

제 10 장 여과지 수리특성 및 설계

오 건 주

10.1 서 론

정수방법은 간이처리방식, 완속여과방식, 급속여과방식으로 구분되며 1996년 12월말 현재 우리나라 정수장은 총 618개소이며, 관련 취수장은 810개소로 시설 용량은 하루 22,908천톤이며, 수원은 하천 표류수가 16,555천톤으로 전체수량의 72.3%, 하천 복류수는 1,605천톤 (7.0%), 저수지수는 4,286천톤(18.7%)이고 지하수는 462천톤으로 2.0%를 차지한다.

우리나라의 정수방식은 급속여과방식 93.1%, 완속여과방식 3.1%, 기타 3.8%이며 대부분의 정수장이 급속여과방식을 채택하고 있다. 급속여과방식은 약품침전지, 급속여과지, 소독시설로 구성되어 있고, 현탁물질을 약품처리에 의해 응집시켜 플록을 침전지에서 효율적으로 침전제거하고 다음에 급속여과지에서 여과제거하는 방식이다.

여과공정은 처리공정의 후단에 위치하며 유입수의 성상, 전처리의 정도, 여재층의 입도분포 및 구성, 여과속도 등에 따라 커다란 영향을 받게 되며 여과지의 최적화 설계 및 운전이 이루어져야 처리수의 수질 향상과 생산비를 절감할 수 있다.

최근의 여과공정은 *Giardia lamblia*(8~18 μ m), *Cryptosporidium*(4~6 μ m)과 같은 소독내성 원생동물에 의한 대규모 감염으로 그 중요성이 다시 부각되었는데 이들 병원체는 소독내성이 커 제거하기가 매우 어려우며, 이 병원체를 제거할 수 있는 방안은 소독이나 고도처리가 아닌 현재 운전중인 재래식 공정 특히 여과공정을 최적화하여 운전시킬 때 제거가 가능한 것으로 알려졌다. 현재 미국에서는 강화된 지표수 처리법(Enhanced Surface Water Treatment Rule)과 소독/소독부산물법(Disinfectants/Disinfection by-products Rule)에 의해 더욱 처리수의 수질이 강화되고 있으며 처리수의 탁도를 0.5NTU이하, *Giardia*는 99.9%(3log)제거를 요구하고 있

다. 이에 정수 처리수의 수질 감시를 기존의 탁도 감시이외에도 입자의 누출을 감시하기 위한 Particle Size Analyzer 등과 같은 다각도의 감시 기법들과 정수처리 공정의 최적화를 위한 SCD(Streaming Current Detector), Zeta Potential Meter, Pilot Filter 등의 최적화 기법들이 사용되고 있다.

본 장에서는 여과의 이론과 설계에 관련된 여과의 이론, 여과공정의 설계인자, 설계시 고려사항, 여과지 설계기준, 여과지 수리계산에 등에 관하여 기술하여 여과지 수리 특성의 이해와 설계에 도움이 되도록 하였다.

10.2 여과의 이론

10.2.1 여과의 개념

여과공정은 사층내에 처리할 원수를 유과시켜 여재에 의하여 처리원수에 포함되어 있는 불순물의 현탁입자를 억류시키는 공정을 일컫는다. 여과의 시초는 18세기말경 유럽전역을 휩쓴 장티푸스, 콜레라와 같은 유행성 전염병이 만연할 때에 여과를 행한 지역의 물을 마신 사람들이 여과처리를 행하지 않은 지역의 사람들보다 사망률이 낮음을 알고, 여과에 대한 연구가 활발하게 되었다. 공공수도수에 여과방식이 사용된 것은 1820년대 런던 첼시정수장에서 채택하였으며 이후 이와같은 여과방식을 완속여과라 칭하게 되었다.

완속여과방식은 사층 표면내에서 현탁입자를 억류하고 그 표면에 증식한 생물여과막에 의해 불순물들을 물리, 화학적 작용으로 제거하는 정수처리방식이다. 그러나 유입되는 원수의 탁도가 높거나 천연 착색성분을 가진 유입수에 대해서는 실효를 거두지 못하고 여과지를 자주 폐색시키게 되었다.

이와같은 이유로 19세기말경 미국 동부에서는 완속여과방식 이외의 다른 방식을 모색하게 되었고 오랜 실험연구 끝에 실용화된 방식이 현재 우리나라에서 많이 사용하고 있는 급속여과방식이다. 급속여과는 심층여과로 불리우기도 하며 완속여과가 사층표면에 의한 여과라면 급속여과는 약품처리된 1차 처리수가 사층 심층부에서 여재와 입자의 거동에 의한 메카니즘에 의해서 억류됨으로 1차 처리수내에 포함된 미세한 현탁입자가 제거하게 된다.

1993년 미동부 밀워키시에서 발생한 대규모 수질사고는 여과에 대한 중요성을 다시 한번 인식시키게 되는 기회가 되었는데 이 도시의 주민 40만 이상이 질병에 감염되고 120명 이상 사망한 사고를 발생시킨 주 원인은 4~18 μm 크기의 소독내성 병원체인 *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*과 같은 원생동물로 알려졌으며 이들 병원체는 소독에 내성이 커 제거하기가 매우 어려우며 일부 개체가 배수관망으로 빠져 나오게 되면 급격히 전 도시의 관망에서 번식하여 수도전으로 누출되게 된다. 이 병원체의 제거를 위한 가장 효과적인 방법은 여과지 및 전체 처리공정의 최적화 운전이 이루어질 때 제거 효과가 크다고 보고되고 있다.

10.2.2 여과의 메카니즘

초기 여과의 연구단계에서 여과의 메카니즘은 단순한 거름작용(straining)에 의해 불순물의 입자가 억류, 제거되는 것으로 생각되었으나 이후 급속여과방식의 유행과 함께 여과방식의 변화에 대해 여러 이론들이 발표되었다.

여과지내에서 부유물질의 제거는 수송(transport)과 부착(attachment)의 최소한 두가지의 독립된 단계를 거쳐 이루어지고 있으며 첫 번째 단계에서는 여재표면의 고-액 계면(즉, 여재 자체 또는 이미 여층내에 억류되어 있는 부유물질)의 바로 가까운 곳까지 부유입자가 수송되게 되며 두 번째 단계에서는 수송된 부유입자가 여재와 부착하는 현상을 말하는 것이다.

수송(transport)과 부착(attachment)의 여과 메카니즘은 입자의 물리적, 화학적 현상에 의한 거동을 말하는 것이며 이는 응집의 메카니즘과 유사하므로 응집공정과 여과공정의 메카니즘이 전혀 상이하지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 실제 정수장에서 여과공정의 전처리공정인 혼화, 응집, 침전공정이 여과공정과 연계성을 갖는다는 것을 알 수 있으며 전체 정수장 효율을 증가시키기 위해서는 각각의 공정이 독립적으로 운전되는 것이 아니라 상호 연계성을 갖고 운전되어야 한다는 것을 현장 근무자는 숙지하여야 한다.

가. 수송모델(transport model)

여재층을 통과하는 부유입자의 수송모델은 여재 중 한 개의 독립된 구형입자가 흐르는 물안에 고정되어 있다는 가정하에서 출발한다. 이 독립된 단독 입자를 포집자(collector)라 한다. 여층내의 여재입자의 바깥표면까지 수송하는 궁극적인 목표는 원수중의 부유입자를 포집하여 물에서부터 제거하는 것이다. 그리하여 물로부터 제거된 부유입자는 축적되며 이때 주흐름방향은 중력방향이다. 이 독립포집자는 부유입자의 궤적에 따라 차단(interception), 침전(sedimentation), 확산(diffusion)이라는 메카니즘에 의해서 여재의 표면에 수송되게 된다.

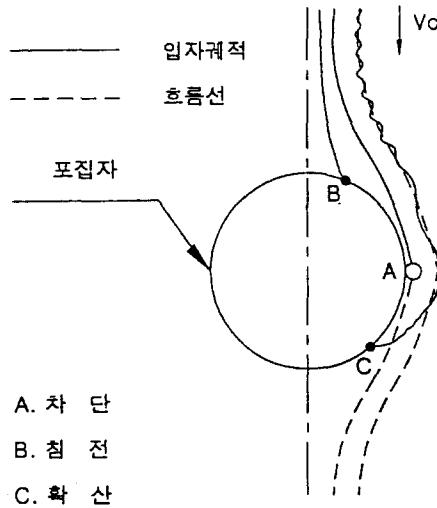


그림 10.1 여과공정에서의 기본적 수송메카니즘

(1) 차단(Interception)

부유물질이 그림 10.1의 A와 같은 궤적(trajectory)을 그리고 이동할 때 입자 자신의 크기와 위치때문에 입자가 여재에 부착하는 현상을 말한다. 일정한 여재의 크기에 대하여 탁질입자의 크기가 클수록 차단에 의한 제거영향은 커지게 된다.

(2) 침전(Sedimentation)

그림 10.1의 B의 경우에서 부유물질의 밀도가 물보다 크다면 입자는 중력장의 영

향에 의해서 다른 궤적을 따르게 되며 입자의 경로는 입자의 부유중량과 입자의 유체항력이 합해진 영향을 받게 된다. 이와 같은 수송공정을 침전(sedimentation)이라 일컫는다.

(3) 확산(Diffusion)

그림 10.1의 C의 경우는 유체중의 입자가 브라운운동(Brownian Motion)에 의해 임의의 방향으로 운동을 하게 됨으로 여재표면에 수송되게 되는데 이를 확산(diffusion)이라 말한다. 확산에 의한 수송은 입자가 $1\mu\text{m}$ 이하의 크기에서 확산에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

나. 부착(Attachment)

위의 수송모델에 의해서 여재 표면으로 수송된 부유입자들은 여재와 입자 사이에 작용하는 척력과 인력 등의 상호 작용에 의해서 여재에 부착되게 되는데 입자와 여재 사이에는 정전기적 반발력과 동시에 반델발스 인력을 갖고 있기 때문에 이때 정전기적 반발력의 장벽(barrier)을 인위적으로 낮추어 줄 수 있다면 부유입자들은 여재표면에 더욱 잘 부착되게 될 것이다. 이는 외국에서 여과보조제로 각종 이온계 폴리머를 사용하고 있는 실례에서도 잘 알 수 있다. 그러나 우리나라에서는 정수처리공정에서 폴리머를 발암물질로 규정, 사용할 수 없게 되어 있다.

(1) 표면 작용력(Surface interaction forces)

표면에 작용하는 물리, 화학적 성질에 따라 여재의 표면 작용력은 탁질 제거 효율에 상당한 영향을 미친다. 표면작용력에 대한 일반적인 가설은 정전기적 이중층 척력(double-layer repulsion)과 London-van der Waals 인력(attraction)이다. 그림 10.2에서와 같이 이중 이온층(double-layer)에서 표면 바로 위에 있는 평형이온층을 확산층이라 하는데, 이 확산층의 유효 두께는 용액 속의 양이온 총량과 입자 표면에 있는 음이온 총량에 따라 늘어난다. 이중층 척력은 같은 부호의 표면전하를 가진 두 개의 표면의 확산층(diffuse layer)이 뒤섞일 때 발생한다. 이 과정은 탁질입자가 여재로 접근하는 과정에 영향을 미치며, 용액속에서 입자간의 접근시에도 영

향을 미친다. 척력(반발력)은 표면에 가까이 접근할수록, 확산층의 뒤섞이는 범위가 커질수록 늘어난다.

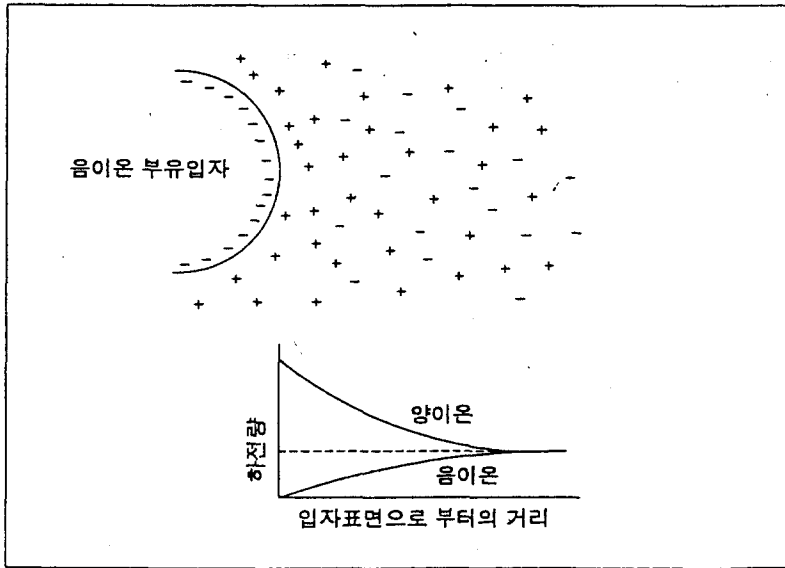


그림 10.2 탁질입자 표면의 정전기적 이중층

또한 내부흐름 모델에 의하여 여과공정에서 현탁물질(suspended particles)이 여재들 사이에서 제거되는 단계는 수송(transport)단계와 부착(attachment)단계 이다. 여과지 유입수에 포함되어 운반된 현탁물질은 다음 단계로 여재 표면에 부착된다. 부착단계에서는 표면작용력(surface-interaction forces)에 의해 영향을 받으며, 세부적으로는 정전기학적인 상호작용(electrostatic interaction)과 화학적 가교작용(chemical bridging) 및 흡착작용(adsorption)이 있고, 이의 정도를 결정하는 주요소는 탁질과 여재의 표면특성 및 용액의 화학적 성질에 따라 결정된다. 하지만 이 두 메카니즘 사이의 분명한 구분은 힘들다. 일반적으로 여과지에서는 크기가 큰 세균에 대하여는 여과가 가능하지만 크기가 작은 세균(viruses)제거를 효과적으로 하기 위하여는 반드시 혼화, 응집, 침전공정이 여과공정전에 있어서 위에서 설명한 작용들에 의해 세균이 제거될 수 있도록 하여야 한다. 이상에서 보면, 여과지 유입수에 포함되어 있는 탁질의 크기별 분포와 탁질입자의 물리적, 화학적 성질에 따라 여과

의 효율을 높이기 위하여는 여과지에서 사용되어야 할 여재의 크기, 종류, 깊이가 다르게 적용되어야 함을 알 수 있다.

점차 악화되는 원수의 수질 상황과 사용 약품에 따른 부산물의 증대 및 이의 악영향이 알려짐에 따라, 과거 단순히 탁도를 기준으로한 탁질의 제거에만 노력을 기울일 것이 아니라, 여재의 물리적 및 화학적, 특히 표면 화학적(surface chemistry)인 성질을 최대한 이용하여 여과에서 제거 가능한 탁질 및 부산물은 최대한 제거하도록 하여야 한다.

10.2.3 여과효율에 영향을 미치는 인자

1971년 발표된 O'Melia & Habibian의 논문에서는 여과에 영향을 미치는 인자인 탁질의 크기, 밀도, 온도, 여과속도 등에 대한 수치적(Numerical), 해석적(Analytical) 접근과 실제의 실험으로 여과공정에 영향을 정도의 정도를 알아보았다. 이 장에서는 여과공정에서 가장 제거하기 어려운 입자의 크기가 $1\mu\text{m}$ 정도라는 것을 알아내었는데 이는 최근에 최대 관심사로 나타난 Cryptosporidium과 같은 원생동물이 이 크기 근방에 속한다는 것을 볼 때 매우 흥미로운 사실이다. 또한 이 장에서는 여과공정에서 화학적 성질에 따라 여과효율이 차이가 크다는 것을 말하고 있는데 이는 여과보조제의 사용을 금지하고 있는 우리나라 현실을 다시 한번 고찰해야 되는 문제이다.

