1 침전속도 특성곡선 실험을 위한 Jar

실험방법은 응집이 끝난 후 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 30분에 수면에서 10 cm 깊이의 지점에서 시료를 채취하여 탁도를 측정하였다. 만약 0.5분일 때 수면하 10 cm 지점에서 시료를 채취하여 탁도를 측정하였다면, 그 때의 시료는 0.5분 동안 10 cm를 침전하는 플럭의 침전속도라고 할 수 있다. 같은 방법으로 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 30분 일때의 침전속도를 구해주면 표 1과 같다. 따라서 각 침전속도에서 침전탁도를 측정하게 되면, 각 침전속도에 따른 탁도제거율을 구할 수 있게 된다.

표 1 침전시간과 침전속도와의 관계

시간(min)	0.5	1	2	4	8	16	30
침전속도 (cm/min)	20	10	5	2.5	1.25	0.625	0.33

만약 어떤 원수수질 조건에서 요구되는 탁도제거율이 결정되게 되면 위와 같은 실험을 통해 목표하는 탁도제거율을 만족시킬 수 있는 침전속도를 구할수가 있게 된다. 따라서 플럭의 침전속도가 결정되면 침전지의 표면부하율이 결정되므로 침전지의 규모를 정할 수 있게 된다.

3. 데이터 분석 및 실험결과

본 연구에서의 대상 정수장은 공업용수도로서, 공업용수도란 공장 등 공업용으로 사용되는 원수를 공급하기 위한 정수장을 말하며, 일반적인 정수처리공정은 그림 2와 같다. 상수용 정수장은 음용으로 사용되기 때문에 매우 정밀한 수처리가 요구되지만 공업용은 음용으로 사용되지 않고, 또한 높은 수질을 요구하는 공장에서는 자체 정수처리시설이 있기 때문에 공업용수도에서는 어느 정도의 수질만을 만족시킨 후 공급하게 된다. 따라서 상수용 정수장에서는 여과공정이 반드시 필요하지만 공업용 정수장에서는 여과지가 없는 곳이 대부분이다.

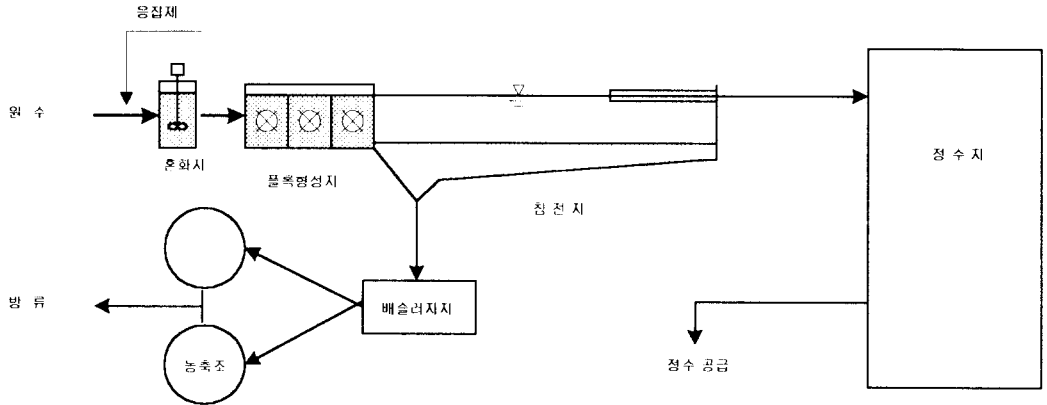


그림 2 일반적인 공업용수 정수장의 정수처리공정도

공업용수도 정수장을 설계하기 위해서는 먼저 원수수질을 분석하여 처리수질과 목표수질을 결정하여야 한다. 일단 처리수질을 결정하게 되면 응집제 주입율을 결정하게 되며, 결정된 응집제 주입율에 따라 응집제 주입을 위한 응집제 저장탱크 용량을 결정할 수 있게 된다. 그 다음에는 실험 등을 통해 생성된 플럭의 침강특성실험을 하고 목표수질을 만족시키기 위한 침전속도를 결정하여 침전지의 용량을 산정하게 된다. 마지막으로 결정된 응집제주입율과 침전된 슬러지의 성상특성 관계를 이용해 배출슬러지 및 농축조의 용량을 결정하게 된다.

