



# 정수 공정관리



Chapter 1. 정수처리 개요

Chapter 2. 응집 공정

Chapter 3. 침전 및 용존공기부상(DAF) 공정

Chapter 4. 여과 공정

Chapter 5. 소독 공정

Chapter 6. 슬러지 처리 공정



## Chapter 1

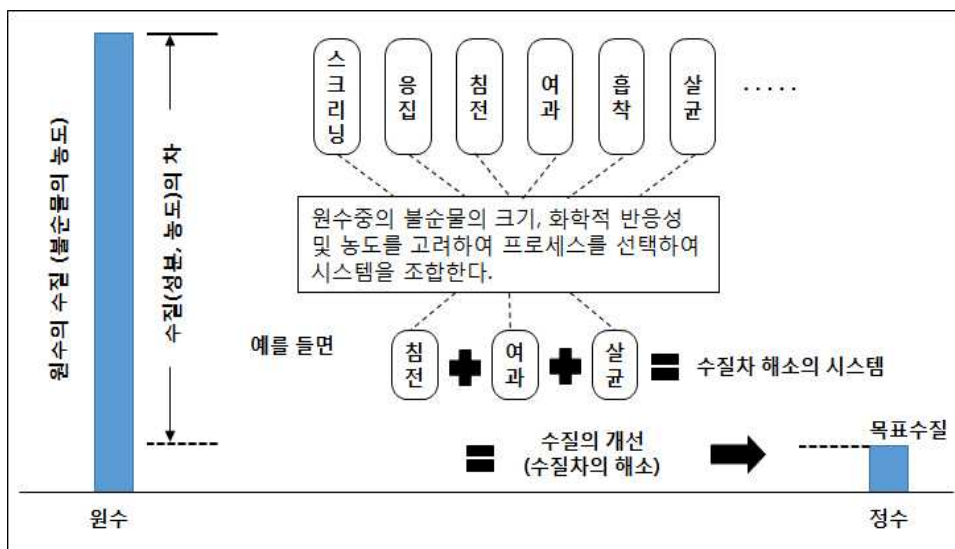
# 정수처리 개요

### 01 정수처리와 수돗물 품질관리

물은 각각의 이용목적에 따라 요구되는 수질이 달라지며 원료가 되는 물, 즉 원수가 이 기준을 충분히 유지하고 있는 경우는 극히 드물다. 따라서 이용 목적에 맞는 수질과 원수의 수질 차이를 해소하기 위한 조작이 필요하며, 이러한 일련의 조작을 수처리라고 한다.

수처리는 여러 종류의 조작(이것을 'process' 또는 '공정'이라고 함)을 조합하여 한가지의 체계화된 시설(이것을 'system'이라고 함)로써 운영된다. 이러한 시설 중 먹는물을 만들기 위한 시스템이 정수시스템이다. 즉 상수원에서 취수된 물은 다양한 공정으로 조합된 정수시스템을 통하여 먹는물로 적합하게 생산된다.

< 도표 1.1 > 정수시스템과 각 프로세스



수돗물은 수요자의 손에 전달되는 상품이라고 할 수 있으며, 수도사업자는 수도법에 규정된 수질기준에 적합한 수돗물의 공급을 의무적으로 시행해야 한다. 수요자에게 항상 수질기준을 만족하는 안전한 양질의 수돗물을 공급하기 위해서는 원료인 원수부터 일반 가정에 공급되는 제품인 수돗물까지 상수도 체계의 각 공정에서 엄격한 품질관리가 필요하다. 일반적인 공장에서는 원료관리부터 제조공정관리, 제품관리 등을 시행하는 것이 품질관리이며 상수도에서는

각 수원에서 수질관리, 정수장에서 수질관리, 송수·배수·급수에서의 수질관리가 품질관리에 해당된다.

< 도표 1.2 > 상수도 각 공정의 주요 품질 점검내용

공정		내용
원료	수원도입	기상, 수질오염, 어류폐사, 원수 수질, 사용약품, 정수장까지 도달시간 등
제조	정수장	각 정수공정의 수질, 사용약품,여과지 세척상황, 정수 수질 등
수송	송·배수	수질검사, 관로의 구조와 재질, 관내 상황, 배수지 및 관로 내 체류시간 등
제품	급수	수질검사, 급수관 및 급수기구의 구조와 재질, 저수조의 구조와 유지관리 상황, 체류시간, 오접 (cross connection)의 가능성 등

## 02 불순물의 종류와 처리방법

수처리 시스템을 구성하는 공정은 제거하고자 하는 불순물의 종류와 농도에 따라 달라질 수 있다. 처리 공정을 선택할 경우에 1차적인 선정기준은 불순물의 크기이다. 다양한 크기를 가진 수중의 불순물에 대하여 원리적으로 응용가능한 일반적인 공정은 다음과 같다.

< 도표 1.3 > 불순물의 크기와 이에 따른 처리방법

불 순 물	불순물의 직경	불순물의 분류	30cm 침강시간	분리프로세스	임자결 성장프로세스
이온·수분자 염류	$10^{-10}m \approx 1\text{\AA}$		63 years ~	이온교환 전기투석 역삼투	
색도성분	$10^{-9}m \approx 1nm$	용해성분	~ 6.3years	흡착	응집
바이러스	$10^{-8}m$	콜로이드성분	~ 230 days	한외여과	응집
점토류 세균류	$10^{-7}m$		~ 55 hours	상변화	
조류·원생동물	$10^{-6}m \approx 1\mu m$		~ 33 minutes	여과	물록형성
실트입자	$10^{-5}m$		~ 38 seconds		
모래입자	$10^{-4}m$	현탁성분	~ 3 seconds	침전부상	
거대현탁질	$10^{-3}m \approx 1mm$		~ 0.3 seconds	스크리닝	
	$10^{-2}m \approx 1cm$				

\* 출처：丹保憲仁, 淨水の技術, 1989

수중의 불순물 크기는  $10^{-10}\text{m}$  ~  $10^{-2}\text{m}$  정도 범위로 넓게 분포되어 있으며, 그 존재 상태에 따라 용해성과 현탁성(불용해성)으로 구분하는 방법이 널리 이용된다. 보통 여과지를 통과한 성분을 용해성이라 하고 여과지 위해 남은 성분을 현탁성(불용해성, 불용성, 입자성)이라고 한다.

불순물의 크기가 nm 이하이면 불순물과 물이 동일한 정도의 크기로 이웃하여 존재하며 이러한 상태를 용해 상태로 본다. 무기·유기성 저분자 이온, 염 등이 대표적인 용해성 물질이다.

10~수십 $\mu\text{m}$  이상의 입자는 침전, 여과 등의 고액분리 조작에 의하여 제거될 수 있다. 이러한 고액분리는 일반적으로 중력 등의 물리적인 힘을 이용하는 것으로 그 대상이 되는 물질의 화학적 성질에는 거의 관계하지 않는다. 입자가 작을수록 중력 등의 물리적인 힘으로는 물과 분리할 수 없게 된다. 이때 물리·화학적, 화학적인 힘을 이용하여 분리하게 된다.

<도표 1.3>의 분류기준에 따르면  $\mu\text{m}$  단위보다 작은 것은 용해하고 있는 성분으로 분류된다. 그러나 실제로 물을 처리할 경우,  $10^{-9}\text{m}(\text{nm})$  ~  $10^{-6}\text{m}(\mu\text{m})$ 의 범위에 있는 불순물은 저분자 성분처럼 완전히 물과 일체가 되어 거동하는 용해성을 나타내지 않고, 오히려 현탁성에 가까운 거동을 나타낸다. 이러한 성분을 물질의 종류와 관계없이 콜로이드 성분이라고 하며, 여(과)지에 의해 분류되므로 용해성 그룹에 속하기 때문에 콜로이드 용액이라고도 한다.

수중의 콜로이드 물질은 주로 점토류, 세균류, 조류, 색도 성분 등이며, 불순물 중 점유하는 비율이 매우 크므로 콜로이드의 특성을 이해하는 것은 수처리에서 매우 중요하다. 콜로이드 물질보다 큰 영역과 낮은 영역에서는 직접적으로 분리를 행하는 공정이 존재한다. 그러나 콜로이드 물질에 대해서는 직접적으로 제거할 수 있는 일반적인 공정이 없다. 따라서 일련의 조작을 통하여 콜로이드 성분을 고액분리 가능한 크기까지 성장시켜 중력에 의해 침전시키는 방법을 주로 사용하는데, 이것을 콜로이드의 응집처리라고 한다.

< 도표 1.4 > 불순물의 크기와 제거공정



\* 출처 : 丹保憲仁, 1989, 淨水の技術

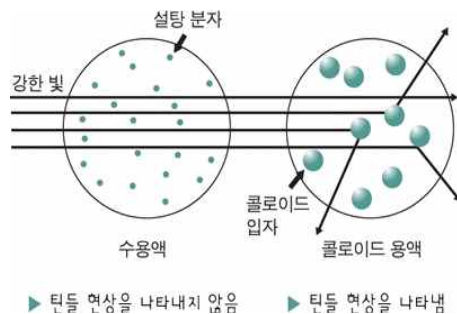
1)  $10^{-10}\text{m}$ 은  $1\text{\AA}$ (옹스트롬)이라 표현하며 원자크기의 단위를 말한다.

### 03 콜로이드와 탁도

이온이나 작은 분자가 녹아 있는 참용액에 빛을 쬔면 빛이 그대로 통과하기 때문에 빛의 경로가 보이지 않는다. 반면 콜로이드 용액에 강한 빛을 쬔면 측면에서 보면 빛의 통로가 밝게 나타난다. 이것을 틴들 현상이라고 하며, 콜로이드 용액의 특유한 성질이다.

콜로이드 입자는 용매분자나 다른 분자와 충돌하여 불규칙적으로 돌아다니는 브라운 운동을 하며, 이 운동은 입자가 작을수록 격렬하게 된다. 수중에 분산되어 있는 콜로이드 입자는 가시광선의 파장과 비슷해서 빛이 산란되기 때문에 빛의 통로가 밝게 나타나는 틴들 현상이 발생하는 것이다. 이러한 원리를 이용하여 콜로이드 입자의 양을 측정하는 방법이 탁도(turbidity)이다.

< 도표 1.5 > 콜로이드 입자의 틴들 현상

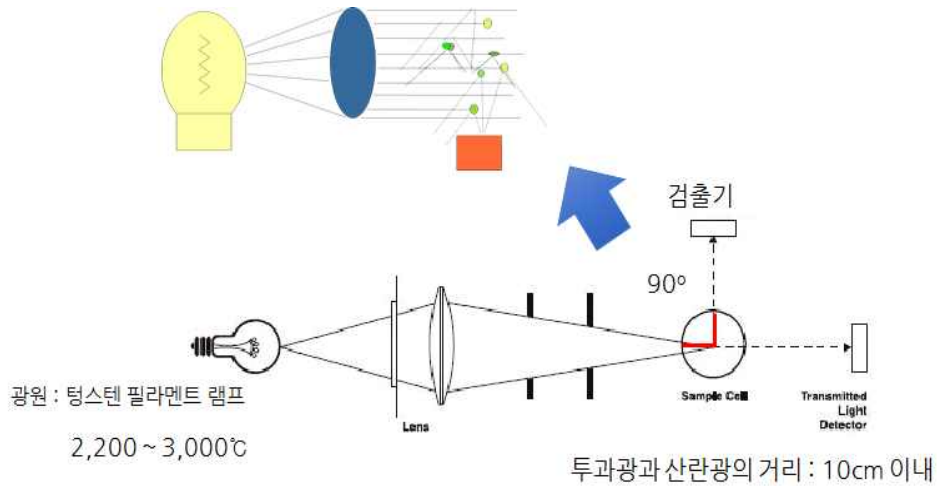


\* 출처 : Basic 고교생을 위한 화학 용어사전, 2002, 서인호

콜로이드 입자와 같이 수중에 부유하고 있는 고형물의 양을 측정하고자 할 때에는 여과종이에 걸러진 고형물의 무게를 측정하는 SS(부유물질, Suspended Solid)를 이용한다. 그러나 정수처리 과정에서 침전수나 여과수 등은 고형물이 거의 제거된 상태로 SS를 측정할 경우 정확한 측정값을 얻기 어렵다. 또한 실시간으로 고형물의 양의 측정하기에 어려운 점이 있다.

반면, 탁도 측정을 통하여 콜로이드 입자의 적정 제거 여부를 판단하면 편리하다. 실시간으로 흘러가는 물에 빛을 조사하여 빛의 유입-유출 관계를 측정하면 된다. 단 광원이나 빛을 조사하는 방법을 표준화한다면 어디에서 측정하든 동일한 방법을 이용한 경우 탁도 자료를 비교할 수 있다. 우리나라를 비롯하여 대부분의 나라에서는 네펠로미터를 이용한 측정법을 적용하고 있으며, 단위는 NTU(nephelometric turbidity units)로 쓴다. 이 방법은 광원부와 광전자식 검출기를 갖추고 있으며 정량한계가 0.02 NTU 이상이며 광원인 텅스텐 필라멘트는 2,200 ℃ ~ 3,000 ℃ 온도에서 작동하고 측정 튜브 내에서의 투사광과 산란광의 총 통과거리는 10 cm를 넘지 않아야 하며, 검출기에 의해 빛을 흡수하는 각도는 투사광에 대하여 (90 ± 30) 도를 넘지 않도록 하고 있다.

< 도표 1.6 > 네펠로미터를 이용한 탁도 측정 원리



#### 04 표준정수처리

정수시스템을 구성하는 프로세스는 원수에 포함된 불순물의 크기와 성분, 농도에 따라 선택되며, 일반적으로 표준정수처리에서는 원수의 탁질(입자성 물질 ; 콜로이드, 병원성 미생물도 포함된다) 제거를 주목적으로 한다. 표준정수처리 공정에서 유기물질, 냄새물질, 트리할로메탄 등 소독부산물 전구물질, 색도 유발물질 등은 제거되지 않으므로 이들의 처리를 위해서는 활성탄 및 오존처리 시설 등의 고도정수처리가 추가로 필요하다.

표준정수처리란 호소·하천 등 수원에서 원수를 취수하여 응집제 등 약품을 첨가하여 혼화·응집·침전 후 모래 등으로 구성된 여과지를 통해 불순물을 제거하고, 소독 처리하여 음용·공업용 등 용도에 맞게 처리하는 과정을 말한다. 표준정수처리공정은 일반적으로 착수정, 혼화지, 응집지, 침전지, 여과지, 정수지의 프로세스로 이루어진다.

< 도표 1.7 > 표준정수처리시설 주요 공정 개요 및 역할



주요공정	주요 역할
착수정	취수시설에서 정수시설로 들어오는 원수를 받아 유량을 조정하여 후속 공정의 유량부하를 안정시킴
혼화지	탁질물질 제거를 위하여 필요한 약품(응집제)을 원수에 주입하고 혼합하여 미소 플록(floc) <sup>3)</sup> 을 형성시킴
응집지	약품 혼화지에서 형성된 미소플록을 서로 뭉쳐 중력에 의해 침전이 가능한 큰 입자들로 성장시킴
침전지	혼화·응집과정에서 커진 입자를 침전시켜 원수로부터 분리
여과지	침전지에서 침전되지 않은 미세플록을 모래나 자갈 등을 이용하여 최종 제거
소독시설 및 정수지	원수에서 탁질을 제거한 후 수인성 미생물을 사멸시켜 위생적으로 안전한 음용수를 생산하고, 물을 배수지 및 가정에 보내기 전 양을 조절하고 보관

착수정은 정수장에 유입되는 원수의 수위 동요 안정화, 원수 유량 조절을 통해 후속 공정인 혼화, 응집, 침전, 여과를 용이하게 한다.

