

정수처리기준 해설서

2013



국립환경과학원
National Institute of Environmental Research



발 간 등 록 번 호

11-1480523-001812-01

NEIR-GP2013-391

정수처리기준 해설서

2013



국립환경과학원
National Institute of Environmental Research



CONTENTS

제1부 정수처리기준 해설

1. 정수처리기준의 개념	5
1.1 정수처리기준의 목적	6
1.2 정수처리기준의 목표	8
1.3 정수처리기준의 특징	10
2. 정수처리기준 법령의 내용	15
2.1 정수처리기준 법령의 구성	15
2.2 정수처리기준의 내용(1) : 여과공정과 탁도기준	19
2.3 정수처리기준의 내용(2) : 소독공정과 소독 불활성화비	21
2.4 정수처리기준의 내용(3) : 소독능 요구값(CT요구값)	24
2.5 기타 준수하여야 하는 사항	32
3. 정수처리 공정별 정수처리기준 계산	37
3.1 정수처리기준 계산 개요	37
3.2 시간대별 정수처리기준 계산사례	42
3.3 공정별 정수처리기준 계산사례	49
4. 소독능 계산 프로그램의 활용	16
4.1 프로그램의 개요 및 구성체계	61
4.2 프로그램 사용방법	63
4.3 소독능 계산 프로그램 개정내용	67
5. 정수처리기준에 의한 인증	71
5.1 정수처리 기준에 의한 인증 소개	71
5.2 정수처리기준 적용 배제(지하수) 인증 소개	74
6. 병원성 미생물의 특징 및 제거방안	81
6.1 바이러스	81
6.2 지아디아 포낭	83

6.3 크립토스포리디움 난포낭	86
6.4 처리내성 미생물 제거방법	90
6.5 미생물 제거여부 확인	91
6.6 정수처리기준의 보완 - 병원성 미생물 분포실태조사	94

제2부 정수처리기준 준수를 위한 운영관리

7. 정수처리기준 준수 위한 운영 개선방안	103
7.1 여과공정 운영개선	103
7.2 소독공정 운영개선	108
8. 여과시설 유지관리	115
8.1 급속여과시설	115
8.2 완속여과시설	142
8.3 막여과시설 및 기타여과(GAC 등)	146
9. 소독시설 유지관리	161
9.1 염소 소독시설	161
9.2 차아염소산나트륨 소독시설	172
9.3 자외선 소독시설	177
9.4 오존 소독시설	184
9.5 기타 소독시설	191
9.6 기타 소독시설	191
10. 자주 묻는 질문(FAQ)	205
10.1 정수처리기준의 이해	205
10.2 여과지 운영 및 유지관리	206
10.3 소독시설 유지관리	211
10.4 정수처리기준 인증	216
참고문헌	217



표차례

〈표 1.1〉 정수처리기준 관련 법령사항	5
〈표 1.2〉 99 % 미생물을 불활성화하는데 필요한 소독제별 소독능(CT값)	6
〈표 1.3〉 병원성미생물의 불활성화 기준	9
〈표 2.1〉 정수처리기준 법령	16
〈표 2.2〉 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭의 제거율	19
〈표 2.3〉 소독에 의해 요구되는 바이러스 및 지아디아 포낭의 불활성화율	22
〈표 2.4〉 장폭비에 따른 환산계수(T_{10}/T)	23
〈표 2.5〉 수도법 시행규칙 [별지 제6호의2 서식]	33
〈표 3.1〉 정기 측정자료	38
〈표 3.2〉 계산값 및 정수장 특성값	38
〈표 3.3〉 일일 불활성화비 계산 시 적용값 : 최악의 조건을 적용	38
〈표 3.4〉 전염소 주입 시 지아디아 불활성화비 계산	49
〈표 3.5〉 후염소 주입 시 바이러스 및 지아디아의 불활성화비 계산	52
〈표 3.6〉 후오존에 의한 바이러스의 불활성화비 계산	53
〈표 3.7〉 추가소독능 불활성화비 계산(바이러스)	55
〈표 3.8〉 오존소독	57
〈표 3.9〉 자외선 소독에 의한 크립토스포리디움 소독능 요구값	57
〈표 6.1〉 바이러스별 관련 질병과 특성	82
〈표 6.2〉 수인성 바이러스관련 집단질병사례	82
〈표 6.3〉 수온 0.5 °C, 유리염소 1.0 mg/L 에서 지아디아 0.5로그 제거를 위한 필요 소독능	85
〈표 6.4〉 pH 7.0, 유리염소 1.0 mg/L 에서 지아디아 0.5로그 제거를 위한 필요 소독능	85
〈표 6.5〉 미국, 캐나다, 영국, 일본의 수돗물 관련 크립토스포리디움증 집단발병사례('84~'94)	89
〈표 6.6〉 미국의 크립토스포리디움 관련 집단발병 사고 시 정수장 운영상황과 탁도	93
〈표 8.1〉 막 종류별 공극과 조작압력 및 투과 Flux 비교	147
〈표 8.2〉 막파단 감시방법에 따른 시스템 구축	150
〈표 8.3〉 막파단 감시방법 비교	151
〈표 8.4〉 활성탄의 종류 및 특징	156
〈표 9.1〉 주입방식에 의한 염소설비의 분류	166
〈표 9.2〉 염소가스용기의 재검사 기간	170
〈표 9.3〉 차아염소산나트륨과 염소가스의 장단점 비교	174

〈표 9.4〉 자외선 소독공정의 장단점	180
〈표 9.5〉 불활성화비 계산을 위한 자외선 조사량	180
〈표 9.6〉 오존의 물리적 성질	186
〈표 9.7〉 오존의 장단점	187
〈표 9.8〉 오존 발생기의 점검항목 및 대책·조치사항	190
〈표 9.9〉 오존 반응조의 점검항목 및 대책·조치사항	190
〈표 9.10〉 배기오존처리장치의 점검항목 및 대책·조치사항	191
〈표 9.11〉 MIOX의 장단점	192
〈표 9.12〉 혼합산화제와 차아염소산나트륨 발생기와의 차이점 비교	193
〈표 9.13〉 도류벽의 조건에 따른 T_{10}/T 의 결정	198



그림차례

〈그림 2.1〉 정수처리기준 대상 및 적용방법	17
〈그림 3.1〉 정수장 불활성화비 계산	37
〈그림 3.2〉 수돗물 공급체계	39
〈그림 3.3〉 정·배수지의 불활성화비 계산	39
〈그림 3.4〉 정수지-배수지 관로의 불활성화비 계산	40
〈그림 5.1〉 인증신청 및 처리절차	72
〈그림 5.2〉 인증 유효기간 및 사후관리	73
〈그림 5.3〉 송수관로 및 배수지등 추가소독능 인증	74
〈그림 5.4〉 정수처리기준 적용 배제 인증 절차	78
〈그림 6.1〉 지아디아의 영양형	84
〈그림 6.2〉 지아디아 포낭	84
〈그림 6.3〉 면역형광항체법에 따라 형광DIC현미경으로 관찰된 지아디아 포낭	86
〈그림 6.4〉 크립토스포리디움 난포낭	87
〈그림 6.5〉 면역형광항체염색 후 형광DIC현미경으로 관찰된 크립토스포리디움 난포낭	90
〈그림 6.6〉 지아디아 포낭 제거율과 탁도 제거율의 관계	92
〈그림 6.7〉 크립토스포리디움 난포낭 제거율과 탁도 제거율 관계	93
〈그림 7.1〉 정·배수지 도류벽 개수 산정	109
〈그림 7.2〉 도류벽의 장폭비와 T_{10}/T 의 관계	110
〈그림 7.3〉 도류벽 설치기준 계산	110
〈그림 7.4〉 도류벽 개수 및 길이 계산 예시	111
〈그림 8.1〉 급속여과 공정도	115
〈그림 8.2〉 직접여과 공정도	115
〈그림 8.3〉 내부여과 공정도	116
〈그림 8.4〉 일반적인 정수처리 공정도	118
〈그림 8.5〉 여과지 자가진단 흐름도	127
〈그림 8.6〉 완속여과 공정도	142
〈그림 8.7〉 막여과 공정도	146
〈그림 8.8〉 원수 탁도 증가에 따른 응집제 투입량 증가	148
〈그림 8.9〉 막여과 시설의 화학세척(CIP) 수행결과	149
〈그림 8.10〉 막파단 감시 시스템 흐름도	151

〈그림 8.11〉 막파단에 따른 탁도 및 입자수 수질변화	152
〈그림 8.12〉 탁도 및 입자수 감시 흐름도	152
〈그림 8.13〉 막파단에 따른 PDT 수행결과	153
〈그림 8.14〉 막파단 장치 예	154
〈그림 8.15〉 고도정수처리 공정도	155
〈그림 9.1〉 온도와 pH 변화에 따른 HOCl과 OCl ⁻ 비율	163
〈그림 9.2〉 전염소와 후염소처리의 염소주입지점	165
〈그림 9.3〉 액체염소의 자연기화방식의 구성(예)	167
〈그림 9.4〉 액체염소의 강제기화방식의 구성(예)	167
〈그림 9.5〉 오존분자의 구조	185
〈그림 9.6〉 일반적인 오존주입지점 및 공정도	188

들어가며

우리나라의 정수처리기준은 1990년대 말 수도물 바이러스 검출 문제가 제기되면서 병원성 미생물에 오염되지 않은 안전한 먹는물을 공급하기 위해 2002년 7월 처음 도입되었다. 도입 당시에는 환경부고시(「정수처리기준 등에 관한 규정」)로 출발하였으나, 이후 2012년 5월 정수처리기준 관련 주요개념과 내용들이 수도법 및 수도법 시행규칙에 포함되면서 보다 체계화되었고, 이후 법령에 포함되지 않은 일부 세부사항들이 9월 환경부고시 「불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정」(환경부고시 제2012-185호)으로 정리되는 등의 변화과정을 거쳐 오늘에 이르렀다.

정수처리기준 제정안에 담긴 구체적인 시행일정에 따라 2002년 8월부터 최초로 적용되기 시작한 것은 급속·직접·완속여과시설에 대한 바이러스 정수처리기준이었다. 이후 2004년부터는 지아디아 정수처리기준도 본격 적용되면서 소독공정에서의 불활성화비 달성을 위해 도류벽 신설 등 소독공정을 개선하는 노력들이 적극적으로 추진되었다. 동시에 통합여과수 탁도기준도 시설용량에 따라 순차적으로 0.3 NTU로 강화되고, 개별여과지 탁도 연속측정시스템도 도입되면서 미생물 이외에 다양한 탁질까지 보다 완벽하게 제거, 순도 높은 수도물로 발전하는 계기가 되었다. 또한 다양한 수처리기술의 개발에 발맞추어 2008년 4월에는 한외여과, 정밀여과방식에 대한 기준을, 2011년 6월에는 나노여과 및 역삼투방식에 대한 기준도 마련하였다.

우리나라 정수처리기준 제도가 한단계 발전하는 데는 2010년 11월 정수처리기준의 목표에 신규 처리 미생물로 크립토스포리디움 난포낭을 추가한 점을 들 수 있다. 크립토스포리디움 난포낭은 1993년 미국 밀워키 수질사고로 수십만명이 감염되었을 정도로 세계적으로 큰 이슈가 되었던 원생동물이다. 정수처리를 통해 크립토스포리디움 난포낭의 99 % 이상을 제거하도록 규정함으로써 병원성 미생물로부터의 안전성이 세계적 수준으로 확보될 것으로 기대되고 있다.

이러한 긍정적인 효과에도 불구하고 정수처리기준은 우리나라에 매우 생소한 제도일 뿐만 아니라 정수장에서 실제 운영하는데 쉽지 않다는 단점을 안고 있었다. 이에 환경부에서는 2002년 정수처리기준에 대한 이해를 돕기 위해 『정수처리기준 해설서 및 소독능 계산프로그램 활용』지침과 『(소독능) 계산프로그램(기록부)』을 제작, 배포하였다. 그러나 그간 여러 차례의 정수처리기준 개정이 있음에도 불구하고 초기 2차례를 제외하고는 수정이 없어 일선의 정수장에서 기존 프로그램을 그대로 사용하고 있는 실정이었다.

따라서 환경부에서는 그동안의 정수처리기준 관련 제·개정 사항들을 반영하면서, 보다 쉽고 체계적으로 정수처리기준을 이해하도록 돕는 해설서의 마련·보급이 필요하다고 판단하였다. 본 해설

서는 특히 최신 수도 법령을 기준으로 정수장 운영자가 정수처리기준의 이해와 적용 및 계산방법을 습득함은 물론 유지관리 등에 대해 실무적으로 활용될 수 있도록 구성하였다.

본 해설서는 크게 2개의 부분으로 구성되어 있다. 먼저 제1부에서는 정수처리기준에 대한 직접적인 해설로 그 개념과, 법령의 내용, 계산사례 및 활용예, 그리고 정수처리기준 인증과 병원성 미생물의 특징 등을 정리 설명하고 있다. 제2부는 정수처리기준에 맞도록 정수장을 운영하면서 참고할 만한 운영개선방안의 핵심사항과 여과시설 및 소독시설 유지관리에 관한 다양한 기술적인 정보들을 상세히 설명하여, 실제 정수장 운영 중에 발생할 수 있는 여러 가지 문제들에 대한 기술적 해결 방안을 제시하고 있다.

각 장별로 주요 내용을 정리하면 아래와 같다.

구 분			내 용
제1부	1.	정수처리기준의 개념	정수처리기준 개념과 설정의 목적 및 배경
	2.	정수처리기준 법령의 내용	정수처리기준 법령의 구성된 내용에 대한 해설
	3.	정수처리기준 소독능 계산	정수처리공정별 소독능 계산방법을 실례로 설명
	4.	소독능 계산 프로그램 활용	정수처리기준 계산 편의를 위해 사용하는 소독능 계산 프로그램의 설명 및 사용방법 등에 대한 소개
	5.	정수처리기준에 의한 인증	정수장 실정에 따른 추가소독능 인증, 정수처리기준 적용 배제(지하수) 인증 등의 절차 및 인증방법에 대한 소개
	6.	병원성미생물 특징 및 제거방안	병원성미생물 특징 및 제거방안 이론 설명
제2부	7.	정수처리기준 준수운영 개선방안	정수처리기준 준수를 위한 공정운영에 관한 핵심 사항을 요약정리 및 개선방안 제시
	8.	여과시설 유지관리	여과시설별 실시간 운영·유지관리 및 개선방안 해설
	9.	소독시설 유지관리	소독시설별 실시간 운영·유지관리 및 소독능 향상방안 해설
	10.	자주 묻는 질문	정수처리기준 관련 자주 묻는 질문 답변 형식으로 설명

또한, 본문에 글상자(□)를 두어 참고사항, 예시, 법규사항을 보기 쉽도록 배치하였고, 필요에 따라 flowchart(흐름도) 통해 절차를 쉽게 이해될 수 있도록 작성하였다.

정수처리기준 해설서

제1부 정수처리기준 해설

1

정수처리기준의 개념

1

정수처리기준의 개념

정수처리기준은 수질관리측면에서의 정수장 운영기준으로써, 우리나라 『수도법』 제28조 및 『수도법 시행규칙』 제18조의2, 그리고 『불성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정』에 근거하고 있다. 이들 법규에 근거해, 정수처리기준의 목적과 목표, 대상범위, 수도사업자의 관련 의무 사항 등을 정리하면 아래 <표 1.1>와 같다.

<표 1.1> 정수처리기준 관련 법령사항

분류	내용	관련 근거
목적	수도를 통해 음용 목적으로 공급되는 물이 병원성 미생물로부터 안전성을 확보되는 것	- 『수도법』 제28조 1항
목표	취수지점부터 정수지 유출지점까지 바이러스 99.99 %와 지아디아 포낭 99.9 % 및 크립토스포리디움 난포낭 99 %를 제거 또는 불활성화할 것	- 『수도법 시행규칙』 제18조의 2 1항
대상 범위	광역상수도 및 지방상수도	- 『수도법 시행규칙』 제18조의 2 2항
수도 사업자의 의무	1. 탁도 등의 기준에 적합하도록 정수시설 설치·운영 2. 탁도 등의 주기적인 검사 3. 검사결과와 기록·보존 및 보고 4. 기준 위반 시 시설 개선 등 필요조치 및 결과 보고	- 『수도법』 제28조 4~7항 - 『수도법 시행규칙』 제18조의 2 4~6항 및 [별표5의2] - 『불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정』 [별표1]
	5. 병원성 미생물의 분포실태조사	- 『수도법』 제28조 8항 - 『수도법 시행규칙』 제18조의 3 및 [별표5의3]

1.1 정수처리기준의 목적

정수처리기준은 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토스포리디움 난포낭과 같이 소독내성이 강한 병원성 미생물로부터 안전한 수돗물의 확보를 목적으로 한다.

우리나라 수도법 제28조에서는 정수처리기준을 도입하는 목적에 대해 “수도사업자는 수도를 통하여 음용을 목적으로 공급되는 물이 병원성 미생물로부터 안전성이 확보되도록 정수처리기준을 지켜야 한다.”라고 명시하고 있다. 여기서 정수처리기준을 통해 관리하고자 하는 병원성 미생물이란, 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭 등의 미생물을 말한다.

1980년대까지 정수처리에서 관리대상이 되었던 병원성 미생물은 주로 살모넬라나 쉬겔라, 장티푸스균 같은 병원성 세균이었다. 이들 병원균들은 소량의 염소 주입으로도 매우 높은 제거효율을 얻을 수 있기 때문에 소독제와의 접촉시간이나 구체적인 제거정도를 일일이 점검할 필요가 없었다. 일례로 대장균(*E.coli*)은 1 mg/L의 염소에 접촉했을 경우 2~3초 내에 99 %가 불활성화되며<표 1.2>, 병원균인 살모넬라균이나 쉬겔라균은 이보다 훨씬 약하다고 알려져 있다. 따라서 정수처리 마지막단계에서 염소를 투입하되, 공급과정에서 2차 미생물오염 예방을 위해 관말 수도꼭지까지 잔류염소가 0.2 mg/L 이상 유지되도록 하는 정도가 정수처리기준 도입 이전의 미생물 관리의 핵심이었다. 그리고 정수지 유출부와 수도꼭지에서 정기적으로 수돗물을 채취해 병원균에 대한 지표인 총대장균군 검출여부를 정기적으로 확인하는 방법으로 미생물 안전성여부를 확인하였다.

<표 1.2> 99 % 미생물을 불활성화하는데 필요한 소독제별 소독능(CT값)

구 분	염소 (pH 6-7)	오존 (pH 6-9)	클로라민 (pH 8-9)	이산화염소 (pH 6-7)
대장균(<i>E.coli</i>)	0.034 - 0.05	0.02	95 - 180	0.4 - 0.75
폴리오바이러스(Poliovirus 1)	1.1 - 2.5	0.1 - 0.2	770 - 3,740	0.2 - 6.7
지아디아 포낭(<i>Giardia lamblia</i> cysts)	47 - 150	0.5 - 0.6	-	-
크립토스포리디움 난포낭 (<i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts)	7,200	2.5 - 3.0	7,200	78

* source (Hoff, 1987) (Joret, Langlais, 1989) (Korich, 1993)

그러나 80년대 말부터 세계 곳곳에서 바이러스나 지아디아, 크립토스포리디움과 같은 병원성 미생물이 수인성 집단질병의 원인으로 밝혀지면서 이들로부터 안전한 수돗물을 생산해야하는 과제가 대두되었다. '93년 미국의 밀워키에서 크립토스포리디움 난포낭이 제대로 제거되지 못한 수돗물 때문에 시

민의 1/3인 40여만명이 감염되고, 면역력이 결핍된 AIDS환자 50여명이 사망한 사건은 전 세계적으로 큰 충격이었다(참고1). 이후 이러한 크립토스포리디움 등에 의한 수인성 집단질병사례가 영국, 일본 등에서 빈번하게 보고되면서 수도물에 대한 불신이 더욱 높아졌다. 우리나라의 경우에는, 그동안 수인성 집단 발병사례는 보고된 적이 없었지만, '90년대 말 수도물 바이러스 검출논란으로 수도물에 대한 불신이 높아지면서 이들 처리내성 미생물 대책이 매우 강하게 요구되었다.

바이러스, 크립토스포리디움과 같은 미생물의 공통점은 소독내성이 강하다는 점이다. 바이러스는 1 mg/L의 염소농도에 1~6분 정도는 접촉시켜야 1/100로 감소시킬 수 있으며, 99.99 % 이상을 불활성화 시키려면 2~12분의 접촉시간을 확보해야 한다. 또다른 병원성 미생물인 지아디아 포낭의 경우에는 염소 내성이 더욱 강하다. 즉 대장균의 염소내성을 1로 할 때 지아디아 포낭은 약 2,400배 정도 강하고, 바이러스보다도 수십배 강하다. '90년대 가장 많은 감염환자수를 기록한 크립토스포리디움 난포낭의 경우에는 1 mg/L의 염소농도에서 99 % 를 불활성화하는데 7,200분 접촉이 필요하다는 보고가 있을 정도로 염소내성이 강해, 사실상 염소소독으로는 약간의 제거도 어려운 실정이다<표 1.2>.



참고

1. 미국 밀워키의 집단발병 사고 개요

밀워키사건은 1920년 이래 미국에서 가장 큰 수인성 집단발병사건으로 1993년 3월에서 4월 사이에 발생했다. 미국 위스콘신 주에 위치한 밀워키시민 160만 명이 크립토스포리디움이 함유된 수도물에 노출되어 이 중 40만 명(25.1 %)이 발병하였고 면역력이 결핍된 에이즈환자 50여 명이 사망하였다.

사건은 갑자기 설사환자의 응급실 방문이 급증하고 시 전역에서 설사약이 고갈되면서 집단발병으로 인식되기 시작했다. 원인조사결과, 설사환자의 분변에서 크립토스포리디움이 검출되고 사고 당시 만들어졌던 얼음에서 크립토스포리디움이 검출되면서 수도물속의 크립토스포리디움이 원인으로 밝혀졌다.

당시 밀워키 시는 미시간 호를 상수원으로 하고 응집침전 및 여과, 소독의 표준정수처리를 실시하고 있었다. 사고 직전 집중호우와 해빙으로 원수 탁도가 상승하고 하천유량이 증가한 반면 응집 및 여과효율은 향상되지 않은 결과, 정수 탁도가 0.25 NTU 에서 1.71 NTU로까지 증가하고 크립토스포리디움도 적절히 제거되지 않았던 것으로 추정되었다. 특히 30년간 사용해온 응집제 알럼을 PAC로 변경하는 과정에서 응집제 주입율이 원수 수질변화에 따라 적절하지 못했으며, 역세척수를 그대로 재순환시킨 결과, 여과공정에서 농축된 크립토스포리디움 오시스트가 원수 농도를 증가시켜 완전제거를 어렵게 만들었던 것으로 확인되었다. 오염원으로는 취수장 상류에 위치한 도살장과 하수처리장, 소의 방목장 등이 주목되었다. 사고 직후 정수장은 일시 폐쇄되었다.

이러한 정수처리상 문제에도 불구하고 당시 정수는 모든 수질기준을 만족했으며 특히 병원미생물 지표인 대장균군 검사에서 조차 음성결과를 보였다. 이를 계기로 미국에서는 현재의 먹는 물 수질기준이 충분하며 특히 대장균군 검사로서 모든 수인성 사고의 예방이 가능한가에 대한 논란이 일어나는 계기가 되었다.

따라서 바이러스, 크립토스포리디움과 같은 강한 소독내성의 미생물로부터 안전한 수돗물을 확보하기 위해서는, 기존의 대장균 위주의 관리방식과는 다른, 새로운 관리체계 즉 정수처리기준이 필요하게 되었다.

1.2 정수처리기준의 목표

정수처리를 통해 바이러스 99.99 % 이상, 지아디아 포낭 99.9 % 이상, 크립토스포리디움 난포낭 99 % 이상을 제거하면 병원성 미생물로부터 안전성이 확보되었다고 본다

그렇다면 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토스포리디움 난포낭과 같이 소독내성이 강한 병원성 미생물은 어떻게 제거할 것인가? 정수지에 염소를 투입하고 수도꼭지에서 미량의 잔류염소라도 확인되면 미생물로부터 안전하다고 여겼던 종래의 수질관리방식이 충분하지 않다면, 어떤 방법으로 이들 처리내성 미생물로부터 안전한 수돗물을 생산할 것인가? 현재 우리나라의 정수처리기준은 “정수처리를 통해 바이러스 99.99 % 이상, 지아디아 포낭 99.9 % 이상 및 크립토스포리디움 난포낭 99 % 이상 제거”를 목표로 하고 있다.

수도법 시행규칙(2013.3.23 개정)

제18조의2(정수처리기준 등) ① 법 제28조제1항 본문에 따라 일반수도사업자가 준수해야 할 정수처리기준은 다음 각 호와 같다.

1. 취수지점부터 정수장의 정수지 유출지점까지의 구간에서 바이러스를 1만분의 9천999 이상 제거하거나 불활성화할 것
2. 취수지점부터 정수장의 정수지 유출지점까지의 구간에서 지아디아 포낭(包囊)을 1천분의 999 이상 제거하거나 불활성화할 것
3. 취수지점부터 정수장의 정수지 유출지점까지의 구간에서 크립토스포리디움 난포낭(卵胞囊)을 1백분의 99 이상 제거할 것

수도법 시행규칙 별표 5의2에 의한 탁도기준을 준수하고, 소독공정 불활성화비를 계산한 결과 불활성화비가 항상 1이상 유지되는 경우에는 바이러스 및 지아디아 포낭이 다음의 불활성화율을 충족한 것으로 보며, 정수처리기준의 준수여부 판단은 정수처리공정에서 1회이상의 소독을 할 경우에는 각 소독 단계에서 소독농도를 계산하고 각 단계별 불활성화비를 합한 값으로 정수처리기준을 준수 여부를 판단한다.

① 검사항목 : 잔류소독제 농도, pH, 수온

② 검사주기 : 잔류소독제 농도 - 연속측정장치로 측정, pH 및 수온 - 1회/일 이상

〈표 1.3〉 병원성미생물의 불활성화 기준

여과방식		최소 제거 및 불활성화 기준		여과공정에 의한 제거율		소독공정에서 요구되는 불활성화율	
		바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭
급속여과		99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99 % (2.0 log)	99.68 % (2.5 log)	99 % (2.0 log)	68.38 % (0.5 log)
직접여과		99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	90 % (1.0 log)	99 % (2.0 log)	99.9 % (3.0 log)	90 % (1.0 log)
완속여과		99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99 % (2.0 log)	99 % (2.0 log)	99 % (2.0 log)	90 % (1.0 log)
막 여과	정밀여과(MF)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	68.38 % (0.5 log)	99.68 % (2.5 log)	99.97 % (3.5 log)	68.38 % (0.5 log)
	한외여과(UF)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99.68 % (2.5 log)	90 % (1.0 log)	68.38 % (0.5 log)
	나노여과(NF)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	—	—
	역삼투(RO)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	—	—

비고 : 1. 나노여과(NF)와 역삼투(RO)시설에 대해서는 여과공정만으로 최소제거 및 불활성화 기준(99.99%, 4Log)을 충족한 것으로 본다
 2. Log 불활성화율과 % 불활성화율은 다음 식에 따라 계산된다.

$$\% \text{ 불활성화율} = 100 - (100/10^{\log \text{ 불활성화율}})$$

여기서 수질목표를 “바이러스 등 병원성 미생물 불검출”로 설정하지 않은 이유는, 불행하게도 이들 처리내성 미생물로부터의 안전성 확보가 그리 쉽지 않기 때문이다. 우선, 바이러스 등의 병원성 미생물은 살모넬라와 같은 병원균에 비해 아주 작은 양으로도 체내에서 감염을 일으킨다. 보고에 의하면, 최소 10개 이하의 지아디아 포낭으로도 감염을 일으킬 수 있으며, 미국에서 발생했던 크립토스포리디움 관련 수질사고시 수돗물에 함유된 한 개 내지 몇 개의 난포낭으로도 감염이 발생한 것으로 추정되었다. 그만큼 정수처리과정에서 처리내성 미생물들이 더 철저하게 제거되어야 한다는 것을 의미한다.