그림 3과 그림4는 대상 정수장의 3년간 원수자료를 분석한 결과이다. 먼저 그림 3을 살펴보면 연중 가장 많은 빈도를 나타내는 탁도는 5 ~ 9 NTU로 나타났다. 그러나 70 NTU 부근에서도 비교적 높은 빈도를 나타냈는데, 이러한 원인은 하질기 집중강우에 의한 고탁도에 기인하는 것으로 판단된다.

일반적으로 선진외국에서는 누적빈도 95 % 정도의 수질을 설계수질로 선정하고 있다. 이러한 이유는 나머지 5 %까지 원활하게 처리하기 위한 시설물을 설치하게 되면 구조물이 지나치게 커질뿐만 아니라 평상시에는 전체적인 정수처리공정이 비효율적으로 운영될 수 있기 때문이다. 그렇다고해서 나머지 5 % 부분에 대해서는 정수를 포기하거나 처리할 수 없다는 것을 의미하는 것은 아니며, 이 시기에는 응집제를 과량 주입하거나 응집보조제를 투입하는 등으로 처리수질을 확보할 수 있도록 운영하게 된다. 따라서 본 연구에서도 설계수질의 경우 누적빈도 95 % 정도의 탁도로 결정하였으며 이 때의 설계탁도는 50 NTU 이었다.

공업용수도에 대한 수질기준은 특별히 정해진 바가 없으며, 선진외국에서도 특별한 기준은 갖고 있지 않다. 한국수자원공사에서는 자체적으로도 기준으로 10도 이하의 수질로 공급하는 것으로 기준을 정하고 있으며, 본 연구에서는 NTU 기준으로 10 이상일 때 응집제를 주입하는 것으로 하였으며, 응집제를 주입할 경우 5 NTU 까지 탁도를 저감시킨 후 공급할 수 있도록 설계하는 것으로 하였다. 이럴 경우 원수가 10 NTU를 넘는 경우는 연간 약 30 % 정도로 나타났다.

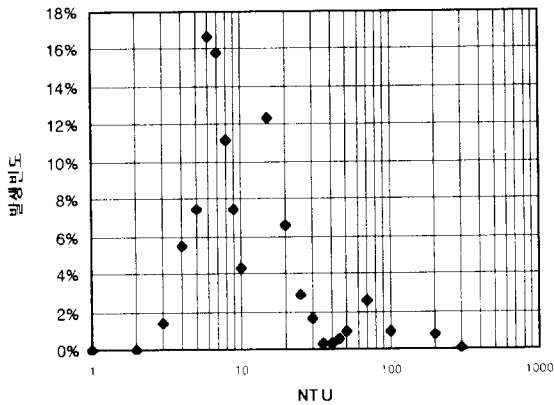


그림 4 대상정수장 탁도별 발생빈도

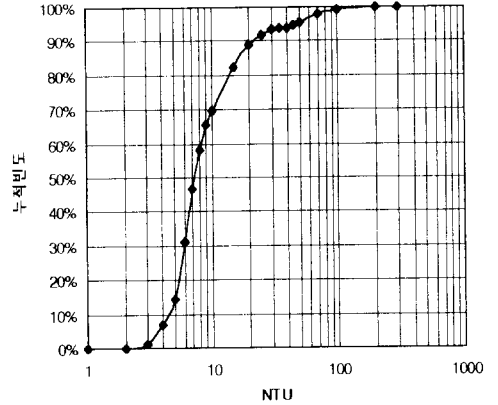


그림 3 대상정수장 탁도별 누적빈도

응집제 선정은 원수수질이나 제반여건에 따라 결정되게 된다. 본 연구의 대상 정수장이 공업용 수도이고 응집제 주입시기가 연간 30 % 정도란 점을 감안하여 응집제는 Alum을 선정하였다. 이러한 이유는 공업용수도는 평상시에는 응집제를 주입하지 않고 고탁도 유입시에만 응집제를 주입 하게 된다. 따라서 응집제 주입이 산발적이므로 장기간 응집제를 보관해도 응집제 성능이 저하되지 않아야 한다. 그러므로 PAC와 같은 무기고분자응집제는 장기간 보관시 선중합된 고분자 사슬이 파괴됨에 따라 효율이 저하될 수 있으므로 단분자 응집제인 Alum이 적당할 것으로 판단하였다.