그림 10.3은 여과속도(V_0), 온도(T), 여재의 크기, 부유물의 밀도(ρ) 변화에 따른 부유입자의 크기와 독립포집자 접촉효율과의 관계를 그림으로 나타낸 것이며 여기서 한개의 여재입자 즉, 독립포집자의 접촉효율(η)은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{\text{입자가 포집자에 부딪히는 속도}}{V_0 C_0 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)}$$

여기서, V_0 , C_0 는 포집자 위쪽의 유속과 입자의 농도이다.

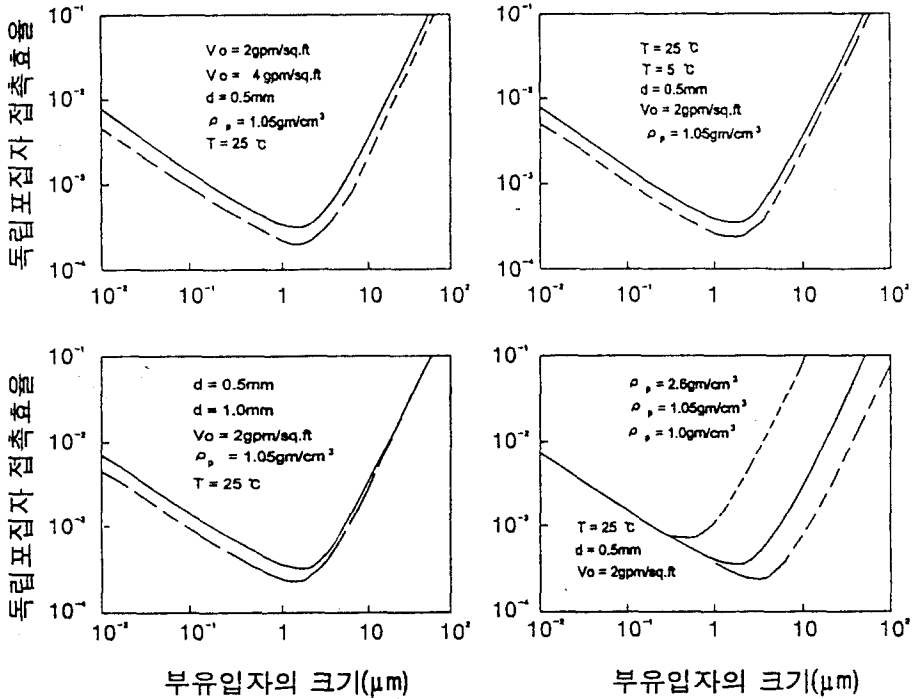


그림 10.3 여과속도(V_0), 온도(T), 여재의 크기(d), 부유물의 밀도(ρ_p)의 변화에 따른 이론적 모델의 독립 포집자 접촉 효율

가. 탁질입자의 크기

탁질의 크기가 바이러스성 물질의 크기($0.01 \mu\text{m}$ 정도)인 경우 브라운 운동이 탁질의 운반에 주로 영향을 미치게 된다. 만약 탁질의 입자가 $10 \mu\text{m}$ 정도로 커지는 경우에는 제거효율이 65% 정도로 떨어지며, 이때의 제거 메카니즘은 브라운 운동과 차단이 주가 되며 작기는 하지만 침전도 영향을 미치게 된다. 이 정도 크기에서는 동수역학적 감속(Hydraulic retardation)에 의한 영향은 미미한 정도이다. 탁질입자의 크기가 $1 \mu\text{m}$ 보다 큰 경우에는 차단이 주 요소이며, 브라운 운동은 거의 영향을 미치지 못한다. 탁질입자의 밀도가 유체의 밀도보다 큰 경우에는 침전도 중요한 고려요소가 된다. 급속여과지(0.5 mm 의 크기를 가진 여과사 깊이 60 cm , 여과속도 120 m/day)의 조건에서 물속에 있는 $10 \mu\text{m}$ 정도 크기의 원생동물(예: Protozoa, 특히,

Giardia cysts)에 대한 제거효율은 99.96%로서 상당히 높게 나타났다. 그러나 여재의 크기가 작은 입경에서부터 큰 입경까지 분포되어 있는 실제 여과지에서는 위의 제거율보다는 낮으리라 예상된다. 하지만, 탁질의 입자크기가 $20\mu\text{m}$ 이상의 크기에는 제거효율이 기하급수적으로 높아진다.

나. 탁질입자의 밀도

여과지 유입수내의 $1\mu\text{m}$ 보다 작은 입자에 대하여는 밀도에 의한 영향은 거의 없다. 만약 입자의 크기가 $1\mu\text{m}$ 보다 큰 경우에는 입자의 밀도가 클수록 침전속도는 커지게 되며 침전작용에 의한 제거효율은 높아진다. 입자의 밀도가 거의 1.0과 같아 침전속도가 없고 입자의 크기가 $10\mu\text{m}$ 보다 큰 경우에는 차단작용이 주요한 제거 메카니즘으로 작용한다.

다. 여과속도

여과속도의 범위가 120m/day 에서 360m/day 인 경우, $1\mu\text{m}$ 보다 큰 탁질의 제거효율은 여과속도를 올려도 그리 크게 줄어 들지는 않으며, 이때는 차단작용이 탁질의 운반에 주 영향을 미치며 여과속도가 커짐에 따라 크기가 작은 입자(바이러스성 물질)의 제거효율은 급격히 감소한다.

라. 여재의 크기

여재의 입자크기는 탁질입자크기의 전범위에서 상당한 영향을 미친다. 예를 들면, 여재의 크기가 0.5mm 에서 2.0mm 로 커지면 $10\mu\text{m}$ 정도 크기의 원생동물의 제거효율은 120m/day 의 여과속도에서 99.96%에서 35%로 떨어진다. 여재의 크기를 증가시키면 차단작용과 브라운 운동에 의한 영향을 감소시키는 결과가 된다. 또한 단위 깊이당 여재의 수가 줄어들어 탁질과 여재가 만날 기회를 줄이는 결과가 되어 제거효율도 따라서 줄어든다.

마. 여재의 깊이

여재의 깊이는 제거효율과 직접적인 비례관계가 있다. 보통 60cm 깊이의 여과지에서 제거효율이 99%라면, 120cm의 깊이에서는 제거효율이 99.99%가 된다.

바. 수 온

1 μ m보다 큰 탁질입자 제거에 대한 수온의 영향은 미미하다. 하지만, 1 μ m보다 작은 입자에 대한 제거효율은 상당한 영향을 미치게 되는데, 그 이유는 주 제거작용이 브라운운동에 의한 것이기 때문이며 수온이 내려가면 브라운운동을 감소시켜 입자의 제거효율을 떨어뜨린다.

10.3 여과공정의 설계인자

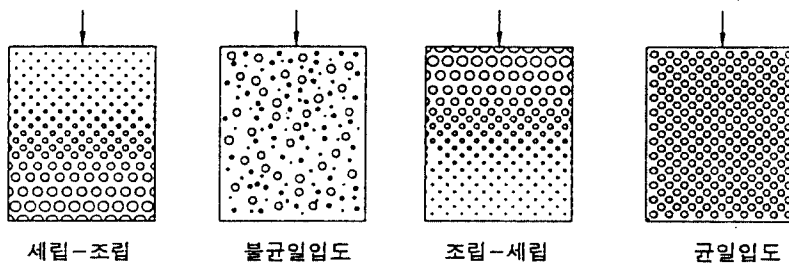
10.3.1 급속여과지의 개요

급속여과지는 원수 중의 현탁물질을 약품에 의하여 응집시키고 분리하는 급속여과 방식의 여과지를 총칭한다. 급속여과지에서는 원수중의 현탁물질을 응집한 후 입상층에 비교적 빠른 속도로 물을 통과시켜 여재에 부착시키거나 여층에서 체거름작용에 의한 탁질제거를 기대하는 것이므로 제거대상이 되는 현탁물질을 미리 응집시켜 부착 혹은 체거름되기 쉬운 플록으로 형성할 필요가 있다.

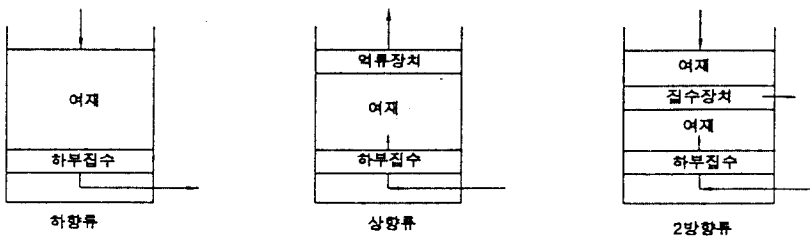
단위여과면적당 여재표면적은 여재 입경을 작게 할수록 역류효과가 높고 여층 높이가 낮아도 탁질을 역류할 수 있으나, 역류물이 특정 (표면) 여층에 집중되어 손실수두가 높아지므로 장기간 여과지속은 어렵고 얇은 여층에서 역류되는 탁질량은 한계가 있다. 이에 반해 여층 내부로 플록을 침입시켜 여층전체를 이용하여 탁질을 포착할 수 있는 여층을 사용하면 대량의 탁질을 여층내에서 역류할 수 있고 손실수두도 작다. 그러나 탁질 누출의 염려가 있으므로 지속적인 감시가 필요하다. 여과기능을 부담하는 여층의 두께에 따라 전자를 표면여과, 후자를 내부여과(체적여과)라 한다. 또 여층에서의 플록의 포착상태는 플록의 강도에 따라 달라진다. 일반적으로

탁질당 응집제량(ALT비)이 높은 플록은 강도가 낮고 일단 여재입자 표면에 부착되어 있어도 수류 전단력에 의해 파쇄되어 누출되기 쉽다. 한편, ALT비가 낮고 강한 교반으로 생성된 플록은 강도가 높고 잘 누출되지 않는다. 일반적으로 여재는 조대한 것과 미세한 것이 혼합된 입경 분포를 가지므로 역세척하면 미세한 여재가 위에 집적되고, 조대한 여재는 아래로 분배되는 경향이 있다. 그것을 모형적으로 나타내면 그림 10.5(A)와 같은 분포를 갖는다. 따라서 표층의 손실수두가 높아지고 여층내부의 역류용량을 충분히 이용하지 못한 채 여과를 중단하고 세척해야 한다. 여과지에 이와 같은 대량의 부하를 줄 수 없으므로 제탁을 강화하고 여과지의 부담을 줄이는 경향이 있다.

모래만을 여재로 하는 단층 여과지에서 이와 같은 단점을 완화시키기 위해서는 여재의 입경 분포 폭을 작게 하고, 또 입도를 크게 하여 표층에서 역류량의 집중을 줄이고, 더 나아가서 여층을 두껍게 함으로써 탁질의 누출을 지연시키는 연구가 필



A. 여재분포도



B. 흐름의 방향

그림 10.4 여재구성 A) 여재분포도 B) 흐름의 방향

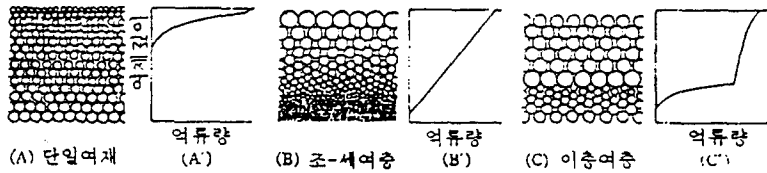


그림 10.5 여층의 입도분포와 탁질역류량의 분포

요하다. 이것은 내부여과의 장점을 약간 채택하는 것의 의미한다. 내부여과에서는 공극율이 큰 여재로 비교적 고속여과를 함으로써 플록을 내부로 침입시켜 내부에 역류시키는 것이나 플록의 침입이 지나치면 누출되기 쉬우므로 누출이 시작하기 전에 여과를 정지시킬수 있는 여과수 탁도의 연속감시 등 고도의 기술관리능력을 필요로 한다. 그림 10.5(B)와 같이 입경이 수류방향에 따라 점점 작아지게 여재구성을 만들면 고도의 탁도 제거능력과 대량의 역류기능을 함께 갖출 수 있다. 역세척의 경우에 이같은 여층구조를 유지하기 위해서는 상층보다 하층을 구성하는 여재의 침강속도를 크게 해야 한다. 이를 위해 하층에 밀도가 큰 여재를 사용해야 한다. 그러나 사용할 수 있는 여재의 종류는 한정되어 있으므로 여재의 입경이 상부에서 하부로 향하여 연속적으로 작아지는 급속여과지는 아직 실현되지 못하고 있다. 조립층에서 세립층으로 물이 흐르게 하는 여과지의 형태로 밀도가 다른 복수의 여재를 이용한 다층여과가 있다. 실제로 많이 이용되는 것은 모래위에 안스라사이트를 넣은 이층여과로 탁질의 역류를 모래에 비해 입경이 크고 밀도가 작은 안스라사이트층에서 하고, 억제기능을 모래층에서 각각 분리하여 실행하는 것이다. 이 입경분포는 그림 10.5(C)와 같은 것이 바람직하다고 생각된다. 일반적으로 단층여과에서 그림 10.4(B) 흐름의 방향에서와 같이 상향류로 여과하는 방법(상향류 여과)은 조립에서 세립으로 고르게 입경 변화되는 여층에 의한 여과가 가능하나, 여층의 팽창에 따라 탁질이 누출되기 쉬운 경향이 있고 세척시에 세척배수가 여과지내에 잔류할 염려가 있다. 또, 일부에 이런 방식을 취한 것으로 여층 상부와 하부에서 원수를 유입시키고 여층 중앙부에서 처리수를 집수하는 상하향류여과가 있으나 상향류여과와 동일한 문제가 있다.

또한, 여과지는 정수처리공정에서 탁질을 제거하는 최종단계에 있으므로, 다음

과 같은 기능을 필요로 한다.

- 완전한 탁질제거 가능
- 탁질의 양적 억류기능
- 수질, 수량의 변동에 대한 완충기능
- 충분한 세척기능

여층 내의 탁질억류 상태는 유입 플록의 성상과 양, 여층의 구성, 여과속도, 여과지속시간 등에 따라 달라지므로 세척방식은 이러한 것들을 통합하여 설계하여야 한다. 급속여과지는 급속여과방식이라는 종합적인 고액분리 시스템의 일환이므로, 시스템 전체에서 여과기능에 해당하는 탁질 제거 부하와 완충능력(부하변동 흡수)에 대응하여 설계하여야 한다. 즉, 정수시설의 계획에 맞는 원수수질, 특히 탁도에 대해 고려하고 침전 및 여과에 대한 양적·질적 부하와 여과수 안전확보를 위한 여유를 계산하여 그 결과로 여과지에 부과된 기능을 만족시킬수 있는 설계가 되어야 한다. 여과지 설계에서 선택할 수 있는 주요한 항목은 여재입경, 여층두께를 포함한 여층의 구성, 여과속도와 그 조절방식, 여층의 세척방식과 세척빈도 등이다. 이들은 상호간에 밀접한 관련을 갖고 있으므로, 그 선택시 전체적인 조화가 유지되도록 고려하여야 한다.

10.3.2 여과면적과 지수 및 형상

급속여과지의 여과면적과 지수 및 형상은 다음 각 항에 의한다.

가. 여과면적은 계획 정수량을 여과속도로 나누어 구한다.

나. 지수는 예비지를 포함하여 2지 이상으로 하고 10지를 넘을 때는 지수의 1할 정도를 예비지로 설치하는 것이 바람직하다.

다. 1지의 여과면적은 150m² 이하로 한다.

라. 형상은 직사각형을 표준으로 한다.

필요 지수는 다음 계산식으로 계산할수 있다.

$$N = 2.0 Q^{0.5}$$

여기서, N : 여과지 지수

Q : 일최대 처리량 (만m³/일)

10.3.3 여과유량 조절

어떤 형태의 여과지이든 침속여과지에서는 여과유량을 조절하는 기구를 구비하지 않으면 안된다. 여과를 지속하면 여층에 탁질이 억류됨에 따라 여층내의 유로 단면적은 감소하고 투수성이 낮아진다. 따라서, 여층의 상류측 수위와 하류측 수위, 즉 여층에 걸리는 압력차가 일정하면 여층의 폐쇄에 따라 여과유량은 서서히 감소한다.