그렇다고 해서 이들 미생물을 불활성화시키기 위해 염소 투입량을 무한정 높일 수는 없다. 과도한 소독은 맛·냄새 문제나 소독부산물 문제 등 또 다른 수질문제를 발생시킬 수 있으며 경제적인 부담도 고려되어야 한다. 따라서 정수처리기준에서는 이들 처리내성 미생물의 100 % 제거가 과학적으로 불가능하므로, 기술적으로 그리고 경제적으로 허용 가능한 위험정도 즉 건강위해도(Health risk)에 기초해 각 미생물의 제거목표를 설정하였다. 구체적으로 “정수처리를 통해 바이러스 99.99 %(4로그) 이상, 지아디아 포낭 99.9 %(3로그) 이상 및 크립토스포리디움 난포낭 99 %(2로그) 이상 제거”목표는 10^{-4} 의 위험도에 기초하고 있다(참고2).



참고

2. 퍼센트 제거율과 로그 제거율

정수처리기준에서는 정수공정에서의 미생물 제거율을 극대화하기 위해 각 공정별로 미생물의 제거정도를 직접 측정할 필요가 있다. 제거효율은 보통 퍼센트 제거율로 표현되지만, 미생물은 지수적으로 증식감소하므로 미생물 제거효율은 로그제거율로 나타내는 것이 효과적일 경우도 있다. 처리내성 미생물의 관리를 위해서는 먼저 로그제거율을 정확히 이해할 필요가 있다.

$$\text{로그제거율} = \log \frac{\text{최초미생물농도}}{\text{처리후미생물농도}}$$

로그제거율은 퍼센트제거율로 바꾸어 표현될 수 있는데, 변환식은 다음과 같다.

$$\% \text{ 제거율} = 100 - (100/10^{\log \text{ 제거율}})$$

로그제거율의 변환

로그제거율	=	퍼센트제거율
0.5 로그	=	68 %
1.0 로그	=	90 %
1.5 로그	=	96.8 %
2.0 로그	=	99 %
2.5 로그	=	99.7 %
3.0 로그	=	99.9 %
4.0 로그	=	99.99 %
5.0 로그	=	99.999 %

1.3 정수처리기준의 특징

가. 시설기준과의 비교

정수처리기준은 수질관리측면에서의 최적의 운영을 위한 기준이다.

수도법 제18조에 의한 시설기준은 수도시설을 설치할 때에 준수해야 하는 기준 즉 설치기준이다. 예를 들면, 정수장에 대한 세부 시설기준에서는 “소독시설을 설치하여야 하되, 소독기능을 확보하기 위하여 적절한 농도와 접촉시간을 확보할 수 있도록 설치하여야 한다”라고 명시하고 있다. 또한 “지표수를 수원으로 하는 경우에는 여과시설을 설치하여야 한다”라고 규정하고 있다.

이에 비해 정수처리기준은 수질관리측면에서의 정수장 운영기준이다. 예를 들면, 정수처리기준

에서는, 여과지 운영시에는 통합여과수의 탁도를 4시간 간격으로 측정하여야 하며 탁도 측정값이 1 NTU를 넘지 않도록 운영하여야 하도록 규정하고 있다. 또한 소독시설을 운영할 때는 불활성화비가 1 이상 달성되도록 하여야 한다.

정수처리기준의 목적은 현재 우리나라에서는 “병원성 미생물로부터 안전한 수돗물의 생산”이다. 다시 말해 병원성 미생물로부터의 안전성이 확보되는데 필요한 정수시설 운영기준이 바로 정수처리기준이라고 보면 된다. 그러나 정수처리기준이 처음 도입된 미국에서는 소독부산물 저감이나 고분자응집제 투입시 유해물질 관리 등 다양한 수질목표를 달성하는데 이 정수처리기준제도가 적용되고 있다(참고3).



참고

3. 미국의 정수처리기준 적용사례

- 바이러스, 원생동물 등 병원성 미생물 관리를 위한 지표수처리규정
- 소독부산물 관리를 위한 소독제 및 소독부산물규정
- 관망에서의 납과 구리 용출을 규제하기 위한 납·구리 규제규정
- 고분자 응집제의 투입 시 유해물질 규제를 위한 아크릴아미드 및 에피클로로히드린 처리기준

나. 먹는물 수질기준과의 비교

정수처리기준은 병원성 미생물의 농도 대신, 각 처리공정의 수질운영기준 준수여부를 검사한다

수돗물의 수질을 생각할 때 사람들이 가장 먼저 떠올리는 것은 먹는물 수질기준이다. 먹는물 수질기준은 수돗물에 함유되어서는 안되는 여러 가지 물질들(병원성 미생물, 건강유해 무기물질 및 유기물질, 심미적 영향물질 등 - 수도법 제26조)에 대해, 사람의 건강 보호 측면에서 허용할 수 있는 최대농도를 정한 것이다(먹는물수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 별표1). 즉 “일반세균은 1 mL 중 100 CFU(Colony Forming Unit)를 넘지 아니할 것”이나 “총대장균군은 100 mL에서 검출되지 아니할 것”과 같이 표현된다.

그러나 정수처리기준은 “수돗물 1리터에 바이러스 몇 개 이하”의 방식으로 규제하는 대신 “취수 지점에서 정수지 유출부까지 바이러스를 99.99 % 이상 제거하거나 불활성화할 것”과 같이 정수장 수질관리의 목표를 설정한 뒤, 그 달성을 위해 여과 및 소독시설 운영에서 반드시 준수해야 하는 기준을 제시한다. 따라서 수도사업자는 수돗물 중의 바이러스를 검사하지 않아도 정수처리기준을 준수한 경우 해당 수돗물이 바이러스로부터 안전하다는 법적인 보증을 받게 되는 것이다.

다. 정수처리기준의 적용분야

정수처리기준은 수도꼭지가 아닌, 정수처리가 이루어지는 각 공정에 적용되는 기준이다

먹는물 수질기준은 원칙적으로 최종 공급되고 있는 수돗물에 적용된다. 수도사업자는 어떠한 물 질도 최대허용농도를 초과하지 않도록 수돗물을 생산, 공급해야 하며, 정기적으로 수질검사를 실시 해 기준 준수여부를 확인해야 한다. 그러나 이미 생산 혹은 공급된 물을 채수하여 검사하는 것이기 때문에, 수질 이상이 발견되더라도 실질적으로는 사후대책을 세우는데 그칠 수밖에 없다. 특히 수 인성 전염병을 일으키는 병원성 미생물과 같이 음용시 수일내로 그 영향이 나타나는 경우에는 이러 한 사후적 관리방식은 큰 한계를 가질 수밖에 없다.

이에 비해 정수처리기준은 최종 공급되고 있는 수돗물 대신 정수처리가 이루어지는 각 공정에 적용된다. 여과공정이 병원성 미생물 제거에 적합하도록 운영되었는지는 통합여과수의 탁도를 측 정해 판단하며, 소독공정에서 적절한 수준의 병원성 미생물 불활성화가 달성되었는지는 정수지 등 소독이 이루어지는 각 공정 유출수의 잔류소독제농도나 pH 등을 측정하여 평가한다. 따라서 여과 공정이나 소독공정에서 기준 위반 상황이 감지되면 바로 원인조사 및 문제해결조치가 시도될 수 있다. 또한 안전하지 않은 수돗물이 소비자에게 도달되기 전에 끓여먹기 홍보 등의 대응도 가능해 수인성 미생물에 의한 집단발병사고를 미연에 방지하는데 보다 유리하다.



2

정수처리기준 법령의 내용



2

정수처리기준 법령의 내용

2.1 정수처리기준 법령의 구성

2.1.1 정수처리기준 법령 제정 및 개정

우리나라의 정수처리기준은 1990년대 말 수돗물 바이러스 검출 문제가 제기되면서부터 병원성 미생물에 오염되지 않은 안전한 먹는물을 공급하기 위해 추진되었으며 2002년 7월 「정수처리기준 등에 관한 규정」고시가 제정되었다. 이후 2012년 5월 정수처리기준 관련 수도법 및 수도법 시행규칙 개정과 「정수처리기준 등에 관한 규정」이 2012년 9월 「불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정」으로 전면 개정되는 등 최근까지 지속적으로 관련 법령의 개정이 이루어져 왔다.

우리나라의 정수처리기준과 관련된 주요 추진 경위는 아래와 같이 요약 할 수 있다.

- '02. 3. 우리나라 정수장의 정수처리기술기준 제정에 관한 연구용역 완료(국립환경연구원)
- '02. 7. 「정수처리기준 등에 관한 규정」고시 제정(환경부)
- '02.11. 소독능 계산기록부 프로그램 배포('03년과 '04년 2차례에 걸쳐 수정)
- '04. 4. 전남 목포 몽탄정수장 최초 추가소독능인증(한국상하수도협회)
- '06. 6. 수도법시행령제22조16(정수처리기준 등) 신설
- '07. 9. 수도법시행령제48조(정수처리기준 등) 22조의16에서 조문 이동
- '08. 4. 「정수처리기준 등에 관한 규정」고시 개정
- '10.11. 크립토스포리디움 불활성화비 기준 추가 설정(수도법시행령 제48조)
- '11. 6. 「정수처리기준 등에 관한 규정」고시 개정
- '12. 5. 수도법시행령 개정(수도법 개정으로 영제48조 정수처리기준 등 삭제-수도법 및 규칙, 고시로 이동)
- '12. 9. 「정수처리기준 등에 관한 규정」고시 폐지 및 「불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정」 제정

2.1.2 정수처리기준 법령 구성

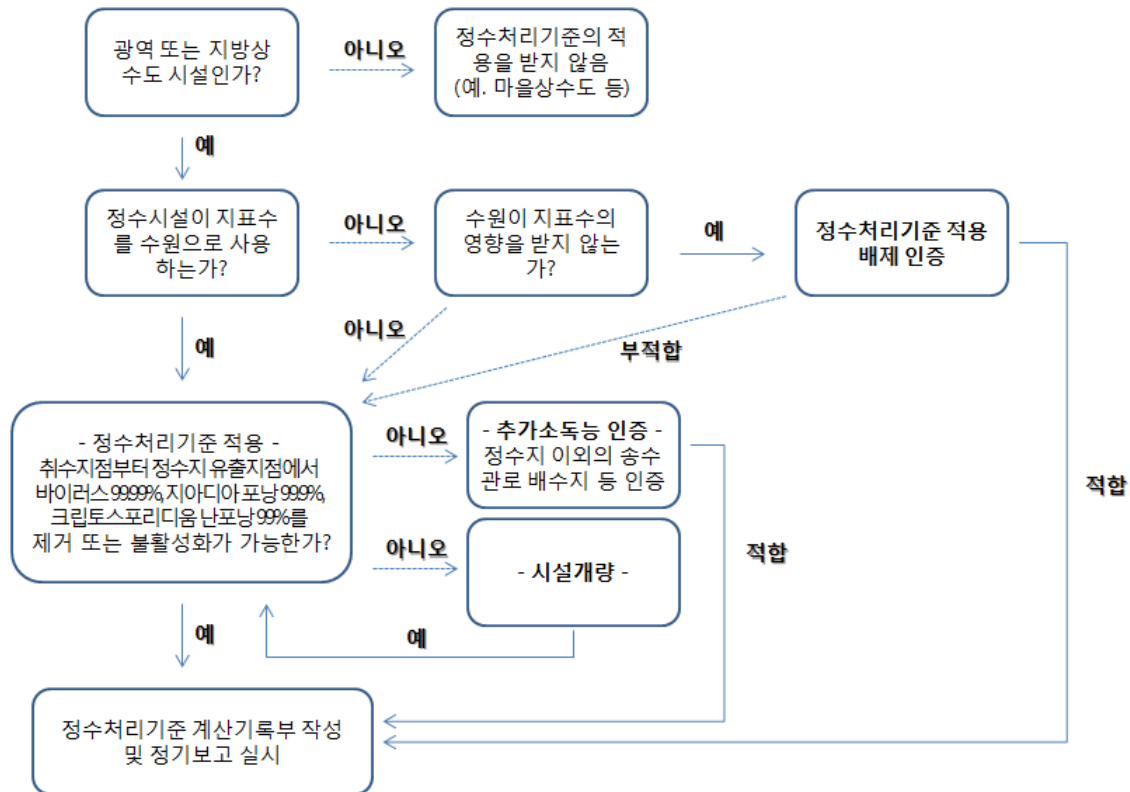
현행 정수처리기준 법령('13. 11. 현재) 내용은 크게 아래 표와 같이 구분할 수 있다.

〈표 2.1〉 정수처리기준 법령

구분	조항	내용	비고
수도법	제28조	- 정수처리기준 준수 대상 - 정수처리기준 적용배제 인증 및 인증 취소 - 정수처리기준 시설설치운영 - 주기적 검사 실시 및 개선조치	
수도법시행규칙	제18조의2	- 정수처리기준 - 구체적 준수시설의 범위 - 적용배제 인증기준, 주기, 절차 - 항목, 주기, 방법 - 보고 및 기록유지	
환경부고시	불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정	- 목적 - 용어의 정의 - 병원성미생물 제거율 및 불활성화율 - 정수처리인증 - 재검토기한	

2.1.3 정수처리기준 적용 흐름도

정수처리기준 적용 대상 및 적용 방법은 아래 흐름도와 같다. 수원의 종류 및 지표수의 영향 등에 따라 적용 및 미적용 그리고 배제인증 또는 시설개량을 통해 정수처리기준 준수 방법을 확인 할 수 있다.



〈그림 2.1〉 정수처리기준 대상 및 적용방법

2.1.4 시설별 목표달성

정수처리기준의 목표인 “바이러스 99.99 % 이상 제거, 지아디아 포낭 99.9 % 이상 제거 및 크립토스포리디움 난포낭 99 % 이상 제거”는 미생물별 총제거율로써, 실제 정수공정에서 달성해야 하는 미생물 제거율은 각 시설의 종류 및 각 공정에 따라 다르다. 이는 크게 여과공정과 소독공정으로 나누어진다. 아래는 여과방식에 의한 제거율 및 소독에 의한 불활성화의 이해를 돕고자 대표적인 공정을 아래에 나타내었다.

가. 급속여과(급속모래여과* → 정수지(소독))

구 분	1 log	2 log	3 log	4 log	최소제거 및 불활성화비 기준
바이러스	2 log 제거 (여과)		2 log 이상 제거 (소독)		4 log 99.99%
지아디아 포낭	2.5 log 제거 (여과)		0.5 log 이상 제거 (소독)		3 log 99.9%
크립토포리디움	2 log 제거 (여과)				2 log 99%

※ 약품혼화·응집·침전 후 급속모래여과를 실시

나. 완속여과(완속모래여과 → 정수지(소독))

구 분	1 log	2 log	3 log	4 log	최소제거 및 불활성화비 기준
바이러스	2 log 제거 (여과)		2 log 이상 제거 (소독)		4 log 99.99%
지아디아 포낭	2 log 제거 (여과)		1 log 이상 제거 (소독)		3 log 99.9%
크립토포리디움	2 log 제거 (여과)				2 log 99%

다. 정밀여과(정밀여과(MF)* → 정수지(소독))

구 분	1 log	2 log	3 log	4 log	최소제거 및 불활성화비 기준
바이러스	0.5 log 제거 (여과)	3.5 log 이상 제거 (소독)			4 log 99.99%
지아디아 포낭	2.5 log 제거 (여과)		0.5 log 이상 제거 (소독)		3 log 99.9%
크립토포리디움	2 log 제거 (여과)				2 log 99%

※ 정밀여과(MF)를 단독 사용하고 약품혼화·응집·침전을 하지 않았을 경우임

2.2 정수처리기준의 내용(1): 여과공정과 탁도기준

여과수 탁도를 측정한 결과 정수시설별로 수도법 시행규칙 별표 5의2에 의한 여과방식별 탁도기준을 준수한 경우에는 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭이 다음의 제거율을 충족한 것으로 본다.

〈표 2.2〉 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭의 제거율

여과방식		제 거 율		
		바이러스	지아디아포낭	크립토스포리디움 난포낭
급속여과		99 % (2.0 log)	99.68 % (2.5 log)	99 % (2.0 log)
직접여과		90 % (1.0 log)	99 % (2.0 log)	99 % (2.0 log)
완속여과		99 % (2.0 log)	99 % (2.0 log)	99 % (2.0 log)
막 여 과	정밀여과(MF)	68.38 % (0.5 log)	99.68 % (2.5 log)	99 % (2.0 log)
	한외여과(UF)	99.9 % (3.0 log)	99.68 % (2.5 log)	99 % (2.0 log)
	나노여과(NF)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99 % (2.0 log)
	역 삼투(RO)	99.99 % (4.0 log)	99.9 % (3.0 log)	99 % (2.0 log)

비고 : 1. 기타여과방식의 제거율은 직접여과방식 제거율에 준하여 적용한다.

2. log제거율과 % 제거율은 다음 식에 따라 계산된다.

$$\% \text{ 제거율} = 100 - (100/10^{\log \text{제거율}})$$

(1) 급속·직접·막여과시설

- ① 시료채취 지점 : 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합된 지점
- ② 시료채취 주기 : 4시간 간격으로 1일 6회이상
- ③ 기준 : 매월 측정된 시료수의 95 % 이상이 0.3 NTU 이하이고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0 NTU 이하일 것. 다만, 연속측정장치를 사용하여 매 15분 간격으로 통합여과수 탁도를 측정할 것

(2) 완속여과시설

- ① 시료채취 지점 : 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합된 지점
- ② 시료채취 주기 : 4시간 간격으로 1일 6회이상
- ③ 기준 : 매월 측정된 시료수의 95 % 이상이 0.5 NTU 이하이고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0 NTU 이하일 것. 다만, 연속측정장치를 사용하여 매 15분 간격으로 통합여과수 탁도를 측정할 것

(3) 불만족시 조치사항

탁도기준 초과시 초과정도에 따라 시설개선 및 주민공지 등을 실시하는데, 일시적인 탁도기준 위반시 자체시설 점검과 개선조치를 취하고, 탁도 위반 값이 크고 장시간 지속되면 해당주민 공지와 기술진단 등의 개선조치를 취하여야 한다. 미생물 불활성화비를 만족하지 못하는 경우에는 지체없이 해당 주민에게 공지해야 하며 전문기관에 기술진단과 개선조치를 취해야한다.

[권장사항]

15분 간격의 연속측정, 개별 여과지 탁도측정

(정수장 연속측정장치의 성능기준 및 설치 가이드라인, 2003. 1)

여과지에 고농도(역세척 등)의 탁도가 유입되는 경우에 최소 8분동안 저농도의 탁도 측정이 불가능 [농도(0.03 NTU) → 고농도(5.194 NTU) : 5~8분 소요]하므로, 15분 간격의 안정된 여과지별 탁도 모니터링이 반드시 필요하며 더불어, 통합탁도계만으로는 여과지별 초기 탁도 누출여부를 확인할 수 없으므로 여과지의 정상적인 성능유지와 정수처리기준 준수를 위해서는 반드시 여과지별로 탁도계 설치를 권장함.

AWWA 단계별 목표수질(Partnership for Safe Water) 개선대책

미국수도협회는 정수처리기준 보다 강화된 단계별 목표수질을 설정하여 정수처리시의 최적화와 운영 효율을 극대화시키도록 처리기술 개발을 유도하여 안전성을 확보하고, 이를 위해 탁도와 입자계수기 모니터링, pH조정, 여과지밸브 전동화 등의 정수시설 개선을 권장하고 있다.

통합여과수 탁도의 개선을 통해 측정된 시료수의 95 % 이상이 월간 0.3 NTU를 초과하지 않고 연간 0.15 NTU 이하로 운영할 경우(최고 탁도 1.0 NTU 이하)에 3 Star를 인정하고, 개별여과수 탁도의 개선을 통한 탁도 연속측정장치를 설치하여 각 여과지 역세척후 15분동안을 제외하고 연간 95 % 이상이 0.1 NTU 이하(최고 탁도 0.3 NTU 이하)를 유지할 경우 5 Star를 인정해 주고 있다.

통합 및 개별여과지 단계별 목표 수질 (※ www.awwa.org)

구분		1 Star	3 Star	5 Star
여과수탁도	대상	통합 여과수		개별 여과수
	샘플	1회/4시간, 4시간 중 최고탁도 적용		
	기준	① 월간 0.3 NTU 이하 95 % 이상 ② 최고탁도 1.0 NTU 이하	① 연간 0.15 NTU 이하 95 % 이상 ② 월간 0.3 NTU 이하 95 % 이상 ③ 최고탁도 1.0 NTU 이하	① 연간 0.1 NTU 이하 95 % 이상 ② 최고탁도 0.3 NTU 이하
소독능평가		소독능 요구값(CT) 이상 유지		

일본 크립토스포리디움 안정성 확보를 위한 탁도관리 잠정대책

〈일본수도협회, 제813호〉

일본 정수장의 크립토스포리디움 등 원생동물에 제어할 수 있는 규정은 원수에서 지표세균의 존재에 따라 추가처리 유·무만을 정해놓고, 정수장 공정별로 불활성화율을 규정하고 있지는 않다. 단지, 크립토스포리디움 제어를 위한 정수처리 방법으로 여과지의 유출 탁도를 0.1 NTU 이하로 유지하거나 자외선 공정을 운영하도록 규정하고 있으며, 크립토스포리디움 등 원생동물을 제어해야 하는 정수시설에 대한 규정 역시 목표제거 농도를 정해놓지 않았는데 각 도시별 내용은 다음과 같다.

- ① 오사카시는 응집·침전, 급속사여과, 여과지 세척배수 등의 반송시 각 프로세스에서의 적절한 탁도관리가 필요하고, 여과수 탁도는 상시 0.1 도 이하, 유지관리 목표는 0.05 도를 유지한다.
- ② 센다이시는 응집침전이 급속여과법인 경우에는 탁도관리의 목표값을 침전지에서 1.0 도이하, 여과수에서 0.1 도이하로 하고, 유지관리 목표값으로 침전수 0.5 도이하, 여과수는 0.05 도이하로 유지하며, 급속여과지에서는 여과지의 기능진단을 정기적으로 실시하고 동시에 크립토스포리디움을 검사한다
- ③ 후쿠오카시에서는 정수처리의 여과수 탁도를 0.1 도이하 저수준으로 유지한다.
- ④ 히로시마시는 원수 수질의 급격한 변화가 발생하지 않도록 회수의 운전·유지관리에 유의한다.

원수의 크립토스포리디움 난포낭 농도별 추가제거율

원수의 크립토스포리디움 평균농도(난포낭/10L)	추가제거율	
	급속완속막여과	직접여과
0.75 초과 10 이하	1.0 log	1.5 log
10 초과	2.0 log	2.5 log

2.3 정수처리기준의 내용(2) : 소독공정과 소독 불활성화비

가. 소독공정 불활성화비 계산 결과 해석

2.2.1에서 달성해야 하는 탁도기준을 모두 만족한 경우 여과공정에서 요구되는 제거율을 달성한 것이므로, 소독공정에서 요구되는 불활성화율은 〈표 2.3〉의 오른쪽 부분과 같다. 그러나 탁도기준을 달성하지 못한 경우 총제거율(최소 제거 및 불활성화기준)을 소독공정에서 달성해야 함에 유의해야 한다.

소독공정에서의 불활성화비를 계산한 결과, 불활성화비가 1 이상 유지되는 경우에는 바이러스

및 지아디아 포낭이 다음의 소독공정에서 요구되는 불활성화율을 충족한 것으로 본다. 만일 정수처리공정에서 1회 이상의 소독을 할 경우에는 각 소독 단계에서 소독능값을 계산하고 각 단계별 불활성화비를 합한 값으로 정수처리기준 준수 여부를 판단한다.

〈표 2.3〉 소독에 의해 요구되는 바이러스 및 지아디아 포낭의 불활성화율

여과방식		소독공정에서 요구되는 불활성화율	
		바이러스	지아디아 포낭
급속여과		99 % (2.0 log)	68.38 % (0.5 log)
직접여과		99.9 % (3.0 log)	90 % (1.0 log)
완속여과		99 % (2.0 log)	90 % (1.0 log)
막여과	정밀여과(MF)	99.97 % (3.5 log)	68.38 % (0.5 log)
	한외여과(UF)	90 % (1.0 log)	68.38 % (0.5 log)
	나노여과(NF)	—	—
	역삼투(RO)	—	—

나. 소독에 의한 불활성화비 계산방법

$$\text{불활성화비} = \left(\frac{\text{CT}_{\text{계산값}}}{\text{CT}_{\text{요구값}}} \right)$$

가) 소독능 계산값(CT_{계산값})의 산정

$$\text{CT 계산값} = \text{잔류소독제 농도(mg/L)} \times \text{소독제 접촉시간(분)}$$

- (1) 잔류소독제 농도는 수도법 시행규칙 제18조의2 제4항 별표 5의2에 의하여 측정한 잔류소독제 농도값 중 최소값을 택한다.
- (2) 소독제와 물의 접촉시간은 1일 사용유량이 최대인 시간에 최초소독제 주입지점부터 정수지 유출지점까지 측정한다
 - ① 추적자시험을 통해 실제 소독제의 접촉시간을 측정하는 때에는 최초 소독제 주입지점에 투입된 추적자의 10 % 가 정수지 유출지점 또는 불활성화비의 값을 인정받는 지점으로

빠져 나올 때까지의 시간을 접촉시간으로 한다.

② 이론적인 접촉시간을 이용할 경우는 정수지 구조에 따른 수리학적 체류시간

($\frac{\text{정수지사용용량}}{\text{시간당최대통과유량}}$)에 아래 표의 환산계수를 곱하여 소독제 접촉시간으로 한다.

〈표 2.4〉 장폭비에 따른 환산계수(T_{10}/T)

환산계수	장 폭 비(L/W)
0.10	2 미만
0.20	2 이상 5 미만
0.30	5 이상 10 미만
0.40	10 이상 15 미만
0.50	15 이상 20 미만
0.60	20 이상 30 미만
0.65	30 이상 40 미만
0.70	40 이상 50 미만
0.71이상	50이상 경우에는 추적자 실험에 의한다

- 비고) 1. 장폭비 : 정수지내 일정간격으로 설치된 도류벽에 의해 산출된 실제 물 흐름 길이(L)와 물흐름 폭(W)의 비
 2. 관 흐름(Pipeline flow)인 경우의 환산계수는 1.0으로 간주한다.
 3. 일정간격으로 도류벽이 설치되지 않은 경우 추적자 실험결과에 따라 산출된 환산계수 적용

나) 소독능 요구값($CT_{\text{요구값}}$)의 산정

(1) 불활성화비 계산을 위한 소독능 요구값($CT_{\text{요구값}}$) 산정방식은 다음과 같다.

- ① 표에서 측정된 pH와 온도범위에 해당하는 상한값을 찾은 후, 그 두 값을 직선화하여 측정된 pH와 온도에서의 소독능요구값을 정한다.
- ② 일상적인 계산에 있어서는 소독능 산정의 편리 등을 위하여, 측정된 pH와 온도보다 낮은 온도 및 높은 pH를 찾은 후 그 값을 적용할 수 있다.

