

1988.9.12~16 브라질 리오 데자네이로에서 열린 第17次 國際水道會議에서 發表된 論文中 內容이 優秀한 論文을 번역 소개합니다. 業務에 많은 參考있기를 바랍니다.

정수처리의 기술혁신

- L. di Bernardo (Brazil) -
譯者: 柳瑩昌(건설부 상수도과 토목기좌)

1. 개요

정수처리에 있어서의 수많은 기술혁신들이 지난 몇년동안에 이루어졌다. 본 보고서는 브라질, 프랑스, 이탈리아, 네델란드, 스페인, 영국, 미국, 남아메리카 및 아시아의 여러나라에서 개발되어 공공 및 공업용수 공급시설에 채택된 기술혁신 사항중 가장 최근의 것과 가장 중요한 사항을 요약하고자 한다.

단위 운영 및 단위 공정에서 본질적으로 이러한 변화가 응집, 응결, 침전 및 급속여과의 운전에 대하여 다루었다.

2. 응집(Coagulation) 및 응결(Flocculation)

응집 및 응결의 공정은 조그만 입자를 침전시키기 쉽게 응집, 입자 불안정화 및 입자 상호간의 충돌의 3가지로 분리되며 연속된 단계를 거쳐 큰 입자로 바꾸는 것이다.

응집형성과 입자 불안정화는 급속 혼화과정에서 이루어지며, 반면에 입자 상호간의 충돌은 응집과정에서 일어난다. 효과적인 응집을 이루기

위해서는 짧은 시간에 강렬한 급속혼화가 필요한 반면 효과적인 응결은 장시간의 완속혼화과정을 통하여 이룰 수 있다.

다른 방법으로서 원수의 혼화는 다양한 약품 응집에 의해 이루어지는 것으로서 일반적으로, 수원인 표면수는 부유물과 콜로이드 물질(탁도), 총유기성탄소, 색도 같은 용해 유기물, 경도, 알칼리도 및 대장균이 포함되어 있다.

최근 연구에서 Humic 물질(총유기성 탄소나 색도)이 자연적인 입자의 안정성에 중요한 역할을 하며 적절한 응집의 선택에 중요한 영향을 미침을 보여주었다. 일반적으로 응집-응결을 일으키는 4가지 분명한 구조는 (1) 이단압축 (2) 중화를 위한 흡착 (3) 침전물의 교란 (4) 상호입자를 연결시키는 흡착이다.

알루미늄염이나 철염이 응집제로서 사용될 때 주된 역할은 중화 및 침전물의 교란작용이다.

그림 1의 응집도는 중화 혹은 흡착-완충 및 응집작용이 응집제의 주입량, 응집제의 혼합 정도와 혼합 부유물의 pH와 연관됨을 보여주고 있다.

응집이 일어나고 있는 상황하에서는 화학적인 조건을 예상할 수 있다는 점이 아주 혁신적이라고 본다.

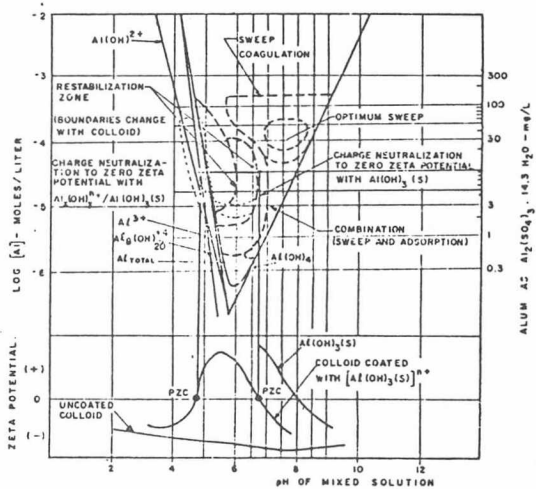


Fig. 1. The alum coagulation diagram for turbidity removal

본 그림은 응집제 주입량, 탁도제거를 위한 pH 조건, 색도제거, 직접여과 및 급속혼화기 선

택등에 이용될 수 있으며 jar 테스트나 모형실험 연구등의 계획, 분석 및 해석 등에 유용한 지표이므로 일정한 온도하에서 정수장 운영에 최적의 조건을 제공한다. 첫째 구조적인 측면에서 볼때 완충된 입자를 재생시키기 위해서는 클로이드와 금속 가수 분해작용에 의해 생성된 중성화된 물질사이의 상호충돌이 응결에 선행되어야 한다. 따라서 적당한 혼합공정의 선택은 완충된 클로이드의 규모, 응집의 구조, 폴리머의 사용에 따라 생성되는 미세 스케일 (microscale) 과 난류 (turbulence)에 달려 있다.