< 도표 1.8 > 착수정 설치 전경



표준정수처리를 통해 수돗물을 생산하는 정수장에서는 여름철 상수원에 녹조현상이 발생하여 단기간 냄새물질이 발생할 수 있다. 이 경우에는 분말활성탄 처리를 통해서 대응하며, 착수정이 분말활성탄 접촉조의 역할을 병행하기도 한다. 이와 같이 원수 수질에 따라 분말활성탄, 알칼리제, 응집보조제 등의 약품을 추가적으로 주입할 필요가 있을 때 약품의 주입위치를 착수정으로 하는 경우가 많다.

착수정에서 원수 수질을 감시하기 위해서는 약품 주입이 되지 않은 지점을 채수지점으로 선정해야 하며, 전염소는 원수중의 유기물이나 피산화 무기물 관리를 위해 연중 주입되는 경우가 일반적이다.

## Chapter 2

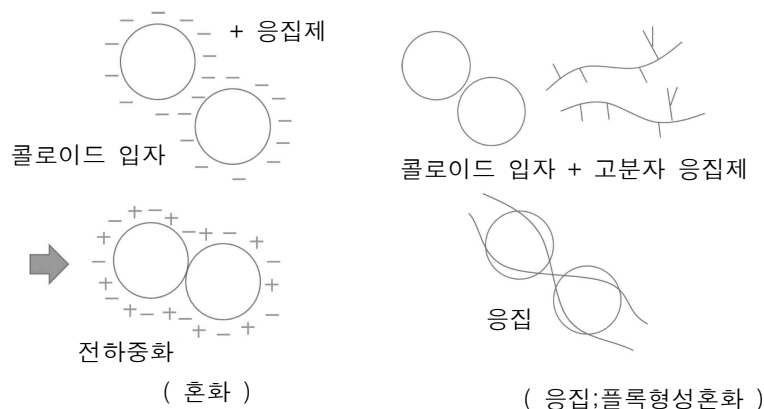
# 응집 공정

### 01 응집의 원리

콜로이드 성분은 점토질 등의 무기성 탁질이나 색도로 표시되는 유기 착색성분, 박테리아와 바이러스 등의 미생물로서 정수장에서 제거해야할 주된 성분이다. 수중에 있는 대부분의 콜로이드는 그 표면에 음전하를 띠고 있으며 서로 반발하면서 안정된 분산상태로 존재한다. 콜로이드의 안정된 정도는 표면에 음전하를 얼마나 많이 띠고 있는 지를 나타내는 제타전위로 나타낼 수 있다. 제타전위가 (-) 또는 (+) 쪽으로 증가할수록 콜로이드 입자 사이의 반발력은 커지고 더욱 안정화되어 부유상태를 유지하게 된다. 이러한 부유상태를 깨뜨리기 위해 콜로이드와 반대전하를 가진 응집제 주입하여 콜로이드 입자들이 서로 접촉하고 결집되도록 하는 조작이 응집이다.

반대전하인 양이온의 금속이온(응집제)을 인위적으로 넣어 입자의 표면전하를 양전하 금속으로 중화시켜 주면 입자 간 상호인력(반데르발스힘)이 작용하여 플록이 성장하게 되며, 결국은 중력에 의하여 침전하게 된다. 응집공정의 처리과정은 응집제를 첨가해서 콜로이드 물질, 즉 탁질을 플록으로 생성시키는 단계와 생성된 플록을 크게 성장시키는 단계로 구분할 수 있다. 이 두 단계의 기능을 분리하여 전단계를 혼화, 다음단계를 응집(플록형성)이라 한다. 다음은 혼화·응집공정의 원리이다.

< 도표 2.1 > 응집공정 원리

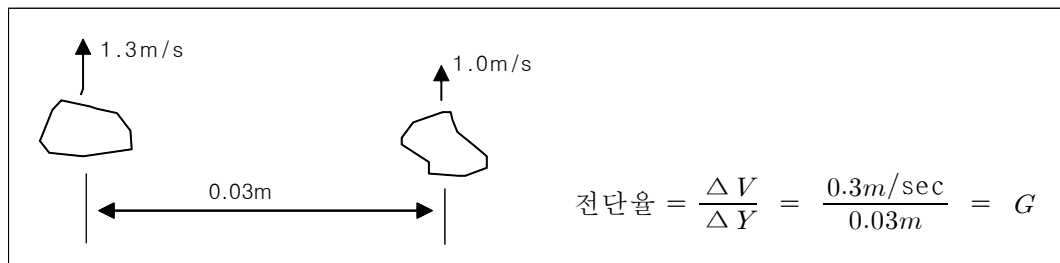


## 02 혼화 공정

혼화공정은 응집제를 주입하고 응집제와 콜로이드성 입자들이 충분히 혼합되도록 급속 교반시켜 플록을 형성하는 과정을 말한다. 나란히 움직이는 각 입자의 속도 크기나 방향에 변화(속도경사)를 주게 되면 입자간 충돌 및 혼합 작용이 일어나며 이를 혼화 혹은 교반이라 정의할 수 있다. 급속교반은 교반조 내에서 응집제를 균일하게 완전히 원수와 접촉시키는 것이 목적이므로, 응집제를 주입한 후 가능한 빠르게 응집제를 확산시키고 입자간의 충돌을 유도해야 한다. 따라서 급속교반의 효율이 중요하며, 이를 판단하기 위해 속도경사라는 개념을 이용한다.

속도경사( $G$ , velocity gradient)는 유동이 있는 물에서 입자간의 접촉을 일으키게 하는 정도를 표현하는 것으로, 교반조 내의 어느 주어진 점에서의 수류 전단율(shear rate)과 관련된다. 즉 입자간의 단위 거리당 입자의 속도차이라고 할 수 있다. 속도경사가 크면 상당한 전단력이 발생되고 그에 따라 교반강도가 커진다.

< 도표 2.2 > 수류전단율



실제 입자가 응집되는 혼화지에서는 무수히 많은 입자들이 존재하므로 이러한 개념을 실용적으로 이용할 수 있도록 고안된 식이 필요하게 된다. 현재 급속교반의 효율을 판단하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 속도경사식은 Camp가 제시한 것으로 아래와 같이 표현된다.

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$G$  : 평균속도경사( $\text{sec}^{-1}$ ),  $W$  : 반응조의 단위체적당 물에 가해지는 동력 ( $\text{N}\cdot\text{m}/\text{sec}\cdot\text{m}^3$ )  
 $\mu$  : 물의 절대점도( $\text{Ns}/\text{m}^2$ ),  $P$  : 물에 가해지는 동력( $\text{N}\cdot\text{m}/\text{sec}$ ),  $V$  : 반응조의 체적( $\text{m}^3$ )

속도경사는 교반을 위하여 투입하는 에너지와 혼화지 내 물의 점도와 혼화지 부피간의 상호관계를 나타낸 값으로 투입된 에너지가 클수록 물의 점도와 혼화지 부피가 작을수록  $G$ 값은 커지며  $G$ 값이 클수록 교반이 강하게 일어난 것을 의미한다. 즉, 수온이 내려가면 물의 점도가 커짐으로 저항력이 커지게 되어 속도경사가 감소함을 알 수 있다.

G값의 정의에서 보듯이 교반기가 동일한 교반 에너지를 투입한 경우 혼화지의 부피가 작을수록 교반효과가 크게 나타나는 점을 혼화지 설계 시 고려해야 한다. 응집제의 화학반응은 최대한 수 초 내에 반응이 끝나기 때문에 혼화지의 부피가 작다고 하더라도 문제가 되지 않는다. 따라서 혼화지의 부피는 완전혼화가 되는 한 체류시간을 최대한 작게 하는 것이 좋으므로 체류시간을 1분 이내로 규정하고 있다. 또한 약품주입 시 압력을 가하여 노즐로 폭넓게 분사시키는 것이 완전혼화를 이루는데 도움을 주므로 혼화지의 체적을 줄이는데도 도움이 된다.

급속혼화의 가장 일반적인 방법으로는 기계식 혼화(flash mixer 등), 수류식 혼화, 인라인기계식 혼화, 인라인고정식 혼화, 가압수확산에 의한 혼화, 파이프 격자에 의한 혼화와 같은 방법들이 있다. 기계식 혼화방식을 채택한 경우, 혼화지는 수조 중의 물이 교반날개의 운동에 따라 동시에 함께 회전하지 않도록 하기 위하여 원형조보다도 사각형 조가 유리하고 측벽에 직각으로 저류판을 설치하면 회전운동을 줄이고 수조 중의 속도경사를 크게 할 수 있다.

< 도표 2.3 > 혼화시설 설치 사례



(수류식 혼화)



(가압수 확산식 혼화장치)



(flash mixer)

### 03 응집(플록형성) 공정

급속혼화로 생성된 미소플록을 침강 제거시키기 위해서는 응집된 플록이 크고 무거우며 견고하게 형성되어야 한다. 플록 형성 과정은 응집된 미소플록을 크게 만드는 조작이다. 플록은 서로 충돌하면서 응집·성장되는 것으로, 그 기초이론식은 앞서 언급한 속도경사 식과 같다.

플록형성단계에서 큰 플록을 형성시키기 위해서는 플록수가 많을수록 효과적이고 적당한 교반이 필요하며 입자의 크기가 클수록 급속히 성장된다. 교반으로 플록이 일정 크기까지 성장하면 수류에 의한 전단작용에 저항하지 못하여 파괴된다. 따라서 플록형성 단계에서는 효과적인 교반강도와(G) 적당한 교반시간(T)으로 플록을 성장 촉진시키는 것이 필요하다. 이를 위해 실제 정수장에서는 응집지(플록형성지)를 3~4단으로 나누어, 작은 입경의 플록이 생성되는 초기 단계에 강한 교반을 하고 플록이 점차 크게 성장함에 따라 단계적으로 교반강도를 낮추어가는 점감식 플록형성(tapered flocculation) 방식을 채택하고 있다. 플록형성시간은 일반적으로 20~40분이 적당하며, 너무 짧으면 교반에너지를 충분히 투입하더라도 응집효과가 떨어지며, 너무 길게 할 경우 형성된 플록이 침강되거나 파괴되는 경우가 발생한다. 교반방식은

기계식이나 우류식 교반이 사용된다. 응집지 구조는 지 내의 수류안정을 도모하기 위하여 응집 단계 사이, 응집지 유출측(침전지 유입측)에 정류벽을 설치한다.

< 도표 2.4 > 플록형성지(응집지) 설치 사례



(우류식 응집지)



(기계식 응집기 (하이드로 포일))



(기계식 응집기 (수평패들형))

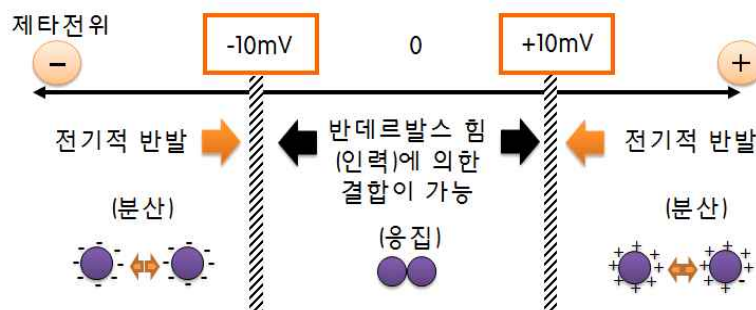
## 04 응집 공정 운영관리

응집공정에서는 계속하여 약품과 에너지를 사용하고 있으므로 전체 정수장 운전비의 상당 부분을 차지한다. 따라서 적절한 응집제를 선택하여 최적으로 주입하고 적절한 속도로 교반하는 것은 정수장의 경제적이고 효율적인 운전에 절대적으로 필요하다.

응집제의 주성분은 철 또는 알루미늄으로, 우리나라 정수장에서는 알루미늄 계열의 응집제를 주로 사용하며 현재 PAC(polyaluminium chloride)가 많이 사용되고 있다. 응집제를 과다 주입하면 콜로이드 입자 표면의 전하가 양전하로 다시 역전되어 입자간 반발력이 다시 발생하여 응집효율이 감소된다. 결국, 입자화되지 않은 응집제 성분은 최종 처리수에 잔류하여 정수의 잔류 알루미늄 농도가 높아질 수 있다. 만약 과다 주입에도 불구하고 어느 정도의 응집이 이루어지더라도 슬러지가 많이 발생하여 슬러지 처리와 처분에 많은 비용이 소요될 수 있다.

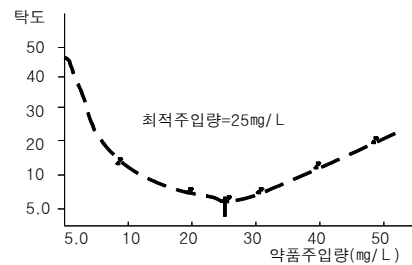
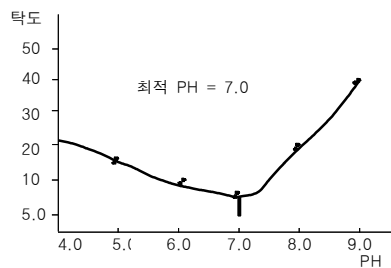
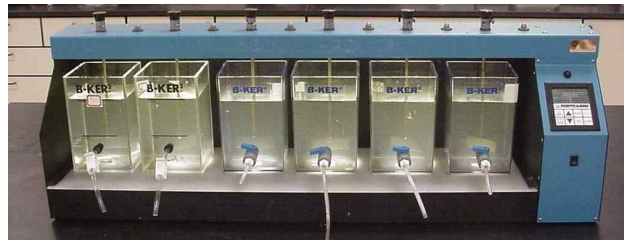
반대로 주입량이 부족하면 플록이 잘 형성되지 않아 입자들이 침전지를 월류하여 여과지에 유입되므로 여과지속시간이 짧아지게 된다. 응집공정의 성공 여부는 후속공정 효율에 영향을 미치게 되므로 원수 수질변화에 따라 적절한 응집제 종류 및 사용량을 결정하고, 혼화, 응집 설비를 최적화된 상태로 운영하는 것이 필요하다.

< 도표 2.5 > 콜로이드 결합의 범위



응집제 종류 및 최적 주입률은 원수의 수온, pH, 알칼리도, 탁도 등 다양한 수질인자에 따라 달라진다. 원수 수질에 따라 약품의 종류와 주입률을 결정하기 위해서 ① 조건표, ② 자테스트, ③ 수학적 모델(연산식), ④ 하전된 계면의 성질에 기초를 둔 방법을 독립적으로 또는 조합하여 활용할 수 있다. 이 중 자테스트는 간단하고 가장 널리 이용되고 있다. 자테스트는 실제의 처리과정 즉 약품주입, 혼화, 플록형성, 침전을 모사(simulation)한 것으로서 약품 주입률 결정과 처리효율을 평가하는데 실용적이다.

< 도표 2.6 > 자테스터 및 결과 해석 사례



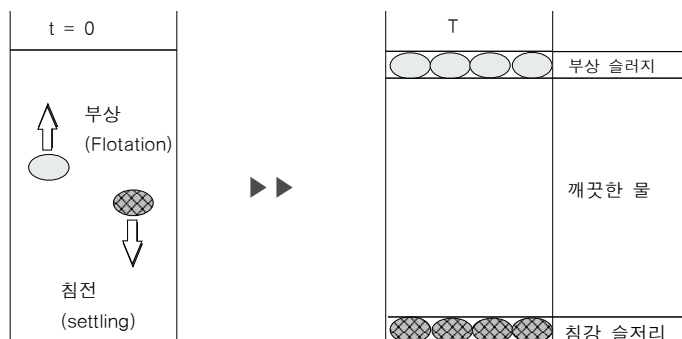
## Chapter 3

# 침전 및 용존공기부상(DAF) 공정

### 01 입자 분리 공정의 선정

중력의 영향 하에서 물보다 밀도가 큰 입자는 침전(settling or sedimentation)하게 되며, 물보다 밀도가 작은 입자는 부상(flotation)하게 된다.