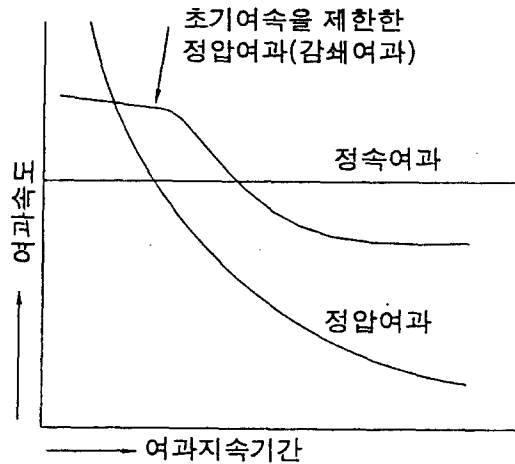
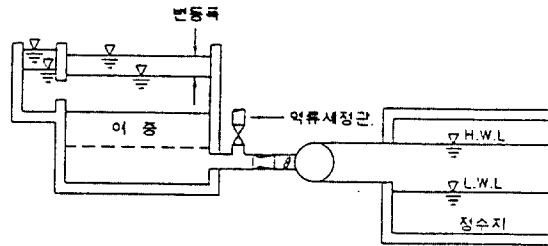


그림 10.6 여과속도와 시간변화

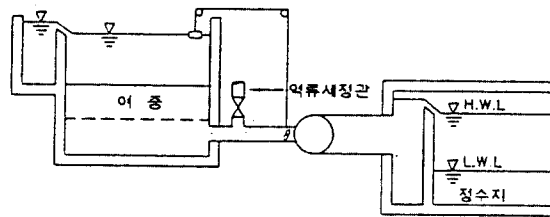
시간경과에 따라 여과유량이 변하는 유량조절방식을 정압여과, 유입유출량을 수리적 또는 기계적으로 조절하여 여과유량을 일정하게 하는 방식을 정속여과라고 하며 양방식을 그림으로 표시하면 그림 10.6과 같다.

정압여과에서는 여과초기에 여과속도가 매우 커져서 원수유입량 및 여과수 수질관리에 지장이 있으므로 여과속도의 상한을 어느 한도(여과속도에 의한 탁질누출이 발생하지 않는 한계속도)로 억제하고 어느 정도의 여과속도로 저하할 때 까지 여과를 지속하는 감쇄여과방식으로 정압여과를 운영하는 것이 바람직하다. 정속여과에서는 여과지 유출부에 유량계 또는 수위계로 제어되는 유량조절밸브를 설치하여 기계적으로 여과속도를 조절하는 방법과 유입량을 일정하게 하는 weir 수리구조를 여과지 유입부에 설치하여 여과지 손실수두에 따른 여층상부 수심을 점차 증대

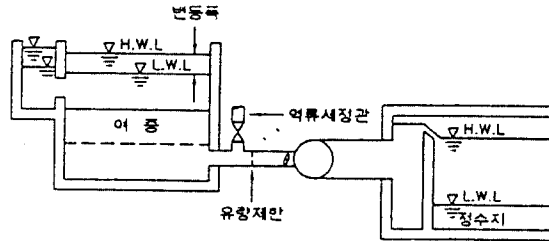
시켜 수리적으로 여과유량을 자동적으로 일정하게 하는 정속여과방법이 있으며 후자를 자연평형형이라고 한다. 즉 여과유량조절방식에는 정압여과에서 감쇄여과방식 1가지와 정속여과에서 유량제어형과 수위 제어형, 자연평형형 등 3가지 방식이 있다 (그림 10.7 참조). 일반적으로 광범위하게 사용되고 있는 것은 정속여과이다.



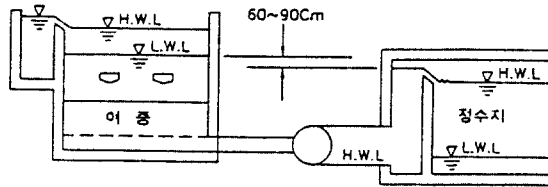
유량 제어형
(유량계 및 유량조절밸브)



수위 제어형
(유입량조절, 수위계 및 유량조절밸브)



감쇄 여과
(유입량조절 없음, 유량조절밸브 없음, 오리피스만)



자연 평형형
(유입량 조절, 유량조절밸브 없음, 역류세정관 없음)

그림 10.7 기본적인 여과제어 방식 (Water Treatment-Principle & Design by J.M. Montgomery, Consulting Engineers, Wiley, New York, 1985. 인용)

10.3.4 여과속도

여과의 속도는 여과지의 효율, 시공 및 유지관리의 경제성에 영향을 크게 미치며 여재의 구성에 따라서도 달라지게 된다.

가. 단층여과지

일반적인 단층여과지(여과공정전에 응집, 플록형성 및 침전 공정 수반)는 낮은 탁도의 침전수를 항상 일정하게 공급받는다. 가장 바람직한 여과속도는 침전수의 수질과 여층의 특성에 좌우된다. 우리나라의 상수도 시설기준을 보면 표준여과속도는 120~150m/day로 규정하고 있는 반면 외국의 문헌을 보면 단층여과지에서의 여과속도의 범위는 매우 광범위하게 분포되어있다. 다음의 표1은 외국문헌과 우리나라 상수도 시설기준에서의 여과속도를 나타낸 것이다.

표 10.1에서 알 수 있듯이 단층여과지에 대하여 여과속도는 최고 720m/day까지 가능한 것으로 나타났으며 이러한 수치들은 오랜 기간 pilot 혹은 plant scale 실험을 통해 얻은 결과들이므로 수치들에 대한 신뢰도에 별 문제될 사항이 없다고 알려졌다.

나. 이층·다층여과지

선진 외국에서는 지속적인 연구와 실험을 통해 이층 및 다층 여과지에 대하여 높은 속도에서도 잘 운전될 수 있다는 결론을 내렸다. 일반적으로 이층여과지에 대하여 210m/day정도의 속도로 운전될 경우 단층여과지에 비하여 여과지속시간을 연장할 수 있으며 역세척 빈도를 줄일 수 있다. 여기서 주목할 사항은 여과수의 수질이 결코 악화되지 않는다는 점이다. 다음의 표 10.2는 단층여과지와 다층여과지의 여과성능을 plant scale로 실시한 실험을 통해 비교한 것이다.

일반적인 단층여과지에 대한 이층 및 다층여과지의 장점은 다음과 같다.

1) 빠른 여과속도

빠른 여과속도는 총 여과면적을 감소시킬 수 있다.

- 2) 긴 여과지속시간
- 3) 기존의 단층여과지를 이층여과지로 바꿈으로써 낮은 비용으로 여과용량을 증가 가능
- 4) 탁질 역류량 증가

표 10.1 여과속도의 문헌조사

참 고 문 헌	여과속도(m/day)	
	단층	이층 · 다층
상수도 시설기준 (한국수도협회, 1997. 12)	120~150	240 이하
Water Treatment Principles and Design (James M. Montgomery, John wiley & Sons, 1985)	720까지 가능	210~480
Water Treatment Plant Design for Practicing Engineer (Robert L. Sanks, Ann Arbor Science, 1979)	115~346	173~230
Water Clarification Processes Practical Design and Evaluation (Robert E. Hudson, Jr., Van Nostrand Reinhold Company, 1981)	120~300	-
Water Quality and Treatment (Frederick W. Pontius, AWWA, 1990)	120~600	360
Integrated Design of Water Treatment Facilities (Susumu Kawamura, John wiley & Sons, 1991)	120~180	360
Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment	120~354	260~345
Criteria for the Renovation or Replacement of Water Treatment Plants (AWWARF, 1990)	120~240	-
Surface Water Treatment for Communities in Developing Country (Christopher R. Schulz & Daniel A. Okun, 1984)	120~504	240~360

표 10.2 모형실험 결과치

여재	원수	진처리	평균 여과속도 ($m^3/m^2 \cdot day$)	평균 운수탁도 (NTU)	적용탁도 (NTU)	평균원수탁도 (NTU)	평균 여과 지속시간(hr)	최종 손실 수두 (m)	역재빈도(%)
단층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	120	NR	4.9	0.28	45	2.4	2.11
다층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	120	NR	4.9	0.24	63	2.4	3.15
단층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	230	NR	6.3	0.35	19	2.4	1.62
다층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	230	NR	6.3	0.29	24	2.4	2.11
단층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	350	NR	4.5	0.45	10	2.1	2.93
다층	하천수	혼화 (A), 응집, 침전	350	NR	4.5	0.3	15	2.1	2.07
단층	하천수	경수연화, 혼화 (FE, P)	120	NR	2	0.1	42	1	2.1
이층	하천수	염소소독, 침전, 혼화, 응집, 침전	205	NR	2	0.1	60	0.7	1.6
이층	하천수	혼화, 응집, 침전	400	25~300	NR	0.06	51	NR	0.58
다층 (16개처리장)	NR	NR	180~350	NR	0.5~10	0.1~0.8	15~80	NR	1~3
단층	호소수	폭기, 혼화 (A), 응집, 침전	120	5	0.006	40	2.4	2.4	2.5
다층	호소수	폭기, 혼화 (A), 응집, 침전	300~350	5	0.005	23	2.4	2.4	1.8
다층	하천수	혼화 (A, P)	300	2~15	NR	0.3	8~12	NR	NR
이층	저수지	염소소독, 혼화 (A, P)	200	0.5	1~3	0.07	80	NR	NR

※ NR = 보고되지 않음

A, FE, P = 사용 응집제의 종류 (황산반토, 철염, 폴리머)

10.3.5 여과지 손실수두

탁질이 여재층에 억류됨에 따라 공극 사이로 흐르는 유속이 증가된다. 이 증가에 따라 손실수두도 초기에는 상부에 집중되고, 차차 아래로 이동하게 된다. 여과가 진행되지 않을 때는 사층내의 정수압은 여과지의 수위와 같게 된다. 여과가 진행됨에 따라 손실수두가 증가한 만큼 정수압은 감소하게 된다. 모래여과지의 경우는 대부분의 탁질이 표층에서 걸리기 때문에 손실수두의 발달이 급격이 일어난다. 그에 반해 이층여재는 내부 깊숙히까지 탁질이 침투할 수 있어 손실수두의 발달이 상대적으로 완만하게 나타나게 된다.

그림 10.8에서 손실수두발달비를 보면, 모래여과지에서 손실수두의 발달 경향은

초기에는 손실수두가 많이 발달하다가 급격히 줄었으며 중반부터는 시간이 지남에 따라 점차 빠르게 발달하여 여과말기에는 상당히 여과지에서 수위가 예상보다 빨리 상승한다는 사실을 명심하고 수위관리에 주의를 기울여야 할 것이다. 하지만 이중 여재 여과지의 경우에는 여과 말기에서의 손실수두 발달은 오히려 늦게 전개되므로 수위의 상승보다는 여과수의 탁질누출에 더욱 관심을 기울여야 한다. 이중여재의 경우는 모래층이 모래여과지 수심보다 얇으므로 상승된 물의 위치에너지에 의해 억류된 탁질이 보다 쉽게 누출될 가능성이 높다.

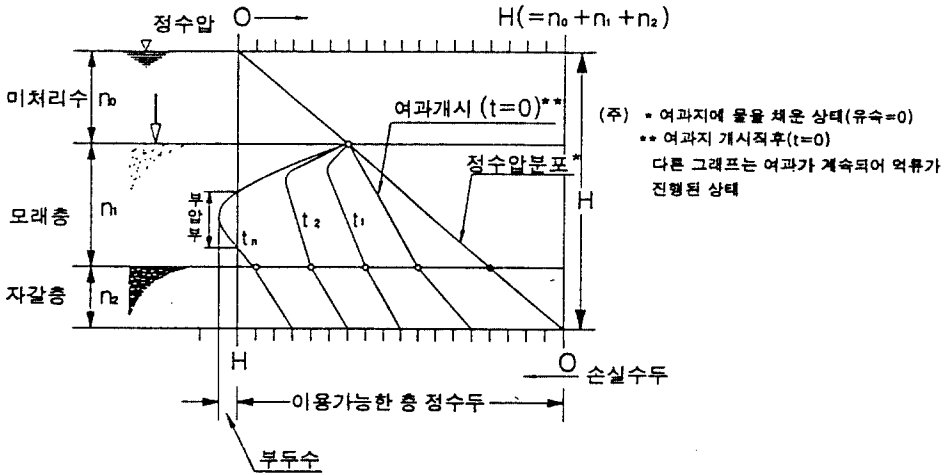


그림 10.8 여과지내의 압력변화

10.3.6 하부집수장치

가. 휠러형(Wheeler Ball Type)

그림 10.9에 표시된 바와 같이 여과지 바닥판상에 지주를 설치하고 그 위에 콘크리트 성형품을 고결시킨 것이 많고 성형품과 여과지 바닥 사이 공간은 압력수실이 된다. 성형품의 상면은 도각추형의 요부가 있다. 그 중에 대소 5개 또는 14개의 자구를 놓은 것이다.

도각추형의 중심간격은 지금까지의 경험으로 20~30cm 정도가 적당하다. 중앙

부의 분출구의 총단면적은 여과면적의 0.25~0.4%정도가 좋다. 도각추형부에 들어가는 구는 질이 견고하고 정확한 형태라야 한다. 보통 잘 소성된 경질자구가 사용된다. 판을 지주상에 거치할 때는 세척수압에 의해서 판이 부상되는 일이 없도록 볼트, 너트에 충분히 정착함과 동시에 이음에는 모르타르 이음으로 하여 누수가 없도록 하여야 하며 판의 구조는 세척수압에 충분히 견디는 구조라야 한다. 압력수실에는 검사 등을 위하여 충분히 크기의 맨홀을 설치하여야 한다. 압력수실의 세척관을 연결할 때는 세척수가 균등하게 압력수실에 충분히 분포되도록 고려하여야 한다.

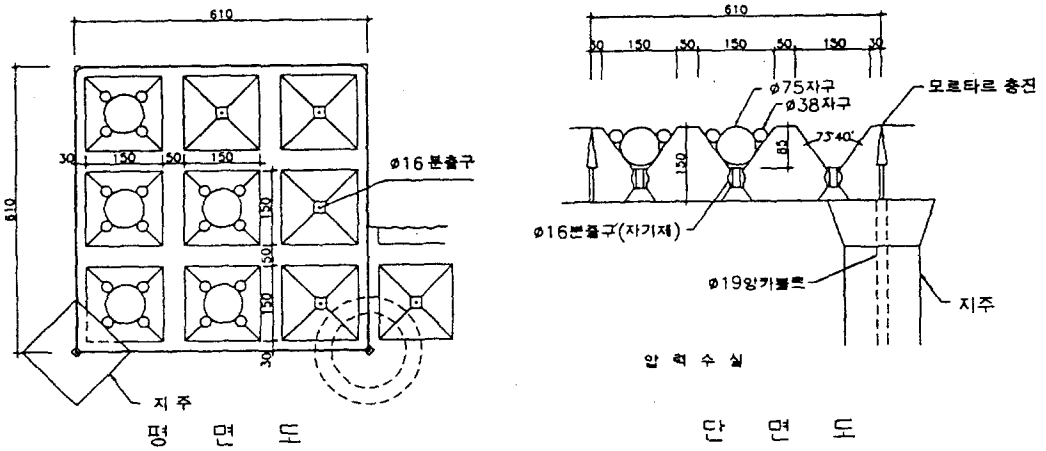


그림 10.9 휠러형 하부집수장치

나. 유공블록형

바닥판상에 분산실과 송수실을 갖는 성형블록을 병렬 연결한 것으로 블록의 표준성형 및 매설상황은 그림 10.10에 표시된 바와 같다. 이형은 오리피스공을 통과한 이단구조에 의한 균압효과와 블록상면에 배열된 다수의 집수공에 의하여 평면적으로 균등한 여과와 역세척 효과를 기대하는 것으로 휠러형에 비해 시공이 쉽고 구조물의 깊이를 줄일 수 있으며 평면적으로 균등하게 만들기가 쉬운 장점이 있다. 송수실 단면의 크기가 클수록 물 수송과정에서의 균등압력이 유지되므로 집수공의 공경을 크게 하여도 물 분산의 평면적 균일성을 유지 할 수가 있어 결과적으로 하

부집수장치에 있어서의 손실수두를 감소시킬 수 있다.

