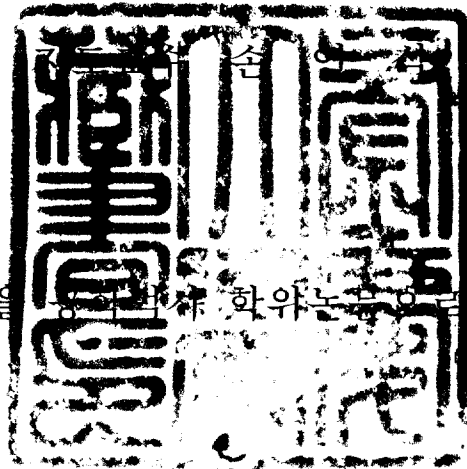


공학석사 학위논문

혼화 · 여과의 상호관계 및 여과지
운전 방안

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2005년 8월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

이 준 범

이 논문을 이준범의 공학석사 학위논문으로 인준함

2005년 6월 17일

주 심 공학박사 이 종 출



위 원 공학박사 이 동 욱



위 원 공학박사 손 인 식



목 차

표 차례	v
그림 차례	vi
Abstract	vii
제 1 장 서론	1
제 2 장 이론적 고찰	4
2.1 응집여과공정	4
2.2 수처리 공정	6
2.3 현탁물질의 제거 메카니즘	9
제 3 장 실험방법	10
3.1 실험조건	10
3.2 분석조건	18
제 4 장 실험 결과 및 고찰	20
4.1 여과지역세	20
4.2 여과지 역세후 여과 초기 탁도 변화	24
4.3 직접여과평가	30
4.4 응집제 주입위치에 따른 여과수의 입도변화	39
제 5 장 결 론	41
참고문헌	42

표 차례

Table 3.1 Operating condition of processes	13
Table 3.2 Analytical methods and instruments	19

그림 차례

Fig. 3.1 Flow diagram and analyzer position	12
Fig. 3.2 Point of coagulant inject point in the rapid mixer tank	14
Fig. 3.3 Schematic drawing of pilot and direct filter	15
Fig. 3.4 The impeller of in rapid mixer tank	16
Fig. 3.5 Particle counter on site	16
Fig. 3.6 Direct filter on site (in rectangular)	17
Fig. 4.1 Level of water in the underdrain of filter during air scour	22
Fig. 4.2 Turbidity over the filter media with times of air scour	23
Fig. 4.3 Filter effluent turbidity with filtration time	26
Fig. 4.4 Particle size distribution of filtered water with filtration time	29
Fig. 4.5 Particles distribution of filtered water with mixing energy	31
Fig. 4.6 Particles distribution of filtered water with mixing energy	32
Fig. 4.7 Particles distribution of filtered water with coagulant dose	34
Fig. 4.8 Particle and turbidity distribution of filtered water with coagulant	36
Fig. 4.9 Particles distribution of filtered water with coagulant dose	38
Fig. 4.10 Particles distribution of filtered water according to the coagulant injection point	40

Relationship between coagulation and filtration and filter operating

Rhee, Joon-Bum

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

Coagulation and filtration are basic treatment processes in rapid filtration system. Good performance of coagulation process can produce high quality of filtered water which is lower turbidity and particles water. Many factors which effect to coagulation are introduced by many studies but these results of studies are almost impossible to adjust to constructed water treatment processes. Therefore optimum design is very important for producing required water quality. We have researched variations of filtered water quality by coagulation conditions after back wash with filtration time. The most effective factor for a good coagulation is coagulant dose however inject point of coagulant had no effect to producing good filtered water and the lower mixing energy produced good filtered water than higher mixing energy. The period of direct filter's maturing after coagulant dose is within ten minutes, it will be good indicator for a good coagulant dose. Long time of only air scour did not need to detach floc from filter media because floc detaching occurred not air scour alone but high rate of up flow water by air pressure, after the water in the underdrain moved to the

surface of filter by air pressure, the turburance of filter media is stopped. Longer air scour did not effected to media disturbing, so for more achieve effectiveness of air scour, reair scour should be carried out after refill the back wash water in the space of underdrain. Filter are matured within 5 minutes at initial filtration time after backwash. However particles and turbidity from filter during initial filtration time to the underdrain should not move to the clean well for conform of safe water. So filter which have large space underdrain need longer drain time than small's until requirement water level.

Key word : direct filtration, back-wash, rapid mixer, turbidity, particle counter.

제 1 장 서 론

응집과 여과는 정수처리과정에서 수중의 입자성 제거를 위한 가장 일반적이며 효율적인 공정이다. 응집에 의해 수중의 콜로이드, 유기물질, 미생물, 원생동물등 다양한 종류의 입자성물질을 물과 분리시킬 수 있으며, 수중의 금속물질인 철, 망간 등도 산화 후 응집에 의해 고액분리가 가능하게 된다.

응집을 효율적으로 행하기 위해서는 응집에 미치는 여러 가지 인자들이 있는데, 그중 가장 중요한 인자로서 원수수질에 적정한 응집제 투입량을 들 수 있다. 혼화강도, 교반시간 등은 정수장의 혼화응집지 구조물 제작시 한번 설정되어 시공되면 응집 조건을 재조정하기 어렵고, 유입하는 원수수질도 시시각각 변해 응집에 미치는 모든 조건을 학문 혹은 실험결과를 도출해낸 후 이를 각각에 맞춰 적용하기란 실로 불가능에 가까운 일이다. 따라서 정수장에서 응집지 운전은 적절한 조절방법도 정확히 확립되어 있지 않을 뿐만 아니라, 인위적으로 운전조건을 맞춰 운전하는 것은 상당히 어려운 부분이다. 그러므로 인위적으로 응집의 효율을 상승시키기 위해 가장 효율적으로 조절이 가능한 부분은 응집제 투입량을 달리하는 방법으로 다른 모든 조건을 일정하게 고정시키고 응집제투입률만을 변화시켜 가장 고액분리가 잘되는 응집제투입률을 결정하는 방법이다.

정수장에서 가장 일반적으로 널리 이용하는 응집제 투입률을 결정하는 방법으로 자-테스트가 있는데 자-테스트는 실험에 한시간 이상 소요되기 때문에 원수수질이 급격히 변하는 경우에는 현재의 원수수질에 대응하는 응집제 투입률을 구하지 못하고 약 한시간 이전의 수질에 맞는 응집제 투입률을 현재 원수에 투입해야하는 문제가 발생해 적절한 대응을 하지 못하는 경우도 발생 할 수 있다.

여름철 집집호우로 인하여 고탁도 원수발생 시기에 원수 중의 입자성 물질 처리에 적절한 대응을 하지 못하는 경우에는 크립토스포르디움과 같

은 원생동물이 최종정수중에 누출되어 1993년 미국 밀워키시의 수돗물을 음용한 시민들중 약 100여명이 사망하고 수십만이 복통과 설사를 일으키는 등 대형 인명 피해를 발생시킬 수 있다.

이와 같이 응집 여과처리과정에서 원수수질에 적절한 응집제량을 조절 투입함으로써 정수처리 과정에서 충분한 탁도제거가 수중의 원생동물에 대한 가장 안전한 방법 중의 하나로 인식되면서 응집 및 여과 공정의 중요성이 더욱 증대되고 있다.

특히, 원생동물의 제거를 위해 최종 여과수의 탁도 관리가 매우 중요한데 여과 처리수 관리중 가장 어려운 부분이 여과지 역세척 이후 여과지가 안정될 때까지 소요되는 초기 1시간 정도 여과수의 탁도 누출현상으로 이때 누출되는 탁도 중에는 여과지에 걸리지 않고 빠져나오는 원생동물이 있을 수 있어 여과 초기 탁도 관리에 신중을 기할 필요가 있다.

바이러스 및 원생동물의 제어를 위하여 여과수 탁도가 2002년부터 탁도측정을 할 때 95%이상이 0.5NTU이하로 검출되어야 한다고 수처리 방법으로 고시되어 여과지에 의한 탁도 관리의 중요성이 더욱 높아지고 있다.

2004년부터 정수장의 모든 여과지마다 탁도계를 설치하여 여과처리수 연속측정하여 탁도관리를 하게 되는데 역세후 초기 누출되는 탁도가 0.5NTU이상이면 여과수를 정수지로 보낼 수 없고 회수해야하는 어려움에 처하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 정수처리과정에서 수중의 입자성물질을 제어하기 위해 사용되는 응집제투입률을 신속하게 결정할 수 있는 방안을 조사하기 위해 직접여과법을 이용하여 혼화 후 바로 여과처리 수중의 입자 입자변화를 여과시간별로 관찰하면서 혼화강도에 따른 여과 처리수 중의 입자변화와 응집제투입률을 변화시킬 때 여과처리수 중의 입도 변화 등을 조사함으로써 여과 전단계에서의 처리가 여과처리수에 미치는 영향을 조사하였고 또한 이러한 직접여과 시스템을 바탕으로 실제 정수장에서 응집

제주입률이 부적절하게 투입되는 경우 바로 응집제주입률을 정정할 수 있는 방안을 찾아보고자 하였다. 또한 역세척 후 초기에 높게 누출되는 여과수탁도 관리를 위해 여과시간별 누출정도와 누출시간을 파악하여 장차 여과지 운전에 효율적으로 대응하기 위해 본 연구를 수행하였다.

여과지 역세척시 일반적으로 역세척 효과를 높이기 위서는 여층의 교란을 심하게 해주어야 하는데 이를 위해 공기세척과 물세척을 겸용한다. 공세초기 10~20초간은 공기에 의해 여층의 심한 진동으로 인하여 여층 전체가 심하게 흔들리나 이후에는 여층사이에 공기가 지나가는 길(공로:空路)이 형성되어 공기를 더 많이 주입해도 여층의 진동은 더 이상 일어나지 않는다. 수세와 공세를 겸용하여 역세척을 해도 여층의 진동이 없어 큰 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 이에따라 공기세척과 물세척을 병용하여 여과지를 역세척 할 때 공기세척의 문제점과 개선방안을 제시하고자 한다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1 응집여과공정

혼화공정은 음의 전하로 대전되어 침전하지 않고 안전하게 존재하는 수중의 입자성물질을 불안정하게 함으로써 플록형성을 촉진시키는 것이다. 혼화공정에 영향을 줄 수 있는 수질인자로는 pH, 알칼리도, 탁도, 온도 등이 있으며 운전인자로는 혼화조 및 임펠러의 형상과 혼화조에 가해지는 혼화강도 및 혼화시간등이 있다.

알루미늄계 응집제가 원수중에 주입되면 알루미늄염은 6개의 물분자에 둘러싸여 수소이온이 해리되는 수화반응을 거치면서 모노머나 중간폴리머상태의 착이온을 거쳐 최종적으로 $Al(OH)_3$ 과 같은 수산화물을 형성하게 된다. 이러한 반응 및 반응 형태는 원수의 pH에 따라 달라지는데 pH가 중성부근이면 중간폴리머상태를 기치지 않고 바로 모노머에서 $Al(OH)_3$ 로 변하게되는데 Fig. 2.1에 이러한 과정을 잘 나타냈다. 알루미늄이온은 중성 이하에서 강한 양의 전하를 가지는데 음의 전하를 띤 카르복실그룹($-COO^-$)과 같은 유기물질과 강하게 결합한다. 중성이상의 pH 이상에서는 OH^- 이온과 주로 결합하게 되며 유기물질과의 결합은 상대적으로 약하게 된다. 반면 용존유기물질이나 콜로이드물질은 산성에서 H^+ 이온과 결합하여 전하가 약해지는 반면에 알칼리성에서는 H^+ 이온이 해리되면서 전하가 강해지게 된다. 따라서 H^+ 이온과 알루미늄이온 그리고 OH^- 이온과 음의 전하를 띤 용존물질이나 콜로이드물질은 서로경쟁 관계에 있으며 알루미늄 이온은 알칼리성 구역보다는 산성구역에서 용존물질이나 콜로이드물질과 강하게 결합하게 된다. 또한 산성영역이 알칼리성 영역보다 수화반응이 비교적 느리게 반응하기 때문에 수화반응이 종료되기 이전의 다가의 양이온과 콜로이드물질이 결합할 수 있는 기회는 산성영역이 높게 된다. 따라서 산성영역에서는 소량의 응집제로도 전하중화를 이룰 수 있으며 결합력도 강하게 된다. 그러나 산성영역에서는 플록간의 결합력이 약해 플록 크기가 작으며 응집시간이 길어지게 된다.