< 도표 3.1 > 침전과 부상



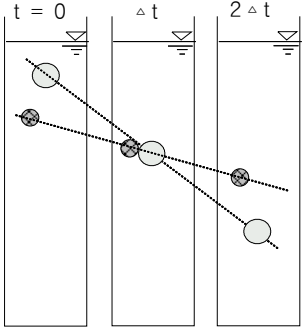
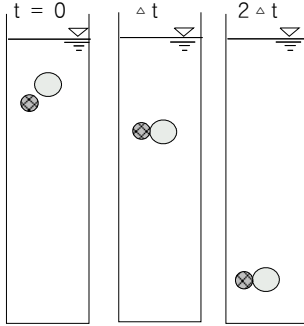
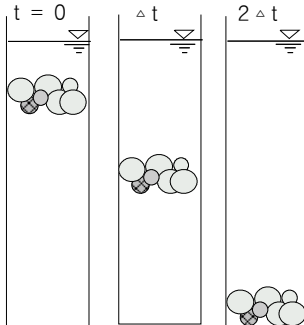
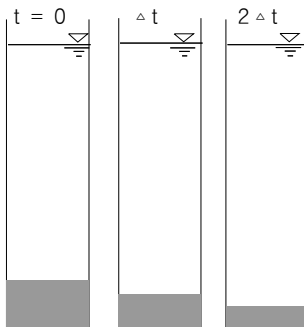
원수 탁도 등 수질에 따라 응집공정을 거쳐 생성된 플록은 중력식 침전(settling), 용존공기 부상(Dissolved Air Floation, DAF) 또는 직접 여과(direct filtration)를 통해 물로부터 분리될 수 있다. 원수 탁도가 높으면 침전방법을 사용하며 연중 100 NTU 이하로 안정적이라면 용존 공기부상법이나 침전법을 선택적으로 사용할 수 있다.

### 02 침전 공정

#### 2.1 침전의 원리

일반적으로 침전지는 보통침전지, 약품침전지 등이 있으며, 슬러지 농축조도 침전지의 한 형태가 된다. 대부분의 침전지에서 입자의 침강은 중력에 의해 일어나며, 입자의 침전 특성에 따라 독립침전, 응집침전, 계면침전, 압밀침전으로 나눌 수 있으며 각각의 특성은 <도표 3.2>와 같다.

< 도표 3.2 > 침전의 4가지 형태

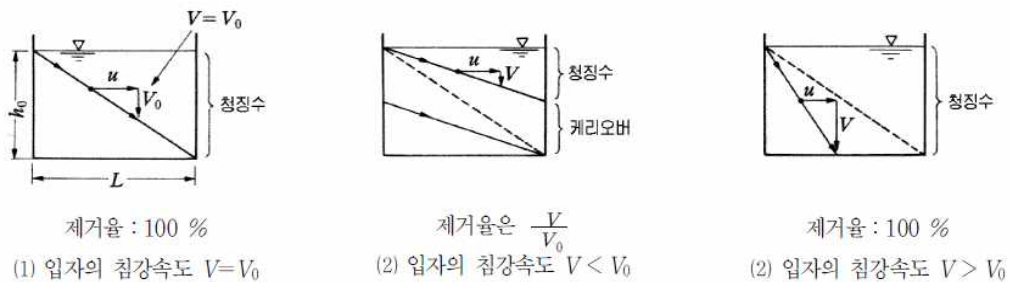
침전형식	특 성	적 용
독립침전 (I형 침전)		<ul style="list-style-type: none"> <li>저농도의 현탁입자가 단독으로 침전하며, 이웃 입자와의 간섭이 없음</li> <li>토사의 침전으로서 침사지, 정수장 보통침전지에서의 침전</li> </ul>
응집침전 (II형 침전)		<ul style="list-style-type: none"> <li>저농도의 응집성 입자가 침전하면서 응집하여 침전속도가 변함</li> <li>정수장 약품침전지에서의 플록의 침전</li> </ul>
계면침전 (III형 침전)		<ul style="list-style-type: none"> <li>뚜렷한 경계면을 형성하여 층을 이루어 침전</li> <li>슬러지 농축조에서의 슬러지 침전</li> </ul>
압밀침전 (IV형 침전)		<ul style="list-style-type: none"> <li>침강된 슬러지의 압축과 간극수의 상승분리</li> <li>슬러지 농축조 하부에서 침전</li> </ul>

표준정수처리에서는 응집을 통해 생성된 플록이 침전지에서 침강하게 되며, 입자는 입자가 크고 밀도가 높을수록 빨리 가라앉는다. 따라서 응집과정에서 가급적 큰 플록을 형성하는 것이 침전효율을 높일 수 있는 방법이다. 응집처리된 플록은 응집의 성질을 가지고 있기 때문에 침강 과정에서

입자간 응집에 의해 플록의 크기는 더욱 커지게 되고, 결국 침강속도가 증가하게 된다. 즉, 표준정수 처리에서의 침전지는 응집침전의 형태를 가지며 이를 엄밀히 표현하면 약품침전지라고 한다.

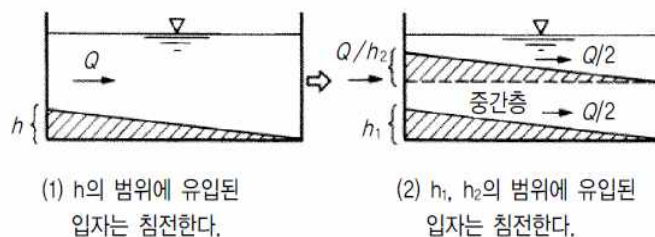
침전기능은 유입된 플록을 가장 효과적으로 침전시켜 제거하는 기능으로 가장 기본적인 지표가 표면부하율(surface loading)이다. 침전지에 유입되는 유량을  $Q$ , 침전지의 수(水)표면적을  $A$ 라 하면 표면부하율  $V_0$ 는  $Q/A$ 로 나타내며 일반적으로 mm/min과 같이 속도의 차원을 갖는다. 표면부하율은 이상적인 침전지에서 유입구의 최상단으로부터 유입되어 유출구 쪽에서 침전지 바닥에 침강되는 플록의 침강속도를 의미한다.

< 도표 3.3 > 횡류식 침전지 (이상적 흐름상태)



따라서 유입되는 플록 중에서 침강속도가 표면부하율보다 큰 플록은 100% 제거된다. 침전 효율을 높이기 위해서는 침전지의 침강면적  $A$ 를 크게 하고 플록의 침강속도  $V$ 를 크게 하며 유량  $Q$ 를 적게 하는 세 가지 방법을 고려할 수 있다. 침전지의 침강면적  $A$ 를 크게 하기 위해서 침전지에 판을 설치할 수 있다. 1장의 판으로 제거율은 2배가 되며 층수를 증가시키면 제거율도 증가하므로 경사판식 침전지를 고안하게 되었고, 침전지에 삽입된 경사판은 원활하게 슬러지를 제거시키기 위하여 경사지게 장착한 것이다.

< 도표 3.4 > 다층 침전지의 침전효과

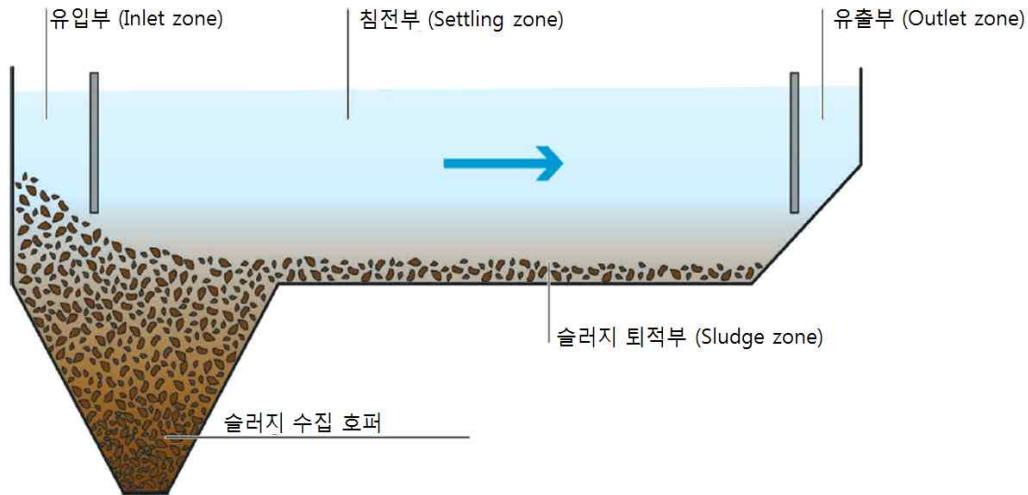


## 2.2 침전지의 구조와 기능

정수장에 주로 이용되는 침전지는 장방형 침전지이며, 모든 침전지는 기능에 따라 유입부(inlet zone or stilling chamber), 침전부(sedimentation zone or settling zone), 유출부(outlet zone), 슬러지 퇴적부(sludge zone) 등의 4개의 구역으로 구성되어 있다. 각 구역은 뚜렷하게

구분되는 것은 아니며 교란 없이 부드럽게 연결되어 있다.

< 도표 3.5 > 장방형 침전지 구조



### 1) 유입부 (inlet zone)

유속이 빠르면 교란에 의해 플록이 깨질 수 있으며, 단락류(short-circuiting)<sup>2)</sup> 등의 발생으로 체류시간이 단축될 경우 플록 입자가 침강하는데 필요한 시간이 줄어들어 침전효율이 저하될 수 있다. 따라서 침전지로 유입되는 물은 전체적으로 일정한 유속분포를 유지시켜야 한다. 유입부는 침전지에 유입되는 물을 균등하게 분배하여 유속을 조절하며 구조적으로 난류를 방지하는 기능을 겸한다.

< 도표 3.6 > 침전지 유입부



### 2) 침전부 (settling or sedimentation zone)

유입부를 지나 가장 큰 부피를 차지하는 침전부에 도달하면 유속은 매우 감소되며 플록이 침전된다. 최적 운영을 위해서는 침전부에서 매우 느리며, 모든 지점에서 동일한 유속을 유지하는 것이 필요하다. 대부분의 경우 침전부는 개방된 넓은 수면부이며 경사판이 설치된 경우

2) 단락류 : 정상적인 유로를 벗어나 짧은 시간 내에 침전지를 통과하는 현상

도 있다.

< 도표 3.7 > 침전지 침전부 >



### 3) 유출부 (outlet zone)

유출부는 침전지에서 유출되는 물의 흐름을 조정하는 기능, 즉 침전지에 남아있는 물량과 유출되는 물량을 조정하며, 침전지 수위를 조정하는데도 사용될 수 있다. 유입부와 마찬가지로 유출부는 단락류를 방지할 수 있으며, 깨끗하게 처리된 물만을 여과지로 이송할 수 있는 구조로 설계되어야 한다. 최소한의 플록이 포함된 가장 최적의 수질을 나타내는 곳인 침전지 표면에 유출부가 설치된다.

< 도표 3.8 > 침전지 유출부



### 4) 슬러지 퇴적부 (sludge zone)

슬러지 퇴적부는 슬러지가 가라앉은 침전지 바닥이다. 슬러지 퇴적부에서의 유속은 슬러지가 재부상하지 않을 정도로 매우 느려야 한다. 침전지 바닥은 슬러지가 배출되는 쪽으로 경사지게 하는 등 슬러지를 용이하게 배출할 수 있는 구조로 설치되어야 한다.

대부분의 침전지는 슬러지를 연속적으로 자동 배출할 수 있는 슬러지수집기 등의 설비가 설치되어 있으나, 수동배출만 가능한 시설도 있다. 수동으로 슬러지를 배출할 경우에는 슬러지 발생량에 따라 침전지를 청소해야 하며, 용수공급량이 적을 때 하는 것이 좋다. 침전지 청소 등 시설운영 및 유지관리를 고려하여 침전지는 2개지 이상으로 설치된다.

< 도표 3.9 > 침전지 슬러지 퇴적부

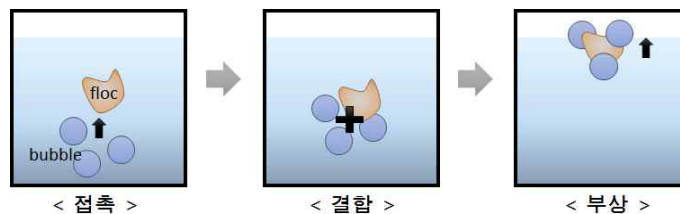


침전슬러지는 적절한 배출설비를 통하여 침전지에서 제거되어 배출수 처리계통에서 처리된다. 침전지 바닥으로 침강된 슬러지 제거를 위해 침전지 하부에는 기계식 제거방식(수중대차식, 체인플라이트식, 주행브리지식)이나 공기압 이용방식의 슬러지 수집기를 설치한다. 슬러지 배출이 원활하지 않으면 침전지 기능을 정지시켜야 하므로, 슬러지 배출기능은 매우 중요하다. 축적된 슬러지를 침전지로부터 충분히 제거하지 않으면, 슬러지 퇴적층이 증가하여 상징수와 함께 유출될 수 있으며, 침전지의 유효체적(침전이 일어나는데 필요한 체적)이 감소되어 침전 효율도 저하될 수 있다. 또한 슬러지층에서는 산소가 소모되어 혐기성 상태가 되고 이러한 슬러지는 악취를 유발하거나 스크م 형태로 침전지 표면에 부상되어 상징수와 함께 유출되며 여과지 조기 폐색과 여과수질을 악화시킬 수 있다. 반면, 슬러지를 너무 자주 인발할 경우에는 과다한 슬러지 인발로 처리수량은 감소하고 슬러지 폐수량은 증가될 수 있다. 슬러지는 희석되어 묽어지고 이러한 슬러지를 처리하기 위해 더 오랜 시간과 비용이 소모될 수 있다. 따라서 슬러지 배출설비는 슬러지 배출이 원활하며 고장이 없고, 알맞은 배출능력과 고농도로 소량의 슬러지를 배출할 수 있도록 설계하여야 한다.

### 03 용존공기부상 공정

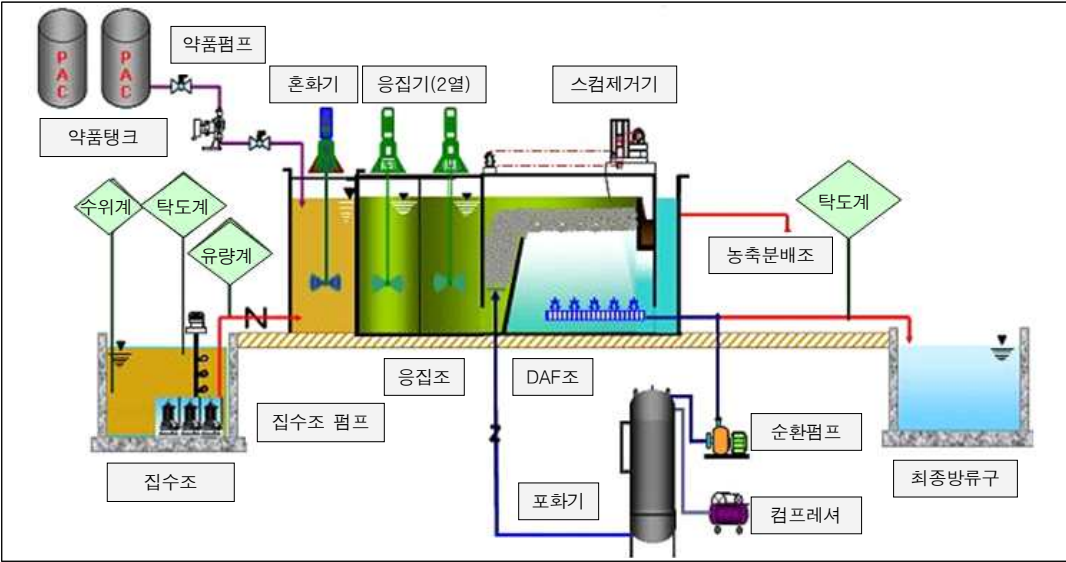
폐수 또는 원수 중의 물보다 가벼운 현탁성 부유물을 제거하는 방법으로 물속에 다량의 공기거품을 발생시켜 이들이 부상할 때 거품표면에 제거대상 부유물을 흡착시켜 떠오르게 한 후 스키머로 제거하는 방법이다.