유공블록의 재질은 내식성, 내구성 및 내압성이 큰 것으로 형상은 변형이 없는 것이라야 한다. 도자기로 만든 경우에는 성형시의 불량품이나 시공시의 파손에 주의할 필요가 있다. 또 여과지의 중앙이나 관 외관측에는 집수거를 설치하고 그 단면적은 여과면적의 1%이상 (역세척속도 0.6m/min 일때)으로 한다. 보통 사용되는 것의 개구비 (집수공 총면적에 대한 비)는 0.6 ~1.4%이다.

블록의 포설길이가 너무 길면 위치에 의한 압력의 불균형이 크기 때문에 일반적으로는 5m정도가 한도라고 생각된다. 또한, 역세척시에는 블록의 일부에 상향력이 작용하기 때문에 적당한 간격으로 앵커(anchor)를 설치해 고정해야 하며 블록사이는 누수되지 않도록 시공해야 한다. 미국 여과지 설치 및 개보수에 많이 사용되고 있는 고밀도 폴리에틸렌으로 제조한 Leopold Filter는 그림 10.11과 같다.

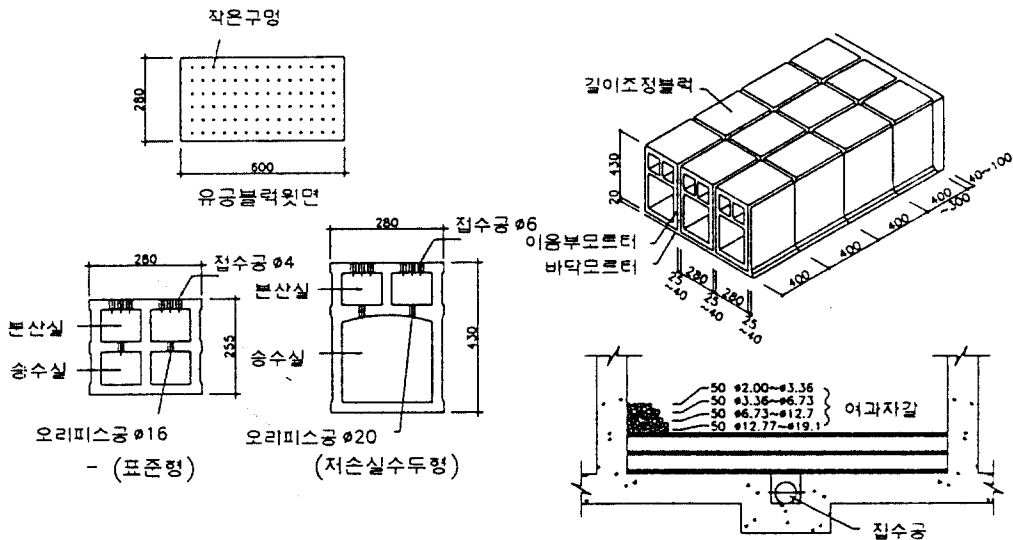
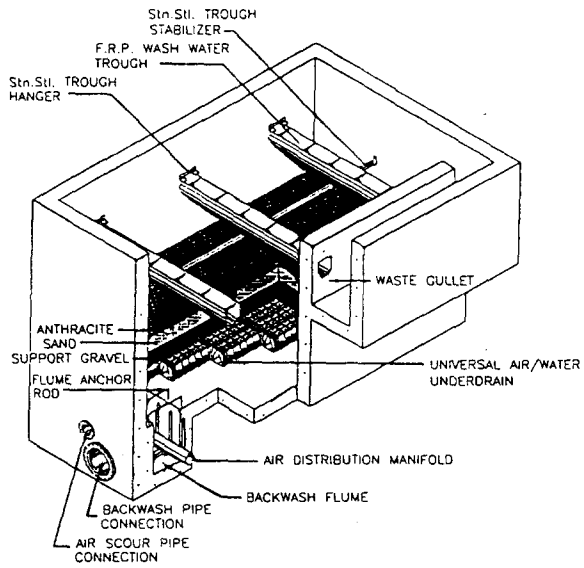


그림 10.10 유공블럭형 하부집수장치



TYPICAL LEOPOLD FILTER ARRANGEMENT

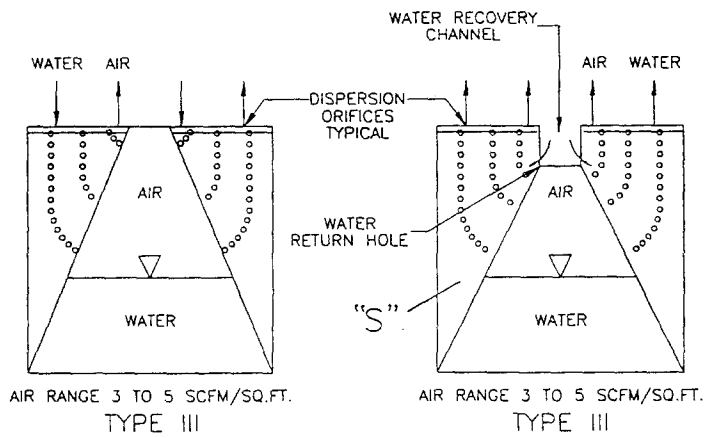


그림 10.11 Leopold Filter 배치도

다. 스트레이너형

저관상에 매설된 관 또는 지지관에 스트레이너를 붙여서 이를 통과하여 물이 유출 유입되게끔 하는 것으로 이 표준형상 및 매설상황은 그림 10.12에 표시한 바와 같다. 관과 연결할 때는 관과 물이 유출입하는 집수거를 여과지 중앙에 설치한다. 관은 내구성의 것으로서 관 설치에 있어서 스트레이너의 최하공의 근처까지 콘크리트를 충전하여 물이 정체하는 부분을 없애고 동시에 스트레이너가 관에서 떨어지지 않도록 충분히 고정하여 둘 필요가 있다. (그림 10.12 참조)

스트레이너의 간격은 너무 넓으면 균등한 여과와 세척이 되지 않는다. 또 너무 좁으면 비경제적이 된다. 지금까지의 경험으로 보면 10~20cm가 적당하다. 그리고 스트레이너 상부의 높이가 동일하도록 설치하는 것이 필요하다.

스트레이너 설치에 필요한 관의 총 단면적은 여과면적의 0.25~1.0%로 하면 역세척시에 적당하고 균등한 역세척속도를 얻을 수가 있다. 이보다 크면 균등한 세척을 할 수가 없다. 또 이보다 작으면 균등한 역세척은 할 수 있으나 손실수두가 너무 크게 되어 역세척 수압이 필요 이상으로 커져야 하므로 비경제적이다.

스트레이너 장치가 잘 되게 하기 위하여서는 스트레이너의 부식과 폐색을 방지하여야 한다. 부식방지에는 내식성이 강한 금속이나 합성수지재료를 사용하고 스트레이너 슬릿의 폭은 0.25~0.75mm로 하는 것이 적당한다. 폐색 방지에는 스트레이너 슬릿의 크기에 맞는 자갈의 직경과 자갈층의 두께를 유지함으로써 또는 여과지의 과대한 여과속도를 피함으로써 세립자의 탈락을 예방하고 또 스트레이너의 형상 치수를 모래가 탈락하여도 폐쇄되지 않는 것을 선택하는 것이 좋다.

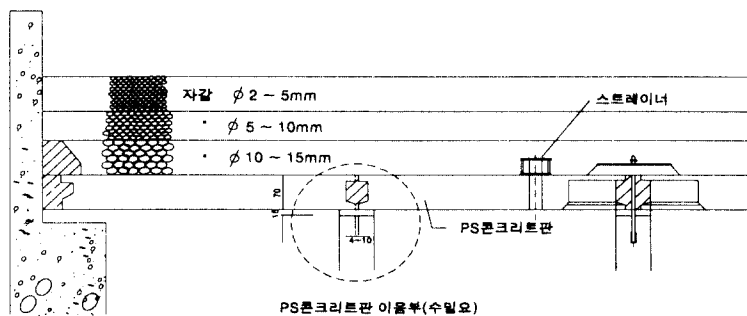


그림 10.12 스트레이너형 하부집수장치

10.3.7 여과지 세척

가. 여과지 세척방법

여과경과시간이 길어짐에 따라 여층내 탁질의 역류량이 증가되어 여과손실이 증대된다. 이로 인해 계획여과량에 미달되게 되며 계속할 경우 탁질이 누출된다. 따라서 이러한 현상이 일어나기 전에 여층의 손실수두 또는 여층 상류수위를 감시하여 여과를 중단하고 여층을 재생시켜야 한다. 여과사가 본래의 여과효율을 가지도록 여층내에 역류되어 있는 탁질을 세척 제거시키므로써 여과층을 재생시킬 수 있다. 세척방법으로는 표면세척과 역류세척을 조합하는 방식과 공기세척과 역류세척을 조합하는 방식 2가지가 널리 사용되고 있다.

세척의 좋고 나쁨은 여과효과에 큰 영향을 미치므로 세척은 여과 총면적 및 전깊이에 균등하고 유효하게 행해지는 방식을 택하지 않으면 안되며, 세척에 사용되는 물은 깨끗한 정수라야 한다.

세척방식을 결정하는 경우 세척배출수가 청정하더라도 반드시 세척효과가 좋다고는 할 수 없으며 1년에 1회는 세척 전후에 여과층에서 여재를 채취하여 탁질량을 측정하고 오염도를 비교하여 여재 적합성을 판단하며 필요한 경우 여재를 교체하여야 한다. 세척이 불충분하면 여층에 남아 있는 탁질이 머드볼(mud ball)을 형성하여 여층을 고결시키며 역세척 횟수를 거듭할수록 확대되어 여과기능을 상실한 여층이 발생된다. 여층고결 현상은 여층과 벽체간에 고결여층과 여층사이에 간극이 발생하여 탁질이 여과수에 누출되며, 여과면적이 감소됨에 따라 여과속도가 빨라져서 역시 탁질누출을 초래하는 누출(breakthrough)현상이 일어난다. 따라서 여과지속시간이 짧아지며 여과수질이 악화되는 등 여러 가지 여과장애를 일으키게 된다. 여과지 세척 즉 여과지에 역류되어 있는 탁질을 제거하는데는 아래와 같은 2가지 방법이 있다.

(1) 표면세척과 역류세척

표면세척과 역류세척을 조합한 방법으로 여과지 표면에 역류된 탁질을 고압 수류에 의한 전단력으로 파괴하고 다음에 역류세정속도를 높여 여과층을 팽창 유동시

키므로서 여재 상호간의 충돌, 마찰이나 수류에 의한 전단력으로 여재에 부착된 탁질을 떨어뜨려 여과층에서 배출시키는 방법이다.

이 방식은 입도폭이 큰 단층여과층에서 탁질이 표층부에 집중억류되는 경우에 유효한 세척방법으로 우리나라에서 표준적으로 사용되고 있다.

(2) 공기세척과 역류세척

공기세척과 역류세척을 조합한 방법으로서 여층에 공기와 물을 역류시켜 세척한다. 공기세척은 상승 기포의 미진동에 의하여 여재에 부착된 탁질을 떨어뜨린 다음에 비교적 저속도의 역세척 속도로 여재에서 이탈된 탁질을 여과층에서 배출시키는 방식으로 여층의 팽창은 거의 일어나지 않는다. 여층내부 여과가 잘 이루어지는 여과지에서 세척효과가 좋은 세척방법으로 입경이 크고 입도폭이 작은 단층여과나 이층여과지에 널리 채용되고 있다.

어느 방법을 선택하는 가는 원수의 수질, 전처리의 정도, 여과층의 입도구성 및 여층 두께 등에 의해서 결정된다. 여과층의 역류탁질의 분포 상태를 잘 파악한 다음 신중히 판단하는 것이 필요하다. 여과층내에서 탁질억류분포가 표층부에 극단적으로 많이 발생하는 여층구조에서는 표면세척과 역류세척을 조합한 표준세척방법을 채택하는 것이 좋다. 공기세척을 채택하는데 있어서는 공기압력 및 공기량을 여과층 전체에 균등하게 분산시키기 위한 구조 및 장치가 필요하며 공기세척과 역세척과의 시간적 조합 등이 세척효과에 크게 영향을 주므로 충분히 검토하여야 한다. 또 공기 압축기의 기종에 따라서는 상당한 소음이 발생하는 일이 있으므로 주변환경에도 충분한 주의를 기울여야 한다.

(3) 세척공법

(가) 표면세척

표면세척은 여과층 표층부에 억류된 탁질을 강한 수류의 전단력으로 파쇄할 수 있어야 한다. 원수수질, 전처리의 정도 및 여과층구성 등으로 정해지는 여과방식으로 표층부에 탁질이 심하게 많은 억류분포상태에서 역세척만으로서 충분한 세척효과를 기하기가 어렵다. 즉 역세척만으로는 여과층 표층부에 탁질이 남고 세척효과

가 나빠지며 오랫동안 여과층표면의 여과재에 진흙과 같은 물질이 축적되어 여과층의 탁질 억류 용량을 감소시킬 뿐만 아니라 결국은 머드볼이 형성되는 일이었다. 이와 같은 결점을 보완하기 위하여 역세척의 표면세척을 병용하지 않으면 충분한 세척효과를 얻을 수 없다.

표면세척은 여과층 표층부에 압력수를 고속으로 분사시키고 강력한 수류에 의하여 전단 에너지로 진흙 상태의 상부를 파쇄함과 동시에 여과재 상호의 충돌, 마찰을 증대시켜서 세척효과를 높이고자 하는 것이다. 표면세척은 역세척 개시전에 분출노즐로부터의 고압수가 여과층 전표면에 고루고루 분포되도록 하여야 한다. 표면세척장치에는 고정식과 회전식이 있다. 고정식에는 수평관 자체에 천공하여 살수시키는 것과 수평관으로부터 수직관을 분지하여 그 선단에 다수의 구멍을 만들고 분출노즐을 붙여서 여기로부터 살수시키는 것이 있다. 회전식은 수직회전축의 하단에 붙인 수평회전관의 측면 및 선단의 공에서 살수시키고 그 압력에 의해서 수평회전관을 회전시키는 것이 있다.

- ① 고정식은 60~90cm 간격의 관경 25mm관을 수직으로 배열하고 여과사 위 약 10cm의 선단에 분출노즐을 붙이거나 또는 관을 여과사 위 5~10cm의 높이에 수평간격 약 60cm로 배치하고 여기에 약 30cm마다 공을 양측에 설치한다.
- ② 회전식은 중앙에 회전축을 갖는 관을 사면상 5~25cm의 높이에 배치하고 관의 측면 및 선단에 토출노즐을 붙이며 7~10회/분의 속도로 회전시키는 구조로 한다. 또 실제 설계에 있어서는 실험에 의해 각부 형상, 치수 및 여과사위의 위치등을 결정하는 것이 좋다.

(나) 역세척

표면세척에 의하여 파쇄된 탁질을 여과층으로부터 배출함으로써 여과층내에 억류되어 있는 탁질을 여과재로부터 분리하고 또 트라프까지 월류시키는데 필요하고 충분한 역세척 속도와 균등한 수류 분포가 유지되도록 하여야 한다. 역세척은 2단계로 되어 있으며 1단계는 역세척수에 의한 여과재 상호의 충돌, 마찰이나 수류의 전단력으로 부착 탁질을 떨어뜨리는 단계이며, 2단계는 여과층상에 배출된 이들 탁질을 트라프 (trough)로 배출시키는 단계이다.