2.4 정수처리기준의 내용(3) : 소독능 요구값(CT_{요구값})

가. 바이러스

(1) 유리염소를 사용하는 경우

온도 (°C)	불활성화 정도					
	2 log		3 log		4 log	
	pH		pH		pH	
	6-9	10	6-9	10	6-9	10
0.5	6	45	9	66	12	90
5	4	30	6	44	8	60
10	3	22	4	33	6	45
15	2	15	3	22	4	30
20	1	11	2	16	3	22
25	1	7	1	11	2	15

(2) 이산화염소를 사용하는 경우(pH 6~9)

온도 (°C)	불활성화 정도		
	2 log	3 log	4 log
<1	8.4	25.6	50.1
5	5.6	17.1	33.4
10	4.2	12.8	25.1
15	2.8	8.6	16.7
20	2.1	6.4	12.5
25	1.4	4.3	8.4

(3) 오존을 사용하는 경우

온도 (°C)	불활성화 정도		
	2 log	3 log	4 log
<1	0.9	1.4	1.8
5	0.6	0.9	1.2
10	0.5	0.8	1.0
15	0.3	0.5	0.6
20	0.25	0.4	0.5
25	0.15	0.25	0.3

(4) 자외선 소독을 사용하는 경우

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
UV dose (mJ/cm ²)	39	58	79	100	121	143	163	186

나. 지아디아 포낭

(1) 유리염소를 사용하는 경우

- 측정수온 : 0.5 °C 이하

염소농도 (mg/L)	pH≤6 log 불활성화율						pH=6.5 log 불활성화율						pH=7.0 log 불활성화율						pH=7.5 log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	23	46	69	91	114	137	27	54	82	109	136	163	33	65	98	130	163	195	40	79	119	158	198	237
0.6	24	47	71	94	118	141	28	56	84	112	140	168	33	67	100	133	167	200	40	80	120	159	199	239
0.8	24	48	73	97	121	145	29	57	86	115	143	172	34	68	103	137	171	205	41	82	123	164	205	246
1.0	25	49	74	99	123	148	29	59	88	117	147	176	35	70	105	140	175	210	42	84	127	169	211	253
1.2	25	51	76	101	127	152	30	60	90	120	150	180	36	72	108	143	179	215	43	86	130	173	216	259
1.4	26	52	78	103	129	155	31	61	92	123	153	184	37	74	111	147	184	221	44	89	133	177	222	266
1.6	26	52	79	105	131	157	32	63	95	126	158	189	38	75	113	151	188	226	46	91	137	182	228	273
1.8	27	54	81	108	135	162	32	64	97	129	161	193	39	77	116	154	193	231	47	93	140	186	233	279
2.0	28	55	83	110	138	165	33	66	99	131	164	197	39	79	118	157	197	236	48	95	143	191	238	286
2.2	28	56	85	113	141	169	34	67	101	134	168	201	40	81	121	161	202	242	50	99	149	198	248	297
2.4	29	57	86	115	143	172	34	68	103	137	171	205	41	82	124	165	206	247	50	99	149	199	248	298
2.6	29	58	88	117	146	175	35	70	105	139	174	209	42	84	126	168	210	252	51	101	152	203	253	304
2.8	30	59	89	119	148	178	36	71	107	142	178	213	43	86	129	171	214	257	52	103	155	207	258	310
3.0	30	60	91	121	151	181	36	72	109	145	181	217	44	87	131	174	218	261	53	105	158	211	263	316
염소농도 (mg/L)	pH=8.0 log 불활성화율						pH=8.5 log 불활성화율						pH=9.0 log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	46	92	139	185	231	277	55	110	165	219	274	329	65	130	195	260	325	390						
0.6	48	95	143	191	238	286	57	114	171	228	285	342	68	136	204	271	339	407						
0.8	49	98	148	197	246	295	59	118	177	236	295	354	70	141	211	281	352	422						
1.0	51	101	152	203	253	304	61	122	183	243	304	365	73	146	219	291	364	437						
1.2	52	104	157	209	261	313	63	125	188	251	313	376	75	150	226	301	376	451						
1.4	54	107	161	214	268	321	65	129	194	258	323	387	77	155	232	309	387	464						
1.6	55	110	165	219	274	329	66	132	199	265	331	397	80	159	239	318	398	477						
1.8	56	113	169	225	282	338	68	136	204	271	339	407	82	163	245	326	408	489						
2.0	58	115	173	231	288	346	70	139	209	278	348	417	83	167	250	333	417	500						
2.2	59	118	177	235	294	353	71	142	213	284	355	426	85	170	256	341	426	511						
2.4	60	120	181	241	301	361	73	145	218	290	363	435	87	174	261	348	435	522						
2.6	61	123	184	245	307	368	74	148	222	296	370	444	89	178	267	355	444	533						
2.8	63	125	188	250	313	375	75	151	226	301	377	452	91	181	272	362	453	543						
3.0	64	127	191	255	318	382	77	153	230	307	383	460	92	184	276	368	460	552						

- 측정수온 : 5 °C

염소농도 (mg/L)	pH≤6 log 불활성화율						pH=6.5 log 불활성화율						pH=7.0 log 불활성화율						pH=7.5 log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	23	46	70	93	116	139	28	55	83	111	138	166
0.6	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120	24	48	72	95	119	143	29	57	86	114	143	171
0.8	17	34	52	69	86	103	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146	29	58	88	117	146	175
1.0	18	35	53	70	88	105	21	42	63	83	104	125	25	50	75	99	124	149	30	60	90	119	149	179
1.2	18	36	54	71	89	107	21	42	64	85	106	127	25	51	76	101	127	152	31	61	92	122	153	183
1.4	18	36	55	73	91	109	22	43	65	87	108	130	26	52	78	103	129	155	31	62	94	125	156	187
1.6	19	37	56	74	93	111	22	44	66	88	110	132	26	53	79	105	132	158	32	64	96	128	160	192
1.8	19	38	57	76	95	114	23	45	68	90	113	135	27	54	81	108	135	162	33	65	98	131	163	196
2.0	19	39	58	77	97	116	23	46	69	92	115	138	28	55	83	110	138	165	33	67	100	133	167	200
2.2	20	39	59	79	98	118	23	47	70	93	117	140	28	56	85	113	141	169	34	68	102	136	170	204
2.4	20	40	60	80	100	120	24	48	72	95	119	143	29	57	86	115	143	172	35	70	105	139	174	209
2.6	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146	29	58	88	117	146	175	36	71	107	142	178	213
2.8	21	41	62	83	103	124	25	49	74	99	123	148	30	59	89	119	148	178	36	72	109	145	181	217
3.0	21	42	63	84	105	126	25	50	76	101	126	151	30	61	91	121	152	182	37	74	111	147	184	221
염소농도 (mg/L)	pH=8.0 log 불활성화율						pH=8.5 log 불활성화율						pH=9.0 log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	33	66	99	132	165	198	39	79	118	157	197	236	47	93	140	186	233	279						
0.6	34	68	102	136	170	204	41	81	122	163	203	244	49	97	146	194	243	291						
0.8	35	70	105	140	175	210	42	84	126	168	210	252	50	100	151	201	251	301						
1.0	36	72	108	144	180	216	43	87	130	173	217	260	52	104	156	208	260	312						
1.2	37	74	111	147	184	221	45	89	134	178	223	267	53	107	160	213	267	320						
1.4	38	76	114	151	189	227	46	91	137	183	228	274	55	110	165	219	274	329						
1.6	39	77	116	155	193	232	47	94	141	187	234	281	56	112	169	225	281	337						
1.8	40	79	119	159	198	238	48	96	144	191	239	287	58	115	173	230	288	345						
2.0	41	81	122	162	203	243	49	98	147	196	245	294	59	118	177	235	294	353						
2.2	41	83	124	165	207	248	50	100	150	200	250	300	60	120	181	241	301	361						
2.4	42	84	127	169	211	253	51	102	153	204	255	306	61	123	184	245	307	368						
2.6	43	86	129	172	215	258	52	104	156	208	260	312	63	125	188	250	313	375						
2.8	44	88	132	175	219	263	53	106	159	212	265	318	64	127	191	255	318	382						
3.0	45	89	134	179	223	268	54	108	162	216	270	324	65	130	195	259	324	389						

- 측정수온 : 10 °C

염소농도 (mg/L)	pH≤6						pH=6.5						pH=7.0						pH=7.5					
	log 불활성화율						log 불활성화율						log 불활성화율						log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	17	35	52	69	87	104	21	42	63	83	104	125
0.6	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	21	43	64	85	107	128
0.8	13	26	39	52	65	78	15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131
1.0	13	26	40	53	66	79	16	31	47	63	78	94	19	37	56	75	93	112	22	45	67	89	112	134
1.2	13	27	40	53	67	80	16	32	48	63	79	95	19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137
1.4	14	27	41	55	68	82	16	33	49	65	82	98	19	39	58	77	97	116	23	47	70	93	117	140
1.6	14	28	42	55	69	83	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144
1.8	14	29	43	57	72	86	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147
2.0	15	29	44	58	73	87	17	35	52	69	87	104	21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150
2.2	15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105	21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153
2.4	15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	22	43	65	86	108	129	26	52	79	105	131	157
2.6	15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131	27	53	80	107	133	160
2.8	16	31	47	62	78	93	19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	54	82	109	136	163
3.0	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113	23	46	69	91	114	137	28	55	83	111	138	166
염소농도 (mg/L)	pH=8.0						pH=8.5						pH=9.0											
	log 불활성화율						log 불활성화율						log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	25	50	75	99	124	149	30	59	89	118	148	177	35	70	105	139	174	209						
0.6	26	51	77	102	128	153	31	61	92	122	153	183	36	73	109	145	182	218						
0.8	26	53	79	105	132	158	32	63	95	126	158	189	38	75	113	151	188	226						
1.0	27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195	39	78	117	156	195	234						
1.2	28	55	83	111	138	166	33	67	100	133	167	200	40	80	120	160	200	240						
1.4	28	57	85	113	142	170	34	69	103	137	172	206	41	82	124	165	206	247						
1.6	29	58	87	116	145	174	35	70	106	141	176	211	42	84	127	169	211	253						
1.8	30	60	90	119	149	179	36	72	108	143	179	215	43	86	130	173	216	259						
2.0	30	61	91	121	152	182	37	74	111	147	184	221	44	88	133	177	221	265						
2.2	31	62	93	124	155	186	38	75	113	150	188	225	45	90	136	181	226	271						
2.4	32	63	95	127	158	190	38	77	115	153	192	230	46	92	138	184	230	276						
2.6	32	65	97	129	162	194	39	78	117	156	195	234	47	94	141	187	234	281						
2.8	33	66	99	131	164	197	40	80	120	159	199	239	48	96	144	191	239	287						
3.0	34	67	101	134	168	201	41	81	122	162	203	243	49	97	146	195	243	292						

- 측정수온 : 15 °C

염소농도 (mg/L)	pH≤6 log 불활성화율						pH=6.5 log 불활성화율						pH=7.0 log 불활성화율						pH=7.5 log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	8	16	25	33	41	49	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	42	55	69	83
0.6	8	17	25	33	42	50	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86
0.8	9	17	26	35	43	52	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88
1.0	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90
1.2	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64	13	25	38	51	63	76	15	31	46	61	77	92
1.4	9	18	28	37	46	55	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94
1.6	9	19	28	37	47	56	11	22	33	44	55	66	13	26	40	53	66	79	16	32	48	64	80	96
1.8	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98
2.0	10	19	29	39	48	58	12	23	35	46	58	69	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100
2.2	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	43	57	71	85	17	34	51	68	85	102
2.4	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86	18	35	53	70	88	105
2.6	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	18	36	54	71	89	107
2.8	10	21	31	41	52	62	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	36	55	73	91	109
3.0	11	21	32	42	53	63	13	25	38	51	63	76	15	30	46	61	76	91	19	37	56	74	93	111
염소농도 (mg/L)	pH=8.0 log 불활성화율						pH=8.5 log 불활성화율						pH=9.0 log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	17	33	50	66	83	99	20	39	59	79	98	118	23	47	70	93	117	140						
0.6	17	34	51	68	85	102	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						
0.8	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126	25	50	76	101	126	151						
1.0	18	36	54	72	90	108	22	43	65	87	108	130	26	52	78	104	130	156						
1.2	19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	53	80	107	133	160						
1.4	19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137	28	55	83	110	138	165						
1.6	19	39	58	77	97	116	24	47	71	94	118	141	28	56	85	113	141	169						
1.8	20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144	29	58	87	115	144	173						
2.0	20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147	30	59	89	118	148	177						
2.2	21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150	30	60	91	121	151	181						
2.4	21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153	31	61	92	123	153	184						
2.6	22	43	65	86	108	129	26	52	78	104	130	156	31	63	94	125	157	188						
2.8	22	44	66	88	110	132	27	53	80	106	133	159	32	64	96	127	159	191						
3.0	22	45	67	89	112	134	27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195						

- 측정수온 : 20 ℃

염소농도 (mg/L)	pH≤6 log 불활성화율						pH=6.5 log 불활성화율						pH=7.0 log 불활성화율						pH=7.5 log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	6	12	18	24	30	36	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62
0.6	6	13	19	25	32	38	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64
0.8	7	13	20	26	33	39	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66
1.0	7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67
1.2	7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69
1.4	7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70
1.6	7	14	21	28	35	42	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	24	36	48	60	72
1.8	7	14	22	29	36	43	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74
2.0	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75
2.2	7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77
2.4	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78
2.6	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80
2.8	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81
3.0	8	16	24	31	39	47	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	28	42	55	69	83
염소농도 (mg/L)	pH=8.0 log 불활성화율						pH=8.5 log 불활성화율						pH=9.0 log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105						
0.6	13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92	18	36	55	73	91	109						
0.8	13	26	40	53	66	79	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113						
1.0	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98	20	39	59	78	98	117						
1.2	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120						
1.4	14	28	43	57	71	85	17	34	52	69	86	103	21	41	62	82	103	123						
1.6	15	29	44	58	73	87	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126						
1.8	15	30	45	59	74	89	18	36	54	72	90	108	22	43	65	86	108	129						
2.0	15	30	46	61	76	91	18	37	55	73	92	110	22	44	66	88	110	132						
2.2	16	31	47	62	78	93	19	38	57	75	94	113	23	45	68	90	113	135						
2.4	16	32	48	63	79	95	19	38	58	77	96	115	23	46	69	92	115	138						
2.6	16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	118	141						
2.8	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	95	119	143						
3.0	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						

- 측정수온 : 25 °C

염소농도 (mg/L)	pH≤6 log 불활성화율						pH=6.5 log 불활성화율						pH=7.0 log 불활성화율						pH=7.5 log 불활성화율					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤0.4	4	8	12	16	20	24	5	10	15	19	24	29	6	12	18	23	29	35	7	14	21	28	35	42
0.6	4	8	13	17	21	25	5	10	15	20	25	30	6	12	18	24	30	36	7	14	22	29	36	43
0.8	4	9	13	17	22	26	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	7	15	22	29	37	44
1.0	4	9	13	17	22	26	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	8	15	23	30	38	45
1.2	5	9	14	18	23	27	5	11	16	21	27	32	6	13	19	25	32	38	8	15	23	31	38	46
1.4	5	9	14	18	23	27	6	11	17	22	28	33	7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47
1.6	5	9	14	19	23	28	6	11	17	22	28	33	7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48
1.8	5	10	15	19	24	29	6	11	17	23	28	34	7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49
2.0	5	10	15	19	24	29	6	12	18	23	29	35	7	14	21	27	34	41	8	17	25	33	42	50
2.2	5	10	15	20	25	30	6	12	18	23	29	35	7	14	21	28	35	42	9	17	26	34	43	51
2.4	5	10	15	20	25	30	6	12	18	24	30	36	7	14	22	29	36	43	9	17	26	35	43	52
2.6	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53
2.8	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54
3.0	5	11	16	21	27	32	6	13	19	25	32	38	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55
염소농도 (mg/L)	pH=8.0 log 불활성화율						pH=8.5 log 불활성화율						pH=9.0 log 불활성화율											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
≤0.4	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70						
0.6	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73						
0.8	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75						
1.0	9	18	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78						
1.2	9	18	28	37	46	55	11	22	34	45	56	67	13	27	40	53	67	80						
1.4	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69	14	27	41	55	68	82						
1.6	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70	14	28	42	56	70	84						
1.8	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86						
2.0	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74	15	29	44	59	73	88						
2.2	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90						
2.4	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92						
2.6	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94						
2.8	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80	16	32	48	64	80	96						
3.0	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81	16	32	49	65	81	97						

(2) 오존을 사용하는 경우 (pH 6~9)

온도 (°C)	불활성화 정도					
	0.5 log	1.0 log	1.5 log	2.0 log	2.5 log	3.0 log
<1	0.48	0.97	1.5	1.9	2.4	2.9
5	0.32	0.63	0.95	1.3	1.6	1.9
10	0.23	0.48	0.72	0.95	1.2	1.43
15	0.16	0.32	0.48	0.63	0.79	0.95
20	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72
>25	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48

다. 크립토스포리디움 난포낭(참고사항)

(1) 자외선 소독을 사용하는 경우

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
UV dose (mJ/cm ²)	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22

(2) 오존을 사용하는 경우

불활성화 정도	수온, °C										
	<0.5	1	2	3	5	7	10	15	20	25	30
0.25	6.0	5.8	5.2	4.8	4.0	3.3	2.5	1.6	1.0	0.6	0.39
0.5	12	12	10	9.5	7.9	6.5	4.9	3.1	2.0	1.2	0.78
1.0	24	23	21	19	16	13	9.9	6.2	3.9	2.5	1.6
1.5	36	35	31	29	24	20	15	9.3	5.9	3.7	2.4
2.0	48	46	42	38	32	26	20	12	7.8	4.9	3.1
2.5	60	58	52	48	40	33	25	16	9.8	6.2	3.9
3.0	72	69	63	57	47	39	30	19	12	7.4	4.7

(3) 이산화염소를 사용하는 경우

불활성화 정도	수온, °C										
	<0.5	1	2	3	5	7	10	15	20	25	30
0.25	159	153	140	128	107	90	69	45	29	19	12
0.5	319	305	279	256	214	180	138	89	58	38	24
1.0	637	610	558	511	429	360	277	179	116	75	49
1.5	956	915	838	767	643	539	415	268	174	113	73
2.0	1275	1220	1117	1023	858	719	553	357	232	150	98
2.5	1594	1525	1396	1278	1072	899	691	447	289	188	122
3.0	1912	1830	1675	1534	1286	1079	830	536	347	226	226

(4) 이산화염소를 사용하는 경우 (pH 6~9)

소독제	온도					
	<1 ℃	5 ℃	10 ℃	15 ℃	20 ℃	>25 ℃
이산화염소	63	26	23	19	15	11

(5) 자외선 소독을 사용하는 경우

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
UV dose (mJ/cm ²)	1.5	2.1	3	5.2	7.7	11	15	22

2.5 기타 준수하여야 하는 사항

- 1) 일반수도사업자는 검사결과를 3년간 기록·보존하여야 한다.
- 2) 일반수도사업자는 매월 검사결과를 별지 제6호의2서식〈표2.5〉에 따라 작성하여 다음 달 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.
- 3) 일반수도사업자는 기준을 준수하지 못하여 수도시설의 개선 등 필요한 조치를 하여야 하는 경우에는 자체시설 점검 등을 통하여 기준에 위반된 원인을 분석하고 그에 필요한 개선조치를 한 후 10일 이내에 그 결과를 환경부장관에게 보고하여야 한다.
- 4) 일반수도사업자는 수질기준(수도법 제27조)을 위반하는 경우 주민공지를 해야 하고 수질개선 조치를 해야 하며 마찬가지로 정수처리기준(수도법 28조)을 준수하지 못할 경우는 수도시설의 개선 등 필요한 조치를 하여야 한다. 수도법 27조의 주민공지하지 아니한 경우 및 수도법 28조에 따라 조치명령을 위반한 200만원 이하의 벌금에 처한다.

아래는 수도법시행령 제47조의 수질기준 위반 시 조치사항의 일부이다.

[수도법시행령 제47조 중 수질기준 위반 시 조치사항 등의 공지기준]

4. 탁도가 1 NTU 를 초과하여 24시간 이상 지속되는 경우
5. 탁도가 5 NTU 를 초과하는 경우
6. 잔류염소농도가 정수지 유출부에서 0.1 mg/L (결합잔류염소의 경우에는 0.4 mg/L) 미만으로 1시간 이상 지속되는 경우
7. 잔류염소농도가 정수지 유출부에서 4 mg/L 이상인 경우
8. 소독에 따라 요구되는 불활성화비 값이 1미만인 경우로서 48시간 이상 지속되는 경우
9. 수소이온농도(pH)가 5.5 미만이거나 9.0을 초과하는 경우로서 1시간 이상 지속되는 경우 등

〈표 2.5〉 수도법 시행규칙 [별지 제6호의2 서식]

(앞 쪽)

(년 월)정수처리기준 운영결과 보고

1. 정수장 및 여과/소독공정 개요

정수장 명			
위 치			
담당자명(전화번호)			
시설용량(m ³ /일)		월평균 생산량(m ³ /일)	
여과공정	여과방식		
	측정지점/방법		
소독공정	소독방법(소독제 종류)		
	소독지점		
	측정지점/방법		

2. 탁도 및 불활성비

항목	수질검사결과	
	평 균 (최대~최소)	기준초과
1. 탁도(Turbidity)	()	/
2. 잔류소독제 농도	()	/
3. CT계산값	()	/
4. 불활성화비	()	/

작성방법	1. 평균은 검체시료의 월간분석결과 산술평균값을 기입하고, 괄호안에 최대값과 최소값을 기입한다. 2. 기준초과는 항목별로 “기준초과건수/총검사건수”를 기입한다.
------	--

3

정수처리 공정별
정수처리기준 계산

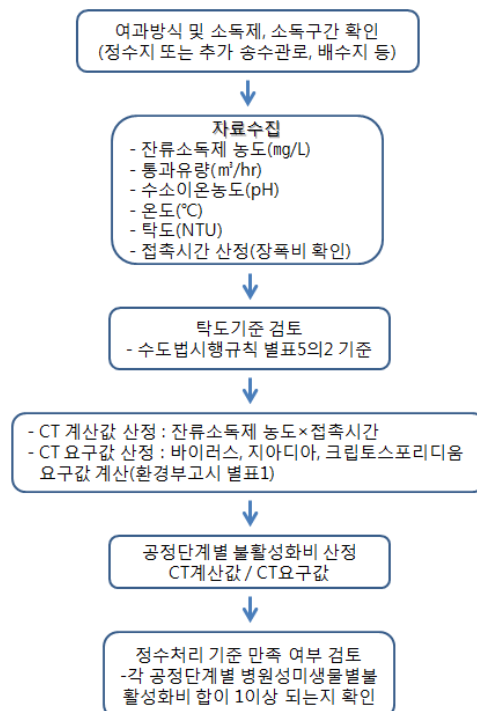
3

정수처리 공정별 정수처리기준 계산

「불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정(환경부 고시 제2012-185호)」 별표1에 따라 불활성화비를 계산할 수 있으며 보다 이해를 돕기 위해 아래 예를 들어 계산하는 방법을 나타내었다.

3.1 정수처리기준 계산 개요

가. 계산흐름도



〈그림 3.1〉 정수장 불활성화비 계산

나. 계산 시 요구자료 및 적용값

〈표 3.1〉 정기 측정자료

항 목	단 위	기 준	비 고
탁 도	NTU	1이하 (평균0.3이하)	- 여과지 유출수 혼합지점
잔류소독제 농도	mg/L	0.1~4.0	- 정수지 유출부
수 온	℃	-	
수소이온농도(pH)	-	5.8~8.5	- 정수지 유출부
시간당 통과유량	m ³ /hr	-	- 측정 불가 시 일평균유량(m ³ /day)× 1.17 ÷ 24 (hr)

〈표 3.2〉 계산값 및 정수장 특성값

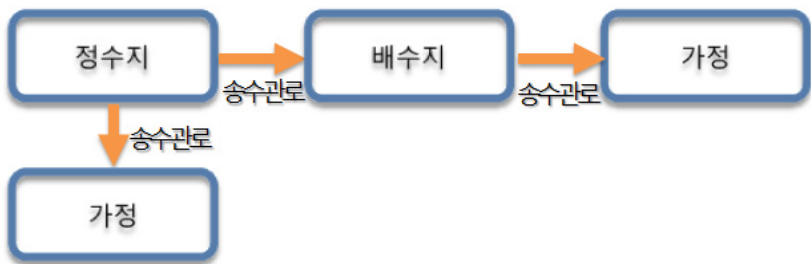
항 목	단 위	계산식/산정방법
시설사용용량	m ³	- 길이(m) × 폭(m) × 수심(m)
장폭비 환산계수	-	- 물흐름 길이(m) ÷ 물흐름 폭(m) → 환산계수표 적용 - 추적자시험 결과
체류시간	min	- 시설사용용량(m ³)÷시간당통과유량(m ³ /hr) × 60(min)
소독능 계산값(CT _{계산값})	mg·min/L	- 체류시간(min)×잔류소독제 농도(mg/L) × 장폭비 환산계수
불활성화비		- 소독능 계산값(CT _{계산값}) ÷ 소독능 요구값 (CT _{요구값})

〈표 3.3〉 일일 불활성화비 계산 시 적용값 : 최악의 조건을 적용

적용기준	대상항목
일간 최고값	탁도, 수소이온농도, 시간당통과유량
일간 최저값	잔류염소농도, 수온, 수심

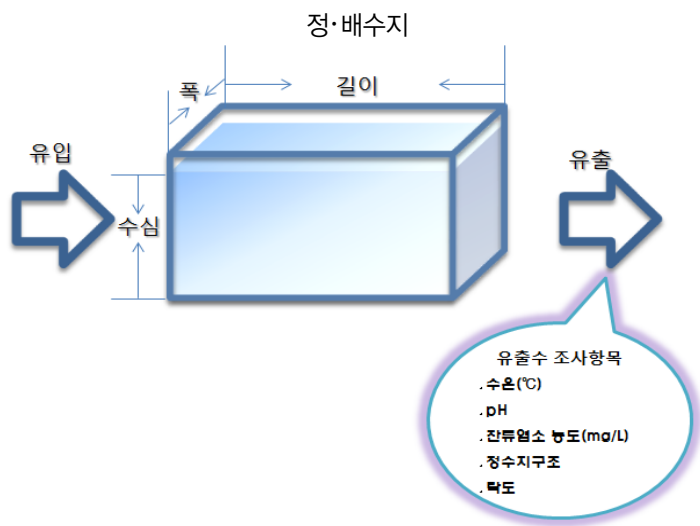
다. 각 단계별 CT값 평가 및 불활성화비 계산

수돗물 공급체계에서 각 단계별로 CT값을 평가하고 불활성화비를 계산한다. 이때 단계별 유출수의 조사 항목은 유리잔류염소농도, 수온, pH, 탁도, 정(배)수지내의 구조(T_{10}/T)이다.