응집제 주입율은 여러 가지 인자에 의해 결정되게 되며, 그 중에는 용존유기물질, 탁도, 수온, 알칼리도, 각종 이온농도, pH 등이 있다. 이 중에서 자료를 취득할 수 있는 인자인 탁도, 수온, 알칼리도, pH 와 응집제 주입율과의 상관관계를 Multi-regression 방식을 이용해 식으로 나타낸 것이 식 (1)이다. 이때 응집제 주입율은 원수의 탁도, 수온, 알칼리도, pH 순으로 상관관계가 높았다.

$$A = \frac{2.05X_1^{0.497} \times X_2^{0.932} \times X_4^{0.105}}{X_3^{0.126}} \quad (R^2 = 0.873) \quad \text{-----(1)}$$

- 여기서, A : 응집제 주입율
- X₁ : 원수 탁도
- X₂ : 원수 pH
- X₃ : 원수 온도
- X₄ : 원수 알칼리도

수질조사에서 또하나 중요한 점은 탁도와 SS와의 상관관계이다. 아래 식 (2)는 침전지에서 발생하는 슬러지량 산정공식이다. 이 식에서 알 수 있듯이 탁도와 SS와의 상관관계는 슬러지 발생량 산정에 지대한 영향을 미치게 되므로, 결과적으로 배출슬러지 및 농축조의 설계를 결정하는 중요한 인자라고 할 수 있다.

$$W_s = Q \times [K(T_i - T_e) + R \times m] \times 10^{-6} \text{ -----(2)}$$

여기서, W_s : 침전지 배출슬러지량 (ton/day)

Q : 처리수량 (m³/day)

K : 탁도와 SS의 환산비 (상수)

T_i : 원수탁도 (NTU)

T_e : 침전수탁도 (NTU)

R : 응집제투입율 (as Al₂O₃)

m : 응집제농도 (as Al₂O₃)

그림 5는 대상 정수장 원수의 3년간 수질자료를 이용하여 SS와 탁도의 상관관계를 구한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 탁도가 증가함에 따라 SS / 탁도의 비는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 위에서 설계탁도를 50 NTU로 결정하였는데 이때의 SS와 탁도의 비는 약 0.7이었다.

이전의 설계방식은 대부분 설계탁도에서 SS와 탁도의 비를 산출한 후 안전계수를 곱해 배출수 처리시설의 설계인자로 사용해 왔다. 하지만 본 수질자료 분석결과 탁도가 증가함에 따라 SS / 탁도의 비는 감소하는 경향을 분명히 보여줌으로써 설계탁도 이상의 고탁도 원수가 유입되어도 실제 발생하는 슬러지량에는 큰 차이가 없으므로 구태여 안전계수를 지나치게 높여서 산정할 필요성이 적은 것으로 판단되었다. 따라서 배출수처리시설의 설계를 위한 설계탁도에서의 SS / 탁도의 비는 0.7로 결정하였다. 참고로 기존방식으로 할 경우에는 SS / 탁도의 비가 0.7정도이면 안전계수를 감안해 1.0으로 하는 것이 통상적이며, 수질자료가 없을 경우에는 1.4 정도가 많이 사용되어 왔다.