역세척에서는 먼저 여과층을 유동화시키는 것이 중요하다. 여과층의 하부로부터

터 역세척수를 보내면 어느 유속까지는 여과층이 정지하고 있으나 유속이 증대함에 따라 여과재 입자가 도약하고 여과층의 유동화하기 시작한다. 다시 유속을 증대하면 여과재 입자가 부유하여 유동화 상태에 달한다. 유속을 더 한층 증대함으로써 여과재 입자의 운동은 활발하게 되고 결국은 유동상태의 여과층에서 떨어져 나오게 된다. 역세척은 여과층을 유동화시키고 여과재 입자가 부유하여 팽창상태를 유지하고 또 유동화한 여과층으로부터 여과재 입자를 떨어지게 하는 상태로 하는 것이 중요하다.

여과재가 모래면 팽창모래층 바닥에서 모래층 표면까지 크고 느린 순환류 외에 국부적인 단락류나 작은 와류가 발생하여 모래의 흐름이 생긴다. 역세척의 제 1 단계는 역세척수에 의하여 여과층을 이와같은 유동상태로 하고 여과재 상호의 충돌, 마찰, 수류의 전단력에 의하여 부착탈질을 분리시키는 것이다.

부착탈질의 분리나 여과층으로부터의 배출은 여과층을 20~30% 팽창시켰을 때에 유효하고 세척효과가 좋다고 말하고 있다. 제 2단계는 여과층상에 배출된 탁질을 빨리 유출시키는 것으로 트라프의 높이와 간격 등에 영향이 있다. 그러나 어느 단계에서도 역세척수가 균등하게 분출될 수 있는 하부집수장치와 자갈층이 설치되어 있는 것이 필요하다. 그러나, 다공판형의 하부집수장치에 있어서는 자갈층을 생략할 수도 있다.

(다) 공기세척

공기 세척방식에는 팽창이 없는 공기와 물 동시 세척방식 (Simultaneous air and water washing without expansion)과 공기 세척 후 물연속 세척방식 (washing with air and water in succession)이 있으며 각 방식의 개요는 다음과 같다. 그러나 공기량과 세척수량은 세척모형시험과 하부집수장치 제조사의 자료를 근거로 하여 정한다.

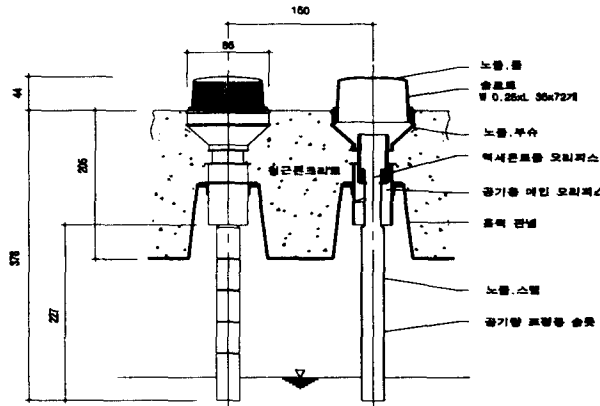
① 팽창이 없는 공기와 물 동시 세척 방식

(약해서 공기와 물 동시 세척방식)

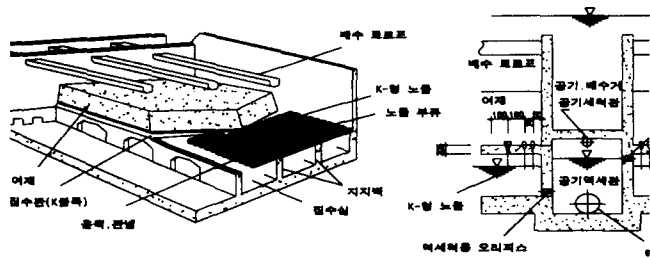
유효경 0.9mm 정도의 조사로 이루어진 여과층의 역세척에 쓰이는 이 방식은 모래 등이 팽창하지 않는 역세척 속도를 유지하면서 동시에 여과층의 하부로부터 공기를 송풍함으로써 여과재에 부착된 탁질을 떨어뜨려 씻어주는 세척방식

이며 모래층은 안전된 상태로 있으나 모래표면의 탁질은 공기에 의하여 완전히 떨어지므로 머드볼 현상은 발생하지 않는 세척방식이다. 이 방식은 공기를 주입하는 동안 역세척수의 유량은 변할 수 있으나 $0.08\text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^2)$ 이하로 떨어지면 안되며, 최적의 유속은 여과재 또는 여과인자에 따라 결정한다.

탁질이 여과재로부터 탈리되어 모래층과 배수 트라프 사이의 물속에 모이게 되면 깨끗한 물이 더러운 물을 밀어낼 수 있도록 행구기(rinsing)를 하여야 하며 이는 공기주입을 중단하고 난 후에 아래와 같은 여러 가지 방식으로 할 수 있다.



공기세척속도 $0.8\text{m}^3/(\text{min. m}^2)$ 일때



집수장치 설치도

집수장치 단면도

그림 10.13 스트레이너형의 공기 분배장치(단위: mm)

- 역세척 배수가 깨끗한 물이 나올 때 까지 역세척을 일정 유량으로 계속하는 방식으로서 역세척 지속시간은 유량에 반비례하고 여과재상의 수심에

비례하게 되며 역세척 유속은 $0.2\text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^2)$ 이상으로 하여야 한다.

- 행구기하는 동안은 유속을 최대한 $0.25\text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^2)$ 이상으로 증가 시키는 방식
- 역세척과 동시에 원수나 정수를 사용하여 날개벽 측에서 균등하게 유입되는 수평류를 사용하여 세척을 촉진하는 방식
- 모래층 상부의 더러운 물을 빼내고 수평류를 사용하여 표면세척을 하는 방식 등이 있다.

세척방법에는 여러 가지 방식이 있으나 한가지 예를 들면 다음과 같다.

처음에는 공기와 물을 약 3~5분 정도 동시에 공급하며 일반적으로 이때의 공기량은 $0.8\sim 1.0\text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^2)$ 정도이며 다음에는 공급을 중단하고 약 6~10분 정도 물로 세척을 하는 방식이 많이 사용된다.

② 공기 세척 후 물 연속세척방식

이 방식은 여과재의 특성으로 인하여 여과재가 역세척시 배수구로 넘어가 손실되는 위험성 때문에 공기와 물을 동시에 사용할 수 없는 경우에 사용하는 세척방식으로서 여과상이 고운모래, 밀도가 낮은 안트라사이트, 활성탄 등과 같은 여과재로 된 경우에 사용되며 이 방식은 여과층의 하부로부터 먼저 공기를 공급하여 여과재에 부착된 탁질을 떨어뜨린 후 물로서 역세척하는 방식이다.

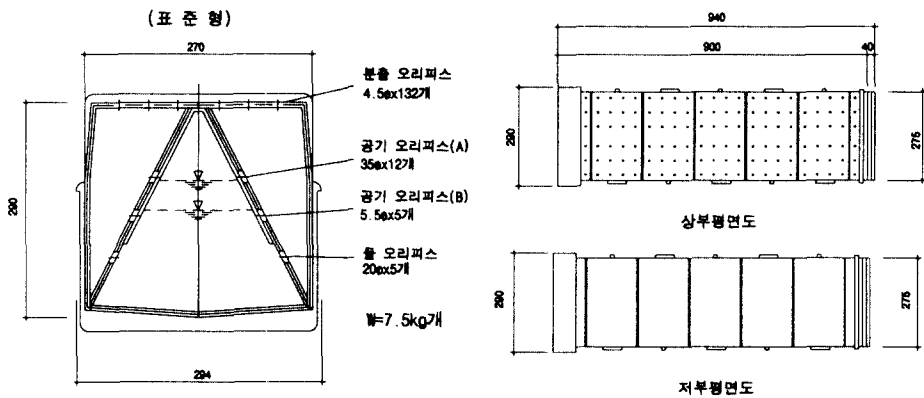


그림 10.14 유공블록형의 공기 분배장치 (단위: mm)

이 세척방식에는 여러 가지가 있고, 예를 들면 다음과 같은 것이 있다. 첫

번째는 5분 정도 공기를 흡입해 이것을 멈추고 약 1분 공기를 배출한 후, 물로 10분 정도 세척하는 방법으로 공기량은 $0.8 \sim 1.5 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$, 수량은 $0.6 \sim 0.8 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$ 이다. 두 번째는 5분 정도 물과 공기로 동시에 세척하고, 그 후 공기를 멈추어 물만으로 10분 정도 세척하는 방법으로 공기량은 $0.8 \sim 1.0 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$ 이다. 세 번째는 초기에 $0.8 \sim 1.0 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$ 의 속도로 공기를 5~8분 불어 넣는다. 공기를 불기 시작하고부터 1~2분 후에 $0.2 \sim 0.4 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$ 의 느린 속도로 물에 의한 세척을 시작하고, 공기를 멈춘 후 $0.6 \sim 0.8 \text{m}^3/(\text{분} \cdot \text{m}^3)$ 의 빠른 속도로 5~8분 물만으로 세척을 하는 방법이다.

공기세척시 중요한 것은 공기의 균등한 분배 문제이다. 공기는 물에 비해 점성이 작아서 약간의 압력차가 있어도 분출 공기량이 커지고 균형이 깨지기 때문에, 공기를 여과층 전체에 균등하게 분산시키는 장치는 신중하게 선정해야 한다. 여과지 내에서 공기의 분산방식으로서는 ① 하부집수장치와는 다르게 공기 분배관을 여과층 최하부에 포설하는 방식, ② 하부집수장치의 스트레이너를 이용해 공기와 세척수의 분산을 같이 공기분배장치로 하는 방식 (그림 13), ③ 공기와 물 병용이 가능한 유공블록형 하부집수장치를 사용하는 방식 (그림14), ④ 공기와 물병용이 가능한 다공판형 하부집수장치를 사용하는 방식 등이 있다.

나. 세척수량

세척에는 여과층 중에 조류나 소형 동물이 서식하여 오염이나 여과장애를 발생하지 않도록 잔류염소가 존재하는 물을 사용하여야 한다. 다만 여과지의 방식에 따라 특별한 경우에는 여과수를 사용할 수 있으며 또한 여과지 이후 처리공정에 입상활성탄 여과지 (특히 생물활성탄 여과지)를 추가할 경우에는 활성탄 흡착층의 보호를 위하여 여과지의 역세척수를 잔류염소가 존재하지 않는 여과수를 사용할 경우도 있다. 그러나 이때에는 여과층을 철저히 감시하고 정기적인 소독을 할 필요가 있다.

세척수량, 수압 및 시간 중 어느 것이 감소하면 세척효과가 불충분하게 되고 너무 커지면 비경제적이 된다. 원수의 수질, 수온, 전처리 정도 모래층의 입도 및 두께, 여과지속시간 등을 충분히 고려하여 설계하는 것이 좋다.

표 10.3은 세척수량의 대략의 표준을 표시한 것이나 물론 모든 조건을 고려하여

이 표 이외의 수치를 채용하는 경우도 있다. 표면세척에서는 여과층 표층면의 진흙과 같은 퇴적물을 파쇄하기 위하여 유수에 의한 급격한 에너지를 줄 필요가 있다. 이때에 표 10.3에 표시한 수압, 수량 및 시간의 세척을 하면 표층 여과재로부터 부착탁질이 떨어지고 충분한 세척효과를 기대할 수 있다. 표면 세척장치는 머드볼의 발생을 방지하기 위한 목적으로 고안된 것이나 분출노즐이 팽창여과층 중에서,

표 10.3 세척수량, 수압 및 시간의 표준

항 목	세척방식	표면세척과 병용하는 경우		역세척 만의 경우
		고정식	회전식	
표면분사수압 (m)		15 ~ 20	30 ~ 40	
동 수 량 (m ³)		0.15 ~ 0.20	0.05 ~ 0.10	
동 시 간 (분)		4 ~ 6	4 ~ 6	
역세척 수압 (m)		1.6 ~ 3.0	1.6 ~ 3.0	1.6 ~ 3.0
동 수 량 (m ³)		0.6 ~ 0.9	0.6 ~ 0.9	0.6 ~ 0.9
동 시 간 (분)		4 ~ 6	4 ~ 6	4 ~ 6

주 : 1) 표면분사수압은 분출부에 있어서의 동수두

2) 역세척수압은 하부집수장치의 분출부 (하부집수장치는 포함하지 않는다.)에 있어서의 동수두. 이것은 여과층과 자갈층의 손실수두 0.4~0.8m와 하부집수장치 천단으로부터 세척 트라프 윗류 수면까지의 표준수심 1.2~1.6m에 여유를 가산한 것이다.

3) 수량은 매분당 여과면적 1m²당의 량

작동하면 표층뿐만 아니라 더욱 깊은 부분의 여과재 입자 상호의 충돌, 마찰이 증대하여 세척효과를 더욱 높일 수가 있다. 역세척 속도와 팽창률의 관계는 여과재의 종류, 수온 등에 의해서 차이가 있으며 실험적으로 이것을 구하여야 한다. 여과재에 있어서 유효경 0.6mm, 균등계수 1.3의 모래층에서는 수온 20℃의 경우 약 0.3m/분의 역세척속도이면 유동하고 팽창을 시작하지만 탁질성분을 여과재로부터 떨어뜨리고 충분히 배출하기에는 부족하다. 역세척 속도를 0.6m/분으로 하면 팽창율은 약 20%가 되고 모래층은 적당한 유동상태로 되며 모래입자 상호의 충돌, 마찰이나 수류에 의한 전단력에 의하여 부착 탁질이 떨어져서 모래층으로부터의 배출이 원활해진다. 세척효과를 높이기 위하여는 여과층을 이와 같이 유동상태로 하는 것이 중요하다.

그러므로 여과층을 20~30% 팽창시키고 이것을 유지할 수가 있고 여과층으로부터 배출된 탁질이 트라프로 빨리 배출할 수 있는 역세척 속도를 설정하는 것이 필요하다. 일반적으로 동일한 팽창률이 되기 위한 역세척 속도는 여과재 입자경에 비례한다. 현재 많은 여과지에서 사용되고 있는 유효경 0.6~0.7mm의 모래입자 범위에서는 표 10.3에 표시된 역세척 속도폭에서 20~30%의 팽창률을 얻을 수가 있다.

또, 표 10.3에 나타난 바와 같이 4~6분으로 여과재로부터 부착탁질을 떨어뜨리고 여과층으로부터 배출된 탁질을 트라프로 배출시키기에 충분하다고 생각된다. 그러나 역세척속도를 0.9m/분 이상으로 하면 여과재가 트라프까지 배출할 염려가 있으므로 피하는 것이 좋다.

팽창률은 수온에 의해서 차이가 나며 같은 역세척 속도에서 수온이 높으면 작고, 수온이 낮으면 크게 된다. 같은 팽창률이 되기 위하여 필요한 역세척속도의 수온에 의한 보정계수 (20℃의 경우의 역세척속도에 곱하는 계수)를 그림 10.15에 표시한다.

그러므로 수온차이가 큰 지역에서는 계절에 따라 팽창률이 달라지므로 세척효과를 일정하게 유지하기 위하여는 언제나 같은 팽창률이 될 수 있도록 수온이 높을 때의 역세척 속도를 기준으로 시설을 설계하고, 수온에 의하여 연수회 역세척속도를 변경할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

팽창률은 실험에 의하여 정하거나 실제 지에서 팽창하는 여과층면을 실측하는 등의 방법으로 파악하는 것이 필요하다.

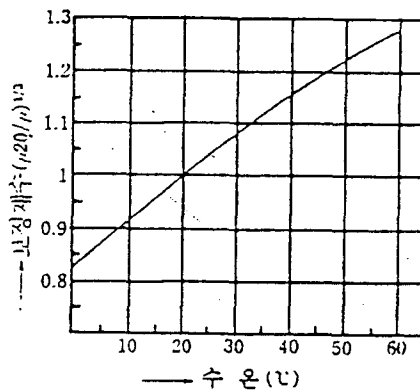


그림 10.15 최적 역세척속도의 온도에 의한 보정계수

다. 세척설비

(1) 세척탱크 및 세척펌프 등

세척수 공급을 위한 설비로서 세척탱크 또는 세척펌프, 공기공급을 위하여 송풍기 및 기타 배관 등이 필요하다. 세척펌프와 세척탱크의 선택은 건설비, 유지관리비에 크게 영향이 있으며, 또 운전 조작상으로도 대단히 중요한 사항이므로 정수장의 규모에 따라서 비교 검토한 다음 신중하게 결정하여야 한다.