〈그림 3.2〉 수돗물 공급체계

라. 불활성화비 계산(정·배수지)



〈그림 3.3〉 정·배수지의 불활성화비 계산

(1) 정·배수지의 사용 용량

$$\text{정·배수지 사용 용량}(\text{m}^3) = \text{길이}(\text{m}) \times \text{폭}(\text{m}) \times \text{수심}(\text{m})$$

※ 수심은 최저수심을 적용

(2) 체류시간

$$\text{체류시간}(\text{min}) = \frac{\text{정·배수지 사용용량}(\text{m}^3)}{\text{최대통과유량}(\text{m}^3/\text{hr})} \times 60(\text{min})$$

※ 다만 시간대별 최대 통과유량을 측정할 수 없는 경우에는 1일평균 유량으로 대체한다.

$$\text{체류시간}(\text{min}) = \frac{\text{정·배수지 사용용량}(\text{m}^3)}{\text{1일평균통과유량}(\text{m}^3/\text{day})} \times 1,440(\text{min})$$

(3) $CT_{\text{계산값}} = \text{체류시간}(\text{min}) \times \text{잔류염소 농도}(\text{mg/L}) \times T_{10}/T$

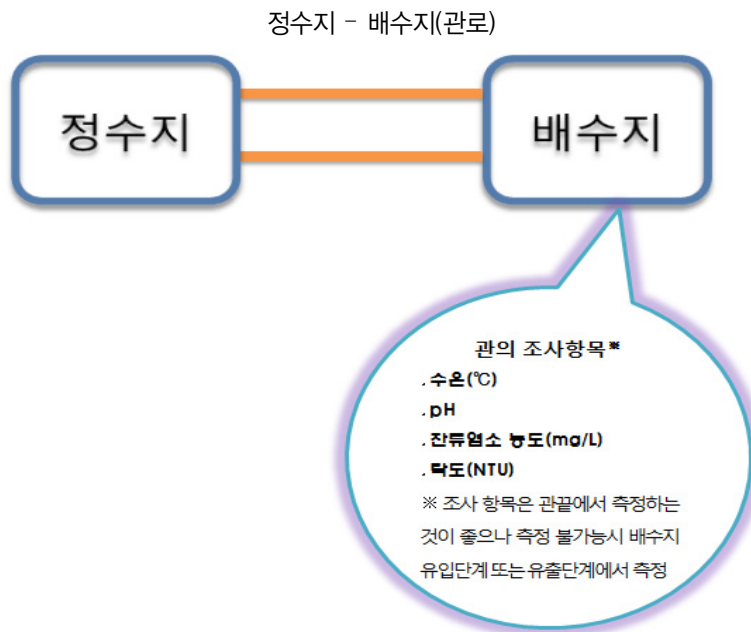
※ 정·배수지의 구조에 따라 T_{10}/T 값 적용

(4) 요구되는 $CT_{99.9}$, 지아디아 또는 $CT_{99.99}$, 바이러스

※ 수온, pH, 유리 잔류염소농도 및 탁도 등을 참조하여 표에서 구함
(표는 별도첨부)

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

마. 불활성화비 계산 (정수지-배수지(관로))



〈그림 3.4〉 정수지-배수지 관로의 불활성화비 계산

(1) 관의 용량

$$\text{관의용량}(\text{m}^3) = \text{관의 길이}(\text{m}) \times \pi \times [\text{관의 반지름}(\text{m})]^2$$

※ 관의 길이 및 구경 : 관망도 참조

(2) 체류시간

$$\text{체류시간}(\text{min}) = \frac{\text{관의용량}(\text{m}^3)}{\text{최대통과유량}(\text{m}^3/\text{hr})} \times 60(\text{min})$$

※ 다만 시간대별 최대 통과유량을 측정할 수 없는 경우에는 1일 평균 유량으로 대체한다.

$$\text{체류시간(min)} = \frac{\text{관의 용량 (m}^3\text{)}}{\text{1일 평균 통과유량 (m}^3\text{/day)}} \times 1,440 \text{ (min)}$$

(3) $CT_{\text{계산값}} = \text{체류시간(min)} \times \text{잔류염소 농도(mg/L)} \times 1.0$

※ T_{10}/T 값은 1.0을 적용한다.

(4) 요구되는 $CT_{99,9}$ 지아디아 또는 $CT_{99,99}$ 바이러스

※ 수온, pH, 유리 잔류 염소농도 및 탁도 등을 참조하여 표에서 구함(표는 별도첨부)

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

가. 정수지 단계

(1) 정수지의 용량(최소사용시의 용량)을 계산하고 시간대별로 최대 통과유량인 시간에서 접촉 체류 시간을 구한다.

다만 시간대별로 최대 통과유량을 측정할 수 없는 경우에는 1일 평균통과유량으로 대체한다.

(2) 정수지내의 구조에 따라 T_{10}/T 의 값을 0.1~1.0의 값을 적용한다.

이때 추적자 실험이 가능하면 T_{10}/T 의 값은 추적자 실험결과에 따른다.

(3) 정수지 출구(유출수)에서의 유리 잔류염소, 수온, pH, 탁도를 측정한다.

(4) 이때의 $CT_{\text{계산값}}$ 및 $CT_{\text{요구값}}$ (표참조)를 각각 구하여 불활성화비($\frac{CT_{\text{계산값}}}{CT_{\text{요구값}}}$) 값을 구한다.

나. 배수지 단계

(1) 배수지의 용량(최소사용시의 용량)을 계산하고 시간대별로 최대 통과유량인 시간에서 접촉체류 시간을 구한다.

다만 시간대별로 최대 통과유량을 측정할 수 없는 경우에는 1일 평균 통과유량으로 대체한다.

(2) 배수지내의 구조에 따라 T_{10}/T 의 값을 0.1~1.0의 값을 적용한다. 이때 추적자 실험이 가능하면 T_{10}/T 의 값은 추적자 실험결과에 따른다.

(3) 배수지 출구(유출수)에서의 유리잔류염소, 수온, pH, 탁도를 측정한다.

(4) 이때의 $CT_{\text{계산값}}$ 및 $CT_{\text{요구값}}$ (표참조)를 각각 구하여 불활성화비($\frac{CT_{\text{계산값}}}{CT_{\text{요구값}}}$) 값을 구한다.

다. 정수지-배수지 간의 송수단계(관로)

(1) 정수지에서 배수지까지의 송수거리, 송수관의 크기(내경)로 송수관량을 구하고 시간대별로 최대 송수유량을 측정할 수 없는 경우에는 1일 평균 유량으로 대체한다.

또한 송수되는 과정에서 송수유량, 송수관의 크기 등이 변동될 때에는 변동되는 단계별로 체류 시간을 구하여 합산한다.

(2) 송수 관로에서의 T_{10}/T 는 1.0을 적용한다.

(3) 송수관로 끝단에서 유출되는 유출수의 유리 잔류염소, 수온, pH, 탁도를 측정한다.

이때 끝단에서 측정이 불가능한 경우에는 그 다음 단계(가정수도꼭지 등)의 측정값을 $CT_{\text{계산}}$ 에 사용한다.

(4) 이때의 $CT_{\text{계산값}}$ 및 $CT_{\text{요구값}}$ (표 참조)를 각각 구하여 불활성화비($\frac{CT_{\text{계산값}}}{CT_{\text{요구값}}}$) 값을 구한다.

라. 정수지(배수지) - 최초도달 가정간의 송수단계(관로)

정수지(배수지)에서 최초도달 가정까지는 관망도(管網圖) 등이 확보되지 않을 경우 측정이 불가능한 경우가 있으나 가정까지의 관로에서도 소독약품과 물과의 접촉은 계속 이루어지고 있으므로 부족한 소독능(CT)값을 계산할 필요가 있다.

또한 여기서의 계산방법은 앞의 다.의 방법을 이용하여 계산할 수 있으며 각 가정의 수돗물 사용량 등을 고려하여 계산할 수 있으나 조사인자 등의 부정확한 요인이 발생할 수 있으므로 세심한 주의가 필요하다.

마. 위의 1~4의 불활성화비를 공급 체계별로 구하고 합하여 총 불활성화비(Total Inactivation Ratio)로 한다. 총 불활성화비의 값이 1.0을 넘을 경우 지아디아, 바이러스 등의 처리기준의 요구사항이 이루어진 것이다.

바. 1~4의 계산식 중 $CT_{\text{요구값}}$ 은 통합여과수 탁도기준을 만족한 경우 여과방식에 따라 지아디아 2 ~ 2.5 log, 바이러스 0.5~3 log를 제외한 값을 적용한다. 일례로, 급속여과방식인 경우, 지아디아 0.5 log, 바이러스 2 log 불활성화에 필요한 $CT_{\text{요구값}}$ 이 적용된다.

단, 이는 4시간 간격으로 측정된 통합여과수 탁도가 항상 1 NTU 이하인 경우에 적용할 수 있으며, 한번이라도 1 NTU 를 초과한 경우에는 여과공정에서의 미생물 제거에 실패한 것이므로, 지아디아 3 log 및 바이러스 4 log 불활성화에 필요한 $CT_{\text{요구값}}$ 이 적용되어야 한다.

사. 탁도, 잔류염소, pH, 수온 등은 연속 모니터링으로 측정하여야 한다. 다만 고장 등의 이유로 이를 수행할 수 없는 경우에는 수도법시행규칙 별표3 및 별표5의2 등 각 규정에 따라 측정하여야 한다.

3.2 시간대별 정수처리기준 계산사례

가. 정수장 조건

- (1) 시설용량 : 150,000 m³/일
- (2) 일일 평균생산량 : 130,000 m³/일
- (3) 여과방식 : 급속여과방식
- (4) 소독제 종류 및 투입지점 : 후염소처리 (정수지 유입전)
- (5) 정수지 규격 및 구조
 - 시설용량 : 12,000 m³ (폭 : 20 m, 길이 : 80 m, 높이 : 7.5 m)
 - 도류벽 설치 여부 : 도류벽 미설치
- (6) 추적자 시험 : 미 실시 (이론적 접촉시간 적용)

나. 불활성화비의 계산(불활성화비를 일일 1회 계산하는 경우[최악조건시])

수질 및 수량 측정결과 적용값

측정시간	탁 도 (NTU)	잔류염소 (mg/L)	온도 (℃)	수소이온농도 (pH)	통과유량 (m³/hr)	수심 (m)
04:00	0.35	0.5	13.5	6.8	4,300	3.5
08:00	0.27	0.6	16.3	7.8	5,300	4.3
12:00	0.33	0.8	20.2	7.3	5,800	4.8
16:00	0.45	0.7	18.5	7.6	5,100	4.2
20:00	0.37	0.4	16.5	7.0	6,100	5.0
24:00	0.25	0.6	12.8	7.1	4,100	3.4
적용값	기준만족	0.4	12.8	7.8	6,100	3.4

※ 적용값 : 일간 수질측정자료중 최악조건을 고려하여 도출한 값임

(1) 소독제 접촉시간을 구한다.

$$\text{접촉시간} = \frac{\text{정수지 사용용량}}{\text{시간당 최대통과유량}} \times \text{장폭비 환산계수}$$

- 정수지 사용용량 : 길이 × 폭 × 수심
- 수심은 최저수심 (시간당최소통과유량시 수심 적용)

① 정수지 사용용량 : 8,000 m³

- 수심은 일중 최저수심인 24:00에 측정한 수심값 적용

② 시간당 최대통과유량 : 6,100 m³/hr (20:00 측정유량)

- 시간당 최대통과유량 산정 곤란시 일평균생산량을 이용한 이론최대통과유량값을 적용

$$\text{이론최대통과 유량값} = \frac{\text{일평균생산량 (m³/일)}}{(\text{m³/hr}) 24\text{hr/일}} \times 1.17$$

③ 장폭비 환산계수 : 0.2

- 별도의 도류벽 등이 설치되어 있지 않으므로 장폭비는 “4”(80÷20)가 되고, 환산계수표에 따라 “0.2” 값을 적용

- 소독제 접촉시간 계산: 15.7분

$$8,000 \text{ m}^3 \div 6,100 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min/hr} \times 0.2 = 15.74$$

(2) CT_{계산값}을 구한다.

$$CT_{\text{계산값}} = \text{잔류소독제 농도 (mg/L)} \times \text{접촉시간 (min)}$$

- 잔류소독제 농도는 최저 농도값을 적용

- ① 잔류소독제 농도 : 0.4 mg/L
 - 20:00에 측정한 최저 농도값 적용
- ② 접촉시간 : 15.7분
 - CT계산값 : 6.28 mg/L·분
 - 0.4 mg/L × 15.7분 = 6.28 mg/L·분

(3) CT_{요구값}의 적용치를 검토한다.

CT_{요구값}의 적용치

검토사항	적용값	적용치 판단
여과시설 종류	- 급속여과시설	바이러스 2 log 제거인정
탁도기준 준수여부	- 평균 및 최대값 기준만족	
잔류소독제 종류	- 유리잔류염소(0.4 mg/L)	CT _{요구값} , 바이러스 2 log = 2.6 (표 참조)
수소이온농도	- 7.8 ⇒ 6.0~9.0적용	
수온	- 12.8 ⇒ 12 °C 적용	

(4) 불활성화비를 계산하고 정수처리기준 준수여부를 판단한다.

$$\text{불활성화비} = \text{소독능 계산값}(CT_{\text{계산값}}) \div \text{소독능 요구값}(CT_{\text{요구값}})$$

- 계산된 불활성화비가 1이상이면 기준 준수

- 불활성화비 : 2.41(정수처리기준 만족)
 - 6.28 mg/L·분 ÷ 2.6 mg/L·분 = 2.4

불활성화비를 1일 측정주기(시간)별로 계산하는 경우(권장사항)

측정시간	정수지 사용용량	시간당 통과유량	이 론 접촉시간	CT계산값	CT요구값	바이러스 불활성화비	바이러스기준 만족여부
04:00	5,600	4,300	15.6	7.8	2.3	3.4	만족
08:00	6,880	5,300	15.6	9.4	1.7	5.4	만족
12:00	7,680	5,880	15.7	12.6	1.0	12.6	만족
16:00	6,720	5,100	15.8	11.1	1.3	8.5	만족
20:00	8,000	6,100	15.7	6.3	1.7	3.7	만족
24:00	5,440	4,100	15.9	9.5	2.4	4.0	만족

〈계산〉

(1) 소독제 접촉시간을 구한다.

$$\text{접촉시간} = \frac{\text{정수지 사용용량}}{\text{시간당 통과유량}} \times \text{장폭비 환산계수}$$

- 정수지 사용용량 : 길이 × 폭 × 수심
- 수심은 시간당통과유량시의 측정수심

① 정수지 사용-용량

- 04:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 5,600 \text{ m}^3$$

- 08:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 4.3 \text{ m} = 6,880 \text{ m}^3$$

- 12:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 4.8 \text{ m} = 7,680 \text{ m}^3$$

- 16:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} = 6,720 \text{ m}^3$$

- 20:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} = 8,000 \text{ m}^3$$

- 24:00

$$80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 3.4 \text{ m} = 5,440 \text{ m}^3$$

② 시간당 통과유량 : 측정값 적용

③ 장폭비 환산계수 : 0.2

- 별도의 도류벽 등이 설치되어 있지 않으므로 장폭비는 “4”(80÷20)가 되고, 불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정 별표 1의 환산계수표에 따라 “0.2” 값을 적용

- 소독제 접촉시간(min) 계산

• 04:00

$$5,600 \text{ m}^3 \div 4,300 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min/hr} \times 0.2 = 15.6$$

• 08:00

$$6,880 \text{ m}^3 \div 5,300 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min/hr} \times 0.2 = 15.6$$

• 12:00

$$7,680 \text{ m}^3 \div 5,880 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min/hr} \times 0.2 = 15.7$$

• 16:00

$$6,720 \text{ m}^3 \div 5,100 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min/hr} \times 0.2 = 15.8$$

- 20:00

$$8,000 \text{ m}^3 \div 6,100 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min}/\text{hr} \times 0.2 = 15.7$$

- 24:00

$$5,440 \text{ m}^3 \div 4,100 \text{ m}^3/\text{hr} \times 60 \text{ min}/\text{hr} \times 0.2 = 15.9$$

(2) CT계산값을 구한다.

$$\text{CT계산값} = \text{잔류소독제 농도}(\text{mg/L}) \times \text{접촉시간}(\text{min})$$

– CT계산값

- 04:00

$$0.5 \text{ mg/L} \times 15.6 \text{ 분} = 7.8 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

- 08:00

$$0.6 \text{ mg/L} \times 15.6 \text{ 분} = 9.4 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

- 12:00

$$0.8 \text{ mg/L} \times 15.7 \text{ 분} = 12.6 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

- 16:00

$$0.7 \text{ mg/L} \times 15.8 \text{ 분} = 11.1 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

- 20:00

$$0.4 \text{ mg/L} \times 15.7 \text{ 분} = 6.3 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

- 24:00

$$0.6 \text{ mg/L} \times 15.9 \text{ 분} = 9.5 \text{ mg/L} \cdot \text{분}$$

(3) CT_{요구값}의 적용치(CT_{요구값} 표 참조)를 검토

– 04 :00

- 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 13.5 °C, pH 6.9(6~9적용)

- 수온 10°C일 때 요구값 : 3

- 수온 15°C일 때 요구값 : 2

- CT요구값 : $2 + \{(3-2) - [(13.5-10) \div (15-10)]\} = 2.3$

– 08:00

- 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 16.3 °C, pH 7.8(6~9적용)

- 수온 15 °C 일 때 요구값 : 2

- 수온 20 °C 일 때 요구값 : 1

- CT요구값 : $1 + \{(2-1) - [(16.3-15) \div (20-15)]\} = 1.7$

- 12:00
 - 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 20.2 °C , pH 7.3(6~9적용)
 - 수온 20 °C 일 때 요구값 : 1
 - 수온 25 °C 일 때 요구값 : 1
 - CT요구값 : 1
- 16:00
 - 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 18.5 °C , pH 7.6(6~9적용)
 - 수온 15 °C 일 때 요구값 : 2
 - 수온 20 °C 일 때 요구값 : 1
 - CT요구값 : $1 + \{(2-1) - [(18.5-15) \div (20-15)]\} = 1.3$
- 20:00
 - 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 16.5 °C , pH 7.0(6~9적용)
 - 수온 15 °C 일 때 요구값 : 2
 - 수온 20 °C 일 때 요구값 : 1
 - CT요구값 : $1 + \{(2-1) - [(16.5-15) \div (20-15)]\} = 1.7$
- 24:00
 - 잔류 소독제 종류 : 유리염소, 수온 12.8 °C , pH 7.1(6~9적용)
 - 수온 10 °C 일 때 요구값 : 3
 - 수온 15 °C 일 때 요구값 : 2
 - CT요구값 : $2 + \{(3-2) - [(12.8-10) \div (15-10)]\} = 2.4$

(4) 불활성화비를 계산하고 정수처리기준 준수여부를 판단한다.

불활성화비 = 소독능 계산값(CT계산값) ÷ 소독능 요구값 (CT요구값) - 계산된 불활성화비가 1이상이면 기준 준수
--

- 04:00
 - 7.8 mg/L·분 ÷ 2.3 mg/L·분 = 3.4, 기준만족
- 08:00
 - 9.4 mg/L·분 ÷ 1.7 mg/L·분 = 5.5, 기준만족
- 12:00
 - 12.6 mg/L·분 ÷ 1.0 mg/L·분 = 12.6, 기준만족
- 16:00
 - 11.1 mg/L·분 ÷ 1.3 mg/L·분 = 8.5, 기준만족

- 20:00

$$6.3 \text{ mg/L·분} \div 1.7 \text{ mg/L·분} = 3.7, \text{ 기준만족}$$

- 24:00

$$9.5 \text{ mg/L·분} \div 2.4 \text{ mg/L·분} = 4.0, \text{ 기준만족}$$



참고 전(前) 소독처리에서의 소독능 계산

전염소에 의한 소독능 계산가능 여부에 대한 특별한 규정은 없으나 전염소 및 중염소 주입의 목적을 고려하여 후염소에 대한 소독능 계산을 하는 것이 통상적 사항이다. 전염소는 유기물 부하 경감 및 세균 제거 목적이고 중염소는 THM 저감 등이 투입의 목적으로 후염소처리의 병원균 사멸을 위한 것과는 차이가 있으며, 또한 병원성미생물의 활성화는 탁도가 주요한 인자로 영향을 주기 때문에 최악조건 발생을 고려하는 소독능 준수 목적을 고려할 때 신중한 접근이 필요한 것으로 판단된다.

전염소, 중염소 처리보다 후염소 처리를 통한 소독능 확보를 권고하며, 전염소에 의한 소독능계산 적용 시에는 조류발생등 이취미 제어 목적 등으로 전염소가 미투입 되는 것 없이 상시 전염소 투입을 하여야 하며, 정수처리공정에서의 단계별 잔류염소 농도를 측정을 통하여 공정별 정확한 불활성화비 계산되어야 한다. 또한 전염소보다는 자외선, 오존과 같은 추가 소독시설을 설치하여 소독능을 확보를 검토하는 것이 좋을 것이다.

〈전염소 투입 시 계산방법〉

전염소 투입을 통해 부족한 소독능 값을 얻고자 할 경우에는 다음 식을 통해 필요한 잔류 염소의 농도를 구할 수 있다.

$$C = \frac{CT^*}{\beta t_1 + \alpha \beta t_2}$$

CT*: 응집지 또는 침전지에서 요구되는 총 CT 값

C: 응집지의 유출부에서의 유리 잔류염소

t₁: 응집지 체류시간

t₂: 침전지 체류시간

α: 잔류염소 감소상수(침전지 유출부 잔류염소/응집지 유출부 잔류 염소)

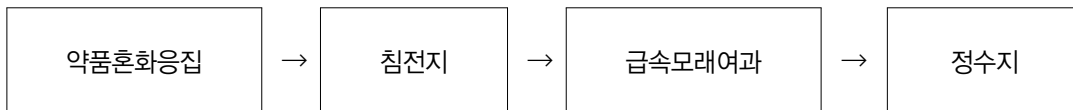
β: 응집지 또는 침전지 구조에 따라 0.1~1.0을 갖는다.

3.3 공정별 정수처리기준 계산사례

가. 전염소 주입 시 불활성화비 계산 (지아디아)

(1) 전제조건

- ① 수온 : 15 ℃, pH : 7.0
- ② 수돗물생산량 : 60,000 m³/일
- ③ 전염소 주입지점 : 착수정 출구(혼화지전단)
- ④ 여과지 통합탁도 : 0.2 NTU
- ⑤ 후염소 주입지점 : 정수지전단, 0.7 mg/L



〈표 3.4〉 전염소 주입 시 지아디아 불활성화비 계산

구 분	혼화지	응집지	침전지	여과지	정수지	계
너비 (m)	2.5	12	12	7.6	35.6	
길이 (m)	2.5	12	60	24	62.6	
높이 (m)	3.3	3.5	5	2	4	
지수	4	4	4	6	4	
용량 (m ³)	83	2,016	14,400	1,642	35,657	
도류벽수					6	
정수생산량 (m ³ /일)	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	
유효체류시간 (min)	2	48	346	39	856	
산정인수 (β)	0.1	0.1	0.5	0.7	0.5	
잔류염소농도 (mg/L)	0.8	0.6	0.4	0.4	0.6	
CT 값	0.16	2.90	69.12	11.03	256.73	
CT 요구값	73	72	70	70	12	
불활성화비	0.002	0.04	0.99	0.16	21.39	22.58

(2) 급속 혼화지

① 혼화지 사용-용량

$$2.5\text{m(너비)} \times 2.5\text{m(길이)} \times 3.3\text{m(수심)} \times 4\text{지} = 83 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 혼화지 체류시간} = \frac{83 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 2.0 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.8 \times 2.0 \times 0.1 = 0.1$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 73 \text{ <표 3.4 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{0.16}{73} = 0.002$$

(3) 응집지

① 응집지 사용-용량

$$12 \text{ m (너비)} \times 12 \text{ m (길이)} \times 3.5 \text{ m (수심)} \times 4\text{지} = 2,016 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³ /일

$$\textcircled{3} \text{ 응집지 체류시간} = \frac{2,016 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 48.4 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.6 \times 48.4 \times 0.1 = 2.52$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 72 \text{ <표 3.4 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{2.90}{72} = 0.04$$

(4) 침전지

① 침전지 사용-용량

$$12 \text{ m (너비)} \times 60 \text{ m (길이)} \times 5 \text{ m (최소수심)} \times 4\text{지} = 14,400 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 침전지 체류시간} = \frac{14,400 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 346 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.4 \times 346 \times 0.5 = 89.86$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 70 \text{ <표 3.4 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{69.12}{70} = 0.99$$

(5) 여과지

① 여과지 사용용량

$$- [7.6 \text{ m (가로)} \times 24 \text{ m (세로)} \times 2 \text{ m (총깊이)} \times 6\text{지}] - [7.6 \text{ m (가로)} \times 24 \text{ m (세로)} \times 1 \text{ m (총깊이)} \times 0.5(\text{공극률}) \times 6\text{지}] = 1,641.6 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 여과지 체류시간} = \frac{1,642 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 39 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.4 \times 39 \times 0.7 = 9.38$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 70$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{11.03}{70} = 0.16$$

(6) 정수지

① 정수지 사용용량

$$35.6 \text{ m(가로)} \times 62.6 \text{ m (세로)} \times 4 \text{ m (최소수심)} \times 4\text{지} = 35,657 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 정수지 체류시간} = \frac{35,657 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 856 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.6 \times 856 \times 0.5 = 222.5$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 12 \text{ <표 3.4 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{256.73}{12} = 21.39$$

$$(7) \text{ 총 불활성화비} = 22.58$$

$$0.002(\text{급속 혼화지}) + 0.04(\text{응집지}) + 0.99(\text{침전지}) + 0.16(\text{여과지}) + 21.39(\text{정수지})$$

나. 후염소 주입 시 불활성화비 계산 (바이러스, 지아디아)

(1) 전제조건

$$\textcircled{1} \text{ 수온} : 15 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ pH} : 7.0$$

$$\textcircled{2} \text{ 정수공정} : \text{약품혼화, 응집, 침전, 급속여과}$$

$$\textcircled{3} \text{ 수돗물생산량} : 60,000 \text{ m}^3/\text{일}$$

$$\textcircled{4} \text{ 후염소 주입지점} : \text{정수지전단}, 0.7 \text{ mg/L}$$

〈표 3.5〉 후염소 주입 시 바이러스 및 지아디아의 불활성화비 계산

구 분		정수지	비 고
너비(m)		35.6	
길이(m)		62.6	
높이(m)		4	
지 수		4	
용량 (m³)		35,657	
도류벽수		6	
정수생산량(m³/일)		60,000	
유효체류시간(min)		856	
장폭비 환산계수 (β)		0.5	
잔류염소농도 (mg/L)		0.6	
탁도(NTU)		0.2	
CT _{계산값}		256.73	
CT _{요구값}	바이러스	2	
	지아디아	12	
불활성화비	바이러스	128.37	
	지아디아	21.39	

(2) 정수지

① 정수지 사용용량

$$35.6 \text{ m (가로)} \times 62.6 \text{ m (세로)} \times 4 \text{ m (최소수심)} \times 4 \text{ 지} = 35,657 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 정수지 체류시간} = \frac{35,657 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440 (\text{min}) = 856 \text{ min}$$

$$\textcircled{4} \text{ CT}_{\text{계산값}} = 0.52 \times 856 \times 0.5 = 222.5$$

- 바이러스 CT_{요구값} = 2 〈표 3.5 참조〉

$$\text{불활성화비} = \frac{222.5}{2} = 111.25$$

- 지아디아 CT_{요구값} = 12 〈표 3.5 참조〉

$$\text{불활성화비} = \frac{222.5}{12} = 21.39$$

- 크립토스포리디움

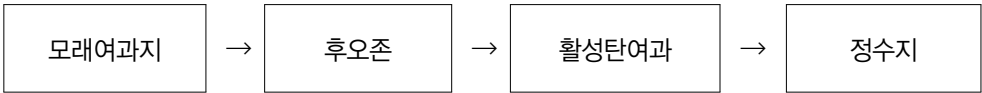
통합여과수 탁도가 0.2 NTU 값으로 통합여과수 탁도기준(0.3 NTU) 이하이므로 크립토스포리디움 요구값인 2 log를 만족함

크립토포리디움의 경우는 안전성 확보를 위해 원수에서 크립토포리디움이 검출되는 경우에는 그 검출 정도에 따라 미국과 같이 정수처리기준에 여과공정에서의 기준설정과 추가제거기준 및 제거방법이 포함되어 적용 할 필요성이 있음

다. 후오존에 의한 불활성화비 계산(바이러스)