< 도표 3.10 > 용존공기부상 원리



플록형성에 소요되는 시간은 재래식 침전공정보다 짧으며 플록형성지에서 수리적 표면부하율은 재래식 침전지의 10배 이상이다. 또한 발생슬러지의 고형물 농도는 침전에서 발생된 슬러지의 농도(0.5%)보다 훨씬 높다(2~3%). 이처럼 침강법에 비하여 부유물질에 대한 제거효율이 높아 COD, BOD, 호소 내 조류 등의 제거에도 효율적이며 설비가 간단하고 부지 소요면적이 적고 완전 자동운전이 가능한 시스템이다.

< 도표 3.11 > 용존공기부상 공정도



## Chapter 4

# 여과 공정

### 01 여과 공정 개요

여과공정은 정수처리공정에서 가장 핵심적인 단계로 전처리 공정에서 제거되지 않은 입자성 물질, 유해물질 등을 제거하는 최종 공정이다. 입자성 물질은 병원균들의 영양분과 피난처를 제공할 수 있으며, 적절히 제거되지 않으면 관망에서 병원균들의 재성장과 수인성 전염병을 야기할 수 있다. 즉 입자성 물질은 미생물과 소독제의 접촉 가능성을 감소시키며 결과적으로 소독제를 주입하여도 탁도가 높으면 미생물의 생존 가능성이 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 여과지는 입자성 물질 제거를 통해 미생물에 대한 안전성을 확보할 수 있는 중요 공정으로 관리된다.

#### 【 여과공정의 의의 】

- ① 정수처리공정에서 탁도를 제거하는 최종 공정
- ② 일정한 입경과 깊이를 갖는 입상 여재 사용 (모래, 안트라사이트 등)
- ③ 여과기능과 재생기능을 만족시키는 설계필요
- ④ 여과지 기능에 대한 인식변화
  - 단순한 탁질제거 기능 → 병원성 미생물의 제거율 척도
  - 병원성 미생물 오염우려 → 여과지 유출 탁도 기준 준수

일반적으로 여과법은 대량의 공공용 상수를 얻는데 매우 값이 저렴하고 조작도 비교적 간단하기 때문에 상수도의 정수처리법으로 가장 널리 이용되고 있다. 여과방식은 여과속도에 따라 크게 완속여과와 급속여과로 분류된다. 완속여과는 통상 원수의 수질이 양호한 경우에 적용하며 유지관리가 용이하나 여과속도가 느리다. 따라서 소요부지 면적이 크고 원수의 수질이 불량한 경우에는 적용하기 곤란한 단점이 있다. 표준정수처리에서는 급속여과방식을 적용한다.

< 도표 4.1 > 완속여과와 급속여과

구 분	완속여과	급속여과
원 리	<ul style="list-style-type: none"> <li>원수 중에 소량의 현탁물질, 유기물질 제거를 위해 모래층을 느린 속도로 통과시켜 여과하는 방법</li> <li>경우에 따라 별도의 전처리(침전, 약품처리) 설비 필요</li> <li>여과속도 : 4 ~ 5 m/일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>혼화지, 응집지, 침전지, 여과지 등이 별도의 독립된 구조로 형성</li> <li>각각의 공정 성능에 따라 원수 중의 탁질 및 세균을 제거하는 방식</li> <li>여과속도 : 120~150 m/일</li> </ul>
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>유지관리가 간단</li> <li>고도의 기술을 요구하지 않으면서 안정된 수질의 처리수 생산가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 단위공정이 독립되어 있어 비상시 대처능력 있음. 고탁도 시에도 안정적인 처리효율을 유지 가능</li> <li>중·대규모 정수장 적용 실적 많음</li> <li>각 공정의 수처리 상황을 육안 식별 용이</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>여과속도가 느려 넓은 면적 소요</li> <li>오사 삭취 작업 등의 인력 소요</li> <li>원수수질이 비교적 양호한 수질(BOD 2 mg/L, 탁도 10 NTU) 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>비교적 넓은 부지면적 필요</li> <li>공사 소요기간이 다소 소요</li> </ul>

## 02 탁도와 미생물

국내 먹는물 수질기준은 1.0 NTU 이하이나 수돗물에 한하여 0.5 NTU 이하를 적용하고 있다. 이 기준은 정수장에서 최종적으로 소비자에게 공급되는 모든 수돗물에 대하여 적용된다.

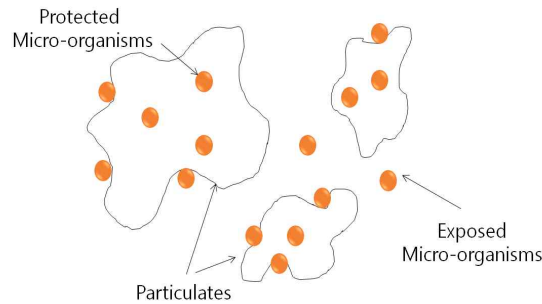
< 도표 4.2 > 국가/기관별 먹는물의 탁도 기준

구분	한국	EU	WHO	일본
탁도기준	0.5 NTU	1 NTU	0.5 NTU	2도 (≒1NTU)

탁도는 수돗물 공급과정에서 상수관내 퇴적물, 미생물막(biofilms)의 탈착 또는 외부에서 유입된 불명수(不明數)에 의해서 증가될 수 있다. 탁도 자체가 인체에 직접적으로 해를 준다고는 볼 수 없으나, 탁도가 높은 물은 수돗물 사용자에게 불쾌감과 심미적인 불안감을 초래할 수 있다. 탁도는 정수처리 과정에서 제거해야 할 주요 대상 물질이며 정수처리 효율을 판단하는 지표 항목으로 사용된다.

탁도를 유발하는 물질은 미생물 그 자체일 수도 있으며, 수중에서 각종 미생물의 서식처를 제공하여 소독제의 살균능력을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 정수처리 과정에서 탁도를 제거한다는 것은 각종 수인성 전염병을 야기하는 미생물로부터 안전성을 확보한다는 의미이기도 하다.

< 도표 4.3 > 현탁물질의 미생물 서식처 제공



특히 염소에 내성이 강한 것으로 알려진 원생동물의 포낭은 두꺼운 벽에 둘러싸여 있어 소독에 매우 강한 저항성이 있다. 수인성 전염병을 일으키는 대표적인 원생동물은 지아디아(*giardia lamblia*)와 크립토스포리디움(*cryptosporidium parvum*)이다. 크립토스포리디움에 감염되면 설사가 일어나 하루 평균 3L의 수분 손실이 일어나고 복통, 메스꺼움, 구토, 발열 등의 증상도 나타난다. 지아디아에 감염되면 설사, 복부 팽만, 장내 가스 팽만으로 인한 불편감 등의 증상이 나타난다. 사람에 따라 아무런 증상이 없거나 단기간 증상이 나타나지만 쇠약한 사람들은 장기간에 걸쳐 증상이 나타나기도 한다.

크립토스포리디움은 지금까지 알려진 병원성 미생물 중 소독에 대한 저항성이 가장 강하며, 99%를 불활성화하기 위해서는 80 mg/L의 염소로 90분간 접촉해야 한다. 대장균의 염소에 대한 소독 저항성과 비교하면 바이러스는 40배, 지아디아는 2,300배, 크립토스포리디움은 170,000배로 저항성이 매우 강하다. 표준정수처리에서 소독 이전 단계인 응집·침전·여과를 통해 크립토스포리디움을 충분히 제거하지 않으면 수도꼭지에서 검출될 가능성이 있다. 소독 공정만을 고려한다면 고농도의 오존이나 이산화염소를 사용해야 제거할 수 있다. 즉, 원생동물의 크기가 10 $\mu$ m 내외이므로 정상적인 정수처리과정에서 탁도 물질이 제거된다면 원생동물도 제거될 수 있다는 개념이다. 원생동물의 농도는 탁도와 함께 올라가는 경우가 많으며 탁도의 증가는 원생동물 제거율 저하를 의미하므로 원수 탁도를 상시 측정하여 정수처리에 의해 적정수준으로 제거할 수 있는지를 파악할 수 있다. 따라서 탁도는 정수처리수준을 평가하는 지표로서 원생동물의 잔존 여부를 가늠하는 기준으로 사용될 수 있다.

우리나라는 수도법에 정수처리기준을 규정하여 여과지와 정수지 사이의 탁도를 실시간 모니터링하도록 함으로써 미생물 관리기준을 강화하였다. 정수처리기준은 수도를 통해 음용 목적으로 공급되는 물이 병원성 미생물로부터 안전성을 확보하도록 하는 것을 목적으로 하며, 광역상수도과 지방상수도에 대해 적용된다. 취수지점부터 정수지 유출지점까지 바이러스 99.99%, 지아디아 포낭 99.9%, 크립토스포리디움 난포낭 99%를 제거 또는 불활성화해야 하며, 불활성화는 여과 공정에서 탁도 제거와 소독 공정에 의한 소독 효과로 판단한다.

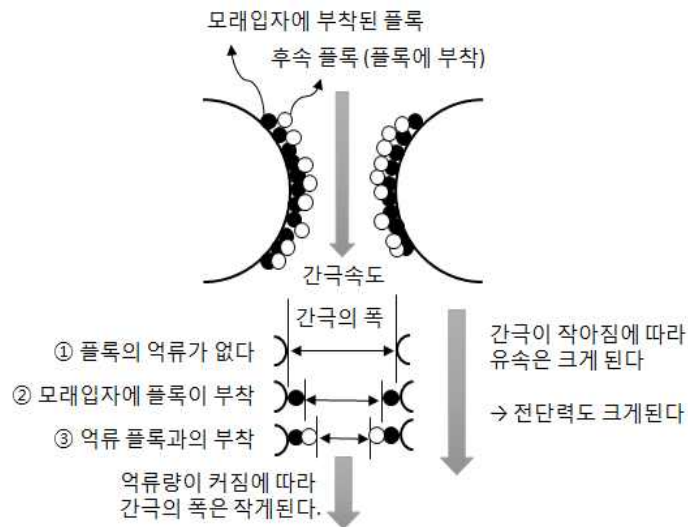
## 03 급속여과 공정

### 3.1 급속여과 원리

급속여과는 응집된 미세 플록을 함유한 원수를 120~150 m/일의 여과속도로 여층에 침투유하시켜 체거름, 충돌, 차단, 침전, 응집, 흡착작용에 의해 표면과 내부에서 미세한 탁질을 제거하는 방법이다. 여과층에서 현탁입자의 제거작업은 크게 2단계로 구분된다. 1단계는 현탁입자가 유선(流線)에서 이탈되어 여재표면 근처까지 이송되는 단계로 체거름 작용과 저지작용, 중력 침강작용이다. 2단계는 이송된 입자가 여재표면에 부착되고 포착되는 단계로 이것은 현탁입자와 역류표면의 관계에 의존한다고 본다. 여기서, 역류표면은 여과초기에는 여재표면이 되고 그 후에는 포획된 현탁입자로 생성된 표면이 된다. 여재표면에서의 부착에 의한 역류가 여과작용의 주요인이 되기 때문에 가능한 한 많은 여재표면이 부착에 사용될 수 있도록 하여 여과작용을 유효하게 할 수 있다. 결론적으로 여재표면에서의 부착에 의한 역류가 여과작용의 주요인이 되기 때문에 반드시 전처리로 응집 처리가 필요함을 알 수 있다.

여재 표면에서 탁질의 부착이 진행됨에 따라 여재 사이의 간극은 점점 감소되며, 이에 따라 유속과 전단력도 증가하게 된다. 따라서 여과지를 과도하게 사용하면 전단력이 증가하여 기부착된 탁질이 이탈·누출되어 여과수 탁도가 상승하게 된다.

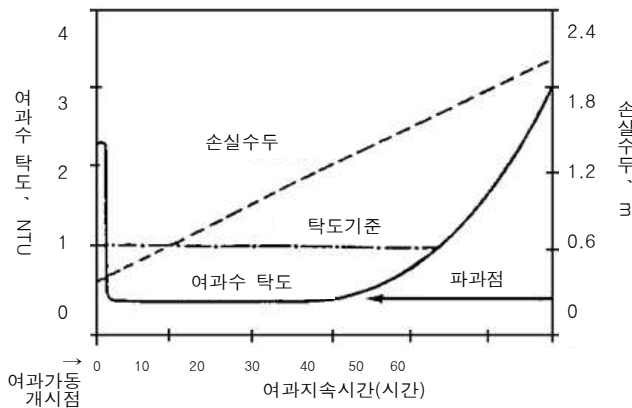
< 도표 4.4 > 여과지내 플록의 역류와 간극유속



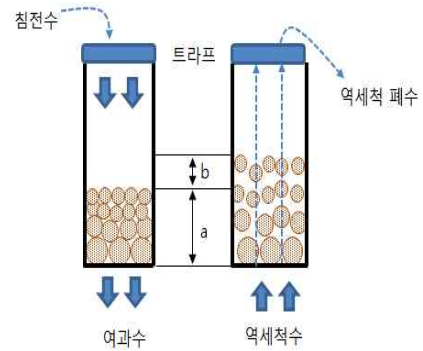
이를 방지하기 위해 일정한 여과 시간이 지나면 역류된 탁질을 제거해 주어야 한다. 역류된 탁질을 제거하는 것을 역세척이라고 하며 역세척의 효율을 판단하는 요소로는 여재의 크기와 형상 및 밀도, 원수의 수질, 응집제의 사용여부 등이 있다. 역세척은 여과 방향과 반대 방향에서 물이나 공기를 흘려주는 방식이며, 이 때 여재층이 팽창하여 서로 떨어지게 된다. 유체 중

의 여재는 부유상태가 되며 여재 표면에 부착된 탁질에 작용하는 수류전단력에 의해 탁질이 제거된다.