펌프직송으로 세척할 때는 일시에 다량의 물을 펌프로 양수해야 하므로 상당히 큰 용량의 펌프를 필요로 하며 유지관리비가 세척탱크를 설치하는 경우보다 일반적으로 고가이다. 그러므로 펌프직송으로 하느냐, 세척탱크를 설치하느냐는 규모, 건설비, 전력용량, 유지관리비 및 입지조건 등을 종합적으로 검토한 다음에 결정하여야 한다.

(가) 세척탱크

세척탱크의 용량은 적어도 1지를 세척할 수 있는 물을 저장할 수 있는 크기로 하고 여과지수가 20지를 넘는 경우에는 2지 이상을 동시에 세척할 수 있는 것으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 수심은 될 수 있는 대로 얇게 하여 세척수압의 변화를 적게 하는 것이 바람직하다.

탱크에는 유입관, 유출관, 월류관, 배수관 및 만수경보장치 등을 설치한다. 유출관은 그 중심을 저수위로부터 관경의 2배 이상 얇게 하거나, 벽을 설치하는 등으로 공기가 혼입하는 것을 방지하고 여과지에 공기가 따라 들어가지 않도록 하여야 한다.

탱크의 저수위는 트라프 상단 높이에 역세척 배관, 밸브류, 유량조절기, 하부, 집수장치, 자갈층 및 여과층 등의 손실수두를 가산하고, 역세척수가 트라프로부터 충분히 유출할 수 있도록 결정하여야 한다. 이 경우, 모래층으로부터 하부집수장치까지의 손실수두는 1~2m로 하는 것이 적절하다.

세척탱크의 양수펌프는 30분~1시간 동안 탱크를 가득 채울 수 있는 용량으로 하고 반드시 예비를 설치하여야 한다. 세척설비에는 세척유량 또는 속도를 측정하고 지시하기 위한 장치 및 용량을 제어하기 위한 조절장치를 설치할 필요가 있다.

특히 역세척에 있어서는 역세척 시간에 역세척 속도를 일정하게 유지하기 위하여는 유량조절기를 설치하여야 한다.

세척탱크는 장시간에 걸쳐 사용하며, 내부의 점검, 보수에 의해 일시적으로 사용하지 못하는 시기가 생긴다. 이러한 사태에도 대처하기 위해 구내 급수관과 송수관의 분기를 이용해 세척이 가능하도록 해야 한다.

(나) 역세척 펌프

세척수를 직송할 때의 역세척 펌프의 용량은 표 10.3을 참고로 하여 필요한 세척수량을 충분히 송수할 수 있어야 한다. 계절에 따라 수온차가 큰 지역에서는 역세척 속도를 변경하는 것을 고려하여 역세척 펌프 용량을 결정하여야 한다.

송수펌프의 양정은 세척배관, 밸브, 유량조절기, 하부집수장치, 모래층 및 여과층 등의 손실수두에 펌프조 수위와 트러프 상단의 고저차를 가산한 것에 다소의 여유를 두어 트러프로부터 역세척수가 충분히 유출할 수 있도록 결정하지 않으면 안된다. 역세척 펌프에는 반드시 예비를 두어야 한다. 그 밖의 것은 세척탱크와 같다.

(다) 표면세척펌프

표면세척에 필요한 수량은 역세척에 비해 적기 때문에 장내용 압력 급수의 이용을 먼저 검토하고, 이것을 이용하지 못할 경우에는 전용펌프를 설치해야 한다.

세척펌프의 용량은 표 10.3을 참고하여 결정한다. 양정은 세척배관, 펌프 및 노즐 등의 손실수두, 펌프조 수위와 노즐 상단의 고저차 및 표 10.3을 참고한 표면 분사 수압을 가산하여 결정한다. 펌프조 및 예비 등 고려방법은 역세척 펌프와 같다. 또한, 표면세척관의 배관은 여과지 수위보다 너무 높은 위치에 설치하면 부압이 발생해 공기가 분리되므로 피해야 한다. 펌프의 역지밸브가 고장난 경우 여과지의 물이 역류되므로 사이펀을 설치해야 한다.

(라) 세척용 송풍기

공기세척을 하기 위한 송풍기의 용량은 10.3.7 여과지세척(3)(나) 공기세척을 참고하고 토출압력은 사면 위 수심, 배관 및 하부집수장치의 손실수두를 고려해 결정해야 한다. 송풍기는 1~2대로 1지의 소요풍량에 대응할 수 있으나 고장 등에 대비

해 예비를 설치해야 한다. 공기배관은 여과지 물이 송풍기내로 들어가지 않도록 여과지 수위보다 높은 위치에 설치하던가 배관을 수위보다 높게 올렸다가 내리도록 하고 공기 흡입측에는 필터, 소음기를 설치해 소음, 진동의 대책을 고려한 부속기기를 설치해야 한다. 또한, 공기와 공기량을 감시하기 위한 계기와 유량 조절장치를 설치해야 한다.

흡입공기는 각 여과지의 하부에 송풍되지만 그때에 급히 송풍되면 기기와 여과상에 나쁜 영향이 있으므로 자동밸브 등을 설치해 천천히 송풍되도록 하는 것이 바람직하다.

라. 세척수 배출수 설비

(1) 세척배출수거 및 트라프

여과지 세척 과정을 거쳐 여재료로부터 제거된 탁질을 포함한 세척수는 다음 여과개시전 까지 완전 배출시켜야 한다. 이에 대한 설비로서 세척수 배수거 및 트라프 설치가 필요하다.

(가) 세척배출수거, 세척배출수 트라프의 크기는 최대 세척수를 완전히 배출할 수 있는 것이라야 하나, 세척수량에 관하여는 표 10.3에 표시되어 있는대로 설계하면 지장이 없으나 실제 세척실적에 대하여 20% 정도의 여유를 갖는 것이 부난하다. 또 트라프의 설계에는 미러공식, 캠프공식 및 나까가와 공식이 있다.

① 미러공식

$$Q = 1.05 B (h_o + L \tan i)^{1.5}$$

여기서, Q : 트라프에 흐르는 유량 (m³/초)

B : 트라프 폭 (m)

h_o : 트라프 상류측 수심 (m)

L : 트라프 길이 (m)

i : 트라프의 밑변이 수평과 이루는 각도

② 캠프 공식(하류끝에서 자유유향일 경우)

$$h_o = \sqrt{2h_c^2 + (h_c - \frac{iL}{3})^2} - \frac{2}{3} iL$$

여기서, h_c : 한계수심 = $\left(\frac{aQ^2}{gB^2}\right)^{\frac{1}{3}}$

a : 속도 에너지의 보정계수 (≒ 1.10)

③ 나카가와(中川) 공식

$$h_o = h_c \left(x - \frac{iL}{h_c} \right)$$

여기서, x : iL/h_c 에 의해 결정되는 값으로 그림 10.16에서 구한다.

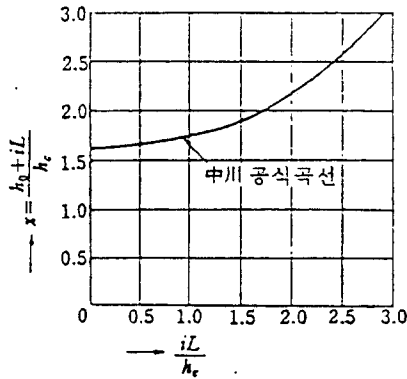


그림 10.16 트라프 상류단 수심계산도

(나) 트라프는 일반적으로 강관제, 철근 콘크리트조, 프리스트레스 콘크리트제 및 합성수지제 등이 사용된다. 지가 비었고 트라프가 만수일 때, 트라프가 비고 지가 트라프의 외측까지 만수일 때 등의 하중조건에 대하여 재료의 선택과 강도계산은 신중히 하여야 한다. 트라프의 상단은 완전하게 수평이고 또 동일고가 아니면 세척수를 배출할 때 전면적으로 균등히 배제할 수가 없다. 또 트라프의 상단의 월류부는 외측으로 구부리지 않은 것이 좋다. 여과층으로부터 배출되는 세척배수가 유출하기 어렵기 때문이다.

(다) 트라프의 월류하는 상단과 상단간의 간격이 너무 넓으면 중간부분에 여과층으로부터 배출된 탁질의 체류부가 생기고 전부 흘러가는데 장시간이 걸린다. 그

러므로 트라프의 간격이 좁을수록 시간이 단축되어서 좋으나 너무 좁게하면 여과재의 투입작업 등에 지장이 있고 또 트라프의 수가 많으므로 공사비가 약간 높아진다. 그러므로 1.5m 이하가 적당한 것으로 생각된다. 또 여과층 표면에서 트라프 상단까지의 높이는 여과재가 유출되지 않을 정도로 알게 하면 탁질의 배출을 단시간에 할 수 있으나 트라프의 밑바닥이 너무 여과층 표면에 가까우면 세척중에 트라프의 직하부 여과층 표면이 세굴되므로 바람직하지 못하다. 그러므로 여과층 표면상의 트라프의 상단까지의 높이는 세척속도, 여과재 입도, 여과층의 팽창율 및 트라프의 형상치수 등을 고려하여 40~70cm로 하는 것이 좋다.

마. 여과지 구체 배관

여과지 운전 조작성은 원수유입, 여과수 유출, 세척수 송·배수관 등 구체배관에 부설되는 각종 조작밸브에 의하여 이루어진다. 급속여과지내의 배관의 좋고 나쁨은 여과지의 기능, 건설비 및 유지관리에 영향이 크므로 이러한 면을 비교 검사하여야 하며 침사지, 여과지 및 정수시간의 수위 관계를 잘 고려하여 연락관거는 각 여과지의 수리조건이 대략 동일한 상태를 유지하도록 하여야 한다.

표 10.4는 일반적인 표준을 표시한 것으로 최대여과속도에서도 그 유속은 최대치를 초과하지 않도록 하는 것이 좋다.

(1) 유입관거

여과지 유입관거는 될수록 넓은 자유수면을 갖추어서 유속을 적게 하고 여과지의 세척 또는 여과속도를 변경할 때에 여과지의 수위의 승강이 작도록 하는 것이 바람직하다. 각 여과지에서의 분기는 여과지내의 물의 정온이 유지되도록 유입에 주의하여야 한다.

(2) 유출관

각 여과지의 유출관은 유량조절기의 최대유량에 의하여 그 관경을 정하여야 한다. 유량조절기 이하의 배관은 유출관거의 수위의 승강에 영향을 받지 않도록 그림 10.17(A)와 같이 하여야 한다.

그림 10.17(B)와 같이 하면 유출관저의 수위가 유량조절기의 수평위치보다 낮아졌을 때 유량 조절기 이하의 배관에 흡출수두가 발생하고 유량의 제어에 나쁜 영향을 줄 염려가 있다. 또 그림 10.17(B)에서 유출관의 선단수위가 L.W.L 보다 위에 위치하게 되면 수위가 유출관의 선단보다 낮아졌을 때 공기가 침입하여 유량제어가 불가능하게 될 수 있다.

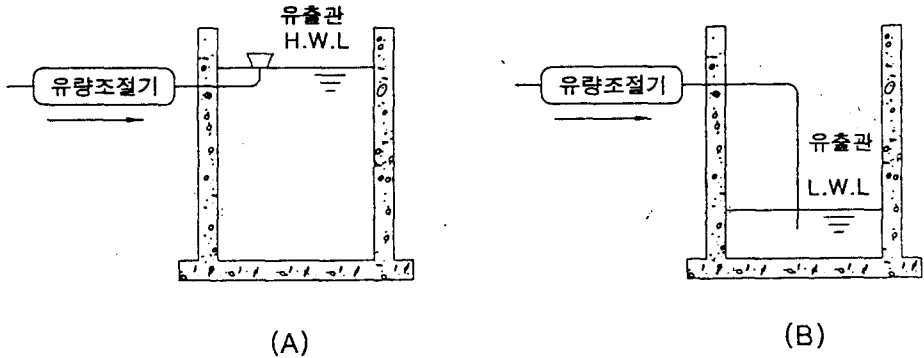


그림 10.17 유출관저의 배관도

표 10.4 급속여과지내의 배관의 유속

관 종	유 속 (m/초)		주의 사항
	평균	범 위	
유입관거	0.60	0.50~0.75	
유출관거	1.00	0.60~1.50	유량조절기의 표준량으로 관경을 정한다.
세척관	본관	2.00	각지의 세척압력을 될 수 있는대로 같게 한다.
	지관	2.50	
세척배출수관	2.00	1.50~3.00	빨리 배제하기 위하여 충분한 크기로 한다.

(3) 세척관

세척관의 본관은 각지의 세척압력을 될수록 동일하게 되도록 하고 세척속도를 규정의 크기로 하기 위하여 유량조절기 또는 유량지시계를 설치할 필요가 있다.

세척배출수관거에 있어서 세척배출수의 배제가 불충분하면 규정의 세척속도로 세척할 수가 없어 세척에 많은 시간과 세척수를 낭비 할 뿐더러 충분한 세척을 할 수 없게 될 때가 있으므로 빨리 배제할 수 있도록 특별히 주의 하여야 한다.

(4) 관회랑

넓이가 한정된 관 회랑내에 밸브나 이형관을 연속하여 배관하므로 관의 지지 정착에 특별히 주의하고 수선에 있어서 관, 밸브의 교환이 가능하도록 충분한 공간을 두어야 함과 동시에 유량조절기나 기타 계기류의 검사에 편리하도록 하여야 한다. 관은 구조물에 정착되므로 구조물의 신축이음을 설치한 부분에는 관에 반드시 신축이음을 설치하지 않으면 관이 절단될 때가 있다.

(5) 기타 각종 밸브

급속여과지에는 각종의 밸브를 필요로 하며 다수의 밸브를 단시간에 조작하여야 하므로 전동 또는 공기압이나 수압에 의한 자동조작으로 하면 좋다. 소구경의 밸브는 전동으로 하면 밸브 자체보다 전동부가 커지고 또 중량이 커지므로 충분히 지지 정착하도록 고려하여야 한다. 이들 밸브는 1개소에서 조작할 수 있도록 조작대로 집중시키고 또 밸브의 개폐상황을 알기 쉽게 표시하거나 여과공정과 세척공정의 상황을 파악하기 위하여 필요한 계기류를 집중하여 설치하는 등 확실한 조작이 가능하도록 하여야 한다. 긴급시의 상황에 따라 밸브는 현상을 유지하는 것이 좋을 때가 있고 또는 개방이나 폐쇄 되어 있는 것이 좋을 때가 있다. 긴급시의 밸브의 작동은 여러 가지 경우를 충분히 고려하여 어떠한 종류의 긴급시에도 대처할 수 있도록 하여야 한다.

정전과 같은 긴급시에는 통상 현상유지가 바람직하고, 그 점으로 보아 전동밸브가 좋으나 공기압이나 수압 등으로 조작하여 밸브는 개방되었던 것이 폐쇄되거나 폐쇄되었던 것이 개방 되는 경우가 있으므로 설치에 있어서는 충분한 대책을 강구하여야 한다. 공기압과 수압 등으로 조작하는 밸브는 밸브체와 실린더부를 각기 독립한 형태로 하고, 상시 개방된 것은 횡형, 수평형으로 설치하고, 밸브가 자연히 폐쇄되지 않도록 하여야 한다. 부득이 수직으로 설치할 경우에는 제동장치를 설치하거나 또는 카운터 웨이트(counter weight)를 설치하는 것이 좋다.

(6) 유출거

여과수가 세척배출수 기타에 의하여 오염되지 않도록 유출거는 여과지의 하부를 이용하여 설치하는 것이 좋으며 유출거와 배출수거는 각기 분리하여 설치하거나 또는 배출수거는 여과지 외부에 설치하는 등의 고려가 필요하다.