(1) 전제조건

- ① 수온 : 15 ℃, pH : 7.0
- ② 수돗물생산량 : 60,000 m³/일
- ③ 통합여과수 탁도 : 0.2 NTU
- ④ 후오존 잔류농도 : 0.1 mg/L
- ⑤ 정수지 후단 잔류염소농도 : 0.52 mg/L



〈표 3.6〉 후오존에 의한 바이러스의 불활성화비 계산

구 분	오존접촉지	정수지	계
너비(m)	10	35.6	
길이(m)	8	62.6	
높이(m)	4	4	
지수	2	4	
용량 (m ³)	640	35,657	
도류벽수	6	6	
정수생산량(m ³ /일)	60,000	60,000	
유효체류시간(min)	15	856	
장폭비환산계수 (β)	0.7	0.5	
잔류오존(염소)농도 (mg/L)	0.1	0.52	
CT _{계산값}	1.08	222.50	
CT _{요구값}	0.3	2	
CT _{계산값} / CT _{요구값}	3.58	111.25	114.83

(2) 후오존

① 정수지 사용-용량

$$10 \text{ m (가로)} \times 8 \text{ m (세로)} \times 4 \text{ m (최소수심)} \times 2\text{지} = 640 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 정수지 체류시간} = \frac{640 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 15 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.1 \times 15 \times 0.7 = 1.08$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 0.3 \text{ <표 3.6 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{1.08}{0.3} = 3.58$$

(3) 정수지

① 정수지 사용-용량

$$35.6 \text{ m (가로)} \times 62.6 \text{ m (세로)} \times 4 \text{ m (최소수심)} \times 4\text{지} = 35,657 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\textcircled{3} \text{ 정수지 체류시간} = \frac{35,657 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440(\text{min}) = 856 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.52 \times 856 \times 0.5 = 222.5$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 2 \text{ <표 3.6 참조>}$$

$$\textcircled{4} \text{ 불활성화비} = \frac{222.5}{2} = 111.25$$

$$\textcircled{5} \text{ 총 불활성화비} = 3.58 + 111.25 = 114.83$$

※ 여과지 후단에 활성탄여과지가 설치되어 있는 경우,

- 탁도는 통합여과수를 적용하고

- 필요 시 활성탄여과수를 추가 적용(예: 모래여과지 탁도가 기준 불만족 시)

라. 추가소독능 불활성화비 계산(바이러스)

(1) 전제조건

$$\textcircled{1} \text{ 수온} : 15^\circ\text{C}, \text{ pH} : 7.0$$

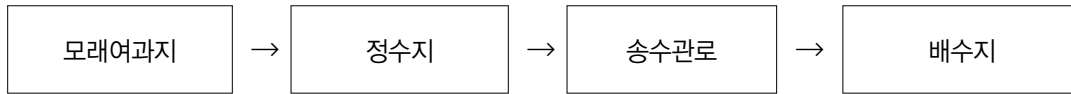
$$\textcircled{2} \text{ 수돗물생산량} : 60,000 \text{ m}^3/\text{일}$$

$$\textcircled{3} \text{ 정수지 후단 잔류염소농도} : 0.52 \text{ mg/L}$$

$$\textcircled{4} \text{ 송수관로} : 10 \text{ km}, \text{ 구경} : 800 \text{ mm}$$

$$\textcircled{5} \text{ 배수지 유출 잔류염소농도} : 0.35 \text{ mg/L}$$

* 도수관로 유출지점(배수지 유출지점) 농도 : 0.35 mg/L 가정



〈표 3.7〉 추가소독능 불활성화비 계산(바이러스)

구 분	정수지	송수관로	배수지	계
너비(m)	35.6	800	50	
길이(m)	62.6	10000	60	
높이(m)	4		4	
지수	4		2	
용량 (m³)	35,657	628	24,000	
도류벽수	6			
정수생산량(m³/일)	60,000	60,000	60,000	
유효체류시간(min)	856	15	576	
장폭비환산계수 (β)	0.5	1	0.5	
잔류염소농도 (mg/L)	0.52	0.35	0.35	
CT _{계산값}	222.50	5.28	100.80	
CT _{요구값}	2	2	2	
CT _{계산값} / CT _{요구값}	111.25	2.64	50.40	164.29

(2) 정수지

① 정수지 사용-용량

$$35.6 \text{ m (가로)} \times 62.6 \text{ m (세로)} \times 4 \text{ m (최소수심)} \times 4 \text{ 지} = 35,657 \text{ m}^3$$

② 1일 통과유량 : 60,000 m³/일

$$\text{③ 정수지 체류시간} = \frac{35,657 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440 (\text{min}) = 856 \text{ min}$$

$$- \text{CT}_{\text{계산값}} = 0.52 \times 856 \times 0.5 = 222.5$$

$$- \text{CT}_{\text{요구값}} = 2 \text{ 〈표 3.7 참조〉}$$

$$\text{④ 불활성화비} = \frac{222.5}{2} = 111.25$$

(3) 송수단계

① 송수관 크기(내경) : 0.8 m

② 송수거리 : 10,000 m

$$\text{③ 송수관량} : 0.8^2 \times 3.14/4 \times 10,000 = 628 \text{ m}^3$$

- ④ 1일 통과유량 : $60,000 \text{ m}^3/\text{일}$
- ⑤ 송수단계 체류시간 = $\frac{628 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440 (\text{min}) = 15 \text{ min}$
- $CT_{\text{계산값}} = 0.35 \times 15 \times 1.0 = 5.28$
- $CT_{\text{요구값}} = 2$
- ⑥ 불활성화비 = $\frac{5.28}{2} = 2.64$

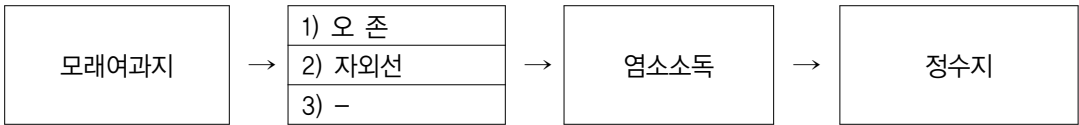
(4) 배수지

- ① 배수지 사용-용량
- $50.0 \text{ m (가로)} \times 60.0 \text{ m (세로)} \times 4.0 \text{ m (최소수심)} \times 2\text{지} = 24,000 \text{ m}^3$
- ② 1일 배수지 통과유량 : $60,000 \text{ m}^3/\text{day}$
- ③ 배수지 체류시간 = $\frac{24,000 \text{ m}^3}{60,000 \text{ m}^3/\text{day}} \times 1,440 (\text{min}) = 576 \text{ min}$
- $CT_{\text{계산값}} = 0.35 \times 576 \times 0.5 = 100.8$
- $CT_{\text{요구값}} = 2$ <표 3.7 참조>
- ④ 불활성화비 = $\frac{100.8}{2} = 50.4$
- ⑤ 총 불활성화비 = $111.25 + 2.64 + 50.4 = 164.29$

마. 크립토스포리디움 불활성화비 계산(참고사항-미국사례)

(1) 전제조건

- ① 수온 : 10°C , pH : 7.0
- ② 통합여과수 탁도 : 1.06 NTU
- ③ 수돗물생산량 : $60,000 \text{ m}^3/\text{일}$
- ④ 후단 소독공정
- 염소소독
- 오존소독 + 염소소독
- 자외선소독 + 염소소독
- 검토조건
- ⑤ 급속여과후 통합수탁도가 1.06 NTU로 크립토스포리디움의 2 log 제거율(99 %) 불만족 상태임



〈표 3.8〉 오존소독

구 분	오존소독	비 고
너 비(m)	10	
길 이(m)	8	
높 이(m)	4	
지 수	2	
용량 (m³)	640	
도류벽수	6	
정수생산량(m³/일)	60,000	
유효체류시간(min)	15	
장폭비환산계수 (β)	0.8	
잔류오존농도 (mg/L)	1.7	
CT _{계산값}	20.89	
2 log - CT _{요구값}	20	
CT _{계산값} / (2 log CT _{요구값})	1.04	

⑥ 후오존 주입에 의한 크립토스포리디움의 2 log 제거율(99 %)을 만족하기 위해서는 잔류오존 농도가 1.7 mg/L 이상이 되어야 함

(2) UV(자외선) 소독

① 자외선 소독에 의한 크립토스포리디움의 2 log 제거율(99 %)을 만족하기 위해서 자외선조사량이 5.8 mJ/cm² 이상이 되어야 함

〈표 3.9〉 자외선 소독에 의한 크립토스포리디움 소독능 요구값

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
UV dose (mJ/cm ²)	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22

(3) 염소소독

① 크립토스포리디움은 염소에 대하여 강한 내성을 갖고 있어 염소소독에 의한 효과는 없다.

(4) 결 론

- ① 크립토스포리디움은 염소 소독에 의한 일부 제거조차도 불가능하므로 여과과정에서 총제거율 (2 log)을 달성해야 하며, 추가로 오존, UV 등의 대체소독제를 사용해야 한다.

A thick gray horizontal bar spans the width of the page. To its right, a gray square is partially visible.

4

소독능 계산 프로그램의 활용

A decorative wavy line in shades of gray curves across the bottom of the page.

4

소독능 계산 프로그램의 활용

4.1 프로그램의 개요 및 구성체계

소독능 계산 프로그램*은 광역 및 지방정수장에서 정수처리기준 준수여부 판단을 위한 소독능을 신속하고 정확하게 계산 적용할 수 있도록 개발된 프로그램으로, 관련 법령의 그간의 개정사항을 반영하여 2013년에 프로그램을 수정·보완하였다

소독능 계산식은 “불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정” 별표1 에서 정하고 있는 불활성화비 계산방법에 근거하여 log 회귀방정식 등을 이용, 일정조건에서의 불활성화비를 자동적으로 계산한다.

※ 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발한 프로그램에 기초하여 국내규정에 적합하게 보완·개선적용

※ 바이러스, 지아디아, 크립토스포리디움 등 병원성미생물에 대해 프로그램에서 사용하는 log 회귀방정식을 활용한 불활성화비 계산식

• 바이러스 불활성화비(log)

– 소독제:유리염소, pH:6~9인 경우

$$\frac{(CT계산값 \times EXP(0.071 \times \text{수온}^{\circ}\text{C})) - 0.42}{2.94}$$

– 소독제:유리염소, pH:9이상인 경우

$$\frac{(CT계산값 \times EXP(0.071 \times \text{수온}^{\circ}\text{C})) - 0.21}{22.37}$$

– 소독제:이산화염소,

$$\frac{(CT계산값 \times EXP(0.072 \times \text{수온}^{\circ}\text{C})) + 35.15}{21.25}$$

– 소독제:오존

$$\frac{(CT계산값 \times EXP(0.068 \times \text{수온}^{\circ}\text{C})) - 0.01}{0.47}$$

– 소독제: 자외선 – 자외선 조사량(mJ/cm²)에 따라 불활성화율 인정

※ 자외선의 경우 UV 조사량에 따라 불활성화 정도(log 제거율) 값으로 불활성화비를 계산함

• 지아디아 불활성화비(log)

– 소독제:유리염소≤0.4 mg/L일 경우

$$\frac{CT계산값}{0.2828 \times pH^{2.69} \times 0.4^{0.15} \times 0.933^{(\text{수온}^{\circ}\text{C} - 5)}}$$

– 소독제:유리염소>0.4 mg/L일 경우

$$\frac{CT계산값}{0.2828 \times pH^{2.69} \times \text{소독제농도}^{0.15} \times 0.933^{(\text{수온}^{\circ}\text{C} - 5)}}$$

– 소독제:이산화염소>1 mg/L일 경우

$$\frac{CT계산값 \times \text{수온}^{\circ}\text{C}^{0.49 + 0.18}}{23.85}$$

– 소독제:이산화염소≤1 mg/L일 경우

$$\frac{CT계산값 + 0.18}{23.85}$$

– 소독제:오존

$$\frac{(CT계산값 \times EXP(0.072 \times \text{수온}^{\circ}\text{C})) - 0.01}{0.98}$$

– 소독제:자외선 – 자외선 조사량(mJ/cm²)에 따라 불활성화율 인정

• 크립토스포리디움 불활성화비(log) – **참고사항**

– 소독제:이산화염소

$$0.001506 \times 1.09116^{\text{수온}^{\circ}\text{C}} \times CT계산값$$

– 소독제:오존

$$0.0397 \times 1.09757^{\text{수온}^{\circ}\text{C}} \times CT계산값$$

– 소독제:자외선 – 자외선 조사량(mJ/cm²)에 따라 불활성화율 인정

위에서 구한 값에서 여과방식에 따른 로그제거율에 따라 최종 불활성화비를 계산해야 한다.

4.2 프로그램 사용방법

소독능 계산 프로그램은 엑셀을 사용하여 작성된 프로그램으로 버전 Excel 2003 이상을 사용하며, 또한 엑셀 실행 후 반드시 매크로 사용을 허용해야 정상적인 계산이 되며, 아래의 내용을 참고하여 작성을 하면 된다.

- 가. 소독능 계산이 필요한 공정수에 따라 좌측의 계산기록부 작성 프로그램을 클릭하여 월별 소독능 계산기록부를 생성한다.
- 나. 생성된 계산기록부를 일정한 디렉토리에 저장한다.
- 다. 자료입력 시 다음 순서 및 입력형식을 준수하여 자료를 입력한다.

(정수지)의 경우

- (1) 여과방식선택 : 급속여과, 직접여과, 완속여과, 정밀여과, 한외여과, 나노여과, 역삼투, 기타여과, 소독만하는 경우
- (2) 일자 : 월일로 표기 예) 8월 14일이면 “8/14”
- (3) 측정시간 : HH-MM (08-00)
- (4) 소독제명 : 유리염소, 이산화염소, 오존, 자외선
- (5) 탁도, 잔류염소, 온도, pH
- (6) 사용용량 : 가로(m) × 세로(m) × 최저수심(m)
- (7) 통과유량(m^3/hr) : 자동측정기가 있을 경우 실측치를 기입하고, 일일평균 생산량으로 산정하고자 할 경우 환산 계산값(일일평균생산량($\text{m}^3/\text{일}$) $\times 1.17 \div 24\text{시간}$)을 기입
- (8) 장폭비환산계수 : 매달 1회만 입력하고 값이 변할 경우 수정입력
- (9) 체류시간 : 추적자실험을 통해 체류시간을 산정한 경우는 직접 시간을 기입하고 그렇지 않은 경우는 자동적으로 계산됨.
- (10) 자외선 : 자외선을 사용하는 경우 자외선의 조사량에 따른 바이러스, 지아디아, 크립토 스포리디움의 불활성화비를 각각 직접 입력해야 함

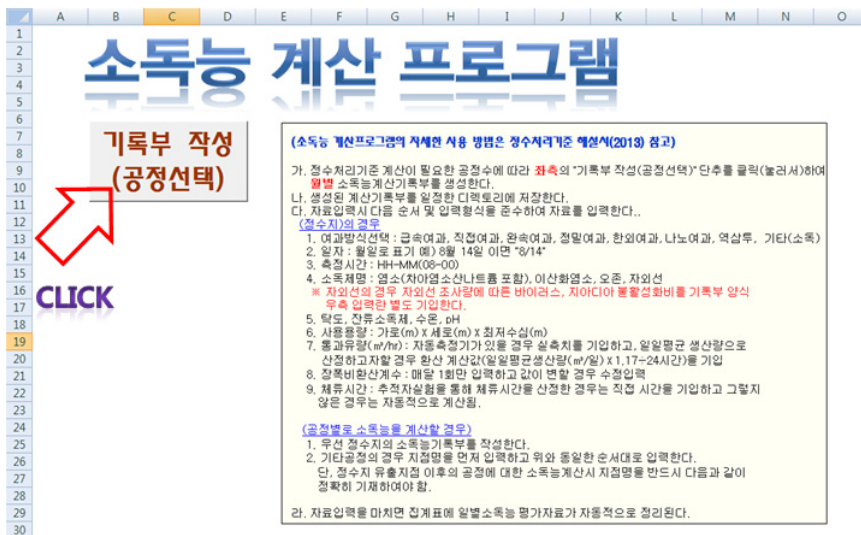
(공정별로 소독능을 계산할 경우)

- ① 우선 정수지의 소독능기록부를 작성한다.
- ② 기타공정의 경우 지점명을 먼저 입력하고 위와 동일한 순서대로 입력한다.
단, 정수지 유출지점 이후의 공정에 대한 소독능 계산 시 지점명을 반드시 다음과 같이 정확히 기재하여야 함(기재 예 : “배수지”(O), “송수관로”(O) “배수지A”(X)).

4.2.1 프로그램 구동방법

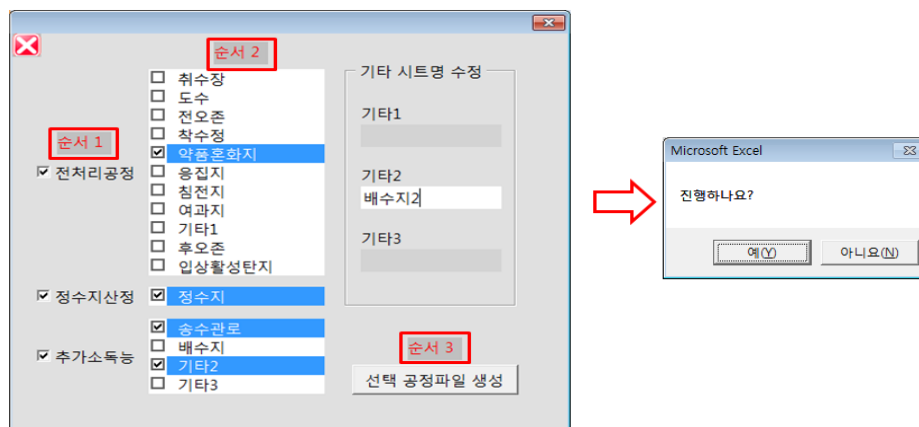
가. 구동 첫 화면

엑셀에서 소독능 계산 프로그램을 실행시켜 공정선택을 클릭한다.
(공정선택은 정수장의 구성에 변동 없을 경우 월 1회 생성하여 사용)



나. 진행공정 선택

- (1) 순서1에서 대분류로 필요한 공정을 선택
- (2) 순서2에서 세부분류 공정을 필요에 맞게 선정(이때, 입력하고자 하는 공정이 분류되어 있지 않을 경우 직접 입력)
- (3) 순서3에서 “선택 공정파일 생성”을 선택하고 선택한 공정이 맞는지 다시 한번 확인하고 진행을 선택



다. 선택시트 생성 확인

선택한 공정이 제대로 생성되었는지 확인

순서 1

☒ 전처리공정

☒ 정수지산정

☒ 추가소독능

● 소독능 계산 기록부

▷ 지정명 :

일 자	지점명	측정시간 (각성에 hh-mm)	소독제명	소독제 농도	수온 (℃)	pH	사용용량 (m ³)	투과율 (m ³ /hr)	공폭비 환산계수	체류시간 (min)	CT계산값
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											

☒ 약품혼화지
 ☒ 정수지
 ☒ 송수관로
 ☐ 배수지
 ☒ 기타2
 ☐ 기타3

라. 시트 데이터 입력[1]

시트의 파란색 부분에 정수장 상황과 입력 양식에 맞게 데이터 입력

[illegible]

마. 시트 데이터 입력[2]

정수지의 경우 탁도 입력 및 여과방식선택 부분 외에는 앞서 입력한 방법과 동일한 방법으로 생성된 공정 시트에 데이터를 입력 함

K2 금속여과

● 소독능 계산 기록부

지점명 : 정수지 여과방식 : 금속여과

일자	지점명	측정시간 (각성예 hh-mm)	소독제명	탁도 (NTU)	소독제 농도	수온 (°C)	pH	사용용량 (m³)	통과유량 (m³/hr)	장독비 관산계수	채류시간 (min)	CT계산값	바이러스 불활성화 비	지아디아 불활성화 비	크립토스 포리디움 불활성화 비	자외선 (바이러스)	자외선 (지아디아)
11/1	정수지	04-00 08-00	염소(차열) 염소(차열)	0.20 0.10	0.6 0.5	15.0 14.5	7.0 7.1	35,657.0 34,756.0	2,500.0 2,500.0	0.5 0.5	855.8 834.1	256.7 208.5	126.58 99.22	20.30 16.22	1		
적용값 염소(차열)				만족	0.5	14.5	7.1	34756.0	2500.0	0.5	834.1	208.5	99.22	16.22	1		
판정 : 소독능 만족																	
11/2	정수지	04-00	염소(차열)	0.30	0.5	14.0	6.8	36,000.0	2,500.0	0.5	864.0	216.0	99.19	18.23	1		
적용값 염소(차열)				만족	0.5	14.0	6.8	36000.0	2500.0	0.5	864.0	216.0	99.19	18.23	1		
판정 : 소독능 만족																	
11/3	정수지	04-00	염소(차열)	0.17	0.7	15.3	7.3	34,000.0	2,500.0	0.5	816.0	285.6	143.86	20.72	1		
적용값 염소(차열)				만족	0.7	15.3	7.3	34000.0	2500.0	0.5	816.0	285.6	143.86	20.72	1		
판정 : 소독능 만족																	
합계																	

약품준화 정수지 송수관로 배수지2 집계표

바. 집계표 확인

월간 종합 집계표에서 수도법에 따른 법적기준(정수처리기준, 소독제 농도, 탁도 등) 준수여부 등 입력된 데이터를 확인함

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

소독능 계산기록부

● 수질검사결과

항 목	수질검사결과				비고
	평균	최대	최소	기준초과여부 (만족/불만족)	
탁 도	0.19	0.30	0.10	만족	
잔류소독제농도	0.57	0.70	0.50		
CT 계산값	78.69	208.54	0.16		
불활성비	바이러스	37.85	99.22	0.00	
	지아디아	4.63	16.22	0.00	

● 소독능 계산 기록부

일자	지점명	소독제명	탁도 (NTU)	잔류 염소	수온 (℃)	pH	사용용량 (m³)	통과유량 (m³/hr)	장독비 관산계수	채류시간 (min)	CT계산값	바이러스 불활성비	지아디아 불활성비	크립토스 포리디움
11/1	약품준화	유리염소	0.8	15.0	7.0	83.0	2500.0	0.1	1,992	0.16	0.00	0.00		
	정수지	염소(차열)	만족	0.5	14.5	7.1	34756.0	2500.0	0.5	834.1	208.5	99.22	16.22	
	송수관로	유리염소	0.4	15.0	7.0	628.0	2500.0	1	15,072	5.28	2.53	0.11		
	배수지2	유리염소	0.4	15.0	7.0	24000.0	2500.0	0.5	576	100.80	49.66	2.18		
합계	판정 : 소독능 만족(바이러스)		판정 : 소독능 만족(지아디아)		판정 : 재거를 만족(크립토)		1427.21		0.16	151.41	18.52			
11/2	약품준화	유리염소	0.8	14.0	6.8	83.0	2500.0	0.1	1,992	0.16	0.00	0.00		
	정수지	염소(차열)	만족	0.5	14.0	6.8	36000.0	2500.0	0.5	864.0	216.0	99.19	18.23	
	송수관로	유리염소	0.3	12.0	7.2	628.0	2500.0	1	15,072	4.52	1.73	0.07		
	배수지2	유리염소	0.3	12.0	7.2	25000.0	2500.0	0.5	600	90.00	35.81	1.47		
합계	판정 : 소독능 만족(바이러스)		판정 : 소독능 만족(지아디아)		판정 : 재거를 만족(크립토)		1481.06		0.16	136.73	19.77			
11/3	약품준화	유리염소	0.9	14.6	6.9	83.0	2500.0	0.1	1,992	0.18	0.01	0.00		
	정수지	염소(차열)	만족	0.7	15.3	7.3	34000.0	2500.0	0.5	816.0	285.6	143.86	20.72	
	송수관로	유리염소	0.2	13.5	6.9	628.0	2500.0	1	15,072	3.01	1.27	0.06		
	배수지2	유리염소	0.2	13.5	6.9	22000.0	2500.0	0.5	528	52.80	23.35	1.07		
합계	판정 : 소독능 만족(바이러스)		판정 : 소독능 만족(지아디아)		판정 : 재거를 만족(크립토)		1361.06		0.18	168.48	21.85			

사. 정수처리기준(소독능) 계산기록부 파일 저장, 보고에 활용

매일 입력하여 축적된 자료는 월단위로 집계하여 수도법시행규칙 별지 6의 2호 서식에 의한 정수처리기준 운영결과 보고 등에 활용

4.3 소독능 계산 프로그램 개정내용

항 목	당 초	개 정	사 유																																																																											
프로그램명 변경	소독능 계산기록부	소독능 계산 프로그램																																																																												
여과방식 및 기타 적용방식 추가	급속여과 직접여과 완속여과 정밀여과(MF) 한외여과(UF) 소독만 하는 경우	급속여과 직접여과 완속여과 막여과 정밀여과(MF) 한외여과(UF) 나노여과(NF) 역삼투(RO) 소독만 하는 경우	■ 개정된 고시에 따라 여과 방식 추가로 변경 검토																																																																											
지아디아, 크립토스포리 디움 기준 만족 판정 추가	바이러스에 대한 불활성화비 만족여부 판정만 가능	지아디아 및 탁도기준 초과여부에 따라 크립토스포리디움 만족 판정 가능	■ 수도법시행규칙의 바이러 스, 지아디아, 크립토스포 리디움의 기준 제18조2 의 제1호에 따른 기준 만 족여부 판정 ■ 크립토스포리디움의 불활 성화비 계산식(참고사항) 추가																																																																											
소독제 추가 및 명칭정리	유리염소 이산화염소 오존	염소 (차아염소산나트륨 포함) 이산화염소 오존 자외선	■ 개정된 고시에 따라 소독 제(자외선) 추가 계산가 능 및 잔류유리염소량으 로 입력되는 염소계열 소 독제에 대해 명칭정리																																																																											
지아디아의 오존 소독 계산식 수정	지아디아의 오존 불활성화 소독능 요구값 <table><tr><th rowspan="2">소독 제</th><th colspan="6">온도</th></tr><tr><th><1 ℃</th><th>5 ℃</th><th>10 ℃</th><th>15 ℃</th><th>20 ℃</th><th>>25 ℃</th></tr><tr><td>오존</td><td>2.9</td><td>1.9</td><td>1.43</td><td>0.95</td><td>0.72</td><td>0.48</td></tr></table>	소독 제	온도						<1 ℃	5 ℃	10 ℃	15 ℃	20 ℃	>25 ℃	오존	2.9	1.9	1.43	0.95	0.72	0.48	<table><tr><th rowspan="2">온도 (℃)</th><th colspan="6">불활성화 정도</th></tr><tr><th>0.5 log</th><th>1.0 log</th><th>1.5 log</th><th>2.0 log</th><th>2.5 log</th><th>3.0 log</th></tr><tr><td><1</td><td>0.48</td><td>0.97</td><td>1.5</td><td>1.9</td><td>2.4</td><td>2.9</td></tr><tr><td>5</td><td>0.32</td><td>0.63</td><td>0.95</td><td>1.3</td><td>1.6</td><td>1.9</td></tr><tr><td>10</td><td>0.23</td><td>0.48</td><td>0.72</td><td>0.95</td><td>1.2</td><td>1.43</td></tr><tr><td>15</td><td>0.16</td><td>0.32</td><td>0.48</td><td>0.63</td><td>0.79</td><td>0.95</td></tr><tr><td>20</td><td>0.12</td><td>0.24</td><td>0.36</td><td>0.48</td><td>0.60</td><td>0.72</td></tr><tr><td>>25</td><td>0.08</td><td>0.16</td><td>0.24</td><td>0.32</td><td>0.40</td><td>0.48</td></tr></table>	온도 (℃)	불활성화 정도						0.5 log	1.0 log	1.5 log	2.0 log	2.5 log	3.0 log	<1	0.48	0.97	1.5	1.9	2.4	2.9	5	0.32	0.63	0.95	1.3	1.6	1.9	10	0.23	0.48	0.72	0.95	1.2	1.43	15	0.16	0.32	0.48	0.63	0.79	0.95	20	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	>25	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	■ 지아디아의 오존소독제 사용 시 소독능 요구값이 3log 일때만 제시되어 있 던 기존 표를 세분화하여 식에 반영
소독 제	온도																																																																													
	<1 ℃	5 ℃	10 ℃	15 ℃	20 ℃	>25 ℃																																																																								
오존	2.9	1.9	1.43	0.95	0.72	0.48																																																																								
온도 (℃)	불활성화 정도																																																																													
	0.5 log	1.0 log	1.5 log	2.0 log	2.5 log	3.0 log																																																																								
<1	0.48	0.97	1.5	1.9	2.4	2.9																																																																								
5	0.32	0.63	0.95	1.3	1.6	1.9																																																																								
10	0.23	0.48	0.72	0.95	1.2	1.43																																																																								
15	0.16	0.32	0.48	0.63	0.79	0.95																																																																								
20	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72																																																																								
>25	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48																																																																								
공정 개수 선정 방법 변경 및 개선	여과지 이후 공정 즉, 정수지 이후 공정 위주의 입력 및 계산 (최대 8개 공정 입력 가능)	여과지 이전 9개 공정과 이후 7개 공정 을 입력할 수 있도록 개선 [착수정, 도수, 전오존, 착수정, 약품혼 화지, 응집지, 침전지, 여과지, 가터, 후오존, 입상활성탄지, 정수지, 송수관 로, 배수지, 가터2, 가터3]	■ 전염소, 전오존 등의 여 과이전 단계의 소독제 투 입에 따른 소독능 계산 및 공정명의 표준화																																																																											

항 목	당 초	개 정	사 유
탁도기준 수정	모든 여과공정에 대한 평균 탁도 0.5 NTU 이상일 경우 또는 개별시료 여과탁도 1 NTU 초과 시 불만족 판정	매월 측정 시료 수의 95퍼센트 이상이 0.3 NTU(완속여과 0.5 NTU)이하이고, 각각 시료에 대 한 측정값이 1 NTU 이하일 경우 만족 판정	■ 개정된 수도법시행규칙 별 표5의2 탁도 기준 반영 ■ 1일 기준 1 NTU 이하 만족 ■ 매월 95 % 이상 0.3(0.5) NTU 이하일 때 기준만족
시트별 입력방법 개선 등 기타사항		사용자 입력 편의 사항 추가 및 구현프로그램 실행속도 개선 등 여러번 연속적으로 같은 값을 입력 시 에러메세지 팝업창이 뜨고 다시 입력하도록 안내	■ 부정확한 데이터 입력 방 지 등

A thick gray horizontal bar spans the width of the page. To its right, a gray square is partially visible.