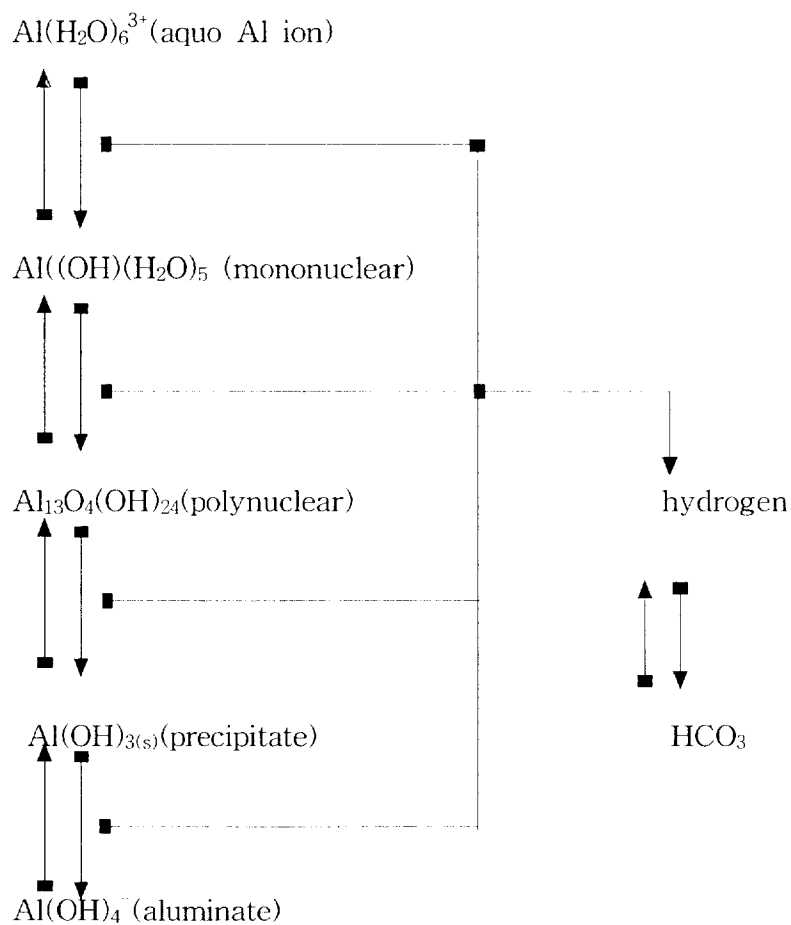


Fig. 2.1 Schematic representation of aluminium hydrolysis

2.2 수처리 공정

수처리 공정에서는 다음과 같은 두 가지 메카니즘에 의해 혼화가 이루어지는 것으로 알려져 있는데, 첫째는 $Al(OH)^{2+}$ 와 같은 양이온과 콜로이드간의 흡착 전하중화, 둘째는 $Al(OH)_3$ 과 콜로이드 간의 상호작용에 의한 Sweep 응집 그리고 이러한 반응은 pH에 의해 주로 결정되며 응집제 확산시간도 이에 관여한다는 것으로 알려져있다. Fig. 2.2에 전하중화에 따라 콜로이드에 수화종의 흡착과 수산화물과 응집제와의 상호작용에 의한 sweep 응집과정이 잘 나타나있다.

Tambo는 양전하의 응집제와 음전하의 점토질 혹은 유기물질과 반응해 형성되는 Floc의 형성모형을 나타냈는데 전하력이 낮은 응집(precipitated) 알루미늄과 높은 전하(Aluminium polymer)를 가지는 알루미늄의 가교작용과 흡착응집이 된다고 하였다.

그리고 효과적인 혼화를 위해서는 응집제를 원수전체에 빠르게 혼화시켜 주어야하는데 이러한 혼합은 혼화조내에서 임펠러를 이용하여 강하게 교반시켜 줌으로써 이루어진다.

Camp와 Stein은 교반강도를 다음과 같은 식으로 정의하였으며 보통 혼화조 설계에 이용되고 있다. 혼화조 설계에 고려될 수 있는 설계인자로는 교반강도, 응집제 확산또는 혼합시간, 임펠러 스피드 등이 있다.

$$G = (P/\mu V)^{0.5} \quad (2.1)$$

여기서, G : 속도구배(sec⁻¹)
 P : 혼화에너지(N · m/sec)
 V : 조체적(m³)
 μ : 점성계수(N · sec/m²)

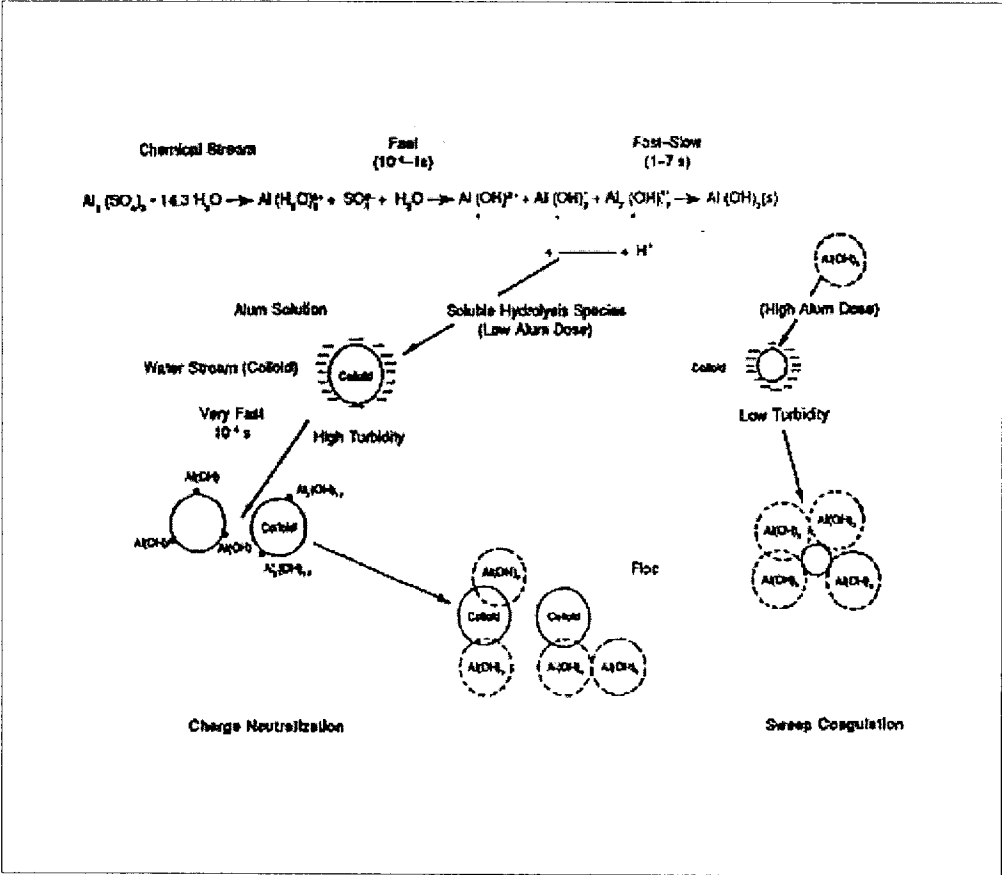


Fig. 2.2 Reaction schematics of coagulation

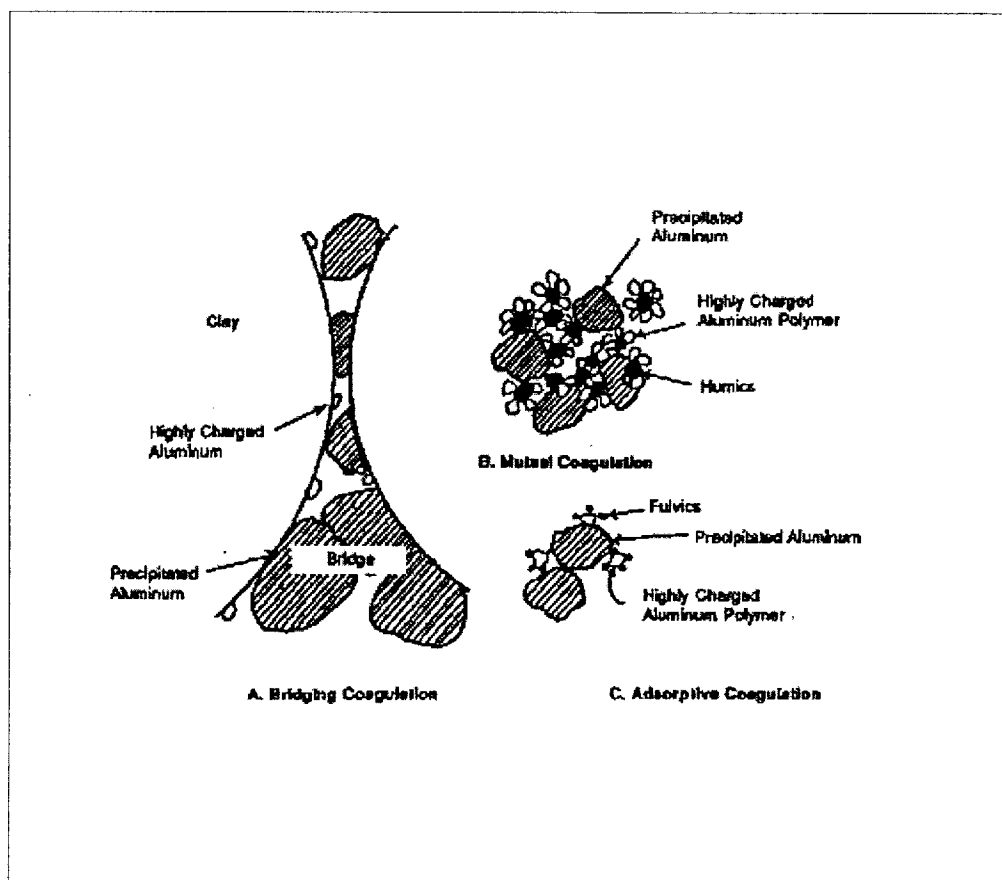


Fig. 2.3 Matrix of clay or color colloids with hydrolyzed metal coagulant in a floc

2.3 현탁물질의 제거 메카니즘

여과에 의한 현탁물질의 제거 메카니즘은 매우 복잡하다. 많은 연구자가 제거에 관계되는 각종의 중요인자에 대해 이야기하고 있다. 그중 가장 지배적인 메카니즘으로 현탁물질과 여재의 물리화학적 특성, 여과속도, 물의 화학적 성질 등을 들 수 있다.

여과지에서 현탁물질이 제거되는 과정은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫째, 운송과정으로 수중의 입자가 여재 공극 중을 지나다가 수류의 중심을 벗어난 현탁물질은 여재 표면 근처로 이송되는데 이에 관련되는 인자로는 침전, 확산, 수리적 이송으로 이들 인자는 여재입경, 여속, 수온, 현탁입자의 밀도나 크기 등의 물리적 특성에 영향을 받는다. 둘째, 현탁입자와 여재표면 혹은 현탁입자와 여재에 부착된 현탁입자와의 부착 메카니즘으로 정전기적 상호작용, 화학적 가교작용, 특수흡착작용 등이 있다. 이는 전처리로 첨가하는 응집제와 수질, 여재의 화학적성질 등에 영향을 받는다. 여과가 진행되면서 운송과 부착의 메카니즘이 변화하는데 이에 따라 여과처리수의 수질 등이 달라진다.