중성화와 입자 상호간을 결합시키는 기능에 있어서 폴리머를 사용할 때는 강렬한 혼합이 필요하지 않지만 중성화시키기 위하여 무기염을 사용할 때는 그렇지 않다(그림 2와 3).

영국에서 발달된 응집제어를 위한 2가지 연결된 기법은 증기흐름 탐지기(SCD)와 응집기(TM)이다. SCD는 응집제 주입제어를 가능하게 하는 응집물의 잔류치를 결정한다. 본 방법은 응집이 중성화나 흡착-완충의 기능으로 형성되기 때문에 직접 방식에 도입하면 유용하게 이용할 수 있다. 응집기(flocmate)는 응결상태를 연속적으로 측정하기 위해 마이크로 프로세스를 갖춘 광학상에 기초를 둔 시스템을 이용한다. 응집이 주 기능일때 이러한 방법은 자동적으로 최적의 약품을 주입을 위해 이용될 수 있다.

이탈리아에서는 응집시키는 과정에서 구조질

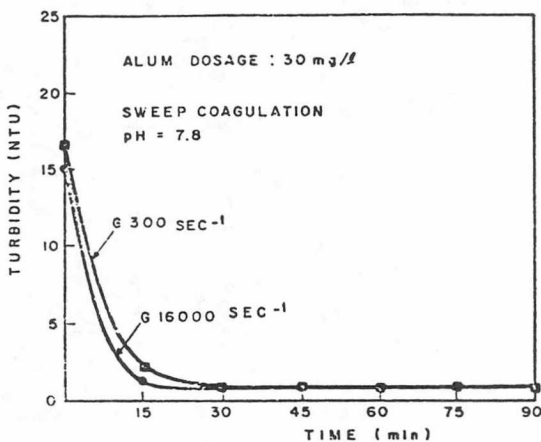


Fig.2 Turbidity of settled water as a function of time-sweep coagulation

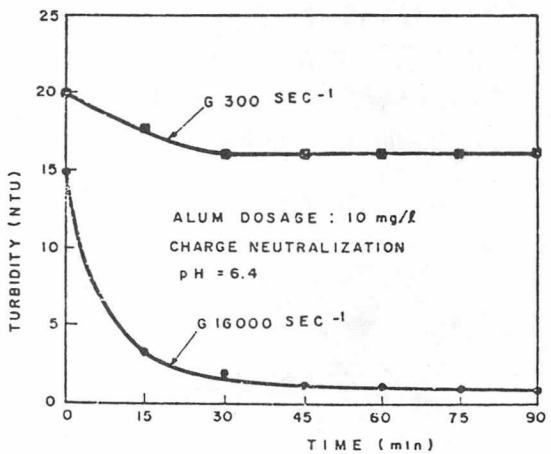


Fig.3 Turbidity of settled water as a function of time-charge neutralization

미세모래와 경석이 TOC의 감소, 응집제 및 응집보조제 투입 감소와 같은 편의를 위해 사용되어져 왔다.

응결보조제로서 사용되는 천연 폴리머는 브라질에서 과거 10년동안에 집중적으로 연구되었다. 많은 나라의 정수장에서는 저렴한 고품질의 폴리머를 사용하고 있는바, 이는 약품비와 침전지에서의 슬러지양을 줄일 수 있고 여과를 증진시킬 수 있기 때문이다. 정수 처리과정에서 급속혼화를 증진시키는 가장 일반적인 형태는 적절한 혼화정도를 확실히 할 수 있도록 혼화기를 뒤에 두는 것이다. Parshell Flume에 있어서 형성된 Hydraulic jump 지역이 응집용해가 원수에 분산되는 가장 경제적 상태이므로 정수장에 유량을 측정할 수 있도록 Flume을 설치한다.

최근 몇몇 연구에 따르면 주로 흐름변화가 많을때 혼합조건을 증진시키기 위하여 Flume에 스크린이나 각락이 사용되고 있음을 나타내고 있다.

기계적인 Chamber 대신에 Baffle 탱크, 자갈층, 스테인레스 스틸 및 플라스틱 스크린을 갖춘 Hydraulic 응집시스템을 이용하고 있으며 비록 본 시스템이 속도경사에 적용되는 유연성은 없을지라도 혼합시간을 줄이고 설치비, 운전비 및 유지관리비를 줄일 수 있는 잇점이 있다. 최근의 연구에서는 혼합시간을 증가시킴에 따라 속도경사를 줄일 수 있다고 주장하고 있다. 적당한 속도경사, 혼합시간 및 최소의 속도경사에 관

련된 새로운 수학적 모델은 응집의 주기능을 고려하여야 한다.