5

정수처리기준에 의한 인증

A series of three parallel, wavy gray lines that curve upwards from the left side of the page towards the right.

5

정수처리기준에 의한 인증

5.1 정수처리 기준에 의한 인증 소개

정수처리기준에 의한 인증은 수도법 제28조, 수도법시행규칙 제18조의2에 따라 병원성 미생물에 대해 안전한 수돗물이 공급될 수 있도록 필요한 일부 정수장에 대해 정수처리기준과 관련된 사항을 확인하고 정수장에 “불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정”제4조에 의거, 한국상하수도협회에서 인증을 하는 것이다.

5.1.1 정수처리기준에 의한 인증구분

현재 협회에서 정수처리기준 관련 법령에 따라 수행하고 있는 인증은 지하수를 수원으로 사용하는 정수처리시설에 대한 정수처리기준 적용 배제 인증이 있다. 다만, “불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정”고시 부칙에 의거 기준 추가소독능 인증 및 기타여과 방식 인증을 받은 정수장은 그 인증기간 동안 유효한 것으로 본다.

인증 신청 시에는 신청서와 자체평가서를 작성하도록 하고 있는데 공통적으로 신청서는 정수시설에 대한 신청사항에 대해 간단히 작성하고 자체평가서에서는 인증 목표(인증 절차를 통하여 인증 받고 싶은 목표제시), 정수장의 처리용량(시간최대, 일최대, 일평균), 정수처리 공정계통도 및 정수처리(소독능)계산기록부 운영사항 등에 대해 작성해서 제출하도록 하고 있다.

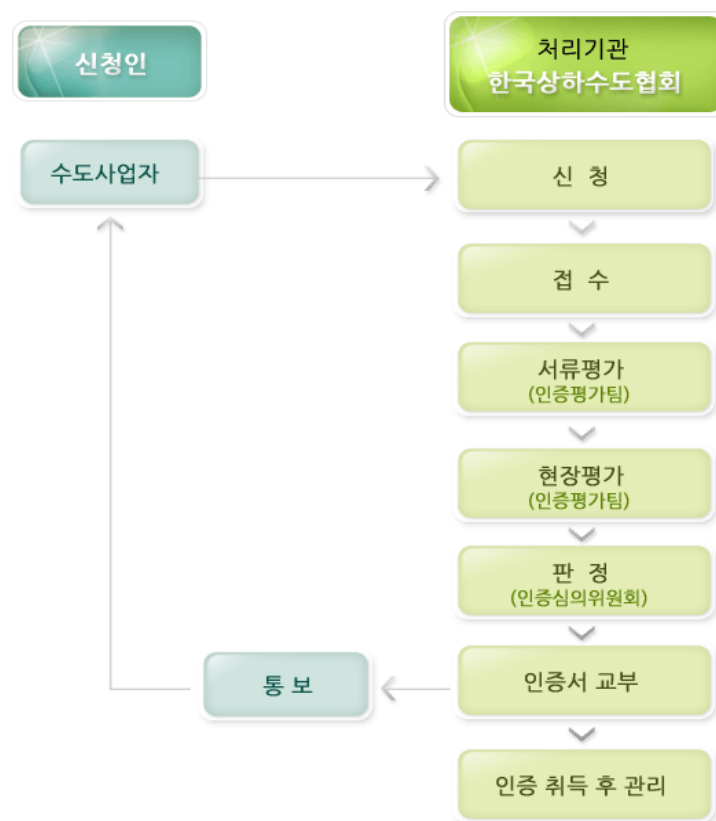
5.1.2 인증업무 처리 절차 및 사후관리

인증 업무는 인증을 신청한 정수시설에서 제출한 수질기록 등의 자료 분석과 인증심의위원 및

협회 담당자 5인 이내로 구성된 평가팀의 현장 실사를 통해 시설 운영 및 관리 상태를 평가한 후, 30인 이내의 상하수도 전문가로 구성된 인증심의위원회의 심의를 통해 해당시설에 대한 인증여부를 결정한다.

가. 인증신청 및 처리절차

정수처리기준에 의한 인증의 신청 및 처리절차는 아래 그림과 같다.



〈그림 5.1〉 인증신청 및 처리절차

나. 인증 유효기간 및 사후관리

정수처리기준에 의한 인증은 수도법에 의해 인증의 유효기간은 3년이며, 최초 인증을 받은 1년 뒤에는 사후평가를 반드시 받아야 하며 또한 3년마다 재인증을 받아야 한다.



〈그림 5.2〉 인증 유효기간 및 사후관리

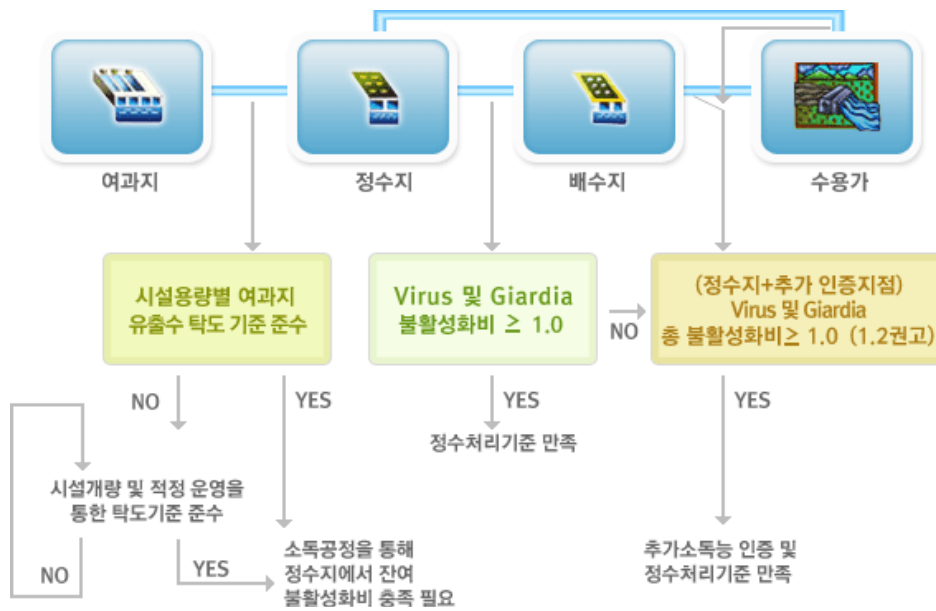
- 최초인증 : 신규 신청한 시설에 대한 인증(인증유효기간 1년)
- 사후평가 : 최초 인증이후 1년이 되는 시점에 받는 인증(3개월 이내 신청)
- 재 인 증 : 사후평가 이후 3년 마다 시설에 대한 인증(3개월 이내 신청)
- 특별점검 : 기 인증시설의 주요공정 및 인증지점의 변경사항 발생 시 이에 대한 재평가

5.1.3 기타여과방식 및 추가소독능 인증 개념(참고사항)

가. 송수관로 및 배수지 등 추가소독능 인증

정수지 유출 지점에서 바이러스 및 지아디아, 크립토스포리디움 난포낭 불활성화비 평가 결과 불활성화비 ≥ 1.0 이상(1.2 이상 권고)일 경우 정수처리 기준상의 불활성화비 기준을 만족해야 한다 (년 중 상시 1.0 이상 유지).

그러나 정수지 유출지점에서 불활성화비를 만족 못 할 경우 정수지 유출 지점에서 최초 수용가로 가는 마지막 지점(송수관로 또는 배수지 유출지점)에서 불활성화비를 산정하여 총 불활성화비 ≥ 1.0 (1.2이상 권고)이상 시 추가 소독능 인증하는 것을 말한다(년 중 상시 1.0 이상 유지).



〈그림 5.3〉 송수관로 및 배수지등 추가소독능 인증

나. 기타여과 방식인증

기타여과는 정수처리 공정상의 여과공정에 모래 이외의 활성탄 등 다공성 여재로 여과를 실시하는 정수처리 공정을 말하는데 불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정 별표1에 따르면 기타여과 방식의 제거율은 직접여과 방식의 제거율에 준하여 적용하지만 일반 활성탄 여과지만 사용한 경우가 아닌 F/A(Filtration and adsorption)여과지는 모래와 활성탄을 같이 사용하는 경우로 통합수로의 탁도 및 지별 탁도계 값이 정수처리 기준상의 시설 용량별 탁도 기준을 준수 할 경우와 역세척 후의 탁도 안정화 및 여과시설 운영 전반에 관한 평가를 통해 급속여과와 동일한 바이러스 및 지아디아 포낭에 대한 여과 제거율을 인증하는 것을 말한다.

5.2 정수처리기준 적용 배제(지하수) 인증 소개

지표수의 영향을 받지 아니하는 지하수는 병원성 미생물(바이러스, 지아디아 및 크립토스포리디움 등의 원생동물)의 오염 우려가 낮아 정수처리 공정상의 여과공정이나 소독공정을 통한 병원성 미생물의 제거가 필요한 “정수처리기준”의 적용을 받지 않고 병원성 미생물의 오염이 없는 지하수를 수원으로 사용하는 정수장의 경우에는 다양한 수질검사와 관련 시설 및 해당 지역에 대한 수·지질학적 특성 파악을 통해 해당 지하수가 병원성 미생물로부터 안전한지 판단을 통해 “정수처리기준 배제 정수장”으로 인증

한다.

여과공정이 없는 지하수 취수정수장의 경우 앞서 2.1.1 절에서 언급했듯이 정수처리기준의 적용을 받는 정수장인지 아니면 정수처리기준 적용 배제 인증을 받아야 하는 정수장인지를 먼저 판단을 해야 한다. 참고로 미국의 정수처리기준의 경우도 지하수라 하더라도 지표수의 영향을 받는 경우 정수처리 기준 적용을 하고 있다.

정수처리기준의 적용을 받아야 한다면 여과공정이 없더라도 소독을 통해 바이러스 및 지아디아 그리고 크립토스포리디움에 대해 각각 4 log, 3 log, 2 log를 제거해야 한다. 이를 위해 적절한 소독 시설을 설치하거나 개량을 할 필요가 있다.

정수처리기준 적용 배제 정수장은 여과공정으로 병원성 미생물 제거를 할 수 없기 때문에 보다 엄격한 관리 및 기준을 적용받아 인증을 통과해야하며 위 두 조건의 정수장 모두 정수처리기준과 먹는물 수질기준의 만족을 위해 아래와 같은 관리와 주기적인 검사가 필요하다.

5.2.1 지하수 시설관리

가. 관정별 1일 취수량 및 수위변동 검토

관정별로 착정심도, 지하지질구조, 대수층의 수리성 등이 다르기 때문에 각 수원별 지하수 취수에 따른 수위변화를 지속적으로 감시함과 아울러 제주도와 같이 바다와 가까운 지역에 관정이 설치되어 있을 경우는 해안 대수층에서의 담·염수 경계면의 주기적 관측과 지하수의 수질변화를 감시하기 위해 관측정을 설치할 필요가 있다. 또한 지하수를 취수원으로 개발하여 사용할 경우 지하수법시행규칙 제5조에 따라 적산 유량계, 출수 장치 및 수위측정관을 설치하여야 한다. 설치된 관정은 사용량에 따라 지하수의 부존량 감소 등에 대한 대책을 강구해야 하며 대책으로 신규관정개발 등을 고려할 수 있다.

나. 관정별 오염방지시설 설치

지표수 또는 오염물질의 지층 중간 유입으로 인한 수질오염을 방지하기 위한 시설을 설치해야 한다. 예를 들어 지표에서 기초암반까지 착정 후 케이싱파이프를 설치해 그 사이 공간을 시멘트 그라우트재로 그라우팅 처리 등을 할 필요가 있다.

다. 관정부근에 위치한 오염유발시설 및 영향여부 확인

지하수 관정은 질산성질소 등 오염원 영향을 받을 수 있으므로 주변을 청결히 유지하고 밀폐식 오염방지시설을 설치하여야 한다. 먹는물 수질기준을 초과할 경우 취수를 즉시 중단하고 초과 항목에 대한 모니터링을 실시하고 상황에 따라 관정을 폐쇄하여야 한다.

라. 취수지역 지반 및 지질대 특성 확인

지하수 개발은 지하에 충분한 부존량이 존재하는 것을 확인하는 것이 전제가 되기 때문에 예비조사, 지질조사 등을 할 필요가 있으며 이와 관련한 자세한 사항은 「상수도시설기준 3.9 지하수의 취수」부분을 참고한다.

5.2.2. 모니터링

지하수 수질의 변화 등을 관측하기 위해 전 취수공에 대하여 탁도, 수온, 질산성질소, pH, 전기전도도, 분원성대장균군 등에 대해 주기적인 수질 모니터링을 실시하여야 하며 한국상하수도협회에서는 정수처리기준 적용 배제 인증을 실시할 때 아래와 같은 내용을 확인하므로 참고하기 바란다.

한국상하수도협회의 정수처리기준 적용 배제 인증(지하수) 인증 시 확인 항목

- ① 년 중 탁도 변동이 0.5~1(0.3) NTU 이내
- ② 년 중 수온 변동이 15~20 % 이내
- ③ NO_3^- -N 농도의 년 중 변동 추이 확인
- ④ pH, 전기전도도 값의 년 중 변동 추이 확인
- ⑤ 대장균군, 분원성대장균군 미검출
- ⑥ 바이러스 및 지아디아, 크립토스포리디움 등의 병원성 미생물 미 검출
(단, 시설용량에 따라 대장균군 미검출 확인)

가. 정수장 주기별 원·정수 수질검사

구 분	적용 사항
1. 조사항목	○ 대장균군, 분원성대장균군, 수온, 탁도, pH, 전기전도도, NO ₃ ⁻ -N, 관정별 수위, 관정별 일 취수량
2. 시료채취위치	○ 감시정 : 수온, 탁도, pH, 전기전도도 (단, 감시정이 없을 경우 취수정에서 실시) ○ 착수정 : NO ₃ ⁻ -N, 대장균군, 분원성대장균군 ○ 취수정 : 수위, 일 취수량
3. 조사기간 및 주기	○ 주기 : 일 1회 이상 측정항목(수온, 탁도, pH, 전기전도도) 주 1회 이상 측정항목 (NO ₃ ⁻ -N) 월 1회 이상 측정항목 (대장균군 및 분원성대장균군)

나. 잠재오염원 조사

취수정 인근의 오염우려지역 분뇨처리장, 저장탱크 지역, 지정폐기물 매립지역, 축사 등의 오염우려가 있는 오염원의 현황을 조사 및 지하수 오염원 목록을 관리하고 주기적인 수질모니터링 실시한다.

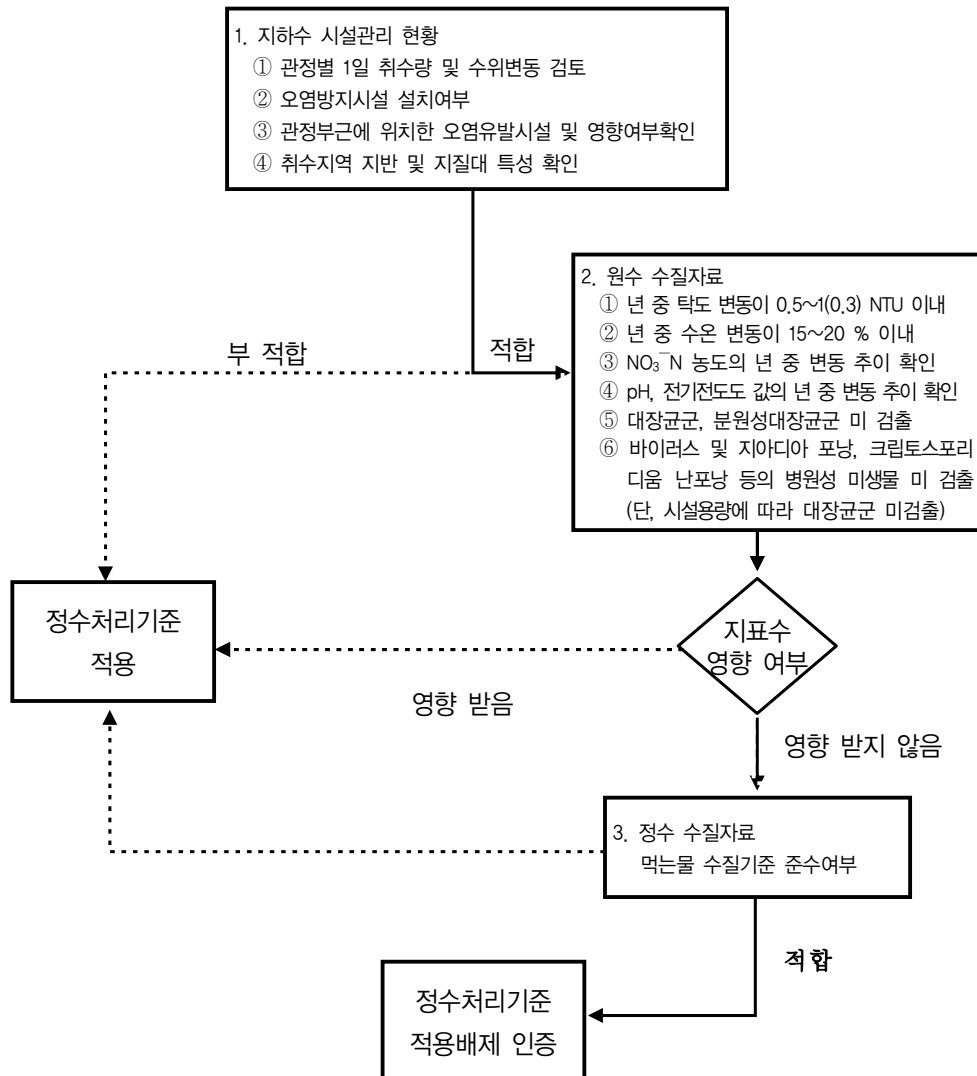
5.2.3. 소독시설

정수처리기준 적용 배제 정수장의 경우도 예외 없이 수도법시행규칙 제22조의2에 따라 관말(수도꼭지)에서 유리잔류염소가 0.1 mg/L 이상이 되어야 하고 정수지에서 최대 4 mg/L 이하로 검출이 되도록 잔류염소농도를 유지하여야 한다.

소독시설과 관련된 자세한 사항은 9장 소독시설 유지관리 편을 참고하기 바란다.

5.2.4. 인증절차

정수처리기준 적용 배제 인증의 절차는 아래 그림과 같이 진행된다.



〈그림 5.4〉 정수처리기준 적용 배제 인증 절차

A thick gray horizontal bar spans the top of the page. To its right, a gray square is partially visible, with a lighter gray horizontal band across its upper portion.

6

병원성 미생물의 특징 및 제거방안

Three wavy, overlapping lines in shades of gray curve across the lower half of the page, starting from the left edge and moving towards the right.

6

병원성 미생물의 특징 및 제거방안

6.1 바이러스

가. 정의 및 특징

바이러스란 기본적인 유전정보(핵산)와 이를 둘러싼 단백질(캡시드)로 구성된 비세포적인 구성체로서 보통 생물과 무생물의 중간형태로 간주된다. 보통 크기가 수십에서 수백 nm($1\text{ nm} = 1 \times 10^{-6}\text{ mm}$)로 매우 작아 일반현미경으로는 관찰이 불가능하며 수십만배 확대가 가능한 전자현미경으로만 직접 관찰할 수 있다.

바이러스는 숙주(host)에 감염하여야 생물체로서의 자기증식을 할 수 있는 절대기생체이다. 다시 말해 바이러스는 대장균과 같은 세균과는 달리 자연환경이나 관망에서 증식하지 않는다. 따라서 바이러스는 환경 중에서는 무생물적 입자와 같은 거동을 보인다.

바이러스는 숙주에 매우 특이적으로 감염하므로, 사람에게 질병을 일으키는 병원성바이러스는 원칙적으로 사람에게만 제한적으로 기생하고, 식물바이러스는 식물에만, 콜리파아지와 같은 박테리오파아지는 세균에만 감염한다.

나. 종류 및 관련 질병사례

바이러스 중 수돗물과 관련된 종류는 분변-구강경로(Fecal - oral route)로 신체에 유입되어 소화기계통에 감염하는 장관계 바이러스(Enteric viruses)이다. 장관계 바이러스는 엔테로바이러스(Enterovirus), A형간염바이러스, 노로바이러스, 로타바이러스 등 110종 이상이 있다.

이 중 먹는물에 의하여 질병을 일으킨 사례가 확인된 종류는 노로바이러스, 로타바이러스 등 장염 원인 바이러스와 A형 간염바이러스이고, 질병 사례가 보고되진 않았지만 분변 - 구강경로에 의하여 먹는물이 감염경로로 추정되고 있는 종류로는 엔테로바이러스(폴리오바이러스, 콕사키바이러스, 에코바이러스 포함)와 아데노바이러스 등이 있다<표 6.1>.

〈표 6.1〉 바이러스별 관련 질병과 특성

바이러스 종류	크기(nm)	질 병 명
엔테로바이러스(<i>Enterovirus</i>)		
폴리오바이러스(<i>Poliovirus</i>)	20~30	마비, 무균성수막염
콕사키바이러스(<i>Coxsachievirus</i>)	20~30	무균성수막염, 호흡기질환, 심막염, 심근염
에코바이러스(<i>Echovirus</i>)	20~30	호흡기감염, 무균성수막염, 설사, 발열, 발진
아데노바이러스(<i>Adenovirus</i>)	68~85	결막염, 설사, 호흡기 질환, 눈병
A형간염 바이러스(<i>Hepatitis A virus</i>)	27	감염성 간염
로타바이러스(<i>Rotavirus</i>)	70	소아 위장염
아스트로바이러스(<i>Astrovirus</i>)	28	위장염
노로바이러스(<i>Norovirus</i>)		위장염

바이러스에 감염되는 가장 흔한 경로는 오염된 식품의 섭취 또는 사람과 사람간의 접촉이며, 먹는물로 인한 발병사례는 상대적으로 매우 드물다. 미국의 경우 1974~1996년까지 먹는물에 의한 수인성 질병 발생 조사 결과, 질병의 5 % 정도가 바이러스가 원인인 것으로 조사되었으나, 대부분 개인급수 또는 간이상수도 등에서 발생하는 것으로, 일부 수도시설의 경우는 배·급수관을 통한 오염이 주요 원인이 되기도 하였다〈표 6.2〉.

〈표 6.2〉 수인성 바이러스관련 집단질병사례

발생지	발생시기	원인바이러스	발병자수	발생경로
미국 아리조나주	'90. 5	노로바이러스	900명	상수원인 지하수의 처리미흡
미국 펜실베이니아주	'90. 5	A형 간염바이러스	22명	미처리 지하수의 음용
미국 펜실베이니아주	'90. 11	A형 간염바이러스	3명	상수원인 지하수의 처리미흡

※ Source (J.AWWA, 94. 4)

다. 환경에서의 거동 및 정수처리 관련 특성

병원성 바이러스는 바이러스에 감염된 사람의 분변에 섞여 환경으로 배출된다. 따라서 사람의 분변이 집중되는 하수나 분뇨처리장 등이 주된 오염원이 된다. 폴리오바이러스(*Poliovirus*)와 에코바이러스(*Echovirus*)는 하천 수온이 16~20 °C 일 때 29~35일 정도 생존하며, 4 °C에서 90일까지 살아남을 수 있어 일반적으로 장내세균에 비해 환경 중에서 오래 생존한다.

바이러스의 염소내성은 장내세균에 비해 약간 강한데, 대장균(*E.coli*)의 염소내성을 1로 할 때 폴

리오바이러스는 대장균보다 수십배 강하다. 수돗물의 잔류염소농도가 1 mg/L 라 할 때, 대략 10여 분 접촉하면 99.99 % 까지 제거할 수 있다. 자외선 소독의 경우에는 폴리오바이러스 99.9 % 를 불활성화하는데 14~24 mJ/cm² 가 필요한 것으로 보고되었지만, 아테노바이러스 등 장관계 바이러스의 종류에 따라 자외선 민감도에 차이가 있기 때문에, 정수처리기준에서는 143 mJ/cm² 일 때 99.9 %가 불활성화된 것으로 인정한다.

라. 분석방법

가장 많이 사용되고 공식적으로 인정된 방법은 세포배양법(Total Culturable Virus Assay, TCVA)이다. 이 방법은 살아있는 세포를 감염시킬 능력이 있는 바이러스만을 분리, 검출하므로 보건위생학적으로 의미 있는 결과를 얻을 수 있다. 그러나 분석과정이 매우 까다롭고 숙련된 기술이 필요하며 분석비용이 매우 고가일 뿐만 아니라 결과 판독까지 최대 2달까지 소요되므로 일상적인 검사로는 적합지 않다.