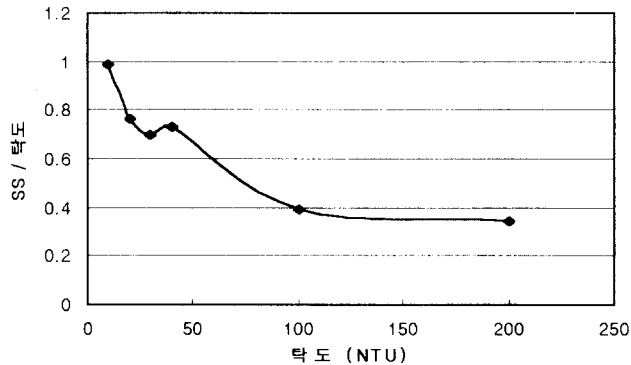


그림 5 대상정수장의 SS와 탁도와의 상관관계

그림 6은 침전지의 표면부하율을 결정하기 위해 침전효율이 가장 악화되는 동절기에 대상 정수장의 원수를 이용하여 플럭의 침강실험을 한 결과이다. 실험결과 본 연구에서 결정한 수질목표 5 NTU를 달성하기 위해서는 1.1 cm/min 정도가 필요한 것으로 나타났다. 하지만 대상정수장의 혼화공정을 한국수자원공사에서 개발한 2단혼화방식으로 적용할 경우 그림 7에서 나타난 바와 같이 침전속도가 3배 이상 증가하는 것으로 나타나므로, 혼화공정을 2단혼화방식으로 결정하고 표면부

하울의 경우는 안전율을 감안해 2.5 cm/min으로 결정하였다. 또한 기존의 장방형 침전지를 대체해 상향류식 경사판(관) 방식을 도입하는 것이 경제적으로 우수하므로 침전지 형식을 경사판(관) 형식으로 결정하였다.

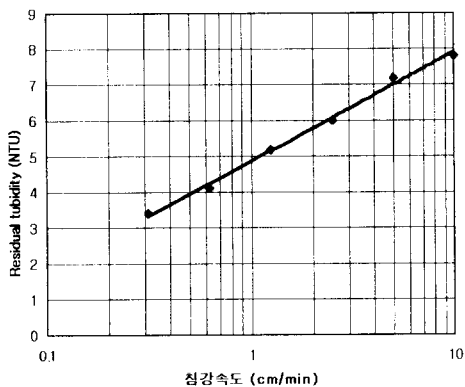


그림 6 Back-mix type 혼화공정에서의 플록의 침강속도

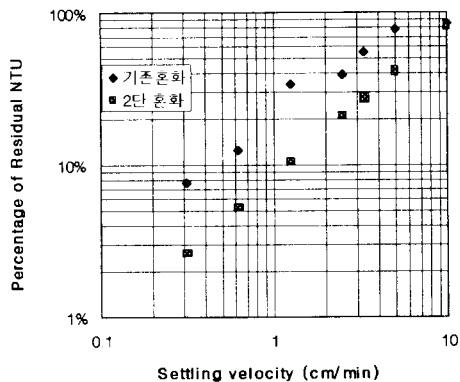


그림 7 기존 Back-mix type 혼화와 2단혼화와의 침강속도 비교

4. 결 론

정수장 설계에 있어서 조사, 분석 및 실험에 의한 설계인자 제시는 수처리 효율은 물론 공사비 절감 등 경제성에도 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, 현재 본 연구결과를 토대로 군장공업 용수도 정수장 설계를 위한 실시설계 보고서에 연구결과를 반영중에 있다.

5. 참고문헌

- Hudson, E.H., "Water clarification processes practical design and evaluation", Van Nostrand Reinhold Company, USA, pp. 65 ~ 74(1981).
- Hundt, T.R. and O'melia, C.R., "Aluminum-Fulvic Acid Interactions : Mechanisms and Applications", J.AWWA, 80(4), 176-186(1988).
- Kawamura, S., "Optimization of basic water-treatment processes design and operation : coagulation and flocculation", J.Water SRT, 45(1), 35-47 (1996).
- Kawamura, S., "Integrated design of water treatment facilities", John Wiley & Sons, Inc., New York(1991)
- Miller, S.A. et al., "Liquid-solid systems", Perry's chemical engineers' handbook, McGRAW-HILL, Inc., pp. 19-5 ~ 19-14(1984).