양호한 여과수를 얻기 위해 응집과정에서 적절하고 연속적인 처리는 매우 필수적이다. 전처리를 잠시라도 중단하게 되면 여과수질은 순간적으로 악화된다. Fuller은 여과를 완벽히 수행하기 위해 여과의 전처리인 응집과정이 완전하여야 한다고 하였다. Robeck 등도 적절한 여과 전처리를 하면 여과수속도가 5m/h 나 12m/h에서도 동일한 여과 처리수 탁도를 얻을 수 있어 여과 전처리의 중요성을 설명하였다. 또한, 원수의 수질이 나빠져 응집제를 원수수질에 맞춰 증가하여 주입하여도 처리수의 수질도 나빠진다고 하였다. 이와같이 여과지의 수질을 안정적으로 유지하기 위해서는 전용집 처리가 필수적인 요건이다.

제 3 장 실험방법

3.1 실험조건

본 실험에 사용한 원수는 낙동강 물을 직접 취수하여 파이롯트플랜트로 이송하였으며, 응집제는 액반을 정량펌프를 이용하여 원액 그대로 급속혼화지에 주입하였다. 급속혼화지의 혼화기는 Fig. 3.4와 같은 터빈형태의 혼화기를 사용하였으며, 회전수를 조절하여 혼화강도를 조절할 수 있도록 가변 모터를 사용하였다.

급속혼화지에서 혼화처리된 물을 직접 여과 장치로 유입시키는 직접여과방식과 혼화처리된 물을 체류시간 1시간 30분인 맥동식 침전지에서 침전 처리 후 침전처리수를 여과지로 이송하여 여과처리하였다. 직접여과방식의 여과처리수와 침전 여과처리수는 입도분석기를 통과시켜 수중의 입도분포를 여과시간 별로 측정 할 수 있도록 하였다.

Fig. 3.1은 본 실험에 사용된 처리공정 배치와 입도분석장치의 설치위치를 나타낸 것으로 혼화처리수가 파이롯트침전지로 유입전에 일부 혼화처리수를 간이여과장치로 흘러오도록 직접여과장치를 시설하였고, 직접여과 처리수는 여과지를 유출하자 곧 입도분석기로 전량유입시켜 수중의 입자분포를 실시간으로 파악하였다.

직접여과장치는 실제 여과되어 나오는 여과수의 탁도와 입도변화를 관찰하기 위해 하부집수부의 공간은 가능한 줄여 여과수가 하부집수부에서 머무는 시간을 짧게 하였다. 이는 여과지 역세척 후 여과초기 누출되는 탁도가 하부집수부에 남아있던 깨끗한 역세공급수와 혼합되면 순수하게 여과지의 초기 탁도 누출현상을 관찰 할 수 없어 하부집수부의 공간을 가능한 줄여 초기여과수의 탁도누출 현상을 파악하고자 하였다. 이에 반해 파이롯트 여과지는 하부집수부의 깊이가 60cm로 하부집수부의 공간에서 여과수가 머무는 시간이 8.6분 정도로 기존의 여과초기 누출되는 탁도와

하부집수부에 머물고있던 역세공급수와 회석되어 직접 여과지에서 누출되는 탁도를 측정하기 힘든 단점이 있다.

직접여과지의 여과지 세척은 매 여과실험이 끝날 때 마다 여과지 상부로 수도호스를 삽입하여 청정수를 주입하면서 여과지상부에서 하부로 수동으로 이동하면서 역세척된 물이 시각적으로 맑게 보일 때까지 세정하였다. 파이롯트플랜트의 여과지 역세척은 공기세척과 물세척이 가능하도록 되어있으며 일반적으로 여과지 세척시 공기를 먼저 주입한 후 여층에 역류된 역류물질은 여재에서 털어내고 이후 공기와 물을 이용하여 진동과 세정을 하고 최종적으로 물만을 이용하여 여재에서 탈리된 역류물을 씻어내는 형태로 진행된다.

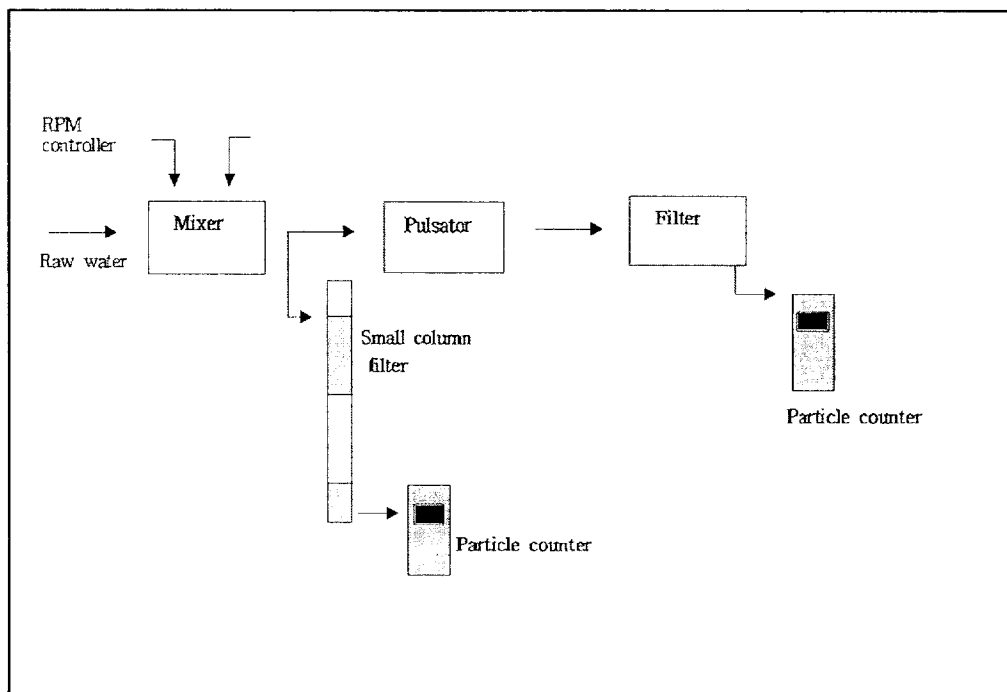


Fig. 3.1 Flow diagram and analyzer position

각 처리 공정별 운전 조건은 Table 3.1에 나타냈다. 급속혼화조의 치수는 가로, 세로가 각각 31cm이고 유효깊이가 60cm로 총 유효용량은 61L이며, 급속혼화조 내의 수류흐름은 아래에서 위로 흘러 옆으로 흐르는 up flow로 구성되어 있으며 혼화시간은 약 1.2분 정도이다. 직접여과지와 파이롯트여과지의 크기 및 여층깊이는 Fig. 3.2에 나타냈다.

Fig. 3.3에 나타난 각각의 지점은 응집제 주입지점별 따른 응집효율을 평가하기 위하여 응집제가 주입된 지점을 표시하였다. 또한 혼화강도에 따른 응집효과를 비교하기 위해 혼화기의 회전수를 가변시킬 수 있도록 하여 혼화에너지에 따른 응집조건도 조사하였다.

Table 3.1 Operating condition of processes

	Volume (ℓ)	Retention time (Min.)	Filter depth (cm)	Filtration velocity (m/day)	Effective size (mm)
Rapid mixer	61	1.2	-	-	-
Column filter	-	-	55	135	0.91
Pilot filter	-	-	80	100	0.91