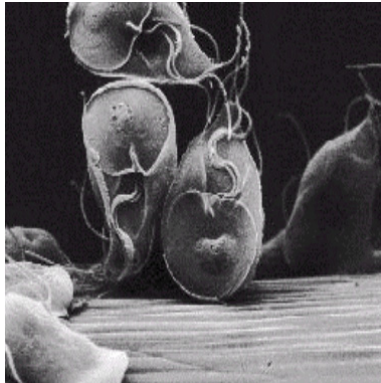
또 다른 방법으로 유전자분석법이라 불리는 PCR(Polymerase Chain Reaction)이 있는데, 빠르고 간편하게 분석이 가능하지만 살아있는지 여부를 구분할 수 없으며 거짓양성의 가능성이나 실험실간의 오차가 개입되는 문제점이 있다. 현재 정수장 차원의 일상적인 바이러스 관리에 직접 적용될 수 있는 신뢰할 만한 바이러스 분석법은 없는 상태이다.

6.2 지아디아 포낭

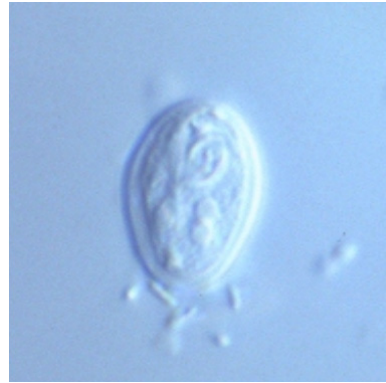
가. 정의 및 특징

수인성 질병을 일으키는 병원성 원생동물의 일종이다. 여기서 원생동물(Protozoa)이란 세균보다 큰 단세포 생물로써, 원시적인 동물형태의 미생물을 말한다. 원생동물 중 기생생활을 하는 종류를 기생성 원생동물(또는 기생성 원충)이라 하며, 지아디아는 대표적인 기생성 원충의 하나이다. 사람에게 감염을 일으키는 종류는 *Giardia lamblia*(*Giardia duodenalis*, *Giardia intestinalis*라고도 불리움)로, 우리나라에서는 람블편모충이라 불려왔다.

지아디아는 증식을 위해 숙주가 필요한 기생체로써, 체내의 장관계통에서는 <그림 6.1>과 같은 형태로 기생, 증식하다가 분변에 섞여 체외로 배출되는데 이때는 포낭(Cyst)형태 <그림 6.2>를 띤다. 배출된 포낭은 환경 중에서 증식하지 않으며, 매우 두꺼운 벽으로 둘러싸여 있기 때문에 환경에서 수개월까지 생존하며 서서히 사멸된다. 지아디아의 포낭은 8~12 μm 크기의 럭비공 모양으로, 우리가 환경에서 볼 수 있는 형태는 포낭 뿐이다. 포낭은 수중 탁질 중 미세입자로 분류되며 수중에서 음전하를 띠는 콜로이드 형태로 존재한다 <그림 6.2>.



〈그림 6.1〉 지아디아의 영양형



〈그림 6.2〉 지아디아 포낭

나. 관련 질병 및 수돗물 관련 사고사례

복통을 동반한 설사병을 유발하는데, 헛배부름, 경련, 팽창, 피로, 식욕감퇴, 메스꺼움, 체중감소, 구토 등의 증상이 나타날 수 있다. 건강한 사람은 1~2주 이내에 자연 치유되지만, 면역기능이 저하되거나 약한 영유아, 면역결핍환자에겐 탈수로 이어질 수 있다. 감염경로는 사람간, 사람-동물(특히 가축, 애완동물)간 접촉이 주된 경로이며, 드물게 오염된 음식이나 물 섭취가 원인이 되지만 상수계통이 원인인 경우에는 폭발적인 양상을 띤다. 최소 10개 이하의 포낭으로도 감염을 일으킬 정도로 최소 감염량이 매우 적은 것으로 알려져 있다.

1975년 러시아에서 여행자들의 집단설사로 최초의 수인성 지아디아증(*Giardiasis*)이 보고된 이후, '80 미국에서는 매년 수십 건이 발생되었고, 이 중 여과, 소독처리된 수돗물이 원인이었던 경우도 있었다. 전염병관리시스템이 발달된 미국에서 '89~'94까지 6년간 발생한 총 90건의 수인성 집단질병 중 지아디아로 인한 것은 16건으로 약 18 %를 차지하였다.

우리나라에서는 아직 지아디아로 인한 수인성 감염사례가 보고된 적은 없지만, '70년대 감염률이 지역에 따라 1.8~8.0 % 정도로 매우 높다가 2000년대 들어서면서 0.2~0.4 % 정도인 것으로 보고되고 있다.

다. 환경에서의 거동 및 정수처리 관련 특성

지아디아의 숙주는 양서류, 조류, 포유류 등 40여종에 이를 정도로 매우 넓다. 따라서 사람과 각종 가축, 애완동물, 야생동물 등의 분변에 포낭이 섞여 배출될 수 있는 것이다. 이는 하수분뇨처리장 뿐만 아니라 축산폐수처리장도 주요한 오염원이 될 수 있다는 것을 의미한다. 인적이 없는 깊은 산속에서도 야생동물로 인해 지아디아 포낭이 발견된다. 가축에서 배출된 지아디아가 사람을 감염시킬 수 있다.

환경에 배출된 포낭의 생존기간은 온도에 따라 달라진다. 10 °C 미만의 물속에서는 최소 77일간 생존하지만, 20 °C 이상이면 불활성화가 급속하게 진행되어 3일이면 거의 사멸된다.

지아디아 포낭의 소독내성은 바이러스보다 크고 크립토스포리디움 난포낭보다는 약하다. 즉 대장균(*E.coli*)의 염소내성을 1로 할 때 지아디아는 약 2,400배 정도 강해, 바이러스보다 수십배 강하다. 실제 소독효과는 pH, 수온 등에 따라 매우 다르며, 수돗물의 잔류염소농도 1 mg/L, pH 7.0인 조건에서 지아디아 99 % 를 제거하는데는 수온에 따라 25~140분의 접촉시간이 필요하다.

지아디아는 8~15 μm 크기의 입자이므로 플록 형성이 양호할 경우 여과과정에서도 상당부분 제거될 수 있다. 지아디아 포낭과 크립토스포리디움 난포낭은 응집·침전 및 여과공정이 최적 운영될 경우 99.7~99.9 % (2.5~3.0로그) 정도 제거된다. 포낭은 소독 이전의 과정에서 충분히 제거되어야 하므로 물리적인 제거과정이 그 관리에 있어 관건이 된다.

또한 소독공정의 경우, 지아디아의 염소내성이 매우 강하므로 단순히 염소투입량 조정만으로는 원하는 제거율을 얻기가 어렵다. 소독제와의 접촉시간을 최대화할 수 있는 모든 조건이 고려되어야 한다. 또한 수온 및 pH에 따른 소독효율도 매우 큰 차이를 보이기 때문에, 소독공정 운영 시 이에 대한 고려가 필수적이다. 0.5 °C에서 지아디아 0.5 log 를 제거하려면 25 °C 에 비해 약 6배 정도 높은 염소농도 또는 접촉시간을 확보해야 한다<표 6.3>. pH 7.5에서는 7.0 에 비해 강한 소독이 요구된다<표 6.4>.

<표 6.3> 수온 0.5 °C, 유리염소 1.0 mg/L 에서 지아디아 0.5로그 제거를 위한 필요 소독능

수 온	0.5 °C 이하	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
필요소독능	35	25	19	13	9	6

<표 6.4> pH 7.0, 유리염소 1.0 mg/L 에서 지아디아 0.5로그 제거를 위한 필요 소독능

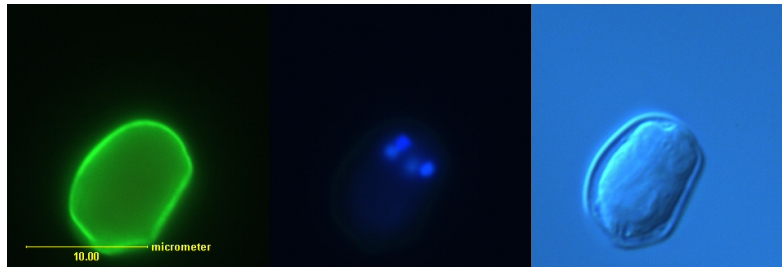
pH	≤6	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
필요소독능	25	29	35	42	51	61	73

그러나 지아디아 포낭은 자외선소독에는 매우 쉽게 불활성화되는데, 99.9 % 불활성화에 3~8 mJ/cm²가 필요한 것으로 보고되었다. 이러한 연구결과에 기초해, 정수처리기준에서는 11 mJ/cm²를 확보한 경우 지아디아 포낭의 99.9 % 가 불활성화된 것으로 간주한다.

라. 분석방법

가장 많이 사용되고 공식적으로 인정된 검출법은 면역형광항체법(Immuno-fluorescence Assay)이다. 미국 환경청 공인방법인 “1623방법”이나 영국의 법정방법인 “DWI방법(Drinking Water Inspectorate Method)” 모두 이 검출법에 근거하고 있다. 항원항체원리에 따라 형광표지된 항체를

포낭과 결합시킨 후 형광DIC현미경으로 관찰하는 방법이다<그림 6.3>. 이 방법은 매우 민감하지만, 생사여부 및 감염성 여부를 알 수 없어서 건강 영향을 정확히 예측할 수 없다. 또한 10~1000 L의 대용량의 물을 검사해야 하므로 분석과정이 매우 까다롭고 숙련된 기술이 필요하며 분석비용이 매우 높다. 그 밖의 검출방법으로 PCR, Flow cytometry 등이 있지만, 아직은 연구목적으로 사용되고 있는 수준이다.



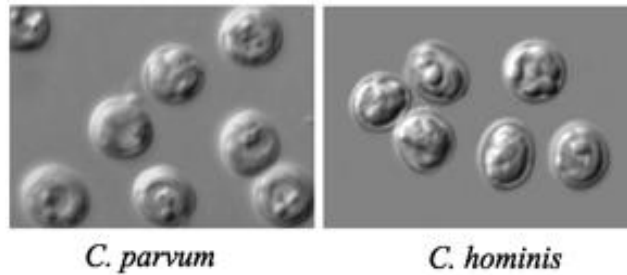
〈그림 6.3〉 면역형광항체법에 따라 형광DIC현미경으로 관찰된 지아디아 포낭

6.3 크립토스포리디움 난포낭

가. 정의 및 특징

크립토스포리디움 또한 병원성 원생동물의 일종으로, 증식을 위해서는 숙주가 반드시 필요한 절대기생체이다. 현재 20여종이 알려져 있지만, 주로 *Cryptosporidium hominis*, *Cryptosporidium parvum*이 사람에게 감염성이 있으며, 이 중 *Cryptosporidium parvum*은 감염된 소에도 다량 배출되는 것으로 알려져 있다. 최근에는 말, 돼지 등의 가축, 개, 고양이, 쥐 등에서도 사람 감염성이 있는 난포낭의 배출이 발견되기도 하였다.

크립토스포리디움은 체내의 장관계통에서는 같은 형태로 기생, 증식하다가 분변에 섞여 체외로 배출되는데 이때는 포낭형태를 띄며, 유성생식을 거치므로 특별히 난포낭(Oocyst)이라 불린다<그림 6.4>.



〈그림 6.4〉 크립토스포리디움 난포낭

크립토스포리디움의 난포낭(Oocyst)은 직경 4~6 μm 크기의 공 모양으로, 배출된 난포낭은 환경 중에서 증식하지 않으며, 매우 두꺼운 벽으로 둘러싸여 있기 때문에 환경에서 수개월까지 생존하며 서서히 사멸된다. 우리가 환경에서 볼 수 있는 형태는 난포낭 뿐이다.

나. 관련 질병 및 사고사례

복통을 동반한 설사병을 유발하는데, 건강한 사람은 1~2주 이내에 자연 치유되지만, 면역기능이 저하되거나 약한 영유아, 면역결핍환자에겐 탈수로 이어져 치명적일 수 있다. 감염경로는 사람간, 사람-동물(특히 가축)간 접촉이 주된 경로이며, 드물게 오염된 음식이나 물 섭취가 원인이 되지만 상수계통이 원인인 경우에는 폭발적인 양상을 띤다.

난포낭의 감염력은 특히 매우 강해 미국의 수질사고 시 수돗물중의 난포낭 농도를 추정해보면 한 개 내지 몇 개의 난포낭인데도 감염이 발생한 것으로 밝혀졌다. 미국에서 있었던 자원자실험에 의하면, 난포낭을 섭취한 사람의 절반이 감염되는 개수(ID_{50})는 132개로 측정되었다.

크립토스포리디움의 경우, 세계 각지에서 발생한 수인성 집단질병사례는 〈표 6.5〉와 같다. 가장 큰 사례로는 '93년 미국 밀워키에서 크립토스포리디움에 오염된 수돗물이 공급되어 40만 명이 감염되고 50여명이 사망한 경우이다. 우리나라에서는 '12년 5월 23일 한 노후아파트 저수조에 정화조 오수가 유입되어 크립토스포리디움에 오염된 결과 주민 228명이 설사를 호소한 사례가 있었다.

다. 환경에서의 거동 및 정수처리 관련 특성

크립토스포리디움에 감염된 사람은 하루에 10^9 개의 난포낭을, 소나 양은 하루에 10^{10} 개까지 약 14일간 배출한다. 난포낭은 지표수에서 수개월동안 생존할 수 있으며, 습기찬 토양에서도 120일 이상 생존하는 것으로 알려졌다. 따라서 사람 및 가축 감염률은 하수나 하천수의 오염정도를 결정하는 관건이 된다.

우리나라 사람의 감염률은 지역에 따라 매우 다양한데, 대체로 도시지역보다는 농촌지역이나 섬 지역에서 더 높은 감염률을 보이고 있다. 소나 개의 감염률도 여러 지역에서 확인되었는데, 경우에

따라서는 수십 %로 매우 높은 곳도 있었다. 따라서 하수분뇨처리장 뿐만 아니라 축산폐수처리장, 도살장 등도 주요한 오염원이 될 수 있다.

염소에 대해서는 극도로 강한 내성을 가져 염소소독공정은 아무 효과가 없다. 수온 25 °C, pH 7.0일 때, 염소농도 80 mg/L 에서 90분 이상 노출되어야 99 %가 불활성화 된다는 연구결과가 있었다(Korich et al., 1990). 실제 정수장의 잔류염소농도에 근접한 0.94 mg/L에서 90 % 불활성화하는데 필요한 CT값이 790 mg·min/L이었다는 보고도 있다(志村有通, 2001).

이처럼 크립토스포리디움은 염소 소독에 의한 일부 제거조차도 불가능하므로, 오존, UV 등의 대체소독제를 사용하지 않는 한, 여과까지의 과정에서 총제거율을 달성해야 한다. 난포낭은 수중 탁질 중 미세입자로 분류되며 수중에서 음전하를 띠는 콜로이드형태로 존재하므로, 응집·침전 및 여과공정이 최적 운영될 경우 99.7~99.9 % (2.5~3.0로그) 정도 제거될 수 있다. 그러나 많은 연구에 따르면 응집이 잘 이루어지지 않을 경우 크립토스포리디움 난포낭 제거율은 50 % 정도에 불과하므로 응집여부 및 그 효율이 매우 중요하다고 할 수 있다 (Dugan et al. 2000). 미국에서의 크립토스포리디움 관련 몇몇 수질사고에서 응집 불량으로 인한 탁도 급상승 현상이 관찰되었던 것은 이를 잘 보여준다.

오존은 염소보다 강력한 산화제이기 때문에, 원수의 크립토스포리디움 오염정도가 높아 99 %를 초과하는 제거율이 필요한 경우에는 염소소독에 대한 대체소독제로 권장된다. 하지만 오존의 경우에는 수온에 따라 소독효율의 차이가 크므로, 주의해야 한다. 예를 들어 20 °C에서는 3.9 mg·min/L로도 90 % 불활성화가 가능하지만, 수온이 1 °C일때는 이보다 6배 강한 23 mg·min/L이 필요하다.

크립토스포리디움 난포낭은 3~9 mJ/cm² 로도 99.9 %가 불활성화될 정도로 자외선 소독에는 매우 약한 것으로 보고되었으며, 미국에서는 12 mJ/cm²을 확보한 경우 난포낭이 99.9 %가 불활성화된 것으로 인정하고 있다.

〈표 6.5〉 미국, 캐나다, 영국, 일본의 수돗물 관련 크립토스포리디움증 집단발병사례('84 ~ '94)

발 생 지		시기	환자수(명) (추정)	상수계통의 결함
미 국	Braun Station, 텍사스	'84. 7	117 (2,006)	정호의 하수오염
	캐롤튼, 조지아	'87. 1	(13,000)	하천수를 응집, 여과함 ; 하수 방류 및 강우 급증 ; 역세척 없이 여과 지속, 여과지별 탁도 감시 안함
	메드포드, 오레곤	'92. 2	(3,000)	염소 처리된 우물물 ; 봄철에 간간이 대장균군 검출됨 ; 오시스트 원인은 미확인
	밀워키, 위스콘신	'93. 3	(403,000)	호소수를 여과 처리함 ; 원수 오염 증가 및 새로운 응집제의 부적절한 투입량
	알라발라, 워싱턴	'94. 8	134	정호에 하수 유입
캐 나 다	케체너 - 워터루, 온타리오	'93. 3	193 (23,900)	농폐수와 해빙된 물, 봄철 강우 유출 ; 고탁도 ; 오존 처리, 충분한 농도 아님
	콜링우드, 온타리오	'96. 2	39 (150)	100년만의 집중 강우 ; 평상 시 호소수(1.0 NTU) 여 과처리 안함 ; 정수 중 대장균군 불검출됨
	케로우나, B.C.	'96	100 (4,000)	호소수를 미여과 처리함 ; 소 목축으로 상수원수 오염
영 국	Swindon - Oxfordshire	'88. 12 - '89. 3	516	하천수 및 저수지 ; 응집, 여과처리 ; 침전지 배출수의 재사용 ; 상수원 구역의 소 설사, 집중강우
	North Humberside	'89. 12 - '90. 5	477	저수지에 하천수 유입 ; 급속 및 완속여과 ; 완속여과지 일부 바이패스 ; 집중강우
	Southern England	'94. 11	229	광범위한 지역에 걸친 집단발병, 역학조사 결과 수돗물 관련 증명
	Torbay, 잉글랜드	'95. 7 - 8	575	고농도의 오시스트 함유한 하수처리장 방류수의 하천 유입
	북부아일랜드	'06. 6	168	역학조사결과 질병과 수돗물 관련성 확인, 상수원 상 류 정화조의 월류로 원수 오염
	웨일즈	'05. 9~11	100	역학조사에서 물과 질병간 관련성 확인, 원수, 처리수 등에서 난포낭 확인
일 본	平塚市	'94. 8	461	빌딩 저수조에 오수 혼입 ; 빌딩관계자의 60 % 감염
	越生町	'96. 6	8,000	표준정수처리 ; 심한 갈수기 ; 하수처리장 방류수의 하천 유입

라. 분석방법

표준화된 분석법에는 대체로 면역형광항체법이 사용되며 보통 지아디아와 동시 분석된다.



〈그림 6.5〉 면역형광항체염색 후 형광DIC현미경으로 관찰된 크립토스포리디움 난포낭

6.4 처리내성 미생물 제거방법

그렇다면 구체적으로 어떤 방법으로 소독내성이 강한 병원성 미생물들을 제거할 것인가? 앞서 확인하였듯이, 이에 대한 해답은 소독공정 하나에서만 얻어질 수 없음은 분명하다. 소독 이전의 정수처리공정까지 포함하여 최대한의 제거율을 얻어야 한다. 즉 기존 정수처리시설의 여과 및 소독공정을 병원성 미생물 제거의 측면에서 최적화하여 최대한 높은 수준의 안전성을 확보하려는 다단계 방어전략(Multiple barrier strategy)이 필요해진 것이다.

가. 여과공정

먼저 물리적 제거공정을 살펴보면, 그 이론적 기초는 미생물이 수중에서 보통 음전하를 띠는 콜로이드입자형태로 존재한다는 점에 있다. 바이러스는 크기는 작아도 침강성이 좋은 플록으로 형성되면 90 % 이상 제거가 가능하다. 지아디아, 크립토스포리디움과 같은 원생동물은 4~15 μm 의 크기의 미세입자이므로 플록 형성이 양호할 경우 여과과정에서도 상당부분 제거될 수 있다. 지아디아 포낭과 크립토스포리디움 난포낭은 응집·침전 및 여과공정이 최적 운영될 경우 99.7~99.9 % (2.5~3.0 log) 정도 제거된다.

특히 원생동물은 염소내성이 강해 소독 이전의 과정에서 충분히 제거되어야 하므로 이러한 물리적인 제거과정이 그 관리에 있어 관건이 된다. 이 중 크립토스포리디움은 염소 소독에 의한 일부 제거조차도 불가능하므로, 오존, UV 등의 대체소독제를 사용하지 않는 한, 여과까지의 과정에서 총제거율을 달성해야 한다. 그러나 많은 연구에 따르면 응집이 잘 이루어지지 않을 경우 크립토스

포리디움 난포낭 제거율은 50 % 정도에 불과하므로 응집여부 및 그 효율이 매우 중요하다고 할 수 있다(Dugan et al, 2000).

바이러스는 염소 소독으로 쉽게 99.99 % (4 log) 정도가 제거되지만, 탁질 제거가 충분하지 않을 경우 소독을 피할 수 있는 피난처가 될 수 있기 때문에 소독 이전에 일정 수준이하로 탁도를 낮추는 것이 중요하다. 또한 크기가 매우 작지만, 응집에 의해 플록 형성이 양호할 경우 99 % (2 log) 정도는 제거된다.

나. 소독공정

소독은 물속의 병원성 미생물을 불활성화(Inactivation)하는 것으로, 물속에 존재하는 모든 미생물을 완전히 사멸시키는 멸균(Sterilization)과는 구별된다. 정수처리에 있어 물속에 존재하는 모든 미생물을 사멸시키는 것은 불필요한 일일 뿐 아니라, 냄새문제를 발생시키고 소독부산물 생성을 증가시켜 먹는물의 질을 오히려 떨어뜨린다.

소독제로는 염소, 이산화염소, 클로라민, 오존, UV 등이 가장 잘 알려져 있다. 이들 소독제들은 미생물과 접촉할 경우 세포벽을 손상시켜 물질 전달작용을 방해하거나, 유전물질을 파괴하여 성장 및 증식을 중단시킴으로써 미생물을 불활성화시킨다.

소독은 세균과 바이러스를 제거하는 가장 핵심적인 공정이자, 모든 병원성 미생물로부터 안전한 먹는물을 확보하기 위한 “마지막 방어벽”이 된다. 소독공정에서 바이러스가 최소 99 % (2 log) 이상 제거되어야 하며, 특히 지아디아와 같이 염소내성이 강한 미생물에 대한 소독에서는 염소투입량 조정만으로는 원하는 제거율을 얻을 수 없으므로, 소독제와의 접촉시간을 최대화할 수 있는 모든 조건이 고려되어야 한다.

6.5 미생물 제거여부 확인

정수처리를 통해 병원성 미생물이 안전한 수준으로 제거되었는지, 즉 정수처리공정이 최적 운영이 되었는지는 어떻게 확인할 것인가? 정수처리기준이 수질측면에서의 정수장 운영기준인 만큼, 미생물 제거수준을 그때그때 정확히 파악하는 일은 정수처리기준 적용 시 가장 핵심적인 문제라 할 것이다.

가장 확실한 확인방법은 물론 여과지 유출수나 최종처리수에 대해 바이러스나 원생동물을 직접 검사해보는 것일 것이다. 그리고 이때의 수질검사에는 신속하고 정확한 검사방법이어야 한다. 그러나 바이러스 검사에 가장 많이 사용되고 공식적으로 인정된 방법인 세포배양법(Total Culturable

Virus Assay, TCVA)은 분석과정이 매우 까다롭고 숙련된 기술이 필요하며 분석비용이 매우 높을 뿐 아니라 결과 판독까지 최대 2달까지 소요되므로 일상적인 검사로는 적합하지 않다. 지아디아 포낭과 크립토스포리디움 난포낭 검사방법 또한 기존의 총대장균군 검사와는 비교할 수 없을 정도로 높은 비용과 전문기술, 분석경험을 필요로 한다.

따라서 정수장 수질관리 시 수돗물 중의 병원성 미생물량을 직접 측정하지 않고도 각 공정에서 미생물 제거여부를 파악하고 정수처리공정을 관리하는 방법이 필요하다.

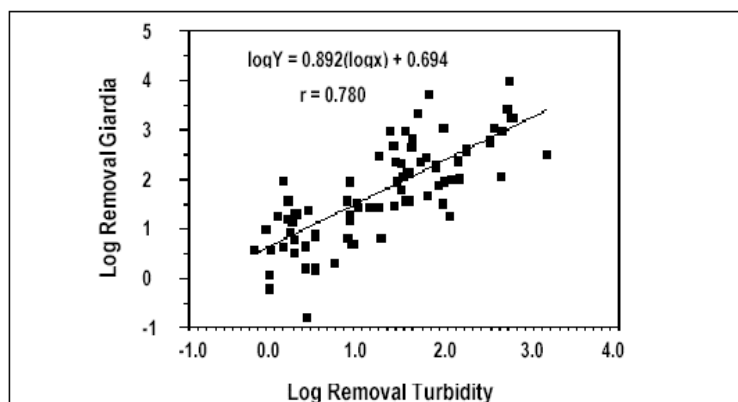
가. 여과공정

병원성 미생물을 직접 검사하지 않고 여과까지의 물리적 공정에서 미생물 제거정도를 손쉽게 알려주는 지표물이 바로 “탁도”이다. 탁도는 물의 가장 기본적인 물리적 성질로써, 수중 입자에 의해 광선이 산란되거나 흡수되는 광학적 성질을 나타낸 것이다. 탁도는 보통 물의 상대적인 투명도에 대한 측정치로써 그동안은 먹는물의 심미적인 영향 차원에서 고려되어온 수질검사항목이다.

탁도를 구성하는 물질로는 토양성분, 침니(Silt), 미세한 무기·유기물, 용존성 유색화합물, 조류, 기타 미생물 크기의 물질 등이 있으며, 그 원인물질로는 하폐수 유기물, 강우 유출된 토양, 조류나 수초, 식물 부패산물인 휴민산 등의 유기물질, 철 농축물, 처리과정에서 발생한 입자(NaOH 등)와 기포 등이 있는데, 이 중에 매우 적은 양의 병원성 미생물이 포함될 수 있다.

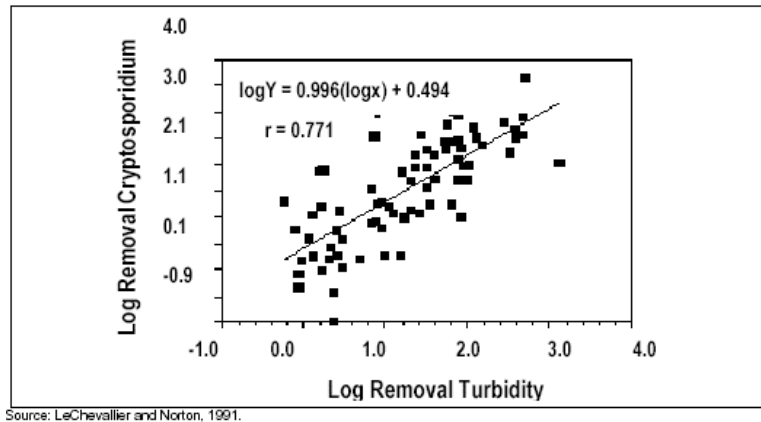
여과수 또는 정수 탁도가 낮다는 것은 물리적인 처리공정이 적절히 수행되었음을 의미한다. 실제로 많은 pilot연구에서 탁도 제거율과 원생동물 제거율은 매우 강한 상관성을 보였다 <그림 6.6>, <그림 6.7>. 탁도는 원생동물 제거정도에 대한 좋은 지표(Indicator)가 되며, 따라서 공중보건차원에서도 각 정수장이 최적화 되었는지를 결정하는 훌륭한 판정기준이 될 수 있다.