3. 침 전

물을 함유한 부유물의 침전은 입자크기 증가 혹은 입자를 제거하기 전에 입자간의 거리를 줄임으로서 침전을 가속화시킬 수 있다.

첫째, 침전전에 응집-응결이 일어나게 해야 하고 그다음 얇은지(池)를 만듦으로써 침전을 이룰 수 있다. 일찌기 알럼-응집 슬러지가 자체 제거되는 것을 방지하기 위하여 약 60° 기울기의 각도로 부유물이 흐르는 반대방향에 평행 또는 물결모양의 경사판이나 튜브를 사용하였다.

침전율을 높이는 가장 일반적이고 통상적인 형태는 평행판을 경사가 급하게 설치하는 것이다. 광범위한 이론 근거에 따르면 판(튜브)밑에 상당히 좋은 분포상태의 응결수를 얻을 수 있으며 최근에는 파이프에 수중 오리피스나 V-Notch 웨어를 설치하여 침전수의 포집을 성공적으로 할 수 있다.

만약 슬러지를 기계적인 추출로서 불충분하다면 그림 4.5 와 같이 선진국에서 많이 사용되는 사이폰을 이용하면 만족한 결과를 얻을 수 있는데 이는 응집수를 분배시키기 위하여, 침전수를 포집하고, 추출된 슬러지를 처리할 수 있는 수로를 동일 구조물에 설치할 수 있는 잇점이 있다.

최근에 재래식 정수장을 개량할 때 새로운 접근방법이 고려되고 있다. 재래식의 사각지는 그림 6에서 보는 바와 같이 플라스틱으로 만든 평

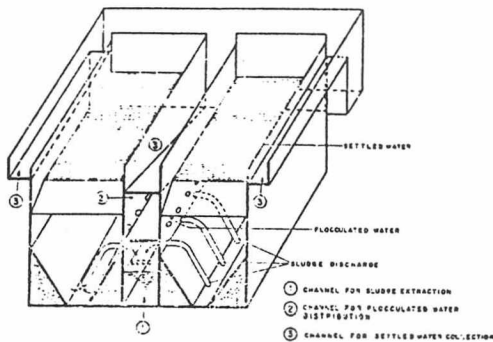


Fig. 4 Scheme of a simplified high-rate settling tank

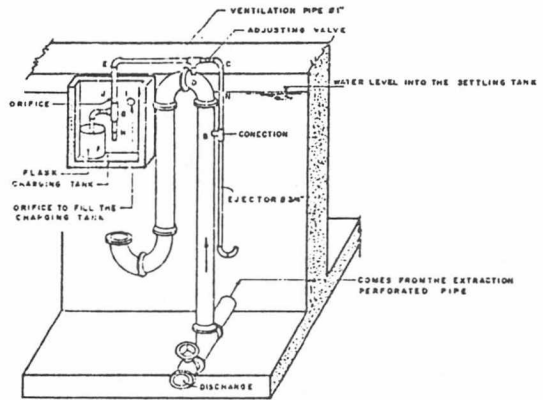


Fig. 5 Outside static siphon for sludge extraction

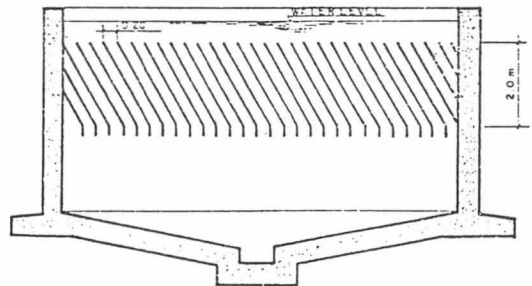


Fig. 6 Cross section of a modified conventional settling basin with plastic plates and keeping horizontal flow.

행판 사이에 수평방향으로 물을 흐르게 하여 고도의 전환기로 쉽게 전환시킬 수 있다.

4. 급속여과

전반적인 여과시스템 설계에는 여재, 하부집수장치, 역세척, 여과조절, 여층수, 여과율, 유입의 특성, 응집 및 응결의 사용, 응결의 형태등의 여러 상관 요소들이 있다. 만약 유입수가 침전수나 응집수라면 여과 시스템의 구성요소는 중요한 변화가 아니므로 여기서 제시될 새로운 기술은 상향류와 하향류의 직접여과를 또한 포함할 것이다.