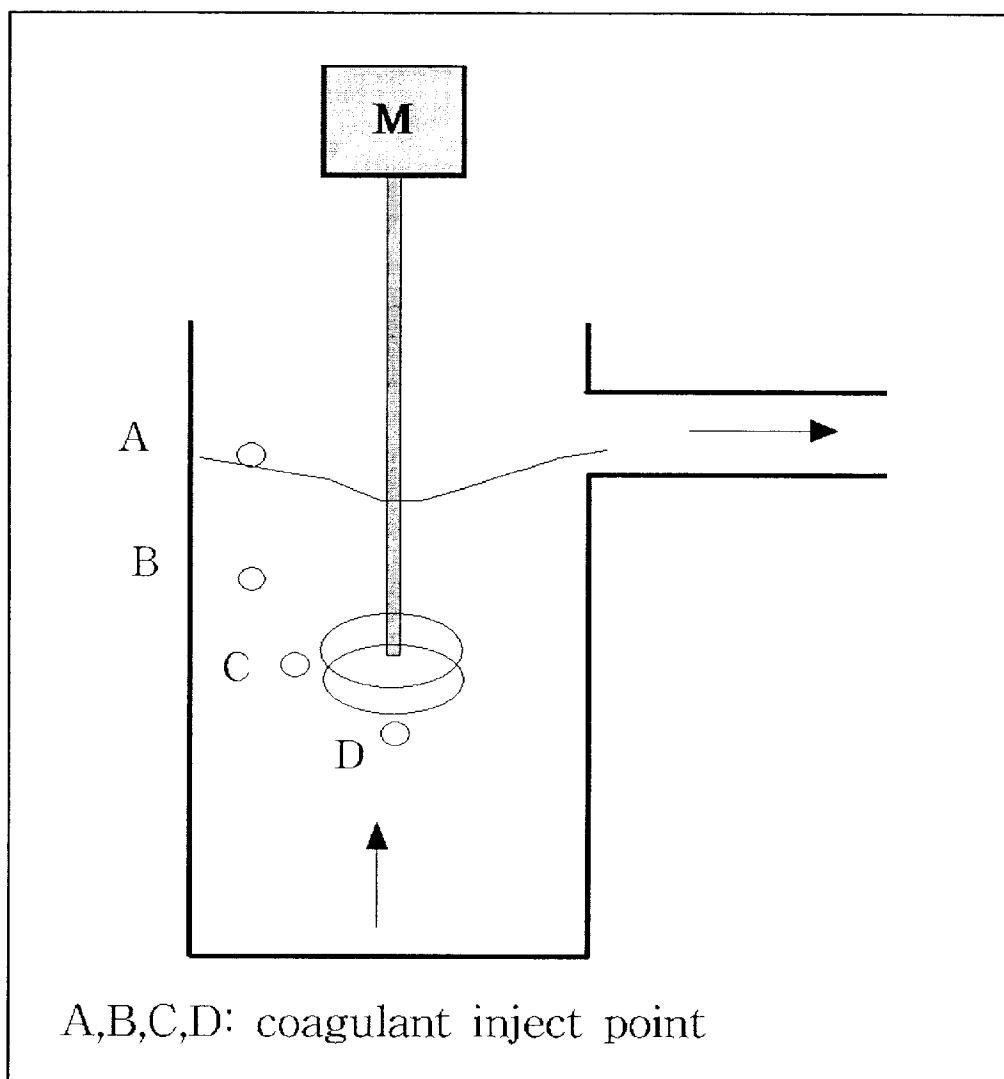


Fig. 3.2 Point of coagulant inject point in the rapid mixer tank

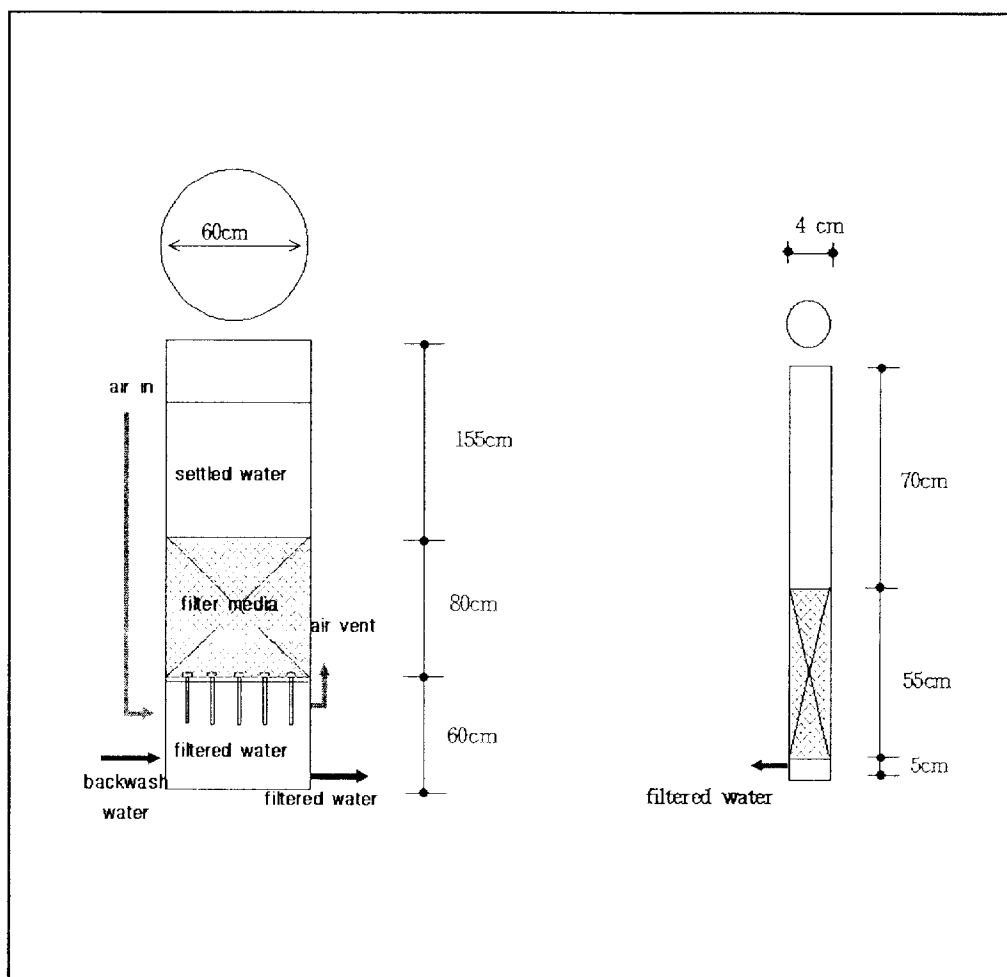


Fig. 3.3 Schematic drawing of pilot and direct filter

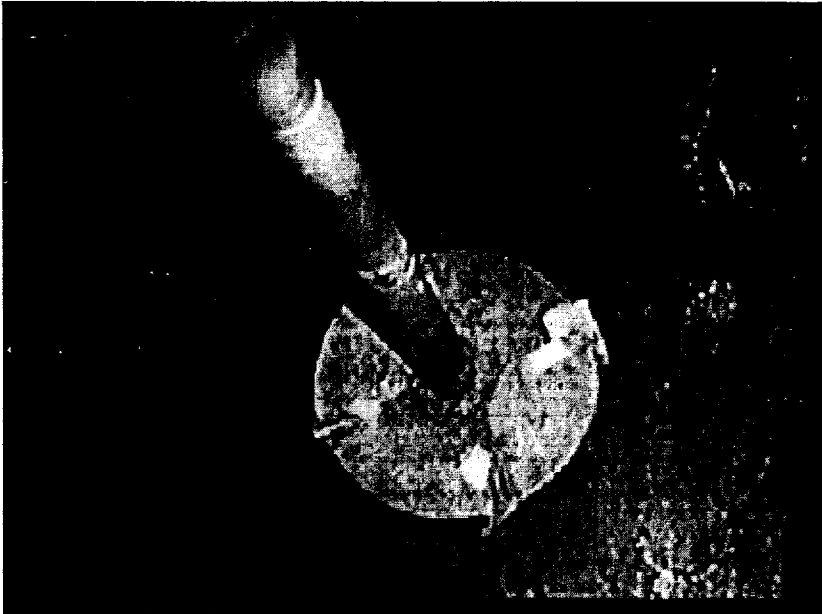


Fig. 3.4 The impeller of in rapid mixer tank

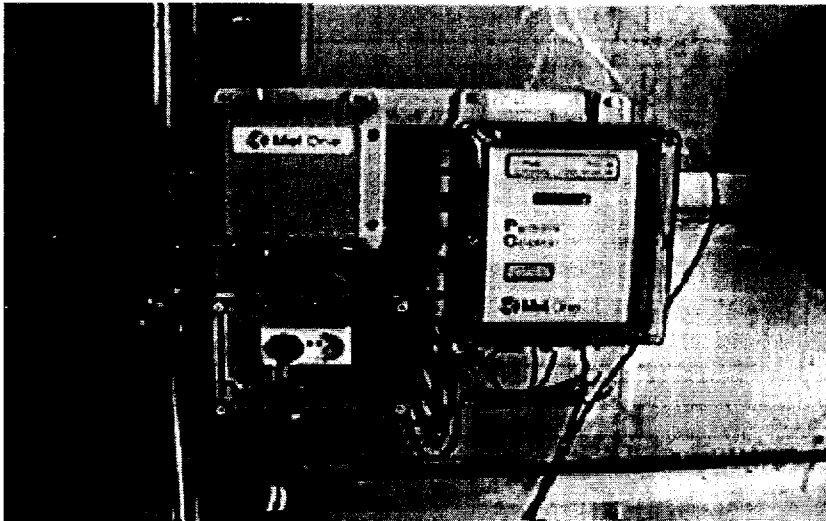


Fig. 3.5 Particle counter on site



Fig. 3.6 Direct filter on site (in rectangular)

Fig. 3.4~3.6은 본실험에 사용된 급속혼화지의 혼화기, 현장에 설치된 입도분석기 및 직접여과지의 모습이다.

3.2 분석조건

입도분석기의 수중입도 분석원리는 Fig 3.7과 같이 입자를 보유하고 있는 물이 1mm의 좁은 통로인 측정지역(Photozone)를 지나가는 동안 레이저 진공관으로부터 발생된 레이저가 연속적으로 물속으로 투과되면 반대편의 스크린에 입자들의 그림자가 생기는데, 이 그림자에 의해서 전위를 발생시켜 입자의 크기와 개수를 측정하게 된다. 입자분석에 사용된 입자의 측정 크기는 $2\mu\text{m}$ 이상, $3\sim 5\mu\text{m}$, $5\sim 7\mu\text{m}$, $7\sim 10\mu\text{m}$ 4종류로 분류 측정하였다.

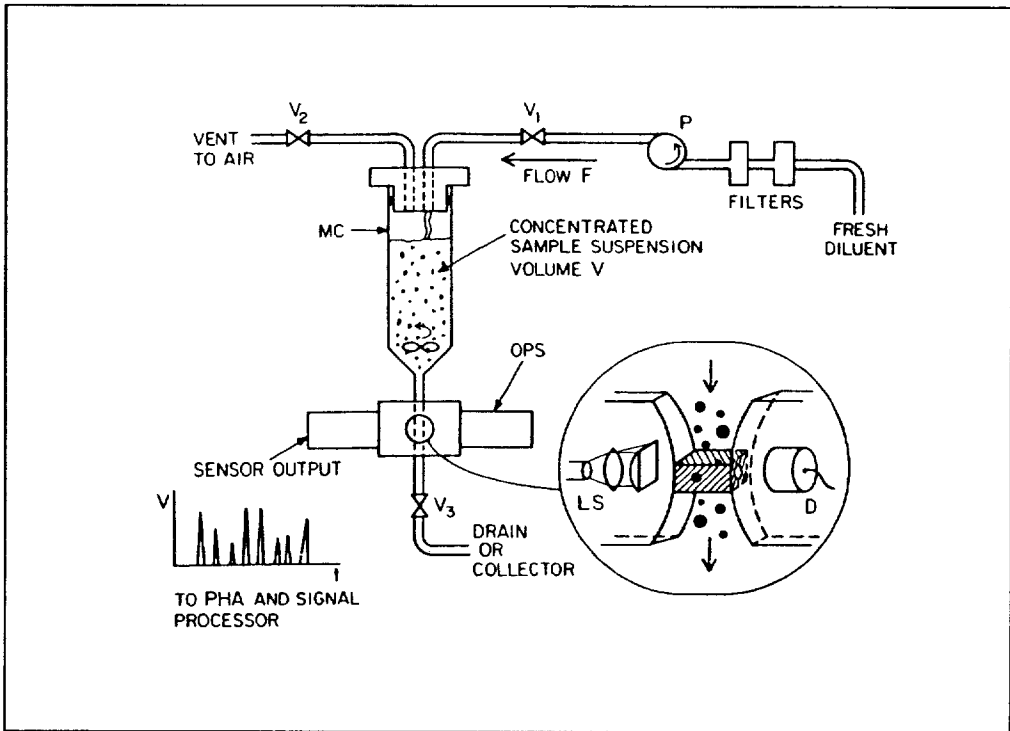


Fig. 3.7 Schematic diagram of particle counter system

Table 3.2 Analytical methods and instruments

Item	Unit	Analytical method and instruments
Jar-test	-	Jar-tester (Phipps & Bird, Model 7790-500)
pH	-	pH-Meter (ORION, model 420A)
Particle Counter	-	Met One
Turbidity	NTU	Turbidity-Meter (HACH, 2100AN)
Alkalinity	mg/L	수질공정시험법

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 여과지역세

여과지는 유효입경이 0.91mm인 모래가 깊이 80cm로 구성되어있으며 하부집수장치는 스트레이너 타입으로 되어있고, 집수장치하부에 공세 및 수세장치가 설치되어있다.

여과지 역세는 일반적으로 공세와 수세를 병행하는데 먼저 공기세척, 다음으로 공기와 수세척, 최종적으로 수세척으로 여재에서 탈리된 역류물을 씻어내게 된다.

A. Amirthrajah는 역세공기와 물의 비율을 적절히 유지해 collapse pulsing을 이용하는 역세방법을 제안하여 효율적인 역세를 유도하였다.

공기세척의 장점은 여재를 격렬하게 흔들어줌으로써 여재에 붙어있는 역류물을 탈리시키는 작용을 하고, 또한 슬리지끼리 엉켜 붙어 큰 입자로 진행되는 Mud Ball의 형성을 억제할 뿐만 아니라 형성된 Mud Ball도 깨는 역할도 한다.

그러나 초기 공기세척 시 불과 수초정도만 전여층의 여재를 진동시키는 역할을 할 뿐이며 그 이후는 공기세척만으로는 여재에 붙어있는 역류물의 탈리에는 아무런 영향을 미치지 못한다.

이와같은 이유는 여과지 하부집수장치 내에있는 여과수가 초기 공기세척을 위해 주입되는 공기량 만큼 여과수가 여층상부로 올라가면서 여재를 격렬하게 진동시키게 되기 때문이다.

계속공기가 주입되어 여과지 하부집수부의 스트레이너 밑부분까지 공기가 충전되어 여층으로 올라갈 수 있는 물이 없으면 그때부터는 여과지 내를 공기만 흘러들어가 여층의 교란을 전혀 시킬 수 없게 된다.

여과지 하부집수장치를 볼 수 없는 경우 여층상부의 물에 공기가 격렬하게 올라오는 것을 보면 여과지가 매우 심한 교란을 일으키고 있는 것으로

로 착각하게 되나, 실제로는 전혀 교란이 없고 공기만 낭비하는 결과를 일으키게 된다.(Fig. 4.1)

즉, 여과가 완료되어 역세하기 전에 여과지내의 물은 Fig. 4.1(a)와 같이 하부집수장치 부분에 물이 가득 차있으나 공기세척을 하면 Fig. 4.1(b)와 같이 하부집수장치에 공기와 물의 자리바꿈으로 스트레이너 하단부분까지 공기가 가득차고 이부피 만큼 물세척이 이루어진다.

본 연구에서는 10초 정도의 공기세척 후 공기주입을 차단하는 방법으로 수회에 걸쳐 여과지 상부 물의 탁도변화를 조사하였는데 여과지에서 탈리된 역류물이 많을수록 여과지 상부의 탁도는 높아지게 된다.

공기를 주입한 후 공기를 차단하여도 Fig. 4.1(b)와 같이 여과지하부 집수장치부의 공기압력으로 인하여 여과지 내의 물의 움직임이 정지된다. 따라서 하부집수장치부의 공기변을 열어주면 공기가 빠져나가면서 여과지내의 물이 하부집수장치로 이동하게되는데 여과지하부에 물이 다시 차면 공기변을 닫고 다시 공기세척을 약 10초간 실시하여 여층의 유동이 없을 때 공기주입을 중단하고 다시 공기변을 여는 방식으로 수회 반복 실시하면서 여과지 상부수의 탁도를 조사하였다.

공기세척 횟수의 증가에 따라 여재에서 탈리된 역류물의 증가로 여층내의 탁도가 증가되었다. Fig. 4.2는 공기세척횟수에 따른 여과지 상부의 탁도를 나타낸 것으로 공기세척의 증가에 따라 상등수의 탁도도 증가해감을 알수 있다.