< 도표 4.5 > 여과 cycle

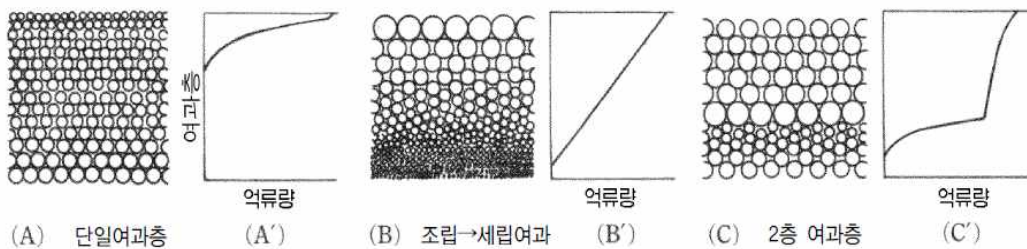


< 도표 4.6 > 여과와 역세척 개요



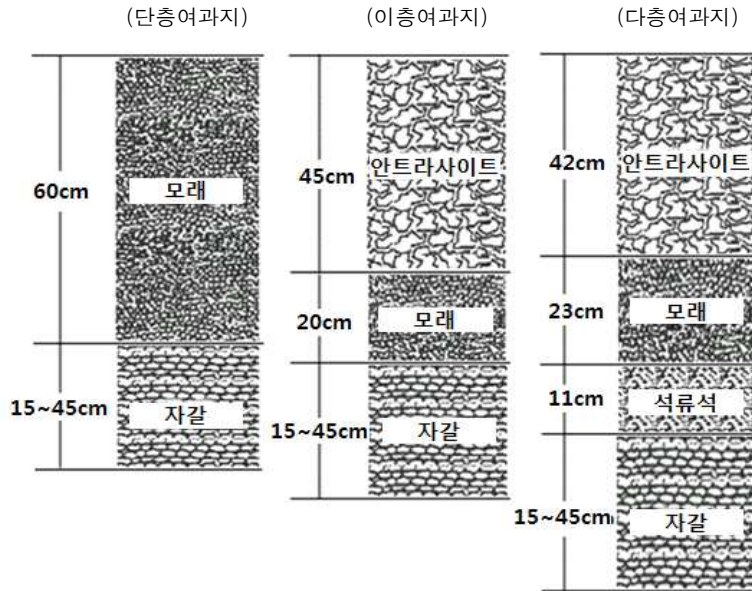
일반적으로 여재는 굵은 것과 미세한 것들이 혼합된 입경분포를 가지기 때문에 역세척을 하면 미세한 여재가 위에 모이고 굵은 여재는 아래에 모여서 나누어지는 경향이 있다. 이 여과층에 하향으로 원수가 흐르면 수중의 플록 대부분이 표층 근처에서 제거되고 역류량은 <도표 4.7>의 (A')와 같은 분포를 갖는다. 따라서 표층의 손실수두가 높아지고 여과층 내부의 역류 용량을 충분히 이용하지 못한 채 여과를 중단하고 세척해야 한다.

< 도표 4.7 > 여과층의 입도 분포와 탁질 역류량



모래만을 여재로 사용하는 단층여과지에서 이와 같은 단점이 발생하기 때문에 여재 입경분포 폭을 작게 하고 입도를 크게 하여 표층에서 역류량의 집중을 완화시키며 여과층을 두껍게 함으로써 탁질 누출을 지연시킬 수 있도록 하는 다층여과지가 사용되기도 한다. 다층여과지는 입경과 공극률을 물흐름 방향에 따라 점점 작아지도록 여재를 구성한 것으로 역세척을 하더라도 이와 같은 여과층 구조를 유지하기 위해서는 상층보다 하층을 구성하는 여재의 침강속도를 크게 해야 하며, 이를 위해서 하층에 밀도가 큰 여재를 사용해야 한다. 다층여과지에 많이 이용되는 것은 모래층 위에 안트라사이트를 넣은 이중여과(이중여재)로 모래에 비하여 입경이 크고 밀도가 작은 안트라사이트 층에서 탁질의 대부분을 역류하고 나머지를 모래층에서 감당하는 역제기능을 각각 분리하여 실행하는 방법이다.

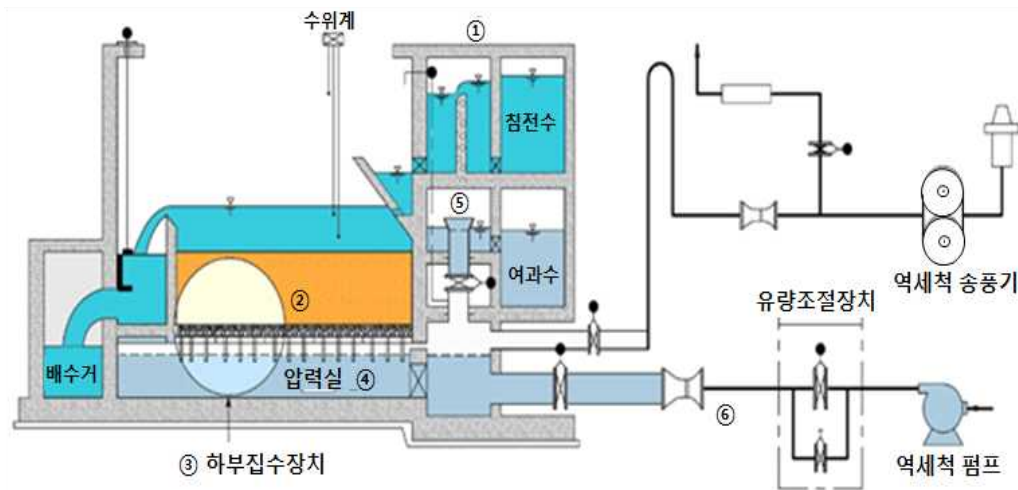
< 도표 4.8 > 단층여과지(단일여재)와 다층여과지(이중여재 등)



### 3.2 급속여과지 구조 및 기능

급속여과지는 원수 유입시설, 여층, 하부집수장치, 여과수 유출시설, 역세척 설비 등으로 구성되며 정화 기능 등 4가지 기능을 필요로 한다.

< 도표 4.9 > 급속여과지 구조



- ① 원수 유입시설 : 유입 수량제어 및 균등분배(수로, 위어, 밸브, 수문 등)
- ② 여층 : 탁질억류 기능, 균일한 수류의 분포(자갈, 모래, 안트라사이트 등)
- ③ 하부집수장치 : 여재의 지지, 여과수 집수, 역세척수 및 공기의 균등분배(휠러볼, 스트레이너, 유공블럭 등)
- ④ 압력실 : 역세척수 및 공기의 균등분배
- ⑤ 여과수 유출시설 : 여과수 유출, 유출수량제어(수로, 밸브, 유량조절 장치 등)
- ⑥ 역세척설비 : 세척공기 및 물 공급(표세기, 펌프, 역세척수조, 브로와, 트러프, 배수거 등)
- ⑦ 여과조작 설비 : 수위계, 손실수두계, 연속탁도계, 유량계, 수질자동측정기 등

급속여과지를 설계할 때에는 여과면적, 여재의 유효경, 균등계수, L/D비, 여재구성, 유량조절 방식 선정, 시동방수, 사면상 수심, 역세척 설비 및 하부집수장치, 지별탁도계 설치 등을 고려해야 한다.

### 3.3 급속여과 공정 운영

#### 1) 유량 제어

여과지는 유입·유출유량의 평형을 유지하고 적당한 여재수심을 확보하며 여과속도의 급격한 변화를 피하기 위하여 반드시 여과유량을 조절하는 설비를 갖추어야 한다. 특히 여과를 개시할 때에 급격한 여과속도의 상승은 탁질 누출의 문제로 이어지므로 여과유량을 조절할 때에 이러한 현상이 생기지 않도록 배려해야 한다. 유량조절 설비는 계량장치와 유량 조절장치로 이루어지고 있으며 일반적으로 전자에는 전자유량계나 차압식 유량계, 후자에는 버터플라이 밸브가 사용되고 있다. 그러나 자연평형형 여과지와 같이 특히 이러한 장치를 가지지 않고서 제어할 수 있는 방식도 있다.

여과유량 조절방식에 따라 정속여과, 정압여과 방식으로 분류되고 있다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 방식인 정속여과는 여과층의 폐색이 진행됨에 따라 상류층 수위를 높이거나 또는 하류층 유량제어계의 저항을 낮추어서(밸브를 열어) 여과층에 걸리는 압력차를 증가시키게 되면, 여과수량의 감소를 보충할 수 있어서 일정한 여과유량을 유지하는 방식으로 유량제어형, 수위제어형 및 자연평형형의 제어방식을 적용할 수 있다

정압여과는 여층에 걸리는 압력차가 일정하면 여층의 폐색에 따라 여과유량이 서서히 감소하는 방식이며, 감쇄여과는 정압여과의 변법으로 초기의 상한 여과속도만 제어, 그 후 여층이 폐색됨에도 다른 제어를 하지 않는 방법이다.

< 도표 4.10 > 여과방식 분류 및 여과방식별 여과시간-생산수량 관계



## 2) 공정 모니터링

여과공정은 탁질 제거의 최종 공정이므로 성능 상태를 상시 모니터링해야 한다. 정수처리기준에서 여과지 탁도 측정을 의무화하고 있으므로 탁도 연속측정장치를 통해 탁질 누출에 대한 병원성 미생물에 대한 위협 감소는 물론 정확한 진단과 평가가 가능하다. 필요에 따라 공정 운영방법을 변경하거나 여재 교체(보충), 설비 유지보수 등을 실시해야 한다. 또한 역세척 상태, 역세척 전,후 여과지 상태 등을 육안으로 관찰하여 여과지 운영의 문제점 발생 여부를 판단해야 한다.

## 3) 역세척 관리

급속여과의 여층 세정은 역세척 방법을 일반적으로 사용한다. 급속여과지는 폐색이 빨리 일어나므로 기계적으로 역세척을 하여 단시간 내에 여과기능을 회복한다. 역세척 방법에는 공기로 모래층을 교란시킨 후 역세척하는 방법 또는 공기와 물을 동시에 분출시켜 역세척하는 방법과 물만으로 역세척하는 방법이 있다.

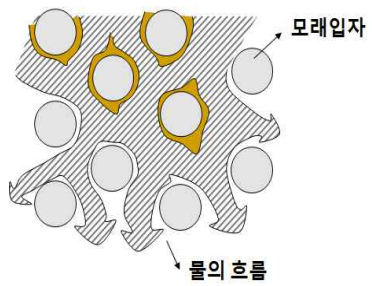
역세척의 좋고 나쁨은 여과효과에 큰 영향을 미치므로 세척은 균등하고 유효하게 행하여야 한다. 역세척수가 불균등하게 분포하면 역세척이 되는 부분은 설계 역세척속도 보다 높은 속도로 역세척이 되고 다른 부분은 역세척이 거의 되지 않는 현상을 일으킨다. 역세척이 불충분한 부분에는 여과 시에 축적된 플록이 누적되어 머드볼(mud ball)의 현상을 촉진시키는 계기가 된다.

### 【 역세척 방식의 종류 】

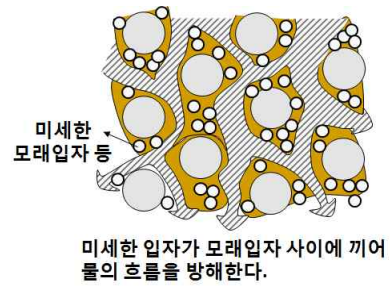
- ① 물 단독세척방식 : 물로만 세척하며, 현재 거의 사용하지 않는 방식
- ② 표면세척+물세척 조합방식 : 여층표면의 탁질을 수류에 의한 전단력으로 파괴하고, 물로 역세척하는 방식
- ③ 공기세척 + 물세척 조합방식 : 송풍기에서 생성된 공기를 여재에 불어넣어 상승 기포의 미세진동으로 여재에 부착된 탁질을 떨어뜨린 후 물로 역세척하는 방식

여과 초기 여재 표면에는 역세척 과정에서 이탈되지 않은 입자가 일부 존재한다. 이러한 입자는 새로 유입되는 입자를 부착·제거하여 여과성능을 점진적으로 향상시키는 기능을 하는데, 이러한 기능을 여과지 숙성이라고 한다. 따라서 과도한 역세척은 오히려 여과수 수질을 악화시킬 수 있다. 반대로 역세척이 불충분하면 여과지속시간을 짧아지게 할 뿐 아니라 여층 내의 수류전단력을 증가시키고 여재 표면에 부착된 탁질의 이탈로 여과 초기에 탁도를 증가시킬 수 있다.

< 도표 4.11 > 역세척 정도에 따른 여층 내 물의 흐름



(잘 세정된 모래를 이용한 여층)



(불충분하게 세정된 모래를 이용한 여층)

## Chapter 5

# 소독 공정

### 01 소독 공정 개요

여과 공정에서는 마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 정도의 크기를 가진 세균이 다수 제거되고, 바이러스와 같은 나노미터( $\text{nm}$ ) 정도의 세균도 많이 제거된다. 그러나 약간의 병원성 미생물은 제거되지 않고 남아있으며 정수된 물이 배수과정에서 세균 등으로 재오염(부활현상<sup>3)</sup>)될 우려가 있다. 따라서 병원균이나 병원성 바이러스를 죽여 위생적으로 안전성을 확보해야 하므로 물을 정화하는 과정에서는 최종적으로 소독(disinfection)공정이 반드시 필요하다. 「수도법」에 의한 수질 기준에서는 급수전 음용수에서 유지되어야 할 잔류염소 농도를 규정하고 있다. 소독과 유사한 의미로 사용되는 멸균(sterilization)은 비병원성 세균이나 포자형태까지 포함하는 모든 살아있는 미생물을 파괴하는 조작을 의미하여 소독과는 구별된다.

소독제의 종류에는 염소, 오존, 자외선(UV), 이산화염소 등이 있다. 오존, 자외선의 경우 소독력은 높으나 잔류성이 없어, 수도관을 통해 공급되는 과정에서 병원성미생물 재오염에 대한 대응이 어렵다. 반면 염소는 비교적 소독효과가 우수하고 다량의 물에 대해서도 용이하게 소독이 가능한 동시에 소독 효과가 잔류하는 점 등에서 가장 우수한 소독방법 중의 하나로 알려져 있다. 이에 따라 우리나라는 염소 소독을 의무화하고 있으며, 먹는물 수질기준 등에 잔류염소 농도 기준을 설정하고 있다.

#### 【 잔류염소 농도 기준 】

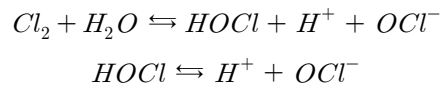
1. [먹는물 수질 기준 및 검사 등에 관한 규칙] 먹는물 수질기준 : 4 mg/L이하
2. [수도법] 급수전수에서 유지하고자 하는 유리잔류염소농도 또는 결합잔류염소농도
  - 이질균, 장티푸스균 등의 병원성 미생물을 소독하기에 충분한 농도이어야 하며, 평상시에는 유리잔류염소로 0.1mg/L(결합잔류염소로 1.5mg/L) 이상,
  - 소화기계 수인성전염병 유행 시 또는 광범위하게 단수한 다음 급수를 재개할 때 등에는 유리잔류염소로 0.4mg/L(결합잔류염소로 1.8mg/L) 이상으로 유지

7) 부활현상(復活現象 ; after growth) : 염소로 소독할 때는 세균이 사멸되었다가 일정 시간이 경과하면 수중에 염소 성분이 없어지고 다시 세균이 증가하는 현상

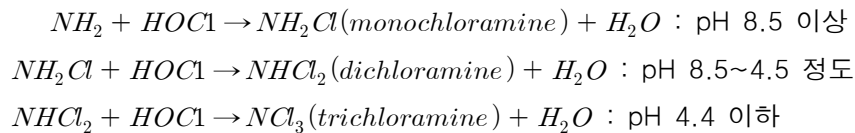
## 02 염소 소독

### 2.1 유리잔류염소와 결합잔류염소

물에 염소를 주입하면 물과 반응하여 차아염소산( $HOCl$ )이 생성되며, pH가 상승하면 차아염소산은 다시 차아염소산 이온( $OCl^-$ )과 수소 이온( $H^+$ )으로 분해된다. 물속에서 살균력이 강한 차아염소산( $HOCl$ )과 차아염소산 이온( $OCl^-$ )을 유리잔류염소라 한다. 물을 염소 소독 하는데 살균 효과를 얻기 위하여 잔류염소가 어느 정도 남도록 염소를 주입해야 한다.