배출거 위의 슬래브에 맨홀을 설치할 경우 슬래브보다 10cm 높이고 보통 때는 밀봉하여야 한다.

10.4 여과지 설계시 고려사항

여과공정을 설계하는데에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 하는데 이는 정부기관이 제정한 설계기준, 건설부지의 지형, 시설규모, 원수수질, 전처리방법, 과거의 실적 및 채택하여야 할 여과방식, 장래의 부지확장 및 시설물개량, 여과속도, 운전방식 등이 고려되어야 한다.

10.4.1 입지조건

여과지의 설계시 입지 조건의 고려는 가장 중요한 사항 중의 하나이다. 시설물이 설치될 지역의 숙련된 운전자의 확보 등이 어려울 시에는 복잡한 여과시스템으로 설계하는 것보다는 단순한 제어기능의 여과방식이 적합하다. 또한 지역의 기후여건이 고려되어야 하는데 설치지역의 기온이 낮을 시에는 여과시설은 덮개를 하거나 옥내에 설치되어야 한다.

시설부지의 토양 및 지반공학적 성상 또한 고려되어야 하는데 이는 설치부지의 지하수위가 높거나 기초가 불안정하게 되면 여과지가 기울어지거나 침하하기도 한다.

10.4.2 지형

건설예정지의 지형은 여과지의 설계뿐만 아니라 정수장 설계 전체에 큰 영향을 준다. 왜냐하면, 지형에 의해 정수장 각 시설의 위치나 종류, 배열 등이 결정되기 때문이다. 정수장에서의 전체 공정에서의 손실수두의 대표적인 값은 4.6~6.1m인데

만일 건설 예정지가 평탄한 지형일 경우에는 정수공정의 중간에 펌프를 설치하거나 여과지의 구조물이나 정수지를 현지반 밑에 깊게 설치하지 않으면 안된다. 자연유하로 시설을 계획할 경우, 선택할 수 있는 유일한 방법은 전처리시설을 지상높이 설치하는 것이다.

지형은 사용될 여과지 세정방식에 영향을 미친다. 건설예정지에 적당한 구릉지가 있다면 세정수조를 그 위에 설치하는 것이 가능하나 평탄한 지역에서는 펌프 직송방식이나 자기세정방식의 채용을 검토하여야 한다. 이러한 경우에는 동결에 대한 걱정이 없어지고 고가수조에 의한 미관상 피해를 초래하지 않는다.

이상적인 건설부지는 2~3%의 일정한 경사가 있는 지역으로서 세정수조나 여과지, 배출수지의 배치에 대한 문제는 없어지고 각 시설간에 필요한 수위차를 확보하는 것도 용이하다.

10.4.3 시설규모

정수장의 규모에 따라 여과지의 물리적인 조건이나 성능조건이 결정된다. 구체적으로는 시설규모에 의해 여과지의 수나 각 여과지의 크기, 여과제어시스템의 계장의 내용, 연속제어방식이 결정된다. 시설능력이 78만 m^3/d 이상의 대규모 정수장에서는 여과지수가 30지가 넘는데 여과지의 숫자를 줄이기 위해서는 1지의 면적을 크게 하든지 (현실적으로 180 m^2 까지가 한도) 여과속도가 480 m/d 이상되는 고속여과법을 채용하든지 또는 이 두 가지 모두 채용할 수 있다.

정수장의 규모는 설계기술자가 그 정수장에 최적의 여과지를 선택하는데도 조건이 된다. 예를 들어 만톤이하의 시설규모를 가진 정수장에서는 package형을 선택하거나 수처리장치 제조업자가 제조하는 특수한 여과지를 설치할 수도 있다.

10.4.4 원수수질과 전처리 종류

여과공정을 최적화하기 위해서는 여과공정과 전처리가 상호보완되도록 설계되어야 한다. 예를 들면 직접여과나 in-line 여과가 선택될 경우에는 이러한 여층의 현탁물질의 저류용량은 통상의 사여과층보다도 크게 해야 한다. 따라서 이 경우에

는 역입도 여층이나 조립여재를 이용한 심층여층이 선택되어야 한다. 전처리 시설의 처리능력이 높음으로 인하여 여과유입수의 현탁물질농도가 낮을 시에는 보통의 단독모래여과가 채택되어야 한다.

원수 중의 현탁물질이 많고 적음에 따라 여층구성이 달라질 수 있으며 조류가 많이 발생하는 물에는 응집, 침전을 거친 후라도 조류에 의해 급격한 여과지 폐색이 일어나므로 조립심층이나 역입도여층이 검토되어야 한다.

10.4.5 장래의 여과지 개조 및 증설에 대한 대비

설계기술자는 장래의 여과지의 개조와 증설을 포함한 정수장 시설능력의 확장 요구가 있을 것을 예상하여야 하며 정수장 설계시에는 장래의 개량공사를 시행하더라도 정수장 운전에 최소한 영향을 주도록 고려하여야 한다. 또한 점점 엄격해지는 장래의 수질규제치를 대비하여 여과지 개조를 시행하는 것을 고려하여야 하는데 여기에는 여재층 구성의 변화, 기존 여과지층을 GAC 흡착층으로 변환하여 사용하는 방안, 다층여과지 선택시 세정방식의 선택 등이다.

10.5 여과지의 구조

여과지는 다음 그림 10.18에서 보는 바와 같이 유입수 분배장치, 여과를 담당하는 여과재료와 여과재료를 지지하고 역세척수를 끌고루 분배하여 주는 지지자갈층 및 여과수를 집수하는 하부집수장치 (underdrain) 및 여과량을 조절하는 조절장치 등으로 이루어져 있다.

10.5.1 유입수 분배장치

일반적으로 Weir 나 valve를 사용하여 유입수를 분배시키거나 유입량을 조정한다.

10.5.2 여과재료

모래, 안트라사이트, 석류암 (garnet), 규조토, 진주암, GAC 등을 목적에 따라 한가지 재료만을 사용하거나 조합하여 사용한다.

10.5.3 지지 자갈층

보통 20~50cm정도 깊이에 2내지 4층의 자갈을 포설한다. 최근에는 하부 집수장치를 개량하여 자갈층을 없애고 운전하는 경우도 있다.

10.5.4 하부 집수 장치

휠러형, 스트레이너형, 유공블럭형, 유공판형, 다공판형이 있으며, 적용되는 형태에 따라 집수면적을 달리 적용한다.

10.5.5 여과량 조절장치

오리피스 및 밸브류가 주로 사용된다.

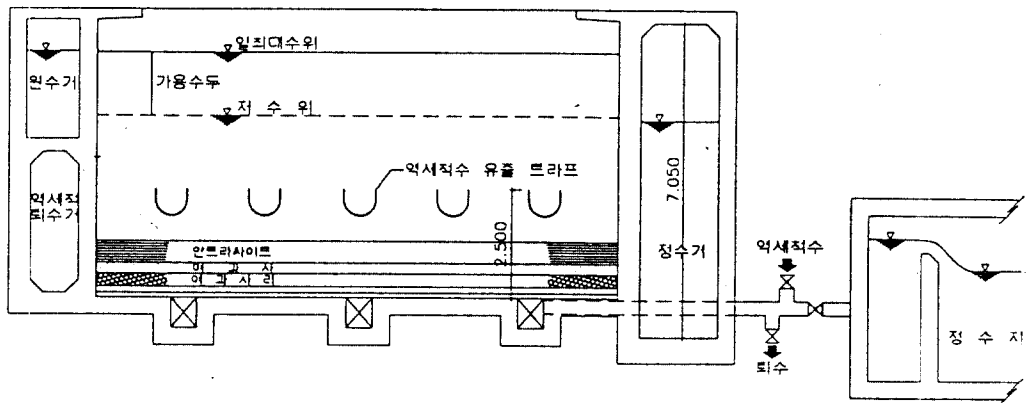


그림 10.18 일반적인 여과지 구조물 단면도

10.6 여과지설계기준

10.6.1 상수도 시설 기준상의 여과지

가. 단층여과지

- 여과속도 120~150m/day
- 사층 유효두께 : 60~120cm
- 유효경 : 0.45~1.0mm, 균등계수 : 1.7이하
- 최대경 : 2.0mm, 최소경 : 0.3mm

나. 다층여과지

- 여과속도 : 240m/day 이하
- 총여과층 두께 : 60~80cm

10.6.2 여과지 설계사항

- 원수 수질 및 정수수질 기준과약
- 여과 전처리 방식 결정
- 여재 구성에 따른 여과속도 선정
- 여과량 조절방식 선정
- 가용 수심 선정에 따른 구조물 깊이 결정
- 역세척방식 결정 및 관련 설비 규격 결정

10.6.3 여재의 크기 및 깊이와의 관계

- 보통 모래 및 이중 여재 여과지

$I/de \geq 1,000$, de : 유효입경, I : 깊이

- 3중 여재, 굵은 단일 여재($1.0\text{mm} < de < 2.0\text{mm}$)

$I/de \geq 1,250$

- 아주 굵은 단일 여재 ($1.5\text{mm} < de < 2.0\text{mm}$)

$I/de \geq 1,250 \sim 1,500$

10.6.4 여재구성에 따른 여과속도 산정

가. 단층여과지

- 일반모래: 120~150m/day
- 굵은 모래 깊은 여과지 : 150~300m/day
- 굵은 안트라사이트 : 360~720m/day
L.A 경우 - 720m/day(유효경 : 1.5mm, 깊이 : 1.8m)

나. 다층여과방식

안트라사이트와 모래 : 180~480m/day

10.6.5 일반적인 여재구성

가. 단층여과지

- 유효경 : 0.6~0.7
- 여과층 두께 : 60~70cm

나. 다층여과지

표 10.5 표준적인 여과층의 예(이층 여과지)

(단위: mm)

	안스라사이트		여과사		총여층두께
	여층두께	유효경	여층두께	유효경	
case 1	200~300	0.9~1.4	300~400	0.45~0.6	600
case 2	200~400		300~500		700
case 3	300~500		300~500		800

10.7 여과지 수리계산 예

10.7.1 여과지 수리계산 적용공식

여과지 수리계산시의 적용공식을 나열하면 아래와 같다.

가. 여과사 손실수두 계산에 사용되는 공식

표 10.6 입상여제에 깨끗한 물이 통과시의 손실수두 계산공식

공 식	기 호 설 명
Carman-Kozeny : $h = \frac{f}{\phi} \frac{1-\alpha}{\alpha^3} \frac{L}{a} \frac{V_s^2}{g}$ $h_s = \frac{1}{\phi} \frac{1-\alpha}{\alpha^3} \frac{LV_s^2}{g} \sum f \frac{p}{d_g}$ $f = 150 \frac{1-\alpha}{N_r} + 1.75$ $N_r = \frac{\phi d V_s \rho}{\mu}$	C = 치밀도계수 (깨끗하지 않은 모래가 매우 치밀하게 다져진 경우에는 600에서 부터 매우 균일한 깨끗한 모래의 경우 1200까지 변함) C _d = 항력계수 d = 입자의 지름, ft(m) d _g = 체크기 d ₁ 과 d ₂ 사이의 기하학적 평균지름 $\sqrt{d_1 d_2}$, ft(m) d ₁₀ = 유효입경, mm f = 마찰계수 f = 중력가속도, 32.2 ft/s ² (9.8m/s ²) h = 손실수두, ft(m) h _s = 성층화된 여상에서의 손실수두, ft(m) K = 여과상수, 체의 크기를 사용하면 K=5, 간격의 크기를 사용하면 K=6 L = 여상 또는 여층의 깊이, ft(m) N _r = Reynolds 수
Fair-Hatch : $h = K v S^2 \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3} \frac{L}{d^2} \frac{V_s}{g}$ $h_2 = K v \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3} \frac{LV_s}{g} \left(\frac{6}{\phi}\right)^2 \sum \frac{p}{d_g^2}$	

표 10.6 입상여제에 깨끗한 물이 통과시의 손실수두 계산공식(계속)

<p>Rose :</p> $h = \frac{1.067}{\emptyset} C_d \frac{1}{\alpha^4} \frac{L}{d} \frac{V_s^2}{g}$ $h_s = \frac{1.067}{\emptyset} \frac{L V_s^2}{\alpha^4 g} \sum C_d \frac{\rho}{d_g}$ $C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$ <p>Hazen :</p> $h = \frac{1}{C} \frac{60}{T + 10} \frac{L}{d_{10}^2} V_h$	<p>P = 인접한 체들 사이에 남는 입자의 비율 (질량기준)</p> <p>S = 형태계수(구형입자일 때 6.0, 부순물질일 때 8.5사이에서 변함)</p> <p>T = 온도 °F</p> <p>V_h = 접근여과속도, m/d</p> <p>V_s = 접근여과속도, ft/s(m/s)</p> <p>α = 공극률</p> <p>μ = 점성도계수, 1b · s/ft²(N · s/m²)</p> <p>ν = 동점성계수, ft²/s(m²/s)</p> <p>ρ = 밀도, 1b · s²/ft³(kg/m³)</p> <p>∅ = 입자형상계수(구형일 때 1.0, 둥근 모래일 때 0.82, 보통 모래일 때 0.75, 부순 석탄이나 각진 모래는 0.73)</p>
--	---

- 자료 : 1. Water Quality Characteristics, Modeling, Modification, Tchobanoglous, G., and E. D. Schroeder, Addison-Wesley, Reading, MA, 1985
2. 폐수처리공학(3th Ed.), George Tchobanoglous, and, Franklin L. Burton, 동화기술, p266

나. 하부집수장치의 손실수두

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{C \cdot \beta} \right)^2$$

- 여기서, C : 오리피스 계수 (0.65)
- β : 오리피스율(여과면적 대비 집수장치단관의 총단면적 비 : 0.25 ~ 0.4%)
- v : 여과속도 (m/sec)
- V : Strainer 통과유속

$$\textcircled{1} V = C \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

$$\textcircled{2} V = (A \cdot v) \div a = v \div \beta$$

(A : 여과면적

a : 집수장치의 총단면적

v : 여과속도)

$$\Delta h : \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot C^2 \cdot \beta^2} = \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{C \cdot \beta} \right)^2$$

주) Strainer head의 Slit폭의 크기는 상부모래의 유효경의 1/2을 고려(최소 Slit 크기 : 0.25mm)

다. 여층 역세시의 압력손실수두

$$- h_B = \frac{L_0}{\rho_f} \cdot (1 - \epsilon_0) \cdot (\rho_s - \rho_f)$$

여기서, h_B : 여층에서 소비되는 압력손실(m)

L_0 : 본래의 여층 두께(m)

ϵ_0 : 본래 여층의 공극률

ρ_s : 여재의 밀도(kg/m³)

ρ_f : 물의 밀도(kg/m³)

참조 : 수리공식집 4.2 (2) 유동층의 손실수두

주) 물의 점성계수는 수온에 따라 변하므로(10℃ ~ 25℃ 사이의 점성도차이 : 약 46%) 여과수의 수온에 따른 수리검토를 고려하여야 함.

10.7.2 설계조건

본 수리계산에는 임진강계통 광역상수도 사업의 급속여과지로서 여과용량은 송수용량 Q=100,000m³/일에 5%를 가한 Q=105,000m³/일로서 여과지내 여사 및 하부집수장치의 손실수두 계산에이다.