공기세척후 하부집수장치의 공기 압력을 배출시키기 위해 공기변을 열 어줄 때 여과지에서 탈리된 역류물이 하부집수부에 내려와 하부집수부의 탁도 수백 NTU까지 올라가 여과처리수를 오염시킬 수 있으므로 공기변을 열어 공기를 배출시킬 때는 상부여과지의 물보다는 역세척수로 보충하는 것이 옳을 것으로 생각된다.

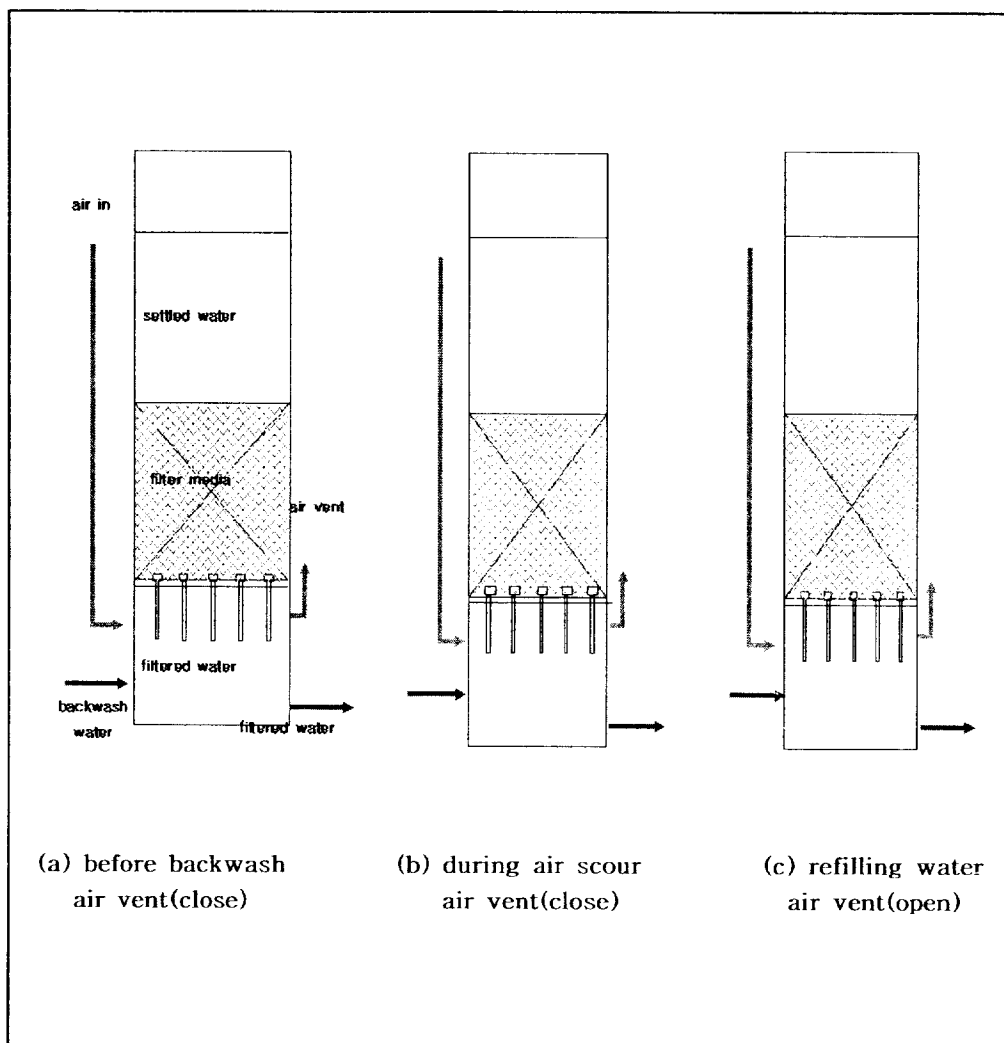


Fig. 4.1 Level of water in the underdrain of filter during air scour

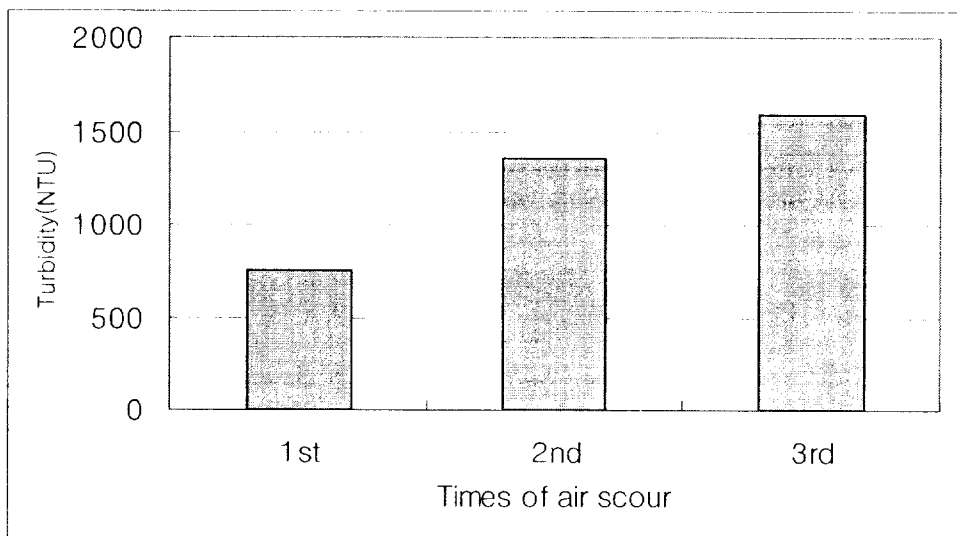


Fig. 4.2 Turbidity over the filter media with times of air scour

4.2 여과지 역세후 여과 초기 탁도 변화

여과지의 주 역할은 침전 처리되지 못한 미세 입자를 최종적으로 제거시켜 맑고 투명한 물을 생산하는데 있다. 일반적으로 여과가 어느정도 진행되면 여과지 내에 제거된 미세입자들의 누적으로 인해 여재와 여재사이의 간격(공극)이 줄어들어 여과가 어렵게 되어 여과지 역세척을 행하게 되는데 역세척후 여과지가 안정 될 때까지 초기 몇분에서 몇십분 동안은 높은 탁도의 여과수가 나오는 것으로 알려져 있다.

지아르디아나 크립토스포리디움등은 여과지에서 충분히 제거될 수 있는 크기의 미생물이나 여과지가 안정되지 않은 역세후 초기여과수에서는 누출가능성이 높아질 수 있다.

2004년 7월부터 지아르디아의 경우 급속여과에서 2.5 log(99.65%)제거가 이루어져야하는데 이를 위해서는 여과수 탁도가 역세후 여과개시 시점부터 여과가 끝날 때까지 항상 0.5NTU이하를 유지해야한다. 일반적으로 여과지가 안정되어 정상적인 여과가 될 때는 0.5NTU이하를 유지하는 것이 큰 문제가 아니라 여과지 역세척 후 여과초기 약 30분에서 1시간 가량은 여과지의 물리화학적인 탁질억류능이 낮아 탁도의 누출이 발생된다. 따라서 초기 여과수의 처리에 신중을 기해야 하는데 일반적으로 초기 여과수 탁도가 안정을 찾을 때 까지 여과수를 버리다가 요구되는 수준의 여과수 탁도에 도달하기까지 기다리는 방식이었다. Fig. 4.3에 여과지 역세후 초기여과수의 탁도와 입도 분포를 여과시간별로 조사한 결과를 나타냈다.

Fig. 4.3의 direct filter과 pilot filter의 차이는 여과지 하부집수부의 유무로 direct filter은 여과지 집수부가 없이 여과된 물은 바로 빠져나가게 되어있으며, pilot filter는 하부집수부의 크기가 여과 10분 정도를 집수할 수 있는여과지 하부 집수공간이 있는 여과지이다. 여과시간별 탁도변화를 나타낸 Fig. 4.3의 직접여과지는 여과지 하부집수부가 없어 바로 여과개시 초기 여과처리수의 입도 및 탁도 분포를 알 수 있어 여과지의 초기 여과

경향을 직접 파악하기가 쉽다. 역세 후 여재 공극에 남아있던 탁질물질들이 여과 초기 3분경에 누출되어 탁도가 1 NTU정도 높게 나타났으나, 약 여과 5분 경에 공극내의 탁질입자들 대부분이 여과지를 빠져나가 여과수 수질이 안정을 되찾아 0.3NTU 정도로 떨어졌다. 즉, 여과지에서는 약 5분의 여과시간에 충분한 안정을 찾는 것으로 조사되었다. S. Suthaker 등은 역세후 여과지의 안정단계를 여과 탁도가 감소하는 시점이라고 하였는데 본 실험에서는 약 5분이면 안정단계에 진입하는 것으로 생각된다.

이에반해 파이롯트여과지는 여과지 하부집수부의 크기가 9분 정도의 여과수를 집수 할 수 있는 공간이 있어 여과 초기에는 이 부분에 0.2NTU 역세척수에 의해 깨끗한 물이 집수되어 있으나 여과개시 이후 여층에서 누출된 탁질물질에 의해 하부집수부의 물이 여과지에서 누출된 탁질물질에 의해 회석되어 조금씩 탁도가 증가되는 현상이 나타났다. 따라서 하부 집수 장치를 통해 정수지로 이송되는 단계에서 여과수 탁도를 측정하는 경우 역세척수와 여과초기 누출된 탁한 여과수의 회석에 의해 탁도가 낮은 것이므로 여과초기 여과지에서 하부집수장치로 누출된 탁질물질의 관리에 대해서 신중을 기해야 할 것으로 사료된다.

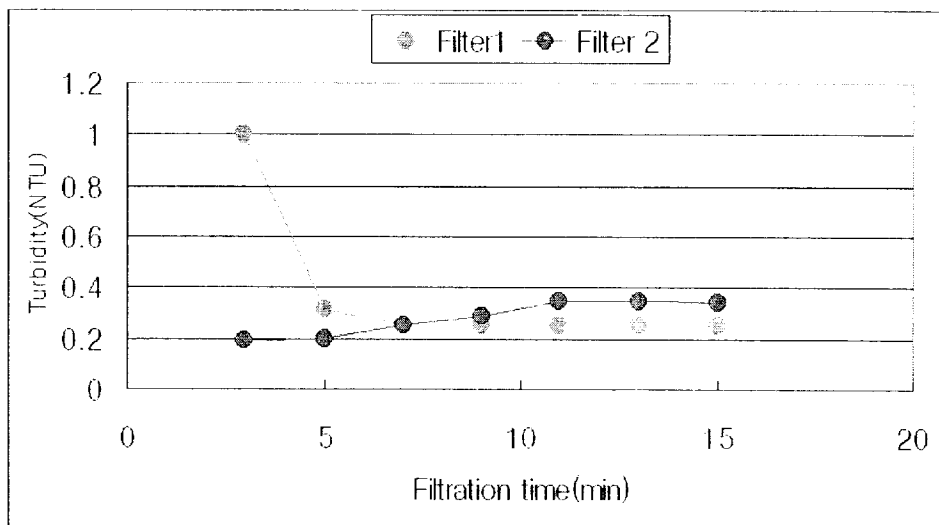


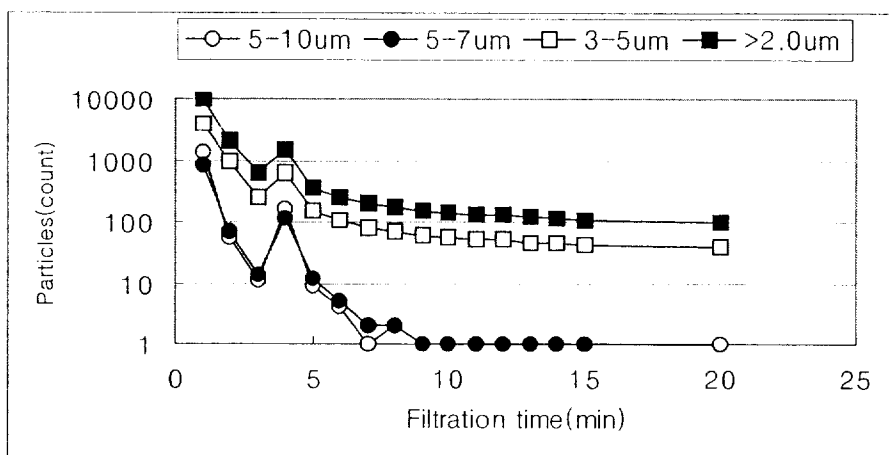
Fig. 4.3 Filter effluent turbidity with filtration time