암모니아를 포함하고 있는 물에 염소를 주입하면 염소와 암모니아 질소가 결합하여 클로라민(chloramine)이 생성되는데 이 클로라민을 결합염소 또는 결합잔류염소(結合殘留鹽素)라고 한다. 클로라민의 생성 반응은 물의 pH에 따라 세 가지 형태로 분류된다.



### 2.2 염소약품의 종류

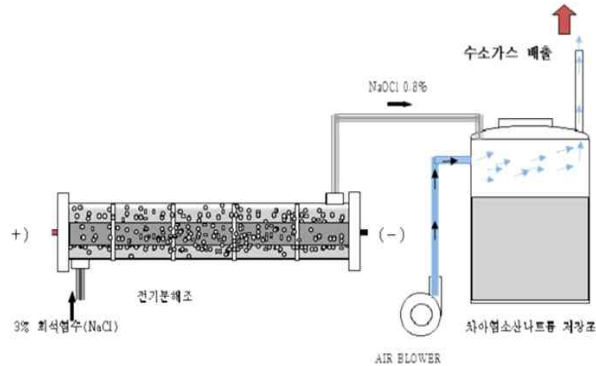
염소는 액화염소를 고압용기에 충전하여 사용하거나 차아염소산나트륨을 구매 또는 현장에서 직접 제조하여 사용한다. 정수장에서 주로 사용되는 액화염소는 고압가스 형태로 압력 용기에 충전되어 반입되므로 별도의 품질관리 필요성은 없으며, 차아염소산나트륨을 사용하는 경우에는 유효 염소 농도와약품 자체에 함유된 소독부산물<sup>4)</sup> 농도를 관리할 필요가 있다. 액화염소는 대규모 정수시설에 주요 사용하고 있으며 차아염소산나트륨은 재염소 또는 소규모 정수장에서 주로 사용되고 있다. 최근에는 액화염소의 안전성 문제로 대규모 시설에도 차아염소산나트륨을 적용하고 있다.

4) 소독부산물 : 소독과정에서 염소 또는 기타 소독제와 유기물이 반응하여 새로운, 어떤 것은 위험한 화합물들을 생성한다. 이러한 화합물들을 소독부산물이라 하며 가장 대표적인 물질은 트리할로메탄(THM)이다.

< 도표 5.1 > 액화염소



< 도표 5.2 > 차아염소산나트륨

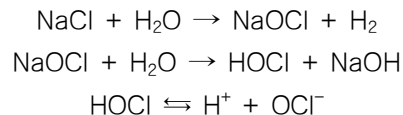


차아염소산나트륨은 염소가스와 동일한 소독효과를 갖는 반면 처리수 주입 후 부산물로 형성되는 수산화이온(OH<sup>-</sup>)의 영향으로 수중의 알칼리도, pH를 적절히 유지하고 설비와 관로 부식을 억제하는 부차적인 효과를 갖는다. 일반적으로 차아염소산나트륨은 수산화나트륨 용액에 염소를 흡수시켜 제조하며 유효염소농도는 보통 5~12% 정도의 담황색 액체이다. 차아염소산나트륨은 용기에 충전한 것을 탱크로리로 운반하여 저장조에 이송한 후 사용하는 방식과 현장에서 소금을 분해하여 저농도의 안전한 차아염소산나트륨 용액을 생성시켜 주입하는 두 가지 방식이 있다.

시판 차아염소산나트륨 용액은 수산화나트륨용액에 염소를 흡수시켜 제조하는데 5~12%의 유효염소를 포함하며 황갈색의 투명한 액체이고 염소와 유사한 특유의 냄새를 갖는다.



현장에서 제조하는 차아염소산나트륨의 발생 원리는 순도 96% 이상의 소금과 물(연수기를 거친 물)로 과포화된 소금물을 전기분해하여 생산한다. 차아염소산나트륨이 물에 용해되면 다음과 같이 HOCl이 생성되어 소독효과를 갖게 된다.



차아염소산나트륨 용액의 사용에 있어서 가장 큰 문제점은 1주일 이내에 유효염소의 상당부분을 상실한다는 점과 제조과정에서 소독부산물이 함께 생성된다는 점이다. 일반적으로 용액의 농도가 높고, 온도가 높을수록 품질 저하율이 증가한다. 12.5% 용액은 하절기에 저장기간이 20일 경과하면 유효염소의 약 25% 상실하게 된다. 보통 10~15%인 경우 최대 저장기간을 60~90일로 유지하는 것이 바람직하다. 차아염소산나트륨은 불안정하여 상온에서도 산소

를 방출하고 분해된다. 특히 일광, 자외선, 중금속, 온도상승 및 pH가 낮아지면 분해가 촉진되므로 주의하여 저장해야한다. 반면에 현장에서 설비를 설치하여 생산하는 차아염소산나트륨은 이러한 문제점을 해소할 수 있다.

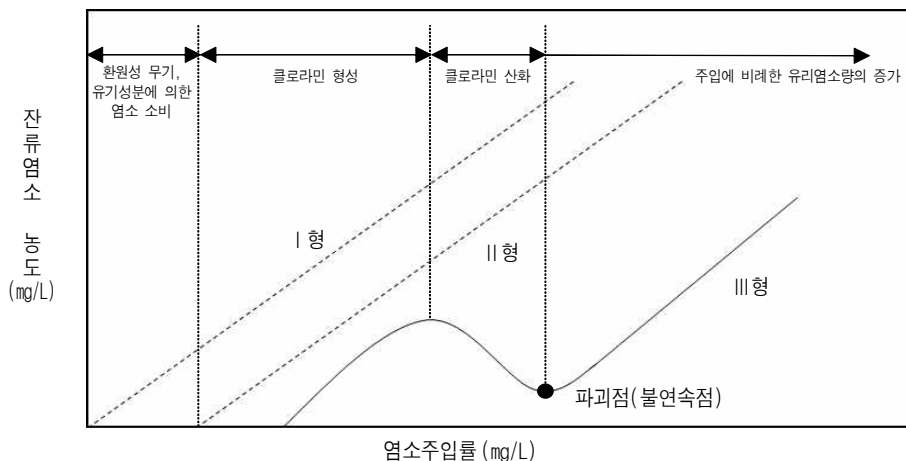
## 2.3 염소요구량

물에 일정량의 염소를 투입하고 일정 접촉시간이 지난 후 남아있는 잔류 염소량을 측정해 보면, 투입한 양 만큼 남아있지 않음을 알 수 있다. 이는 어떤 이유로든 투입된 염소의 일부가 소모되었기 때문인데, 그 염소 소모량을 염소 요구량(chlorine demand)이라 한다. 염소 요구량은 투입된 염소가 자연 분해에 의해서 또는 다양한 물의 성분과의 반응에 의해서 소모된 결과로 나타난다. 염소 요구량의 원인은 빛에 의한 분해, 무기물 및 유기물과의 반응 때문이다. 따라서 염소 주입량을 결정할 때는 염소 요구량을 고려하여야 하며, 평상 시 관말에서 항상 0.1 mg/L 이상의 잔류염소가 남도록 염소를 주입해야 한다.

- 염소 주입농도 = 염소 요구량 + 잔류염소 농도
- 염소 요구량 = 염소 주입 농도 - 잔류염소 농도
- 염소 주입량 = 염소 요구량 농도 × 유량 × 1/순도

염소 주입량이 많으면 특이한 잔류염소로 변화하는데, 염소 주입량과 잔류염소의 관계는 다음과 같이 I 형, II 형, III형으로 나타낼 수 있다.

< 도표 5.3 > 염소 요구량과 결합 잔류염소의 관계



- I 형 : 증류수에 염소를 주입할 때 염소 요구량이 0일 경우이며, 주입량에 비례해서 주입량과 같은 잔류염소가 생긴다.
- II 형 : 물이 어느 정도의 유기물이나 산화되는 무기물을 포함하는 경우, 즉 염소 요구량이 있는 경우로서 일반적으로 수돗물은 이 경우에 속한다.
- III 형 : 전염소 처리시에 나타나는 형으로, 암모니아 화합물을 많이 포함한 물에서 볼 수 있다.

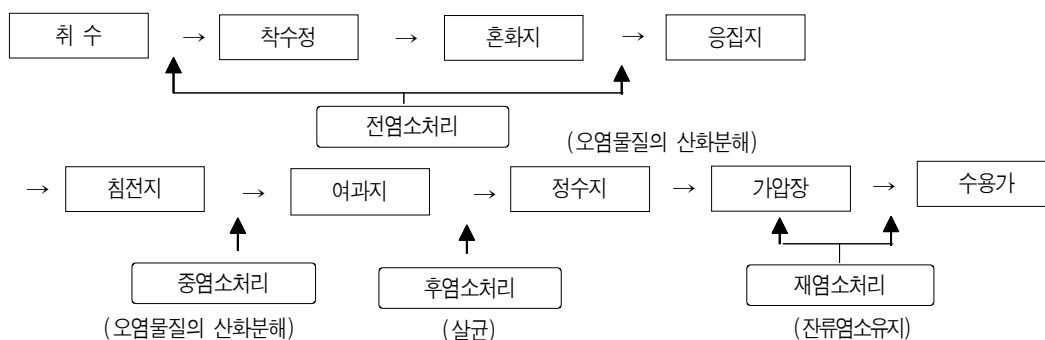
이 잔류염소 곡선에서 유리 잔류염소가 출현하기 시작하는 점을 불연속점(break point ; 파괴점)이라 하는데 염소 주입에 의해서 살균 작용이 비로소 시작되는 점이다. 암모니아성 질소와 맛과 냄새의 원인이 되는 유기물을 염소로 분해하는 데 필요한 양보다 조금 많은 염소를 주입하는 처리법을 파괴점 염소처리법(break point chlorination)이라 한다. 이를 실시하는 이유는 파괴점 이상까지 염소를 주입하여 결합잔류염소를 분해하고 소독력이 강한 유리잔류염소가 나타나도록 하기 위한 것이다.

염소 주입량이 파괴점까지 이르지 못하면 결합잔류염소량이 많아지게 되어 불쾌한 냄새가 발생할 수 있으므로 반드시 염소를 파괴점 이상으로 주입해야 한다. 파괴점에 도달하기 위해 필요한 염소량은 물의 수질특성에 따라 많은 차이가 있으므로 염소주입량은 반드시 염소요구량 시험을 통해 결정해야 한다. 통상적으로 암모니아성질소 농도의 10배 이상의 염소를 주입하면 파괴점 염소처리가 가능하다.

## 2.4 염소 처리의 종류

정수장에서 염소는 사용 목적에 따라 전염소, 중염소, 후염소 등이 있으며, 급수과정에서 잔류염소 부족분을 보충하기 위해 재염소를 주입하기도 한다.

< 도표 5.4 > 염소 처리 방법



### 1) 전염소 처리

전염소 처리는 원수가 심하게 오염되어 세균, 암모니아성질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )와 각종 유기물을 포함하여 침전, 여과의 정수만으로는 제거되지 않는 경우나 철( $\text{Fe}$ ), 망간( $\text{Mn}$ )을 제거할 목적으로 한다. 완속여과 방식에서는 염소가 여과막 생물에 악영향을 미치므로 원칙적으로 사용하지 않는다. 염소 주입지점은 주로 착수정, 혼화지, 유출수 등의 혼화가 잘 되는 곳에 주입한다. 전염소 주입률은 원수 오염 상태에 따른 염소요구량 변화에 따라 공정별 운영 여건 등을 반영하여 적정량을 주입한다.

## 2) 중염소 처리

중염소 처리는 원수 중에 냄새물질 발생으로 분말활성탄을 투입하는 경우 분말활성탄과 염소와의 반응에 의한 약품투입효과 저하를 방지, 여과지에서 망간을 접촉여과법으로 처리할 경우 효율을 높이기 위해 전염소 처리 대신 사용하는 방법으로서, 주로 침전지 유출부나 여과지 유입부에 사용된다.

## 3) 후염소 처리

후염소는 여과 이후 미생물 제거를 위해 실시하는 소독을 의미한다. 여과지 유출 또는 정수지 유입부에서 실시하며 주입 이후 정수지를 체류하는 동안 일정량이 소모되는 것을 고려해야 하며 소독능 확보와 급수과정에서의 잔류염소 농도 유지가 가능한 수준으로 주입하여야 한다.

## 4) 재염소 처리

일반적으로 잔류염소는 투입지점인 배수지나 정수장 부근에서는 높게 나타나며 관말로 이동할수록 낮게 나타난다. 이는 정수장 인근에서는 강한 소독취를 나타내어 수돗물 신뢰성에 영향을 미치게 되고, 관말지역에서는 법정 잔류염소 농도를 유지하기 어려운 문제가 발생한다. 따라서 공급과정에서 지역적으로 잔류염소 농도를 균등하게 유지하기 위해 공급지점 중간에 염소를 재주입하는 것을 재염소하고 한다.

# 03 소독 공정 운영

## 3.1 소독능

소독은 미생물의 활동을 억제(살균, disinfection)하는 역할로 이를 미생물의 불활성화(inactivation)라고 한다. 불활성화비는 병원성 미생물이 소독에 의하여 사멸되는 비율을 나타내는 값으로서 정수시설의 일정지점에서 소독제 농도 및 소독제와 물과의 접촉시간 등을 측정·평가하여 계산된 소독능값(CT)과 대상 미생물을 불활성화하기 위해 이론적으로 요구되는 소독능 값과의 비를 의미하는 것으로 항상 1 이상이 되어야 한다.

소독능(CT값 = mg/L x min) : 소독제 농도와 접촉시간으로 표시

$$\text{불활성화비} = \frac{CT_{\text{계산값}}}{CT_{\text{요구값}}} > 1$$

C : 소독제의 농도 (mg/L), T : 소독제와의 접촉시간 (min), CT 계산값 : 실제 계산된 소독능

CT 요구값 : 소독제별, 제거대상 미생물별 이론적으로 요구되는 CT값 (소독제 종류 / 농도, 수온, pH)

< 도표 5.5 > 불활성화비 계산절차

항 목	단 위	계산식 및 산정방법
정수지 사용용량(V)	m <sup>3</sup>	◦ 길이×폭×수심(일최저수심 적용 : 최악 조건)
장폭비환산계수 ( $\beta=T_{10}/T$ )	-	◦ 경험치 : 추적자(tracer : 불소) 시험 ◦ 이론치 : 장폭비환산계수(0 ~ 1) 적용 (물 흐름 길이 ÷ (물 흐름 폭 : 환산계수표 적용))
체류시간	min	◦ 정수지 사용용량(V) ÷ 시간당 통과유량(Q) × 60
소독능계산값 (CT계산값)	mg·min/L	◦ 체류시간 × 잔류 소독제농도 × 장폭비 환산계수
불활성비	-	◦ 소독능 계산값 (CT 계산값) ÷ 소독능 요구값 (CT 요구값)

\* 소독능 만족여부 평가는 불활성화비를 기준으로 1 이상이면 '소독능 만족 (안전)'으로 1 미만이면 '소독능 미흡(접촉시간 증가 등 시설개선 조치)'로 분류된다.