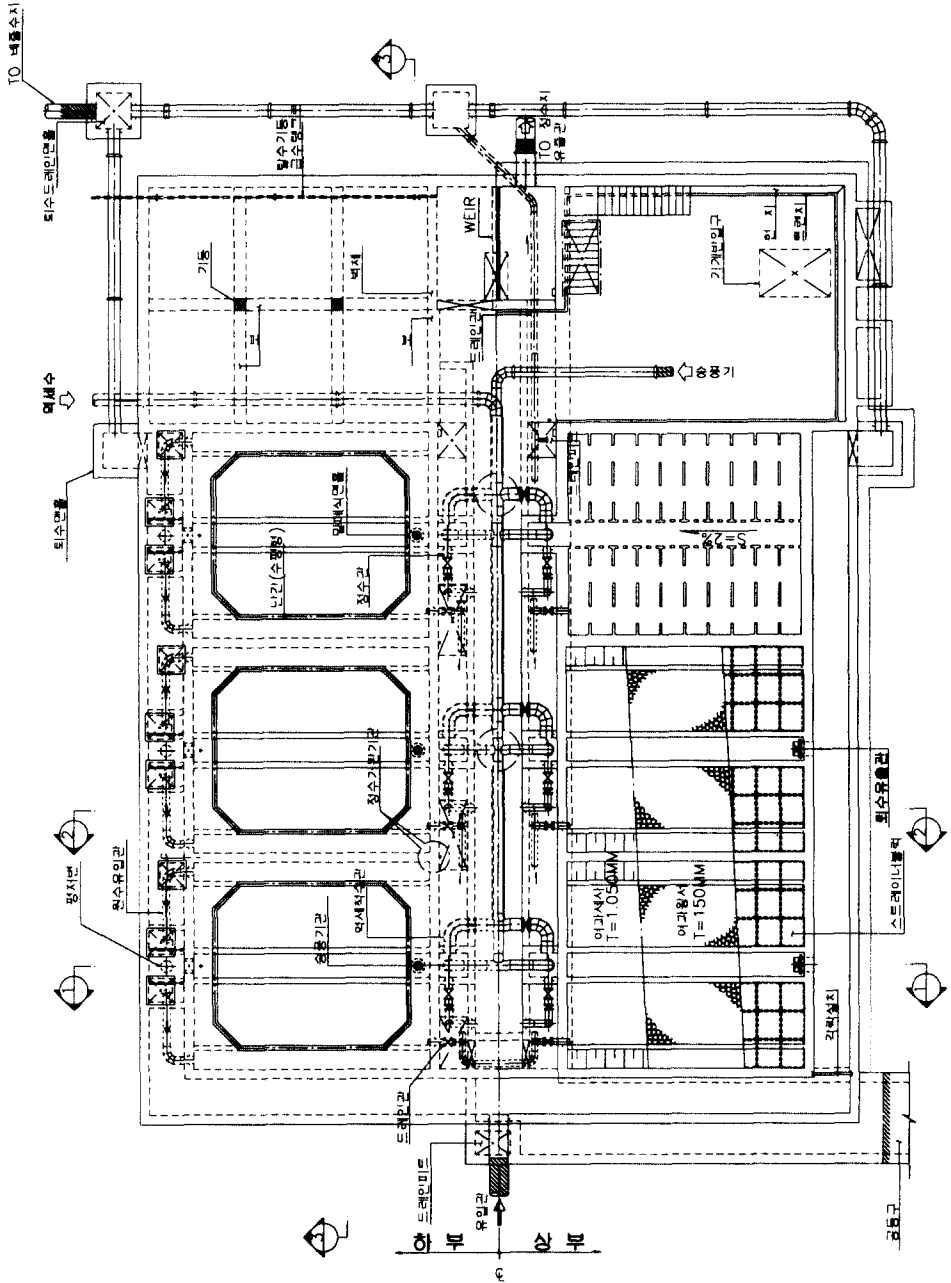
- 여과유량 : Q = 105,000m³/일 ÷ (24×60×60) ÷ 6지 ÷ 2열 = 0.1013m³/sec

- 여과지수 : 6지

- 여과속도 : V = 105,000m³/일 ÷ (4m×17m×6지×2열) = 128.7m/일 ≈ 130.0m/일

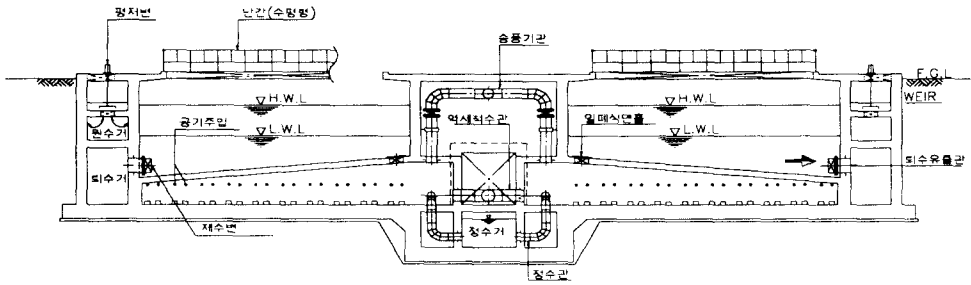
- 여과지크기 : W4.0m × L17.0m × 2열

- 여과지 평면도

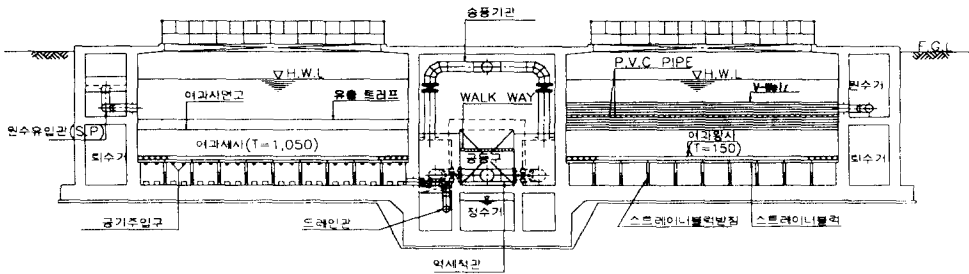


- 여과지 단면도

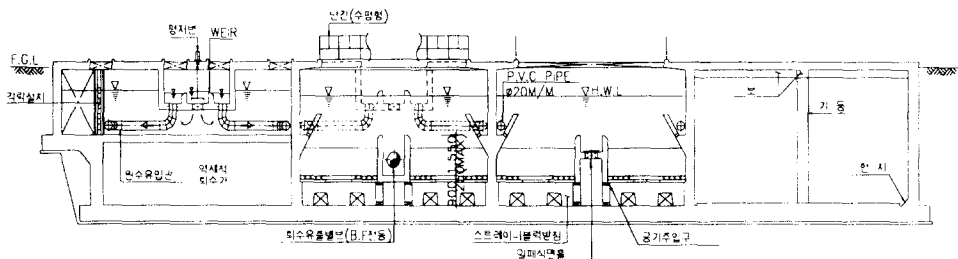
■ 단면 - 1



■ 단면 - 2



■ 단면 - 3



가. 여과사 규격 및 하부 집수장치

(1) 여과세사

구 분	제 원	비 고
- 두께(t)	105cm	· 시설기준 : 60 ~ 120cm · $t/d = 1,050 / 1.3 = 808 > 800$ t : 여층 두께 (cm) d : 여과재의 조화평균 지름 (m/m) (일본상수도공학연습 6.6.4여과재구성)
- 유효경	1.0 ± 0.1mm	· 시설기준 : 0.45 ~ 1.0mm
- 균등계수	1.4이하	· 시설기준 : 1.7 이하
- 비중	2.6	· 시설기준 : 2.55 ~ 2.65

(2) 여과왕사

구 분	제 원	비 고
- 두께	15 cm	
- 입경	2~5 m/m	· 물, 공기(역세수 + 공기)의 원활 분배

(3) 하부 집수장치

- STRAINER 형 : NOZZLE Ø20m/m (물, 공기 병용)

나. 역세척 방법 : (물 + 공기) 역세척

(1) 역세척 수량

구 분	기 준	역 세 척 수 량
제1단계 · 역세수 (물+공기)주입	7~20m ³ /m ² /hr = 0.117~0.333m ³ /m ² /min	- 지당면적 : 4.0×17.0×2 = 136m ² /지 - 역세수량 : 136m ² /지×0.24m ³ /m ² /min = 32.64m ³ /min/지
제2단계 · 행균수량 (물단독 주입)	13~15m ³ /m ² /hr = 0.217~0.250m ³ /m ² /min	- 행균수량 : 136m ² /지×0.24m ³ /m ² /min = 32.64m ³ /min/지

자료 : Water Treatment Handbook

(2) 공기세정 : 제1단계에서 물, 공기 병용으로 세정

구 분	기 준	역 세 척 수 량
공기 세정 (세정시간 : 10분)	50~60m ³ /m ² /hr = 0.83~1.0m ³ /m ² /min	- 지당면적 : 4.0×17.0×2 = 136m ² /지 - 공 기 량 : 0.83m ³ /m ² /min×136m ² /지 = 112.88 = 113m ³ /지/min

자료 : Water Treatment Handbook

10.7.3 수리계산

여과지의 배관 및 유로의 손실계산은 일반적인 수리계산에 준하므로 여기서는 여과사 및 하부집수장치의 수리계산(손실수두)을 검토하여 본다.

가. 여과사 여과사 및 하부집수장치의 손실수두

(1) 여사(세사)손실수두 계산(수온 10℃ 기준 초기 손실수두) - Fair 공식 적용

- 여과속도 : $V = 130.0\text{m}/\text{일} = 1.50 \times 10^{-3}\text{m}/\text{sec}$

- 여재입경 : $D = 1.0\text{mm} = 1.0 \times 10^{-3}\text{m}$

-
$$\text{Re} = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

여기서, ρ : 10℃ 물의 비중 ($0.9997 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$)

μ : 10℃ 물의 점성계수 (1.309×10^{-3} kg/m.sec)

D : 여재 입경 (m)

V : 여과속도 (m/sec)

$$\therefore Re = \frac{(0.9997 \times 10^3) \times (1.0 \times 10^{-3}) \times (1.5 \times 10^{-3})}{1.309 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.15 > 1.0$$

$$- C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$= \frac{24}{1.15} + \frac{3}{\sqrt{1.15}} + 0.34$$

$$= 24$$

$$- \Delta h = 0.178 \times \frac{C_D}{g} \times \frac{V^2}{\epsilon^4} \times \frac{\alpha}{\beta} \times \frac{L}{D}$$

여기서, g : 중력가속도 (9.8m/sec^2)

ϵ : 여재의 초기 공극비 (0.4~0.5)

α/β : 형상계수 (5.5~5.7)

L : 여과사층 두께 (1.05m)

참조 : 수리공식집 4.4

$$\therefore \Delta h = 0.178 \times \frac{24}{9.8} \times \frac{(1.5 \times 10^{-3})^2}{(0.45)^4} \times 5.6 \times \frac{1.05}{1.0 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.141 \text{ m}$$

(2) 왕사 손실수두 계산 (수온 10℃ 기준)

- 여과속도 : $V = 1.50 \times 10^{-3} \text{m/sec}$

- 여재입경 : $2.0 \text{m/m} = 2.0 \times 10^{-3} \text{m}$

- 손실계산

$$- Re = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

$$\therefore Re = \frac{(0.9997 \times 10^3) \times (2.0 \times 10^{-3}) \times (1.5 \times 10^{-3})}{1.309 \times 10^{-3}}$$

$$= 2.29 > 1.0$$

$$\begin{aligned}
 -C_D &= \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0.34 \\
 &= \frac{24}{2.29} + \frac{3}{\sqrt{2.29}} + 0.34 \\
 &= 12.8
 \end{aligned}$$

$$- \Delta h = 0.178 \times \frac{C_D}{g} \times \frac{V^2}{\varepsilon^4} \times \frac{\alpha}{\beta} \times \frac{L}{D}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \Delta h &= 0.178 \times \frac{12.8}{9.8} \times \frac{(1.5 \times 10^{-3})^2}{(0.45)^4} \times 5.6 \times \frac{0.15}{2.0 \times 10^{-3}} \\
 &= 0.005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

(3) Strainer 손실수두 계산

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{C \cdot \beta} \right)^2 \\
 &= \frac{1}{2 \times 9.8} \times \left(\frac{1.5 \times 10^{-3}}{0.65 \times 0.003} \right)^2 \\
 &= 0.03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

여기서, C : 오리피스 계수 (0.65)

β : 오리피스 율 (0.3%)

v : 여과속도

V : Strainer 통과유속

$$\textcircled{1} V = C \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

$$\textcircled{2} (A \cdot v) : a = v : \beta \quad (v: \text{여과속도})$$

$$\Delta h : \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot C^2 \cdot \beta^2} = \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{C \cdot \beta} \right)^2$$

(4) 여과층 총 손실수두

$$h_T = 0.141 + 0.005 + 0.03 \approx 0.176 \text{ m}$$

주) 물의 점성계수는 수온에 따라 변하므로(10°C ~ 25°C 사이의 점성도차이 : 약 46%) 여과수의 수온에 따른 수리검토를 고려하여야 함.

나. 역세척시의 여과사 및 하부집수장치의 손실수두

(1) 여사(세사)손실수두 계산 (수온 10℃ 기준 초기 손실수두)

① 여층에서 소비되는 압력손실

$$- h_B = \frac{L_0}{\rho_f} \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot (\rho_s - \rho_f)$$

여기서, h_B : 여층에서 소비되는 압력손실(m) L_0 : 본래의 여층 두께(m) ε_0 : 본래 여층의 공극률 ρ_s : 여재의 밀도(kg/m³) ρ_f : 물의 밀도(kg/m³)

참조 : 수리공식집 4.2 (2) 유동층의 손실수두

$$\therefore h_B = \frac{1.05}{10^3} \times (1 - 0.45) \times (2,600 - 1,000) = 0.924(\text{m})$$

(2) 왕사 손실수두 계산 (수온 10℃ 기준)

- 역세속도 : $V = 32.64 \text{m}^3/\text{min} \div (4.0\text{m} \times 17.0\text{m} \times 2\text{열} \times 60\text{sec})$

$$= 4 \times 10^{-3} \text{m/sec}$$

- 여재입경 : $2.0\text{m/m} = 2.0 \times 10^{-3}\text{m}$

- 손실계산

$$- \text{Re} = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

$$\therefore \text{Re} = \frac{(0.9997 \times 10^3) \times (2.0 \times 10^{-3}) \times (4.0 \times 10^{-3})}{1.309 \times 10^{-3}}$$

$$\approx 6.11 > 1.0$$

$$- C_D = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0.34$$

$$= \frac{24}{6.11} + \frac{3}{\sqrt{6.11}} + 0.34$$

$$= 5.48$$

$$\Delta h = 0.178 \times \frac{C_D}{g} \times \frac{V^2}{\epsilon^4} \times \frac{\alpha}{\beta} \times \frac{L}{D}$$

$$\therefore \Delta h = 0.178 \times \frac{5.48}{9.8} \times \frac{(4 \times 10^{-3})^2}{(0.45)^4} \times 5.6 \times \frac{0.15}{2.0 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.016 \text{ m}$$

(3) Strainer 손실수두 계산

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{C \cdot \beta} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2 \times 9.8} \times \left(\frac{4.0 \times 10^{-3}}{0.65 \times 0.003} \right)^2 = 0.215 \text{ m}$$

(4) 여과층 총 손실수두

$$h_T = 0.924 + 0.016 + 0.215 = 1.155 \text{ m}$$

주) 물의 점성계수는 수온에 따라 변하므로(10°C ~ 25°C 사이의 점성도차이 : 약 46%) 여과수의 수온에 따른 수리검토를 고려하여야 함.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, (1996. 12), "임진강계통 광역 상수도사업 타당성 조사 및 기본계획".
2. 한국수도협회, (1997. 12), "상수도시설기준", pp226~258, 261~271.
3. 한국수자원공사, (1994. 12), "섬진강용수 여과공정 개선방안연구".
4. Frederick W. Pontius, (1990), "Water Quality and Treatment", AWWA, 4th Ed., McGraw-Hill, Inc., 1990, pp276~284.
5. Kuan-Mu Yao, Mohammad T. Habibian and Charles R. O'Melia, (1971), "Water and Waste Water Filtration: Concept and Applications", ES&T, Vol5, No11, Nov, pp1105~1112.
6. ASCE, AWWA, (1990) 2nd Ed., 1990, pp161~163.
7. 丹保憲仁, 技報堂出版, (1985), "浄水の技術", pp75~90.