Fig. 4.4는 여과지속시간에 따른 직접여과지와 파이롯트여과지 유출수 중의 입자의 크기분포 변화를 1분 간격으로 측정한 결과를 지수그래프로 나타낸 것이다. 직접여과지에서 여과개시 이후 3분까지는 입자수가 감소하다가 4분 경에 조금 증가 후 계속 감소하는 경향을 보였다. 특히 입자크기가 $5\mu\text{m}$ 이상은 여과 7분부터 거의 제거되어 여과 처리수중에는 거의 나타나지 않았으나, $5\mu\text{m}$ 보다 작은 크기의 입자는 여과시간 6분부터 서서히 감소되어갔다. 직접여과지는 하부집수부의 공간이 매우 적어 하부집수부에서 여과처리수가 머무르는 시간이 거의 없어 직접여과지에서 누출되는 입자수를 측정하면 실시간적으로 여과지의 여과 성능을 바로 평가할 수 있으므로 실질적인 직접여과지의 여과지 성숙상태는 여과시간 약 6~7분 이후부터로 이후부터는 정상적인 여과지의 성능이 발휘하는 것으로 판단할 수 있다. 그에 반해 하부집수부가 있는 파이롯트여과지의 경우 초기 여과시간 6분까지는 입자수가 증가하는 경향을 보였고 그 이후 점차 감소해갔다. 초기 여과처리수 중의 입자수가 증가하는 현상은 앞의 직접여과지와는 달리 파이롯트여과지는 여과수를 약 9분 정도 체류시킬 수 있는 하부집수부가 있어 여과지 역세척 후 하부집수부에 남아있던 역세척수에 초기여과수에서 충분히 여과되지 못하고 누출되는 입자들이 혼합되고 혼합된 물은 여과지를 빠져 나오는 이러한 현상이 연속적으로 이루어지면서 점차 여과지 집수부에서 빠져나가는 물속의 입자수가 점점 줄어들게 된다. 따라서 하부집수부가 있는 여과지는 상부 여재에서 충분한 여과성능을 발휘할지라도 하부집수부에 입자를 포함하는 남아있는 동안은 정해진 수질기준 아래로 수중의 입자수가 줄어들 때 까지 계속 여과수를 배출시키는데 소요되는 시간이 많이 필요함을 알 수 있다.

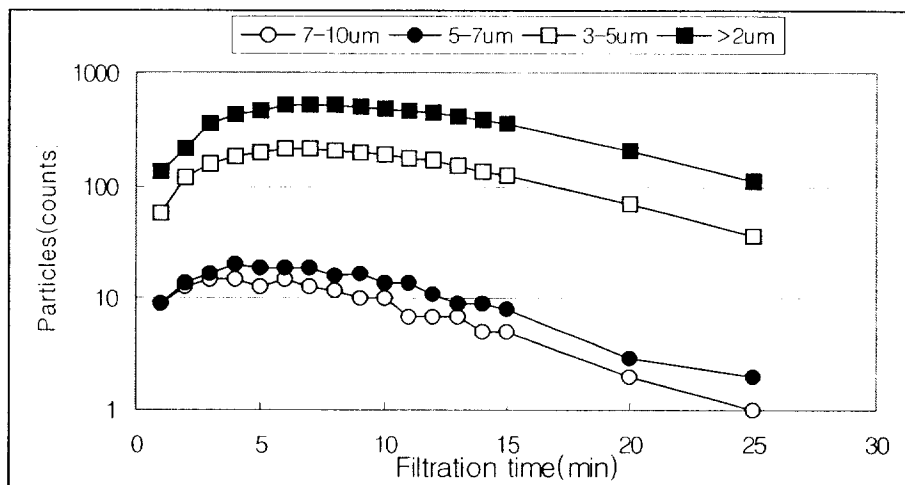
앞서 탁도의 경우도 이와같이 비슷한 이유로 나타나는 현상으로 설명할 수 있다. 원생동물인 지아르디아의 경우 크기가 $10\sim15\mu\text{m}$ 정도이고, 크립토포리디움은 $3\sim7\mu\text{m}$ 크기인 점을 고려하면 지아르디아는 여과지에서 충분히 제거 될 것으로 기대되지만 크립토포리디움의 경우는 역세후 충

분한 여과시간이 필요할 것으로 보인다.

또한 탁도와 입도분포 변화를 상호 비교해 보면 입자의 수가 감소하지만 탁도는 증가하는 현상을 보이는데 이러한 현상을 바탕으로 수중의 탁도만으로는 원생동물에 대한 수질의 안정성을 평가하기가 어려울 것으로 보인다. Bridgeman등의 연구에서도 탁도와 수중입자간의 관계가 일치하지 않는다고 하였다.



(a) Direct filter



(b) Pilot filter

Fig. 4.4 Particle size distribution of filtered water with filtration time

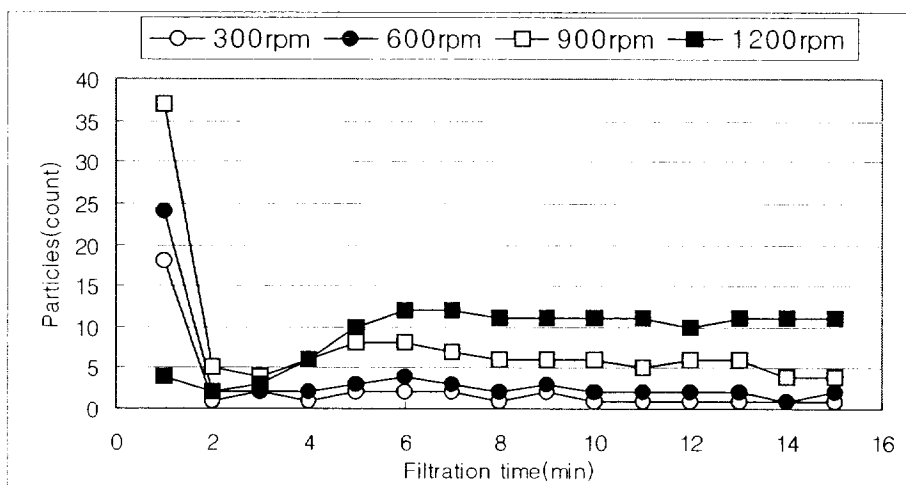
4.3 직접여과평가

응집 후 침전지를 거치지 않고 바로 여과지에서 탁질입자를 제거하는 방법을 직접여과라고 하는데, 본 연구에서 직접여과 방법을 통하여 응집 및 여과조건을 평가하였다.

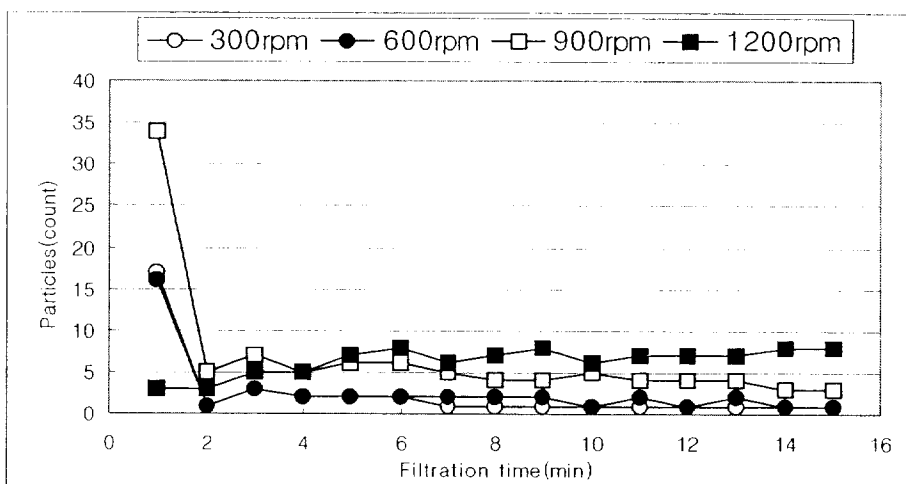
최근에 혼화강도 높여 순간적인 혼화를 유도하면 응집제 주입률 절감 및 응집효율 개선이 되는 것으로 많은 문헌에서 보고되고 있다.

Fig. 4.5는 혼화강도 변화에 따른 $2.0\mu\text{m}$ 이상, $3\sim5\mu\text{m}$, $5\sim7\mu\text{m}$, $7\sim10\mu\text{m}$ 여과처리수 입자들의 입도분포 변화를 나타낸 것으로 입자크기에 관계없이 급속혼화 강도에 따라서 여과지에서 유출되는 입자수가 다르게 나타났다. 급속혼화기의 임펠러 회전수를 300rpm, 600rpm, 900rpm, 1,200rpm으로 변화시켜 혼화강도를 달리하여 혼화 후 바로 직접여과시킨 결과 임펠러의 회전수를 300rpm 과 600rpm로 조절하여 혼화 시키면 입자 크기에 관계없이 여과지에서 거의 비슷한 정도의 누출 입자수를 보였고, 회전수를 900rpm, 1,200rpm으로 혼화강도를 증가시키면 회전수 300rpm, 600rpm으로 혼화시킨 경우에 비해 여과지에서 추출되는 입자수가 증가하였다. 따라서 혼화강도가 300rpm에서 1,200rpm 사이에서는 혼화강도가 약할 수록 여과처리수 중에서 유출되는 입자수가 적었고, 혼화강도가 커질수록 여과처리수 중의 입자수가 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 상대적으로 입자크기가 큰 $5\sim7\mu\text{m}$, $7\sim10\mu\text{m}$ 입자의 경우 900rpm에 비해 1,200rpm으로 혼화 에너지를 증가시킬수록 여과지에서 유출되는 입자수의 증가 양상이 더욱 뚜렷하게 나타나고 이러한 현상은 큰 입자로 갈수록 더욱 뚜렷하였다.

이러한 이유로는 일정한 혼화시간(1.2분)에 혼화강도가 커지면 초기 주입응집제와 수중의 탁질입자와의 전하중화 반응은 빨라지나 전단력에 의해 큰 입자로의 성장이 어려워져 여과지에서 누출되는 입자수가 많아지는 것으로 생각되며, 혼화강도를 약하게 할수록 전하중화 반응은 늦어도 여과처리수 중의 입자제거에 유리한 조건이었을 것으로 보인다.