#### 【 불활성화비를 증가시키는 방법 】

##### ① CT 계산값 증가

- 염소 농도 증가 : C값 증가
  - 냄새발생 문제가 있어 K-water는 관리기준을 1.0mg/L 이하로 설정
  - 전염소, 중염소 처리 : 소독부산물 증가 주의
- 접촉시간 증가 : T값 증가
  - 정수지 또는 배수지 규격(체류시간) 증대
  - 정수지의 수위를 적정하게 유지(높게 유지)
- 도류벽 환산계수 증가 :  $\beta$ 값 증가
  - 도류벽을 설치하여 체류시간 극대화

$$L/W \approx 20 : 1 \text{ 이상 } (\beta = 0.6)$$

- 기타 방법
  - 염소 주입방법 개선 : Diffuser 설치
  - 정수지의 청소 : 물속의 불순물(탁도) 제거
  - 추가 소독능 인증 : 한국상하수도협회장 인증

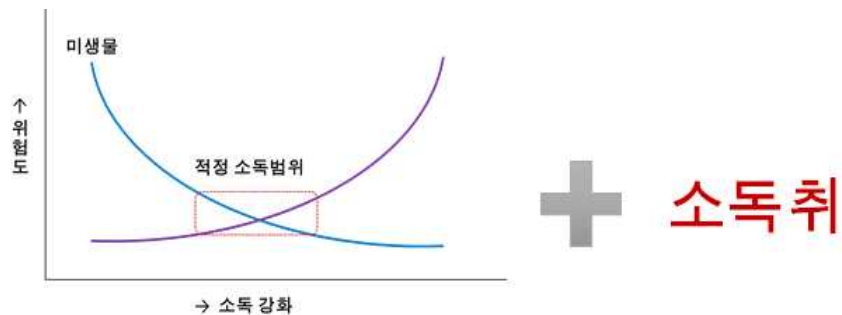
##### ② CT 요구값 감소

- CT 요구값은 임의 변경이 어려움(소독효율 증가에 영향을 주는 인자)
- 수온 증가 : 수온이 높을수록 살균력은 증가
- pH 저하 : HOCl이 OCl<sup>-</sup>에 비해 살균력이 100배 정도 높아 pH가 낮을수록 살균력 증가 \* HOCl은 pH가 증가할수록 OCl<sup>-</sup> 형태로 변화

정수지는 소독제의 적정 접촉시간 확보 목적과 공급물량을 확보하는 기능을 한다. 따라서 여과, 송수간의 불균등을 조절하여 첨두수요 대처용량과 적정 소독 접촉시간(CT)을 확보해야 한다.

정수장에서 화학소독제를 주입하는 목적은 일차적으로 원수에 존재할 지도 모르는 병원성 미생물의 불활성화이다. 이러한 소독 결과, 소독부산물의 생성은 필수 불가결하다. 상수도용으로 널리 사용되는 염소 소독은 트리할로메탄 등 소독부산물을 생성하고 특정물질과 반응하여 냄새를 유발하기도 한다. 따라서 적절하게 소독제를 사용하여 미생물 활성을 제어하고 소독부산물 생성을 최소화시키는 것이 가장 바람직하다. 최근에는 수요자 중심의 수돗물 공급이라는 패러다임의 변화로 소독취에 의한 수돗물 음용 기피현상을 억제하는 것도 소독공정 운영의 중요 요소로 작용하고 있다.

< 도표 5.6 >. 소독의 양면성, 소독공정 운영 개념



수돗물의 소독은 수중의 병원성 미생물에 의한 감염을 방지하고 배·급수 계통의 예상 못한 오염으로부터 예방하는 것을 목적으로 하므로 정수시설 및 공급계통의 잔류염소 변화를 모니터링하여 적정 수준으로 소독을 해야 한다. 수온, pH 등에 따라 적정 소독능을 확보하기 위해 염소주입량이나 정수지 수위 등을 일정 수준으로 유지해야 한다. 또한 공급계통에서 발생할 수 있는 냄새민원, 잔류염소 소모 등도 고려한다. 관말 지역 수용가까지 잔류염소 농도를 기준 이상 유지하도록 하기 위해 정수지에서 유출되는 수돗물의 잔류염소 시간대별 변동을 최소화하여 관리하는 것을 잔류염소 균등화라고 한다. 잔류염소 균등화는 유량변동 최소화, 약품 주입 설비 용량의 적정 수준 운영, 후염소 전에 피산화 물질의 충분한 처리 등을 통해 균등화율을 높일 수 있다.

정수지 내부는 수중에 포함되어 유입된 침전물이 퇴적될 수 있으므로 최소 1회/년 이상 정수지를 비우고 청소 및 소독을 실시한다.

## Chapter 6

# 슬러지 처리 공정

### 01 슬러지 처리 개요

정수 및 폐수처리과정에서 수중의 부유물이 액체로부터 분리되어 별도로 처리, 처분되는데 이를 슬러지라고 한다. 슬러지는 수중의 부유물질이 중력작용으로 침전지의 바닥에 침전한 고형물로서 고형물의 양에 비해서 훨씬 많은 수분을 함유한다. 슬러지는 일반폐수에 비하여 오염성분이 많고 부패성이 매우 크며, 연속적으로 배출되므로 시설 및 운영을 위한 비용이 크며 위생과 환경보존의 측면에서 잠재적 위험성 있다. 슬러지의 부패성으로 인한 병원균에 의한 위생적인 위험성 외에도 악취, 용존산소 고갈, 미관을 해치는 등의 위험성이 있다. 정수장에서 발생하는 슬러지는 폐수처리장에서 생기는 슬러지보다 훨씬 적은 양의 유기물을 함유하므로 유기질의 제거보다는 최종 처분을 위한 부피의 감소가 중요하다.

< 도표 6.1 > 슬러지 처리에 따른 문제

구분	주요내용
수질환경측면	◦ 방류수역의 수질환경 오염 ◦ 배출된 슬러지로 인한 토양 및 지하수 오염
수질관리측면	◦ 침전 슬러지 퇴적시 수류단면 감소 → 침전효율 저하 ◦ 침전 슬러지의 부상 → 여과효율 악화 ◦ 슬러지 부패로 인한 맛·냄새 발생 → 수질악화

정수시설은 「물환경보전법」에 의거하여 폐수배출시설에 해당하며 배출수 처리시설은 정수 과정에서 발생하는 슬러지를 처리하기 위한 시설로 수질오염방지시설에 해당되며 폐수배출허용 기준을 준수하고 「폐기물관리법」에 따라 적법하게 슬러지를 처리할 수 있어야 한다.

배출수 처리는 정수처리공정에서 배출되는 슬러지(침전슬러지와 역세슬러지)를 받아들이는 것으로부터 시작되며, 초기에 배출되는 슬러지의 대부분은 물로(함수율 99.5%이상) 구성되어 있어 전처리 과정 없이는 최종 처분이 어려우므로 슬러지의 부피와 무게를 줄여 안정화, 감량화하여 최종적으로 처리하는 공정이다.

## 02 슬러지 발생 특성

정수처리과정에서 발생하는 슬러지는 오염물질 제거과정인 침전, 여과지 역세척 공정에서 발생하며, 배출수 처리시설로 유입하여 탈수처리 후 처분된다. 슬러지 발생원은 원수 중에 존재하는 탁질과 정수처리를 위하여 사용하는 약품에 기인한다.

### 【 슬러지 발생원인 】

- ① 원수 수질 : 원수중에 포함되어 있는 탁질
- ② 수처리약품 : 투입된 정수처리약품
  - 응집제 : 응집제로 사용된 고체 및 액체형태의 응집약품(PACl, PACS 등)
  - 소석회 : 알칼리제인 소석회의 침전물( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )
  - 분말활성탄(Powdered Activated Carbon), 소모된 입상활성탄(Granular Activated Carbon)

슬러지 발생량은 원수의 수질특성에 따라 변한다. 특히 원수의 탁도가 가장 큰 영향을 미친다. 정수처리를 위해 사용하는 약품에 따라 슬러지 발생량과 그 특성이 달라진다. 슬러지 발생량 산정방법에는 이론적 계산에 의한 방법(슬러지 발생량 = 탁질에 의한 양 + 정수약품에 의한 양)과 슬러지 모니터링 시스템이나 탈수시스템을 갖춘 정수장에서 실측에 의하여 슬러지 발생량을 산정하는 실측법이 있다. 이론적 계산법은 다음과 같다.

$$W_s = Q \times ( b \times (\text{NTU}_1 - \text{NTU}_2) + k_1 \times P + k_2 \times \text{Ca}(\text{OH})_2 ) \times 10^{-6}$$

$W_s$  = 건조슬러지량 (고형물량, ton DS/d),  $Q$  = 정수생산량 ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),  
 $b$  = 부유물질량과 탁도의 환산비 (SS/NTU)  
 $k_1, k_2$  : 약품별 슬러지 발생비율,  $\text{NTU}_1$  : 원수탁도,  $\text{NTU}_2$  : 정수탁도,  
 $P$  : 응집제 주입률 (mg/L),  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  : 소석회 주입률(mg/L)

원수 중에 모래, 점토질, 유기물 등의 제거과정에서 발생하는 정수 슬러지는 침전 슬러지와 역세척 슬러지로 구분한다. 정수슬러지는 주로 수분함량이 높고, SS 농도가 낮으며 휘발성 고형물량(VS, Volatile Solids)이 총 고형물의 10~35%를 차지하여 기계적 탈수 시 저항이 크다.

< 도표 6.2 > 슬러지의 종류별 특성

구 분	내 용
침전슬러지	자연침강이 가능한 고형물 및 유기응집체에 의해 응집·응결로 발생
역세척슬러지	침전지에서 침전되지 못한 미세한 플록이 여과시에 역류되어 있다가 역세척시 발생되며, 강한 역세 수압으로 인해 유출되는 여재 및 기타 부유물질(Silt)도 포함

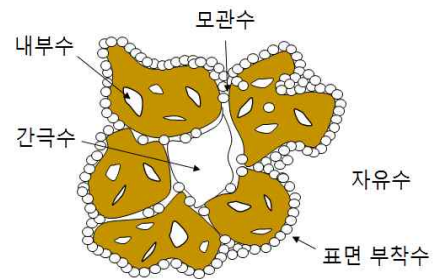
침전슬러지의 경우, 일반적으로 하계에는 하천이 우기, 태풍 등의 영향으로 고탁도를 나타내

기 때문에 슬러지 농도가 높으며, 동계에는 갈수기의 영향으로 하천의 탁도가 낮고 응집제 투입율이 높아지기 때문에 슬러지 농도는 낮아지는 경향이 있다. 응집제 사용에 의해 슬러지에 포함되며, 압축성이 큰 수화된 플록 때문에 탈수성(여과성)이 극히 나쁘다. 여과지 역세척수는 역세척 시 발생하는 세정슬러지로서 여층 내의 현탁물질이 제거, 배출되어 배출수지에 체류되었다가 일정 농도의 슬러지는 농축조로 이송된다.

### 03 슬러지 성상

슬러지는 물과 고형물로 이루어져 있다. 슬러지의 수분은 자유수, 간극수, 모관수, 결합수로 구분된다. 자유수(free water)는 고형물에 포착되지 않아 중력침전으로 제거가능하며, 간극수(floc water)는 플록에 갇혀있어 기계적 탈수로 제거 가능하다. 모관수(capillary water)는 표면장력과 인력에 의하여 고형물에 포착되어 있어 플록의 응력 변형으로 제거할 수 있다. 결합수(bound water)는 화학적으로 플록입자에 구속되어 있어 제거가 불가능하다.

< 도표 6.3 > 슬러지의 수분 분포



< 도표 6.4 > 수분함량에 따른 슬러지 유형과 제거방법

함수율	95%	90%	80%	70%	60%
특징	액체상	액체상 (유동불량)	풀과 유사 (유동없음)	스폰지상 (큰block)	Block상 고체

정수장에서 발생하는 슬러지는 대부분 함수율이 98% 이상이다. 따라서 슬러지의 비중은 1에 가까우며 슬러지의 함수율과 부피간의 관계는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{슬러지 부피환산 계산식} : V_1(100 - P_1) = V_2(100 - P_2)$$

\*  $P_1, P_2$  : 함수율(%),  $V_1, V_2$  :  $P_1, P_2$  함수율에서의 부피( $m^3$ )

#### 【 슬러지 발생량 산정(예시) 】

① 조건 : 고형물 4.843 ton/d 발생시 각 공정별 슬러지 발생량은?

\* 공정별 함수율 : 침전지(99.5%), 조정조(98.5%), 농축조(97%), 탈수케익(65%)

② 산정 (비중은 1을 적용)

- 침 전 지 :  $4.843 \times (100-0) = V_2 \times (100-99.5) \rightarrow V_2 = 968.6 \text{ } m^3/\text{일}$
- 조 정 조 :  $4.843 \times (100-0) = V_2 \times (100-98.5) \rightarrow V_2 = 322.8 \text{ } m^3/\text{일}$
- 농 축 조 :  $4.843 \times (100-0) = V_2 \times (100-97.0) \rightarrow V_2 = 161.4 \text{ } m^3/\text{일}$
- 탈수케익 :  $4.843 \times (100-0) = V_2 \times (100-65) \rightarrow V_2 = 13.8 \text{ ton/일}$

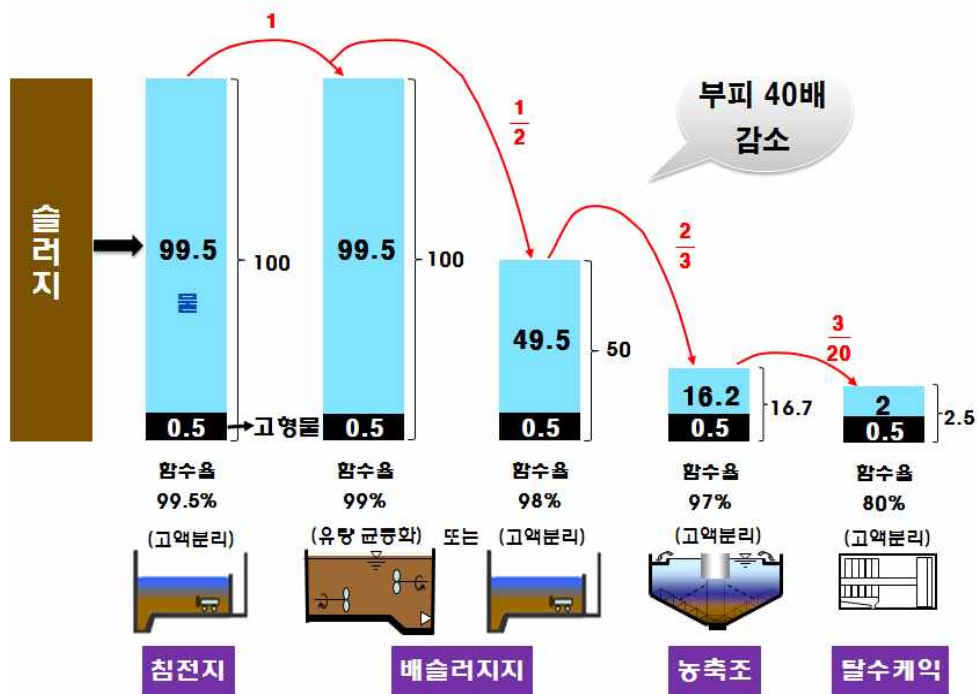
## 04 배출수 처리시설 설계 및 운영

### 4.1 슬러지 성상과 공정구성

정수장 슬러지의 주요 성분은 물이다. 따라서 배출수 처리시설은 기본적으로 입자성 물질인 고형물을 물로부터 제거하는 고액분리 공정으로 농축과 탈수과정을 거쳐 슬러지 부피는 대폭 감소한다. 고형물 발생량은 슬러지의 함수율과 유량을 근거로 역산하여 파악할 수 있으며, 다음 식을 적용한다면 가능하다.