4.1 여재(media)

모형실험의 연구는 여재의 특성이나 형태를

선택하는 가장 적절한 방법으로서 응집제의 하향류 여과를 고려하여 응집을 시킬 것인지 아닌지 등의 여러 요소들에 영향을 미친다. 단층, 이중 혹은 다층여재의 사용에 따라 운전 및 유지관리, 역세척 시스템의 형태, 유용성 그리고 모래, 석탄, 석류석(garnet) 혹은 ilmenite 등의 가격에 영향을 미친다.

침전수를 얻기 위하여 전통적으로 모래가 사용되어 왔지만 고도의 여과를 위하여 여러나라에서 2중여재(anthracite-sand)를 선호하는 경향이 있다. 다른 나라들은 조금 굵은 균일한 규격의 단일 여재인 모래와 깊은 지(池)를 이용한다. 하향류 직접 여과과정은 응집, 응결 및 여과과정을 포함하며, 또는 응결단계가 생략되어 하향식 직접 여과방식으로 여겨지기도 한다.

모형 및 실제 정수장에 대한 많은 연구는 과거 10년 동안에 수행되었으며 그 결과 여재와 관계되는 여러 기술혁신이 이루어졌다. 처음에는 이중 혹은 다층 여재가 택하여졌지만 나중에는 굵은 모래, 석탄 또는 깊은 지(池)로 구성된 단층여재가 실용화 되었음이 여러 연구에서 나타났다.

상향류 직접 여과과정은 응집과 여과로 구성된다. 기본적인 시스템은 응집수가 균일한 모래의 깊은 지(池)를 지지하는 자갈층을 통과하도록 하는 것이다.

가장 최근의 기술개발은 굵은 자갈층과 깊은

모래지(池)를 사용하는 것이며 표1은 급속여과에 사용된 여재의 특성을 나타낸 것이다.

4.2 하부집수장치와 역세척장치

이용 가능한 하부집수장치는 여러가지 있으나 역세척, 적당한 하부집수 및 자갈층의 지지에 따라 선택되는데 그 이유는 하부집수장치중 어떤 것은 단지 물만을 사용한다든가, 공기와 다른 것들을 동시에 사용한다든가, 물과 공기를 각각 사용하는 경우등에 따라 달라지기 때문이다.

하부 집수장치에 사용되는 것들은 다음과 같다.

- 측면에 오리피스가 부착된 관
- 양측면의 세라믹이나 플라스틱 블럭
- 플라스틱 노즐을 설치한 2중바닥
- 유공판 Plenum

양측면의 플라스틱 블럭이나 특별히 노즐을 설치한 2중바닥은 동시에 물과 공기를 사용할 수 있거나 각각 사용할 수도 있다. 단지 역세척수만의 사용은 효과가 없으며 보조시스템으로서 공기세척이 널리 사용되고 있다.

공기를 사용하는 프리캐스트 콘크리트 T자시스템(Precast Concrete T-Pees System)의 개조형이 개발도상국에서 창안되었으며 본 시스템이 사용된 개량정수장에서 현재 공기 배분을 잘 시키는 방법이 제시되어지고 있다.

Table 1. Characteristics of the media used in rapid filtration

Media characteristics	Filtration of settled water	Downflow direct filtration	Upflow direct filtration	
SINGLE MEDIA-sand				
- effective size (mm)	0.45-0.55	1.0-1.2	0.75-0.85	
- grain size (mm)	0.42-2.00	0.7-2.0	0.59-2.0	
- uniformity coefficient	<1.5	<1.3	<1.5	
- bed layer (m)	0.6-0.8	0.8-1.4	1.6-2.0	
SINGLE MEDIA-coal				
- effective size (mm)	-	1.0-1.2	-	
- grain size (mm)	-	0.7-2.4	-	
- uniformity coefficient	-	<1.5	-	
- bed layer (m)	-	1.2-2.0	-	
DUAL MEDIA				
	coal-sand	coal-sand		
- effective size (mm)	0.9-1.1 0.5-0.6	1.0-1.2 0.5-0.6	-	
- grain size (mm)	0.42-1.68 0.7-2.0	0.42-1.68 0.7-2.0	-	
- uniformity coefficient	<1.5 <1.5	<1.5 <1.5	-	
- bed layer (m)	0.2-0.3 0.4-0.6	0.2-0.3 0.6-0.8	-	
GRAVEL LAYER			Thickness (m)	Size (m)
- sub-layer 1	-	-	0.075	31.7-25.4
- sub-layer 2	-	-	0.075	25.4-15.9
- sub-layer 3	-	-	0.075	15.9-9.6
- sub-layer 4	-	-	0.100	9.6-4.8
- sub-layer 5	-	-	0.250	4.8-2.4
- sub-layer 6	-	-	0.100	4.8-9.6
- sub-layer 7	-	-	0.100	9.6-15.9