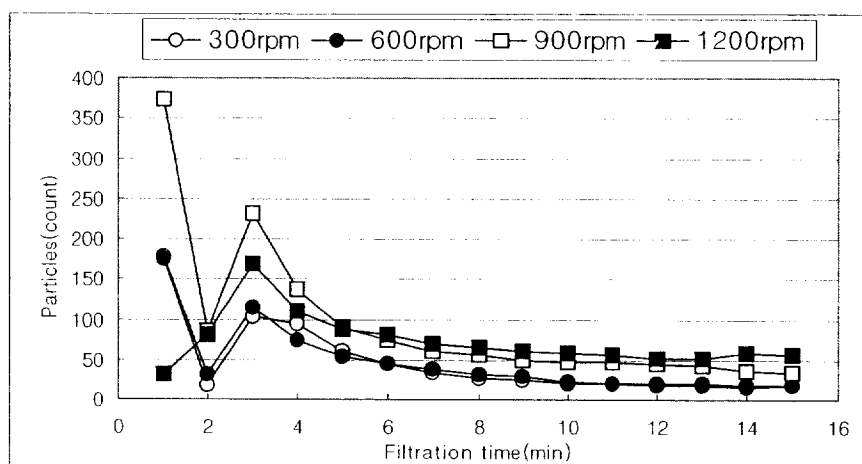


(a) 7~10 μ m

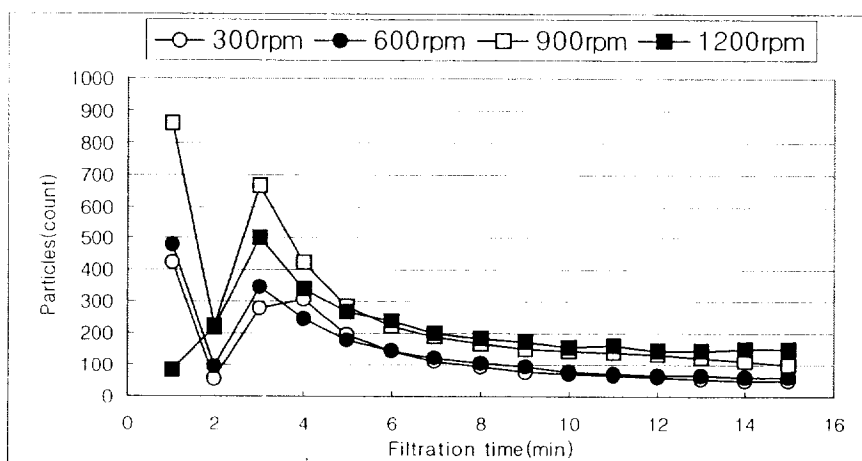


(b) 5~7 μ m

Fig. 4.5 Particles distribution of filtered water with mixing energy (continue)



(c) 3~5 μ m



(d) >2 μ m

Fig. 4.6 Particles distribution of filtered water with mixing energy

Fig. 4.7은 응집제주입률 변화에 따라서 직접여과지에서 반응하는 여과 현상을 파악하기 위해 여과수중의 입자크기별의 수의 증감현상을 나타낸 그림으로 여과 초기에 응집제 주입률 60mg/L으로 주입하면 여과수중의 5~10 μ m 크기의 입자수는 2~4개 정도이고 3~5 μ m입자수는 20~30개 정도를 유지하였다. 이후 여과시간 100분경 여과지를 역세척 후 응집제 주입률을 80mg/L로 변화시켰을 때의 입도분포를 응집제주입률을 60mg/L로 주입한 것과 비교하면 5~10 μ m 크기의 입자는 여과지에서 거의 제거되어 여과수중에는 거의 나타나지 않았으며, 3~5 μ m, 2 μ m이상의 크기입자들도 응집제주입률을 60mg/L로 한 경우에 비해 훨씬 작은수의 입자가 여과처리수중에 존재함을 알 수 있었다. 여과시간 약 190분 경에 응집제주입률을 다시 60mg/L로 감소 주입시킨 결과 여과시간 220분경의 여과처리수 중의 입자수가 다시 조금 증가하는 현상을 나타내고 있어 응집제 주입률을 줄이면 다시 여과수중의 입자수가 증가하는 것을 알 수 있었다.

앞의 여과 초기 응집제 60mg/L와 비교해 후반에 응집제를 60mg/L로 주입한 경우 여과수중의 입자수가 상대적으로 작게 나오는 이유는 응집제를 60mg/L주입전의 80mg/L로 주입했을 때의 여과지 영향이 남아있기 때문으로 판단된다.

이는 적정 응집제주입률 범위 내에서는 응집제 주입율이 증가함에 따라서 여과수 중의 입자수가 감소하는 것을 알 수 있다.

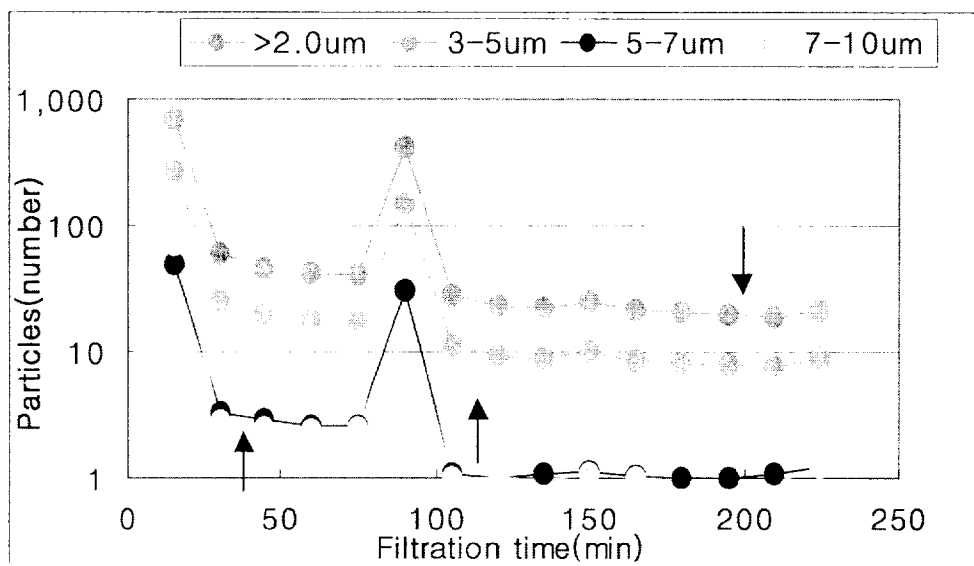
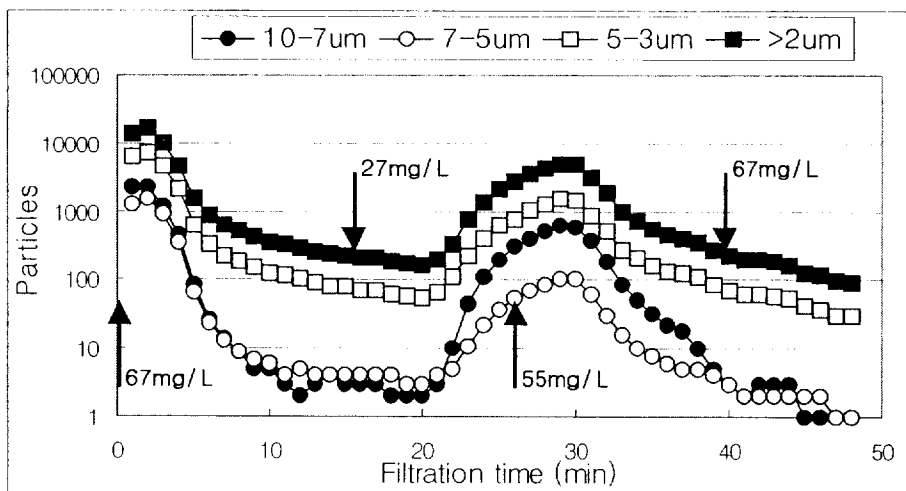


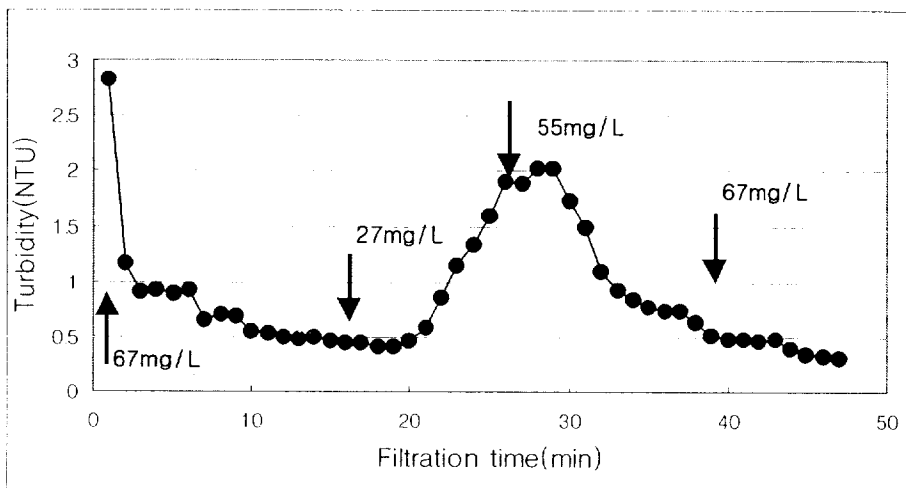
Fig. 4.7 Particles distribution of filtered water with coagulant dose

Fig. 4.8도 응집제주입률의 변화에 따른 직접여과 처리수 중의 입도분포와 그때의 탁도 변화를 나타낸 것으로 여과초기 67mg/L의 응집제 주입 약 10분까지 급격히 여과처리수가 개선되었고, 10분 후부터 여과수 중의 입자수가 비교적 낮고 안정적으로 검출되었다. 이때 여과수의 탁도도 0.5NTU이하로 나타났다. 이후 16분 경에 응집제주입률을 27mg/L로 줄인 결과 약 6분 후인 21분부터 여과수중의 입자수와 탁도가 급격히 증가하기 시작하였다. 응집제를 감소시키자 바로 여과수가 악화되지 않고 약 6분 후인 21분부터 탁도 증가가 발생하는 이유는 응집제주입률을 67mg/L로 했을 때 안정화되어 있던 여과지가 응집제의 감소로 여과지의 안정화가 불안정화 되기까지 이전응집제의 영향이 남아있으므로, 약 6분 정도의 지체시간이 소요되었던 것으로 보인다. 여과시간 36분 경에 응집제 주입률을 다시 55mg/L로 증가시킨 결과 약 4분 후부터 다시 여과지의 안정화로 여과수중의 입자수와 탁도가 감소하였고, 약 39분 경에 응집제주입률을 67mg/L로 더 증가시킨 결과 주입 후 약 4~5분 후 입자수와 탁도가 더욱 감소하였다.

이상의 결과에서 직접여과지를 이용하면 응집제주입률의 변화에 따라서 10분 이내 여과수질을 파악 할 수 있어 응집제주입률의 적정여부를 판단하는 지표로 사용할 수 있는 좋은 장치로 생각된다.



(a) particle



(b) turbidity

Fig. 4.8 Particle and turbidity distribution of filtered water with coagulant

Fig. 4.9는 응집제주입율 변화에 따라서 입도분포 변화를 1분 단위로 비교한 것으로 초기 응집제 주입률이 20mg/L일 때 약 여과시간 5분 후에 5 μ m 이상의 입자는 대부분 제거되는 것으로 나타났지만 5 μ m 이하의 입자는 수심에서 수백개 정도 여과지를 통과하는 것으로 나타났고, 이후 12분경에 응집제주입을 중단한 결과 중단 약 5분 후부터 입자가 다시 증가하는 현상이 나타났다. 다시 19분경에 응집제주입율을 40mg/L로 증가시킨 후 입도변화를 관찰 한 결과 응집제 주입 약 7분후에 다시 안정을 찾았고, 이후 37분경에 다시응집제주입을 중단 후 입자의 증가 현상이 나타났다. 또 다시 응집제 주입률을 60mg/L증가시킨 결과 여과수 중의 입자수가 감소해 갔고 또한 응집제 주입율 증가에 따라 여과수 중의 입자수도 감소하는 현상이 나타났다.

이상의 결과 직접여과 장치를 이용하면 여과처리수의 수질예측이 신속·가능할 것으로 판단되며 최종 여과처리수의 수질안정성 평가를 위한 시설로 사용이 가능 할 것으로 판단된다.