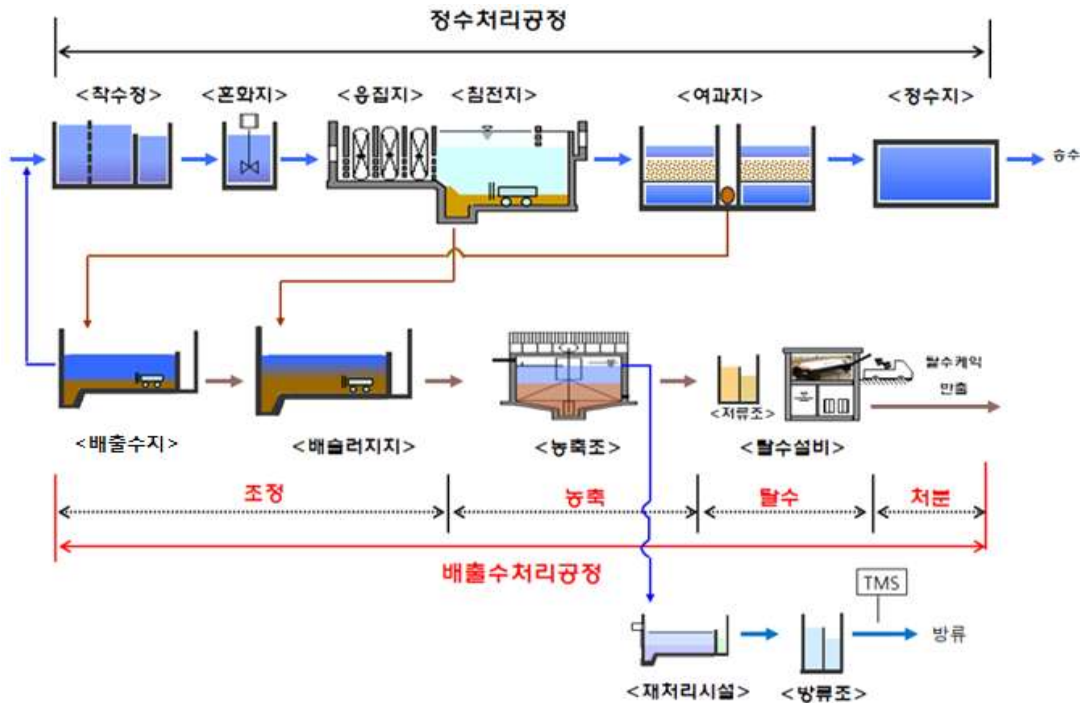
$$\text{고형물 발생량(톤/일)} = \text{슬러지량(㎥/일)} \div \{100/(100-\text{함수율})\}$$

< 도표 6.5 > 배출수 처리 공정별 슬러지 부피 변화



배출수 처리시설을 계획할 때에는 장치의 처리능력과 케이크의 이용 또는 처리방법 등을 고려해야 한다. 처분지는 지하수 오염방지 등의 조건을 고려하여 적당한 면적과 운반거리가 짧은 장소를 선정해야 한다. 배출수 처리공정 구성은 정수시설과의 관련 원수 수질, 배출수의 질과 양, 슬러지 상태, 관리기술의 수준, 유지관리용이성, 안전성 및 지역 환경 등을 고려해야 하며, 일반적으로 조정 → 농축 → 탈수 → 처분하는 공정으로 구성되며, 방류수 수질의 안정화를 위해 2차 침전지 등을 추가할 수 있다.

< 도표 6.6 > 일반적인 배출수 처리과정



< 도표 6.7 > 공정별 주요 기능

구 분	주 요 기 능
배출수지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 급속여과지의 역세척배출수를 받아들임</li> <li>• 상징수를 분리하여 착수정으로 회수 또는 방류</li> </ul>
배슬러지지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 약품침전지 및 배출수지의 침전슬러지, 탈수기 여포세척수 및 탈리여액을 받아들임</li> <li>• 농축조에 유입되는 부하량을 균등하게 조정함 * 일부 정수장은 고액분리 용도로 사용하기도 함</li> </ul>
농 축 조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배슬러지지에서 유입된 슬러지를 탈수처리에 적합하도록 고농도로 농축</li> </ul>
2차 처리시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농축조에서 월류되는 상징수의 수질을 수질목표 이하로 최종 처리</li> </ul>
방류수조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최종 처리수를 일시적으로 저류함으로써 순간적인 방류수 농도 상승에 대해 완충 효과가 있음</li> </ul>
슬러지저류조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탈수기에 농축슬러지를 안정적으로 공급하기 위해 저류함</li> </ul>
탈 수 기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 슬러지의 최종 처리비용을 절감하고, 운반이 용이하도록 함수율을 감소시킴</li> </ul>

## 1) 조정 공정

슬러지량을 조정하는 것으로 배출수지와 배슬러지지로 구성된다. 여과지로부터의 세척배출수와 침전지로부터의 침전 슬러지는 그 양과 질이 일정하지 않고 간헐적으로 배출되므로 이를 저류시켜 슬러지를 균등화함으로서 후속 처리시설의 처리과정을 용이하게 한다. 급속여과지로부터 세척 배출수를 받아들이는 시설을 배출수지, 침전지로부터 슬러지를 받아들이는 시설을 배슬러지지라고 한다.

## 2) 농축 공정

슬러지 농도를 높이는 것을 목적으로 하고 농축과 재응집 처리과정으로 이루어진다. 농축조는 배출수지, 배슬러지지로부터 슬러지를 받아들여서 슬러지를 농축시켜 체적을 감소시키는 것을 주목적으로 한다. 배슬러지지로부터 슬러지가 간헐적으로 배출되는 경우나 처리할 슬러지가 소량의 경우에 적합한 회분식 농축조와 배슬러지지 등으로부터 슬러지가 연속적으로 배출되는 경우나 처리하고자 하는 슬러지가 많은 경우에 적합한 연속식 농축조가 있다. 운영 및 유지관리에 있어 침강성과 탈수성을 높이기 위해 필요하다면 농축조 전단에 조정제(폴리머, 소석회 등) 투입시설을 설치한다. 슬러지의 특성은 변화되므로 일반적으로 계절별 적정 투입율을 산정하여 운영한다. 또한 폴리머, 염화철, 소각재와 같은 조정제를 이용하여 고액분리 능력을 향상시키는 슬러지 조정을 한다.

## 3) 탈수공정

정수장에서 배출되는 슬러지를 최종적으로 처리하는데 용이한 상태로 농축슬러지의 함수율을 감소시켜 체적을 줄임으로서 운반과 최종처분을 용이하게 한다. 탈수방법에는 가압여과(벨트프레스, 필터프레스), 진공여과, 원심분리여과 등과 같은 기계식과 모래건조상, 라군 등 자연건조를 이용하는 2가지 방식이 있다.

슬러지의 최종 처리 시 기계적 탈수법외에 천일건조법, 열처리법, 동결융해법도 사용될 수 있다. 천일건조법은 농축된 슬러지를 수영장과 같은 연못에 주입하여 침강탈수, 태양열에 의한 건조 등 자연열을 이용하는 방법으로 처리비가 저렴하고 관리도 간단하지만, 넓은 부지가 필요하며 일기조건의 영향이 크다. 기계탈수법은 농축 슬러지를 기계로 탈수하는 방법으로 처리효율이 비교적 안정적이며 유지관리 용이하다. 또한, 케이크의 함수율이 낮고 설치면적도 적으며 주위환경에 대한 영향이 적다.

## 4.2 슬러지 처리 특성

일반적으로 기계식 탈수의 경우 슬러지 농도가 적어도 2% 이상 되어야 하며, 슬러지 농도가 높을수록 탈수 속도가 빠르고 탈수 케이크의 함수율도 낮아진다. 응집침전과 급속여과의 역세척에 의하여 발생된 슬러지는 원수 상태에 따라 차이가 있으나, 통상 수산화알루미늄을 다량 포함하고 있어 친수성이며 함수율이 높고 농축이 어렵다는 특성이 있다. 중력식 농축조는 침전지의 침전슬러지, 여과지의 역세척슬러지 등 저농도 슬러지의 부피 감소에 따른 감량화가 주목적이며 회분식과 연속식으로 나뉘어진다. 이러한 부피 감소로 후속공정의 처리비용을 줄일 수 있으며 보다 신속한 농축을 위하여 폴리머가 사용되기도 한다.

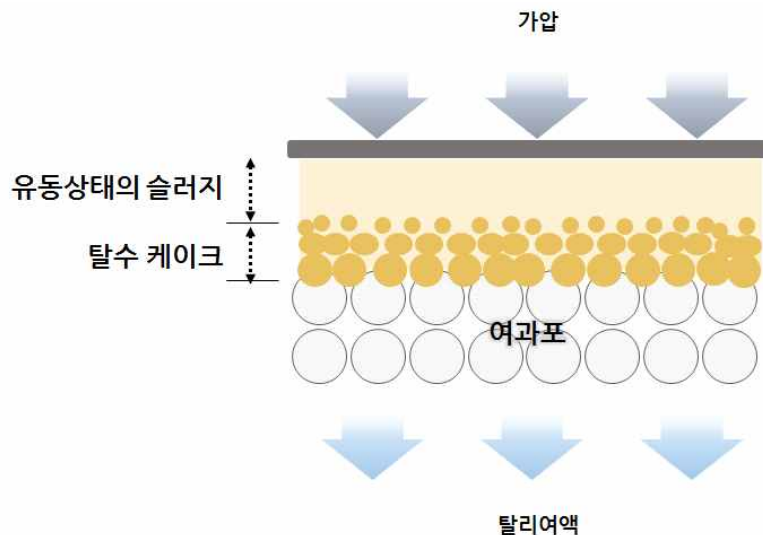
슬러지의 고형물 농도, 밀도, 농축 특성 및 탈수성은 원수 특성 및 운영 조건 등에 크게 영

향을 받고 계절에 따라서도 변한다. 일반적으로 고탁도일 때에 발생하는 슬러지는 농축성과 탈수성이 좋은 반면에 저탁도 또는 조류가 번성할 때 발생하는 슬러지는 침강·농축성 및 탈수성이 나쁘다. 또한 온도가 증가할수록 점도가 감소하며, 점도가 증가할수록 탈수성이 악화되기 때문에 온도만의 영향을 고려한다면, 온도가 증가할수록 탈수성은 증대된다.

배출된 슬러지를 장시간 농축조에 저장시켜 두면 혐기성 생물 분해가 일어나 메탄가스나 황화수소가 발생되어 상장액에서 냄새가 나며, 철, 망간 및 기타 중금속이 재용출하는 등의 여러 가지 문제가 발생한다. 이러한 경우는 공기를 불어넣는 폭기를 실시하여 슬러지의 혐기화를 방지하는 장치를 미리 설치하는 것이 바람직하다.

탈수특성에 영향을 미치는 인자중 입자의 크기도 중요하다. 이는 여재 폐색에 관련되며 입자 크기에 따라 탈수 여재(여과포) 공극을 빠져 나가거나 여재표면에 쌓여 탈수에 대한 영향을 미칠 수 있다.

< 도표 6.8 > 탈수 원리

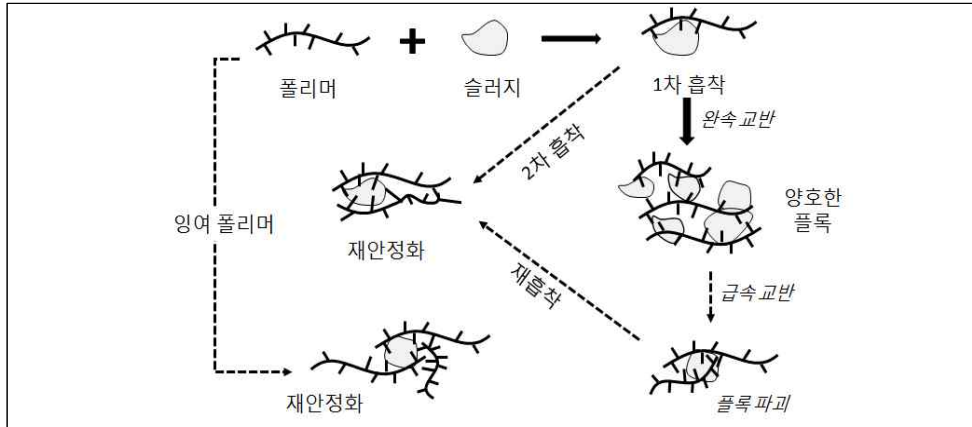


여과포 공극과 슬러지 입도와의 크기 관계를 고려시 여과포의 공극이 작을수록 슬러지 처리량이 증가할 수 있으며, 공극이 슬러지 입정보다 클 경우에는 작은 입경의 슬러지들이 탈리여액으로 대부분 유출되므로 방류수 관리측면에서 불리할 수 있다.

농축성과 탈수성을 높이기 위해 유기고분자응집제(폴리머)가 종종 사용되기도 한다. 벨트프레스와 원심탈수기는 고분자응집제로 전처리한 후 탈수처리한다. 필터프레스는 고압으로 슬러지를 탈수시키는 방법으로, 기본적으로는 약품을 주입하지 않는 무약주 방식으로 운영되나 필요에 따라 유기고분자응집제등의 약품 사용을 고려할 수 있다. 슬러지의 약품 처리는 전하중

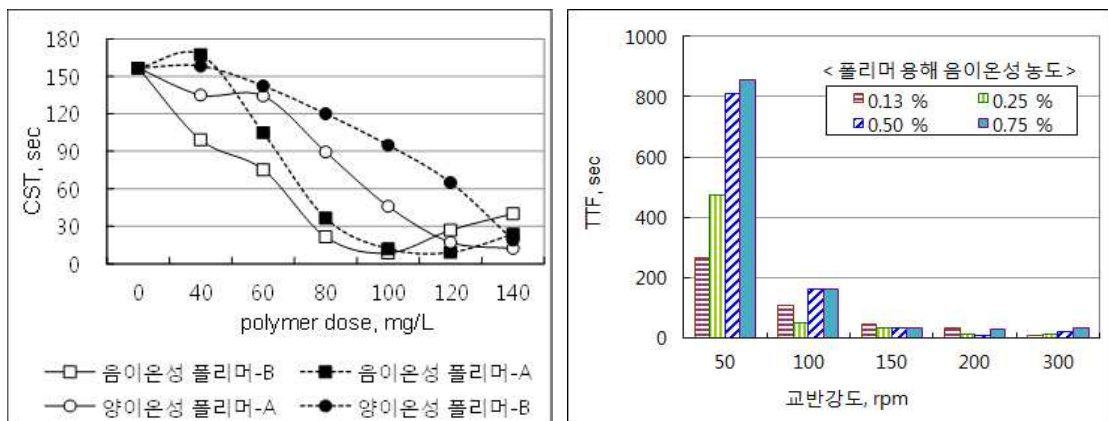
화와 가교작용이 주요 반응기작이다. 양이온성 폴리머는 전해질이 물에 용해되었을 때 양의 전하를 가지는 활성기를 가지므로 음으로 하전된 부유입자를 흡착하여 그 입자의 표면입자를 중화시킨다.

< 도표 6.9 > 고분자응집제의 슬러지 개량 메카니즘



폴리머도 응집반응을 기본으로 하기 때문에 폴리머의 용해상태, 교반강도, 농도 등은 농축 및 탈수에 영향을 미치게 된다.

< 도표 6.10 > 폴리머 종류별 주입률에 따른 슬러지 탈수성 변화  
< 도표 6.11 > 교반강도, 폴리머 용해농도에 따른 슬러지 탈수성 변화



시중에 판매되고 있는 폴리머는 각 제조사, 제품별로 분자량과 점도, pH 등이 다르다. 따라서 각 정수장은 실험을 통하여 자체 슬러지 특성에 맞는 폴리머 종류 및 운영 조건을 선정하여 사용하며 대부분의 정수장 슬러지 처리에는 음이온성 폴리머가 최적으로 나타난다. 이 약품의 주성분은 아크릴아미드로 이는 방류수의 허용기준항목에 해당되므로 사용 시 유의해야 한다.