4.3 여과 작동제어

중력식 제어의 기본적인 방법에는 정속여과와 감쇄여과기 등 2가지가 있다. 유출관내에 유량 제어기의 사용은 16세기말까지 실용화 되었고 17세기초에는 여과지의 수위를 일정하게 하거나, 수위를 변화시킴으로서 유입유량을 분산시키는 것으로 알려진 단순제어 시스템을 사용하여 여과지에서 유량을 일정하게 유지하였다. 이 방법은 여과를 자유롭게 시키도록 채널입구에 각각 유입웨어를 설치하여 혼합시키는 것이다. 일정한 수위를 유지시키고자 할때 수위계를 설치하면 되고 제어기나 조절밸브가 없을때 수위는 각 여과지에서 독립적으로 변화한다.

감쇄여과의 작용에 대해서는 과거 10년간에 걸쳐 집중적으로 모형실험과 정수장에서 실제적으로 연구되었다. 이와같은 작용형태는 여과가 진행되는 동안에 계단식으로 유량이 변화한다.

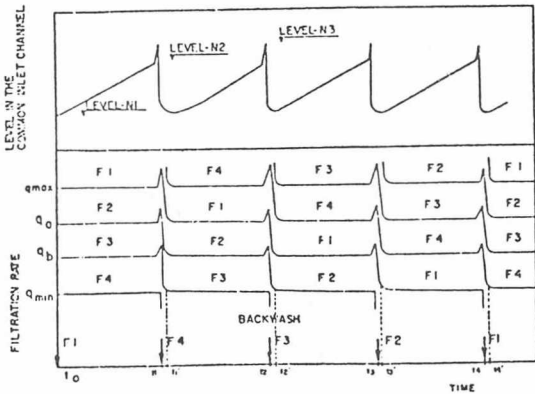


Fig.7 Typical behaviour of a declining-rate filtration system in a steady-state condition

여과지 그룹내의 한개의 여과지를 역세척한 후에 여과를 실시하면 그다음 여과지를 역세척할 때까지는 최대효율로 일정한 여과를 실시하게 된다.

역세척 동안에 잔여 여과지 수위는 여과지가 세척될 때까지 올라간다. 수위는 dynamic 작용 수위가 될때까지 떨어지고 오염된 여과지가 역세척될때까지 다시 올라간다.

본 여과제어 모형은 하향류나 상향류 여과시

스템에서 이용될 수 있으며 장치가 필요없기 때문에 개발도상국에서 매우 선호하고 있다.

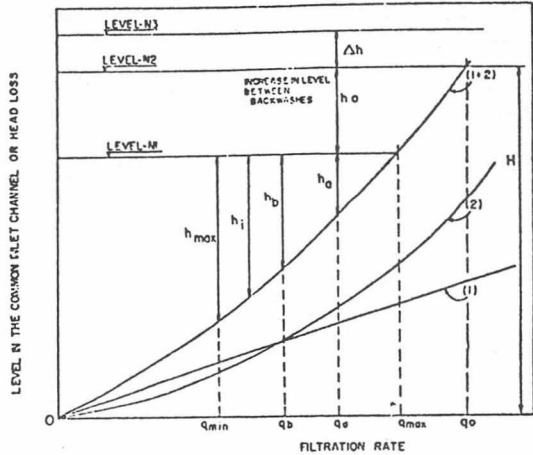


Fig.8 Level variation or head loss in the common inlet channel to the declining-rate filters

그림 7 과 8을 근거로 하여 최근에 계획된 수학적 모델을 이용하여 많은 수의여과지 Bank 여과지를 통하여 수위와 여과율을 예측할 수 있다.

상향식 직접여과의 경우 색도를 지닌 높은 탁도의 원수처리 및 정속여과시에 신운영형태가 만족한 여과길이의 제공 및 양질의 유출물을 생산한다. 이 여과시스템에 있어서 자갈층이 중요한 역할을 하기 때문에 주기적인 매개물의 방출에 따른 작용, 부분적인 자갈층의 청소등이 수위를 높이고 여과길이를 증가시킨다. 가장 중요한 기술혁신은 매개물을 방출할때 여제지역에서 압력이 떨어진다가나 여과를 시작한 이후 유출물량이 불만족스러운 것을 피하면서 굵은 모래와 잔골재 사이에 물을 통과시키는 것이다.