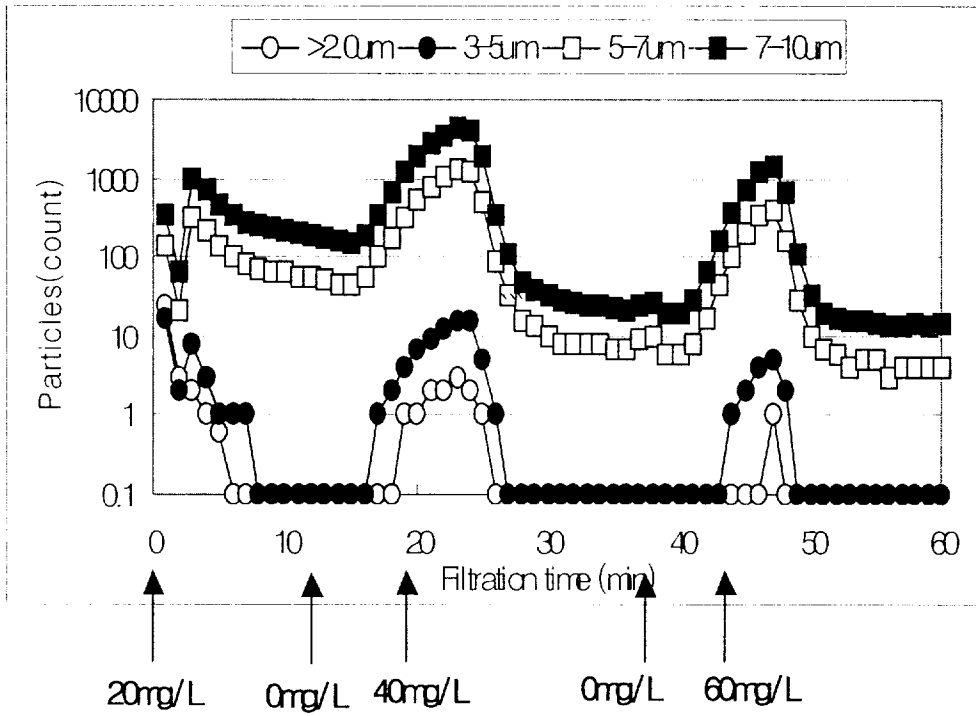


Fig. 4.9 Particles distribution of filtered water with coagulant dose

4.4 응집제 주입위치에 따른 여과수의 입도변화

일반적으로 급속혼화의 조건은 순간 속도구배를 1000sec^{-1} 정도로 1초이내 혼화하는 것이 가장 이상적인 것으로 알려져 있고, 이를 위해 응집제 주입위치는 혼화기 주위에 주입하는 것이 중요하게 인식되어 왔다. Fig. 4.10에서 혼화초기 여과지 세척 후(70분)에 응집제 주입 위치를 혼화지의 수면과 혼화기 사이에 한 경우와 이후(135분)주입위치를 혼화기 바로 밑에 주입한 경우와의 입도 분포차이가 거의 없었으며, 응집제 주입율을 약 330분 경에 60에서 40mg/L 로 줄인 후 응집제 주입 위치를 표면으로 바꾸었을 때 주입 위치 변경전후의 입도 분포변화가 거의 없고 단지 응집제 주입율 차이에 의하여 $5\mu\text{m}$ 이상의 입자들 수가 증가하는 현상이 나타나 응집제 주입위치에 따른 변화도 거의 없었다. 이는 혼화기의 혼화시간이 1.2분으로 충분한 혼화시간을 유지하기 때문인 것으로 사료되며, 이는 Chichuan 등의 연구 결과와도 일치하였다.

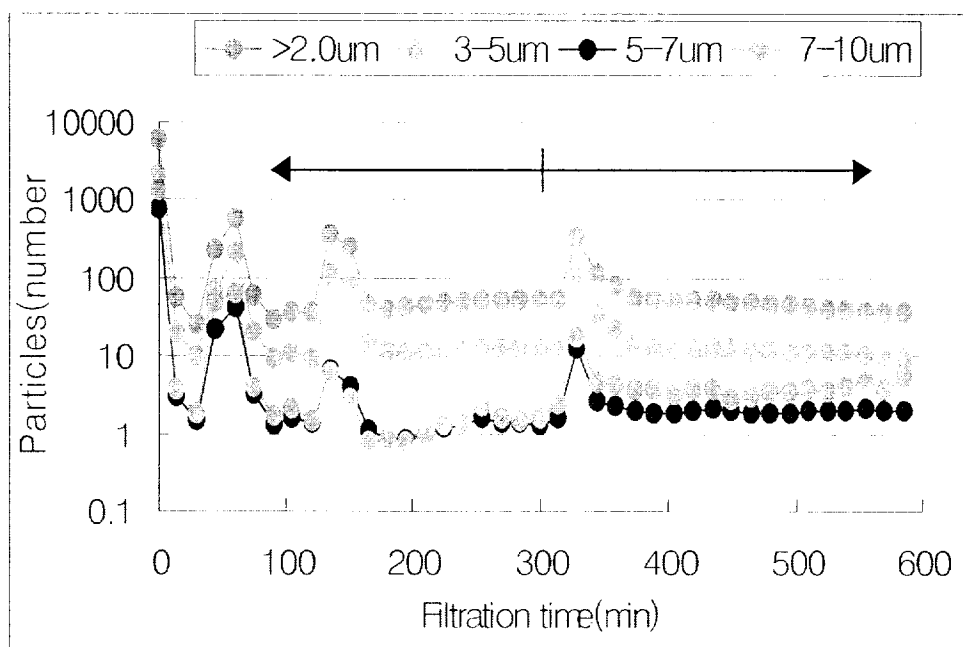


Fig. 4.10 Particles distribution of filtered water according to the coagulant injection point

제 5 장 결 론

혼화 후 여과처리를 하는 직접여과를 통하여 혼화지의 조건에 따른 여과처리수 중의 탁도와 입도분포를 조사한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 여과지 역세척 초기에 사용하는 공세척의 효과는 하부집수부에 꽂차있는 여과수가 공기압에 의해 하부집수부의 물이 여과지 상부로 올라가 수초간 여재를 교란시킬 수 있으나, 하부집수장치부의 물의 수위가 스트레이너 하단까지 낮아지면 더 이상 공세만의 효과는 없었다.
- 2) 여과지 역세척 후 초기 여과수 탁도는 정수기준치인 0.5NTU 이하로 나타났고 여과지의 안정은 2~3분 이내였다.
- 3) 하부집수부가 있는 여과지는 역세척 후 여과 초기에 누출된 입자 및 탁도가 기존의 집수부에 있는 물과 혼합되어 여과지가 안정화되어도 하부집수부에 누출된 모든 입자성물질이 빠져나갈 때까지 시간이 소요되었다.
- 4) 응집제 주입위치에 따른 여과수의 입도변화는 거의 없었고, 혼화강도가 클수록 여과수에서 누출되는 입자수가 많았다.
- 5) 여과처리수중의 입자제거에 가장 직접적이고 크게 영향을 미치는 인자는 응집제 주입율이었다.

참고문헌

Amirtharajah, A. and Miller, K.M. Rapid mixer design for mechanics of alum coagulation. J. AWWA, 74, 4, (1982)

Amirtharajah, A. and O'melia C.R., : coagulation processes ; Destabilization, Mixing, and Flocculation" Water Quality and Treatment, Pontius, F. W.(ed), Mc Graw-Hill, New York, pp. 269~365, (1990)

Amirtharajah, A. M.M. Clark, and R.R. Trussell, eds. Denver, CO :American Water Works Association Research Foundation.

Amirtharajah, A., Optimum backwashing of sand filter jour. Enviro. Eng. ASCE, 104, pp. 917~931 (1978b)

Amirtharajah A., Trusler,S.L.: Destabilization of particles by turbulent Rapid Mixing, jour Envir. Eng. ASCE 112:1085 (1986)

Bersillon, J. L., Brown, D. W. and Fiessinger, F. and Hem, J. D., Studies of Hydroxy-aluminum Complexes in Aqueous Solution. J. Res. U. S. Geol. Survey. 6(3) : 325~337, (1978)

Bertsch, P. M. Conditions for Al_13 polymer formation in partially neutralized aluminum solutions, Soil Sci. Soc. Am. J., 51, pp. 825~828, (1987)

Black, A.P., Destabilization of dilute clay suspensions with labeled polymers, J.AWWA, 57:12:1547, (1965)

Bridgeman J., Simms J.S., Parsons A. Practical and theoretical analysis of relationships between particle count data and turbidity, AQUA, pp. 263~271, (2002)

Camp T.R., Stein P.C. : Velocity gradient and Internal work in fluid motion", Boston Soc.Civil Engr., Vol. 30, pp. 219~239, (1943)

Camp, T. R. & Stein, P.C., Velocity Gradients and Internal Work in Fluid Motion. Jour. Boston Soc. Civil Engrg., 30:10: 217, (1943)

Chichuan K., Chihpin H., Jill R. P., Coagulation of high turbidity water : Effects of rapid mixing, AQUA. pp. 77~85, (2002)

Clark, M.M., Sriavstaava, R.M., David, R., : Mixing and Aluminum precipitation, Envir. Sci. Tech.27:2181, (1990)

Cleasby, J.L., Approaches to a filtrability Index for granular Filter J. AWWA, 61, 372, (1969a)

Edzwald, J. K.: Coagulation in drinking water treatment : particles, organics and coagulants, Wat. Sci. Tech., 27:11:21, (1993)

Fuller G.W., The purification of Ohio river water at Louisville, Kentucky, Van Norstrand, New York, (1898)

- Kawamura, S. Design of basic treatment process units. In integrated design and operation of water treatment facilities, John Wiley & Sons, Newyork, (2000)
- Matsui, Y., Yuasa, A., Furuya, Y., Kamei, T., :Dynamic analysis of coagulation with alum and PACl, jour. AWWA, 90:11:96 (1998)
- O'melia, C.R. and Stumm, W., Theory of water filtration, J AWWA, 59, 1393, (1967)
- Regan M.M., Amirthrajah A., Optimization of particle detachment by collapse pulsing during air scour, In. Proc. of the 1984 Annual Conference Denver, Co., AWWA, pp. 769~784, (1984)
- Rock G.G., K.A.Dostal, R.L.Woodward, studies of modification in water filtration, J.AWWA, vol56, no. 2, pp. 198, (1964)
- Suthaker S., Smith D.W., Stanley S. J., 1998, Optimization of filter ripening Sequence, AQUA, pp. 107~118, (1998)
- Tambo, N. et al. Aquatic humic substances : Influence on fate and treatment of pollutants. In humic substance removal by coagulation ACS, Washington D.C.
- Van Benschoten, J.E. Edzwald, J.K.: Chemical aspects of coagulation using Aluminum Salts- I :Hydrolytic reactions of Alum and Poly-aluminium Chloride, Water Res., 24:1519(1990)

환경부, 기존정수장 효율향상기술(3차년도 연차보고서), (1999)

환경부, 정수장 자동측정설비의 정도관리방안 수립을 위한 연구(중간보고서), (2002)

감사의 글

남들 보다 늦게 시작한 토목의 길에 조금이나 도움이 되고자 선택한 대학원 진학이 벌써 2년 6개월이 지난 지금, 뒤를 돌아보면 더욱더 노력했으면 하는 아쉬움이 남습니다만, 이렇게 논문을 발표하게 되어 참으로 감개무량합니다.

그리고 시외에 위치한 현장과 바쁜일과 등으로 수업에 참석하기는 어려웠으나, 저에게 많은 관심과 지도 편달을 하여주시고 논문이 완성되도록 물신양면으로 지원해주신 지도교수님이신 손인식교수님께 진심으로 감사드립니다.

토목공학이라는 학문과 인격을 더욱더 성숙할 수 있도록 길을 인도하여 주신 김종수교수님, 장희석교수님, 이종섭교수님, 이영대교수님, 김명식교수님, 김수용교수님, 정진호교수님, 이환우교수님, 정두회교수님, 국승규교수님, 이상호교수님과 저의 논문을 심사하여 주신 이종출교수님과 이동욱교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 바쁘신 와중에도 저의 논문을 위해 밤늦게까지 도움을 주신 김상구 박사님과 정인주 박사님께 진심으로 감사드리고, 논문을 함께 준비한 박기태, 곽영업, 남상수님께도 감사드립니다.

대학원 진학으로 다소 회사의 업무에 지장이 있었으나, 이를 이해하여 주신 (주)양진종합건설과 (주)시이피의 박종옥사장님과 송후석전무님, 박진태소장님과 이현소차장님을 비롯한 회사동료여러분께 감사드리고, 협성종합건설의 김규완차장님과 최기열대리님께 감사드립니다. 그리고 대학원에 몸담고 있는 동안 회사 업무와 다른 많은 일을 도와주신 김덕순님과 김현수님께도 감사 드립니다.

마지막으로 제가 이 자리에 있게 해주신 부모님께 머리숙여 감사

드리고, 대학원 진학에 결정적으로 도움을 주신 형님인 이준진과 형수님인 송귀선 그리고 조카인 이승두에게도 감사드립니다. 그리고 아버님 돌아가시고 홀로 뒷바라지를 해주신 어머님께 이 논문의 결실을 바칩니다.

2005년 6월 17일

이 준 범 드림