반대로 먹는물의 탁도가 높다는 것은 심미적인 불쾌감 뿐만 아니라 안전성에도 문제가 있을 수 있음을 나타낸다. 탁도는 병원성 미생물에 영양물과 피난처를 제공할 수 있으며, 또 한편 처리가 불충분하다는 것을 의미하기도 한다.



Source: LeChevallier and Norton, 1991.

<그림 6.6> 지아디아 포낭 제거율과 탁도 제거율의 관계



〈그림 6.7〉 크립토스포리디움 난포낭 제거율과 탁도 제거율 관계

실제 크립토스포리디움에 의해 유발된 집단발병 사고에서도 대부분 여과수 또는 정수에서 평상시와는 다른 탁도 돌출현상이 발견되어 이러한 관련성을 뒷받침하고 있다 <표 6.6>. 미국에서 발생한 아래 사건들은 집단발병이 일어났던 시기에 최종처리수 탁도가 1.0 NTU를 초과하였다.

〈표 6.6〉 미국의 크립토스포리디움 관련 집단발병 사고 시 정수장 운영상황과 탁도

사고사례	년도	일반적인 정보	탁도관련 정보
밀워키	1993	- 원수 수질 악화 - 응집제 변경 초기 응집·여과효율 감소	- 정수탁도 2.7 NTU까지 상승
잭슨카운티, 오레곤주	1992	- 정수장 운영불량 (조류 및 탁질 급증), - 여과 前 염소처리 미 실시	- 여과수 탁도 1 NTU 초과
캐롤튼, 조지아주	1987	- 표준정수처리 - 취수장으로 하수 유입 - 역세척 실시 않고 계속 운전	- 한 여과지 탁도 3시간 동안 3 NTU

따라서 여과수 또는 정수 탁도가 매우 낮다는 것은 (1) 세균이나 바이러스가 소독되기 좋은 상태로 감소되었으며, (2) 지아디아나 크립토스포리디움 같은 원생동물 제거율이 양호하다는 것을 의미한다.

이러한 근거로부터, 여과공정에서의 제거여부는 바이러스나 포낭을 직접 검사하는 대신 정기적으로 탁도를 측정함으로써 확인한다. 우리나라의 정수처리기준에서는 급속여과 시, (통합)여과수 탁도를 4시간 간격으로 측정하여 월 측정치의 95 % 이상이 0.3 NTU 이하이고 한 시료도 1 NTU를 초과하지 않을 경우, 바이러스 2 log, 지아디아 2.5 log, 크립토스포리디움 난포낭 2 log가 제거된 것으로 인정한다. 직접여과는 동일한 탁도 측정결과에도 급속여과보다는 낮은, 바이러스 1 log, 지아디아 2 log 및 크립토스포리디움 2 log 제거를 인정해준다. 완속여과일 경우에는, 역시 동일하게 탁도를 측정하여 월 측정치의 95 % 이상이 0.5 NTU 이하이고 한 시료도 1 NTU를 초과하지 않으면, 바이러스와 지아디아, 크립토스포리디움 모두 2 log씩 제거된 것으로 인정한다.

나. 소독공정

여과공정에서의 제거목표가 달성되었다면 소독공정에서 우리가 달성해야 할 제거목표는 바이러스 최소 99 % (2 log) 및 지아디아 최소 68 % (0.5 log)이다. 만일 탁도 측정결과 여과에서 달성할 목표제거율을 만족하지 못했다면, 소독에서 모두 제거해야 하므로 목표제거율은 바이러스 최소 99.99 % (4 log), 지아디아 최소 99.9 % (3 log)가 된다.

소독공정 운영은 병원성 미생물을 직접 검사하지 않고 불활성화비를 측정함으로써 안전성을 확인한다. 즉 매일 달성된 소독효과 즉 소독능(CT값)을 측정, 계산함으로써 바이러스와 지아디아의 이론적인 제거여부를 추정하는 방법을 사용한다. 여기서 C는 소독제 농도(Concentration)를 말하며, T는 접촉시간(time), 즉 소독제와 미생물이 접촉한 시간을 의미한다. 따라서 소독능(CT값)이란 잔류소독제 농도(C)와 소독제와 물의 접촉시간(T)의 곱을 말하며, 따라서 CT값의 단위는 $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{L}$ 이다. 소독능은 소독효과를 의미한다.

소독에 의한 각 미생물의 불활성화에 필요한 소독능값은 선행연구를 통해 이미 결정되어 있다. 예를 들어 염소에 의한 바이러스 2 log 불활성화(수온 0.5 °C)에 필요한 CT요구값은 $6 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{L}$ 이므로, 잔류염소농도 0.6 mg/L 에서 접촉시간 10분이면 바이러스가 2 log 제거되었다고 간주할 수 있는 것이다. 그리고 소독공정에서 매순간 실측된 소독능이 이 필요소독능보다 크거나 같으면 미생물 제거목표를 달성하였다고 간주한다. $CT_{\text{계산값}}$ 과 $CT_{\text{요구값}}$ 의 비율을 불활성화비라고 하며, 불활성화비가 1 이상이면 미생물 제거목표를 달성한 것으로 간주한다.

그러나 지아디아와 같이 소독내성이 강한 미생물의 소독에는 소독제농도와 접촉시간 이외에도 사용된 소독제, 수온, pH, 물속에 존재하는 유기물 및 환원물질의 양 등에 따라 소독효과가 매우 다르기 때문에 이에 대한 고려도 필요하다. 각 소독제의 소독력은 클로라민보다는 염소가, 염소보다는 이산화염소가, 이산화염소보다는 오존이 강하다. 또한 수온이 낮을수록 소독효과는 감소한다. 따라서 겨울철에는 소독효과가 감소하여 소독제농도를 높이거나 접촉시간을 늘려야 다른 계절과 같은 소독효과를 얻을 수 있다. 염소의 경우, pH가 높을수록 소독효과는 감소한다.

6.6 정수처리기준의 보완 - 병원성 미생물 분포실태조사

앞서 보았듯이 정수처리기준의 목표는 %제거율로 설정되어 있다. 이는 정수처리기준에 따라 처리된 최종 수돗물이 병원성 미생물로부터 안전한 정도(Safety level)가 원수의 미생물 오염도에 따라 달라진다는 것을 의미한다. 정수처리기준 제도를 처음 도입한 미국에서는 지아디아 목표제거율을 99.9 %로 설정하면서 “청정수” 즉 사람의 활동에 의한 분변오염이 거의 없는, 잘 보호된 상수원을 기준으로 하였기 때문에, “오염된 원수” 즉 하수와 축산폐수 등에 근접해 있는 상수원에는

99.999 %를, 이러한 두 극단의 중간 정도의 미생물오염이 예상되는 곳에서는 99.99 %의 제거율을 목표로 할 것을 권고하였다. 특히 크립토포리디움 난포낭의 경우에는 염소소독공정일 경우 아주 약간의 제거율도 기대하기 어렵기 때문에 상수원 오염시에는 오존처리나 자외선소독 도입을 고려해야 하므로, 원수의 크립토포리디움 오염정도를 정확히 파악하는 일이 매우 중요하다.

이러한 이유로 정수장에서 일상적으로 정수처리기준 준수를 통해 미생물 안전성을 확보하는 동시에 직접 병원성 미생물 분포실태를 병행하도록 하고 있다(수도법 제28조). 지표수를 수원으로 하는 정수처리시설은 물론, 지하수를 사용하는 시설도 주기적으로 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토포리디움 난포낭 등 병원성 미생물 실태조사를 실시해야 하며, 조사방법은 5,000 세제곱미터 이상과 미만에 따라 다소 다르게 규정하고 있다.

가. 시설용량 일일 5,000 m³ 이상 정수장

반기 1회 이상 해당 원수에 대해 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토포리디움 난포낭을 검사해야 하는데, 원수시료는 반드시 소독제가 투입되기 직전 지점에서 채취해야 한다. 단 상수원관리규칙에 의한 원수 검사에서 3년간 분원성 대장균군(또는 총대장균군) 평균이 「환경정책기본법」 시행령 별표 1 제3호에 따른 Ia 등급에 해당하는 경우에는 조사를 실시하지 않아도 된다.

원수를 검사한 결과, 바이러스가 100개체/100 L 이상 검출된 경우에는 확인된 분기 및 그 다음 분기에 분기별 1회 정수를 검사하여야 하며, 크립토포리디움 난포낭 또는 지아디아 포낭이 10개체/10 L 이상 검출이 확인된 경우에는 확인된 시점부터 2개월간 월 2회 이상 정수를 검사하여야 한다.

나. 시설용량 일일 5,000 m³ 미만의 정수장

원수의 대장균을 매월 2회 이상 조사하여, 연간 기하평균 농도가 50/100 mL(하천수의 경우) 또는 10/100 mL(호소수지하수의 경우)를 초과하는 경우 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토포리디움 난포낭 분포실태 조사를 실시하도록 하고 있다.

정수검사는 일일 5,000 m³ 이상 정수장의 경우와 동일하다.

병원성미생물의 조사 대상시설 등(수도법 시행규칙 제18조의3제1항 관련)

가. 바이러스 분포실태 조사방법

(1) 대상시설

- ① 시설용량이 일일 5,000 m³ 이상인 정수장. 다만, 과거 3년간 원수의 분원성 대장균군(또는 총대장균군) 평균이 「환경정책기본법」 시행령 별표 1 제3호에 따른 Ia 등급에 해당하는 경우에는 조사를 실시하지 아니할 수 있다.
- ② 시설용량이 일일 5,000 m³ 미만 정수장의 경우에는 원수의 대장균을 월 2회 이상 조사하여, 원수의 대장균 조사결과 연간 기하평균 농도가 50/100 mL(하천수의 경우) 또는 10/100 mL(호소수·지하수의 경우)를 초과하는 경우 바이러스 분포실태 조사를 실시한다.

(2) 조사 시기·항목·방법

① 원수의 수질조사

- 조사 시기 : 반기 1회 이상
- 조사 항목 : 바이러스
- 조사 방법 : 소독제가 투입되기 이전의 지점에서 시료를 채취해서 조사하여야 하며, 취수구에 유입되기 직전의 지점에서 채취하는 것을 원칙으로 한다.

② 정수의 수질조사

- 조사 시기 : 원수의 수질조사 결과 원수 중에서 바이러스가 100개체/100 L 이상 검출이 확인되는 경우에 실시하며, 확인된 분기 및 그 다음 분기에 분기별 1회 검사할 것
- 조사 항목 : 바이러스
- 조사 방법 : 정수장 유출수를 조사하거나 불활성화비를 인정받는 지점에서 시료를 채취하여 조사할 것

나. 크립토스포리디움 난포낭 등의 분포실태 조사방법

(1) 대상시설

- ① 시설용량이 일일 5,000 m³ 이상인 정수장. 다만, 과거 3년간 원수의 분원성 대장균군(또는 총대장균군) 평균이 「환경정책기본법」 시행령 별표 1 제3호에 따른 Ia 등급에 해당하는 경우에는 조사를 실시하지 아니할 수 있다.
- ② 시설용량이 일일 5,000 m³ 미만인 정수장의 경우에는 원수의 대장균을 월 2회 이상 조사하여, 원수의 대장균 조사결과 연간 기하평균 농도가 50/100 mL(하천수의 경우) 또는 10/100 mL(호소수·지하수의 경우)를 초과하는 경우에 크립토스포리디움 난포낭 및 지아디아 포낭 분포실태 조사를 실시한다.

(2) 조사 시기·항목·방법

① 원수의 수질조사

- 조사 시기 : 반기 1회 이상
- 조사 항목 : 크립토스포리디움 난포낭, 지아디아 포낭
- 조사 방법 : 소독제가 투입되기 이전의 지점에서 시료를 채취해서 조사하여야 하며, 취수구에 유입되기 직전의 지점에서 채취하는 것을 원칙으로 한다.

※ 같은 원수를 사용하는 정수장은 추가로 원수에 대한 조사를 실시하지 아니할 수 있다.

② 정수의 수질조사

- 조사 시기 : 원수의 수질조사 결과 원수 중에서 크립토스포리디움 난포낭 또는 지아디아 포낭이 10개체/10 L 이상 검출이 확인되는 경우에 실시하며, 확인된 시점부터 2개월간 월 2회 이상 검사할 것
- 조사 항목 : 크립토스포리디움 난포낭, 지아디아 포낭
- 조사 방법 : 정수장 유출수를 조사하거나 불활성화비를 인정받는 지점에서 시료를 채취하여 조사할 것

다. 조사 결과의 보고

- (1) 수도사업자는 매반기 실시한 수질검사 결과를 매반기 종료 후 다음달 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.
- (2) 수도사업자는 수질검사 결과를 보고할 때에는 조사결과에 따른 시설개선 등 조치계획 등을 포함하여 보고하여야 한다.

정수처리기준 해설서

제2부 정수처리기준 준수를 위한 운영관리



7

정수처리기준 준수 위한 운영 개선방안



7

정수처리기준 준수 위한 운영 개선방안

여과 및 소독공정으로 원하는 만큼의 소독능값을 달성할 수 없을 경우 다음과 같은 방법으로 소독능 값을 향상시킬 수 있다.

7.1 여과공정 운영개선

(1) 일반사항

- ① 여과 원리, 구조 등을 이해하고 수질이상시 즉시 대처 할 수 있는 능력을 보유하여야 한다.
- ② 주기적으로 역세척 시 현장을 확인하여 역세척 시간의 적정성, 하부집수장치의 이상여부, 역세척 효율 등을 현장 점검하고 필요시 개선하여야 한다.
- ③ 운영자는 시간대별 탁도 등을 분석하고 불규칙하게 발생하는 피크에 대한 해석능력을 개발하여 전문화하여야 한다(트랜드상 피크 발생 사례 : 응집제 과대 및 과소투입, 과부하운전, 순간정전, 여과지 전단 단위공정 작업, 여과속도 변경 등).
- ④ 지별 여과수 탁도관리 목표 위반 시 위반된 여과지 번호, 위반일자, 탁도 등을 기록하여야 한다.
- ⑤ 여과개시 초기탁도가 단위공정 여과지 전체에서 발생하는 것인지 1개 여과지에서 발생하는 것인지 원인을 분석하고 단위공정 여과지 전체에서 발생하는 경우는 시동방수(始動放水, filter to waste), 운영방법 등 근본적인 개선방안을 강구하여야 한다.
- ⑥ 여과지별 모래층 두께, 여과모래 오염도(머드볼 조사 등), 여과모래 재질 적정여부 등은 계절별 대표지점에 대해 주기적으로 확인하고, 지별 여과지 이상 발생 시는 수시로 확인하여 정비하여야 한다.
- ⑦ 여과모래 오염은 역세척 시간, 역세 효율 및 여과수 수질에 영향을 주며, 공기 역세척 시 역세척이 잘 되어 오염이 적을 것으로 생각하기 쉬우나 여과층 내부에서는 오염이 진행될 수 있으므로 오염도조사를 층별로 실시하고 오염여부를 확인하여야 한다.
- ⑧ 여과모래 오염의 우려가 있을 때에는 물 역세척 시 펌프 가동대수를 늘려 모래층 내 오염된

물질을 배출시킬 필요가 있다.

- ⑨ 지별로 여과지 관리카드를 만들어 제반제원을 기록하고 사후관리 내용을 기록하여야 한다.
- ⑩ 지별 여과지에 수충격으로 탁도 변화가 가급적 생기지 않도록 운영한다.
- ⑪ 여과모래 유효경은 설계에 반영된 규격을 사용하되 가급적 균등계수가 적은 것이 좋다(L/D비 유지).
- ⑫ 여과모래 마모에 따라 여과지 표면에 세사층이 형성되어 표면여과방식으로 운영되거나 여과 폐쇄성 조류가 다량 발생하여 여과장애를 일으키므로 주기적으로 삭취하여야 한다.
- ⑬ 역세척 시간대별 발생 탁도 변화, 여과 지속시간 적정 여부, 역세척 효율을 평가하고 여과지속 시간에 여과수량 대 역세척수량의 비로 여과효율 등을 주기적으로 평가하여야 한다.

(2) 여과지별 탁도관리

여과지 탁도측정은 병원성미생물에 대한 수질관리를 강화하기 위하여 수도법시행규칙에 따라 여과지 통합수로에 탁도계를 설치 감시·관리하도록 되어 있고 참고적으로 개별여과지에도 탁도계를 설치·관리도 권장하며, 이상 발생 시 신속하게 원인을 조사하고 대책을 강구하여 보다 안전한 수질관리가 되도록 유지관리 하여야 한다. 최근 미국, 스위스, 일본 등은 여과수의 입자의 크기나 개수를 실시간으로 파악하여 원생동물의 누출여부를 확인·감시하고 있다.

가. 여과수 탁도 목표

(1) 통합수로 여과수 탁도(급속·직접 막여과시설)

단위공장 여과지의 모든 여과수가 혼합된 지점에서 시료를 채취하여 탁도 자동측정기에 의거 실시간 측정·감시운영하고 1시간 이내 간격으로 기록 유지한다(또는 4시간 간격으로 1일 6회 이상). 탁도관리 목표는 매월 측정된 시료수의 95 % 이상이 0.3 NTU 이하이고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0 NTU 이하일 것(불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정 ; 환경부고시 제2012-185호, 2012. 9.6제정).

(2) 통합수로 여과수 탁도관리 목표 위반 시 조치사항

탁도기준 초과 시 초과정도에 따라 시설개선 및 주민공지 등을 실시하는데, 일시적인 탁도기준 위반 시 자체 시설점검 등을 통한 원인분석과 개선조치를 취하고, 탁도위반의 정도가 크고 지속되면 해당주민 공지와 기술진단 등의 조치를 취하여야 한다.

지별 여과수 탁도 관리(USEPA, 등) - 참고사항

모든 여과시설은 개별 여과지의 유출수 탁도를 지속적으로 모니터링 해야 한다. 지속적인 모니터링이 실용적이지 않으면 최소한 개별 여과지에 대한 일상적인 모니터링을 실시하고, 탁도 스파이크의 크기와 기간을 최소화하는 여과지 운영이 필요하며 역세척을 한 후 모든 여과시설은 여과된 물의 최대 탁도 수준에 관심을 기울여야 한다.

타 여과지 여과수가 혼합되기 전 지별 여과수의 대표지점에서 시료를 채취하여 탁도 측정기에 의거 실시간 측정하여 매15분 간격으로 기록을 유지한다. 지별 탁도 목표를 세분한 것은 원생동물로부터 안전성을 확보하고 초기탁도누출 등 초과농도에 따라 진단 주체를 구분하여 구체적으로 관리하기 위한 것이다. 단, 탁도관리 목표 초과원인이 탁도계 또는 계측제어설비 등에 의한 초과인 경우에는 탁도기준을 적용하지 않는다.

- ① 매월 측정된 시료수의 95 % 이상이 0.15 NTU 를 초과하지 아니하여야 한다.
- ② 여과개시 후 안정화될 때까지 0.5 NTU 보다 커서는 안된다.
- ③ 여과개시 4시간 후에는 0.3 NTU 보다 커서는 안된다.
- ④ 매월 1 NTU 보다 높은 탁도가 30분 이상 연속하여 월1회 이상 발생하고 이와 같은 현상이 3개월 연속 나타나서는 안된다.

또한, 지별 여과수 탁도관리 목표 위반 시 조치사항으로는

- ① 탁도 초과 원인을 모를 경우 여과지속시간에 따라 탁도 변화를 7일내 작성하여 원인을 규명하도록 특별관리 한다(초과원인을 알 경우에는 즉시 개선조치).
 - ② 매월 1 NTU 보다 큰 값이 3개월 연속하여 나타나는 경우에는 14일 이내에 자체 기술진단팀이나 외부전문기관의 진단을 받고 90일 이내에 조치결과 등을 보고한다.
- (정수생산에 지장이 없으면 여과지 운영을 중단하고 전문기관의 진단 실시)

나. 여과수 탁도계(On-Line Turbidimeter)

(1) 탁도계 설치

탁도계는 측정방법, 제조회사 등에 따라 설치와 유지관리 등이 상이할 수 있으나 일반적인 고려사항은

- ① 측정된 데이터의 정확성과 신뢰성이 확보되어야 한다.
- ② 주기적인 청소와 소모품의 확인·교환을 하여야 한다.
- ③ 측정값의 유효성 확인을 위한 數분석값과 비교 검토·교정을 하여야 한다.
- ④ 설치 시 고려사항

- 제조사의 지침서에 따르고, 시료채취 지점에 가까이 위치(Time-lag)하여야 설치한다.
- 시료는 배관의 측면시료를 채취하도록 한다(상단부는 공기, 하부는 슬러지 영향을 받기 쉬움)
- 시료 배관의 구경은 충분한 양의 시료를 공급 할 수 있어야 한다.
- 일상적인 점검·교정을 위해 접근이 용이한 위치로 드레인배관은 흐름을 확인할 수 있어야 한다.



- 시료는 자연유하로 탁도계에 유입되도록 설치하고 대표시료를 보장해야 한다.
- 시료의 기포가 충분히 배기되는 구조로 진동의 영향을 받지 않는 장소에 설치한다.
- 검출부는 물과 외부오염에 취약하므로 이에 대한 배려를 하여야 한다.

(2) 운전과 유지관리

- ① 탁도계의 유입 유량, 예방 및 일상정비는 제조사의 지침서에 따른다.
- ② 1회/주 이상 점검하고 램프(렌즈) 등 중요한 부분의 점검·정비시에는 반드시 재 교정한다.
- ③ 램프, 전자회로 등 기기의 여러 부품도 수명이 있으므로 주기적으로 교체하여야 한다.
- ④ 렌즈, 광원, 기타 시료 통 등은 주기적으로 세정한다(탁한 시료는 더 자주 세정).
- ⑤ 기기의 부품을 충분히 보유하고 이에 대한 예산을 사전에 확보하여야 한다.

(3) 보정 및 교정(Calibration)

- ① 공동수로 여과수 탁도계는 1주일에 1회 정도, 지별 여과수 탁도계는 2개월에 1회 정도 보정하여야 한다(탁도계의 상태에 따라 보정주기는 단축 또는 연장할 수 있다).
- ② 교정 시에는 표준물질을 사용하고, 1차 표준은 사용자가 1차 표준물질을 갖고 일정조건에서 정확한 방법으로 교정하여야 한다.
 - Formazin, AMCO-AEPA-1® MICROSPHERES, STABLCAL®(STABILIZED FORMAZIN)
- ③ 2차 표준은 제조사가 1차 표준과 동일한 결과가 나온다고 인증한 표준을 말한다(검정용 kit).
 - GELEX®, GLASS/CERAMIC CUBES, 제조사가 자사제품에 맞게 제공한 2차 표준
- ④ 1년에 2회는 탁도계를 철저히 세정하여 1차 표준물질로 교정하여야 한다.
- ⑤ 교정 후에는 2차 표준물질로 올바르게 교정되었는지를 확인한다.
 - 2차 표준물질로 교정하여 10 % 허용값 이내으로 교정되었는지를 확인한다.
- ⑥ 기기교정은 제조사의 매뉴얼에 따르고 정확한 탁도 측정을 위해 제조사들의 특정 규정을 준수한다.
- ⑦ 표준절차서를 마련하여 담당자가 숙련되도록 하고 교정점검표를 작성하여 기록한다.
- ⑧ 실험실 탁상용 탁도계에 대한 일반사항은(On-line 탁도계에 참고)
 - 시료관은 흠집과 오염 또는 손상을 피하기 위하여 조심스럽게 다루어야 함(면장갑 사용)
 - 시료 셀 또는 셀이 들어가는 상자내부의 흠집, 지문, 물방울은 측정결과에 영향을 줌
 - 셀은 주기적으로 산 세정하고 흠집을 보완하기 위하여 실리콘 오일을 도포
 - 셀에 시료를 채운 후 외면은 깨끗하고 부드러운 천으로 닦은 후 실험
 - 사용 시 셀 상단에 표시된 동일 방향으로 탁도계에 넣어 실험
 - 시료는 상당량의 가스를 포함하고 있어 측정값에 영향을 줌(기포제거를 위해 초음파 등 이용)
 - 수온과 침강 등이 영향을 미치므로 즉시 측정하고 가급적 시료온도는 공정수의 온도와 같아야 함

탁도 Monitoring 신뢰값 확인방법

- ㉠ 센서 통과유속이 균일하고 정확한지를 확인
 - ㉡ On Line NTU값을 탁상용 탁도계값과 비교 검토(일보상 값을 MMI(Man-machine interface) 비교 확인)
 - ㉢ 센서의 오염(조류, 찌꺼기 등)이나 이상여부(응결된 물방울 등) 확인
 - ㉣ 컴퓨터 화면에 표시된 값이 계기에 표시된 값과 동일한지 확인
 - ㉤ 샘플시료의 채취방법이 적절한지 여부 확인
 - ㉥ 검출 센서를 움직인 후 표현 display값의 변화유무 확인
- ※ 여과수(정수) 탁도계의 설정 출력값 : 최저값 - 0, 최대값 - 2

다. 탁도계 품질보증 및 관리

적절한 탁도 측정을 위해 적절한 기술과 장비를 사용하는 것이 중요하고 운영자는 품질보증과 품질관리 프로그램의 개발을 통해 측정이 정확하고 일관된 데이터를 보증하기 위한 계획을 수립하여야 한다.

- (1) 운영자는 분석원리 및 기기구조 등을 이해하고 수질이상시 원인을 파악하고 대책을 강구하여야 하며 분석기술 유지를 위한 훈련, 노후된 기기장치 정비, 변질된 표준물질 사용금지 등을 통하여 부정확한 측정이 방지되도록 하여야 한다.
- (2) 탁도계 세정 및 교정, 표준용액 조제 등을 위한 표준절차를 만들어 담당자들이 일관성 있는 방법으로 관리하고 결과를 보증할 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 시료채수절차에는 채수위치, 채수횟수, 시료취급방법, 운반상 고려사항, 안전상 주의사항 등을 분명하고 간결하게 명시하여야 한다.
- (4) 환경측정기기의 정도검사
 - ① 근거 : 환경분야 시험·검사 등에 관한 법률 시행규칙 제11조 및 국립환경과학원고시 제2012-43호 및 국립환경과학원 고시 제2012-48호
 - ② 정도검사 주기 : 2년(측정기기를 취득한 날부터 국립환경과학원장이 정하여 고시하는 기간 마다 그 끝나는 날의 30일 전부터 끝나는 날의 30일 후까지의 기간. 다만, 측정기기를 사용하는 자가 정도검사기간 전에 측정기기의 성능 등을 점검하기 위하여 정도검사를 받은 경우에는 정도검사를 받은 것으로 보며, 그 후의 정도검사기간은 정도검사를 받은 날부터 산정.)
 - ③ 정도검사 대상 : 탁도 연속측정기 및 그 부속기기, 잔류염소 연속자동 측정기 및 그 부속기기

수질 자동 측정장비의 정밀도(AQC)관리

높은 정밀도를 갖는 탁도 측정기의 선택도 중요하지만, 항상 정확한 측정값을 유지하는 것이 더 중요하므로, 측정기의 정도관리를 위하여 설치 공정별 측정목적에 알맞은 측정기를 선정하고 관리하는 대책이 필요하다. 이를 위해서 측정기의 점검 및 관리주기·방법 등이 설정되어야 하며, 필요시 정도검사기관의 검·교정 또는 측정기 전문 관리업체에 위탁관리도 필요함(정수처리공정 전 후에 process와 operator별 검토, 확인).

- ㉠ 정밀도(precision) : 동일한 시료를 반복해서 측정할 경우 그 측정값의 흩어짐 정도로서 재현성(repeatability)을 말하며, 평균값(mean)에 대한 표준편차(standard deviation)의 백분율로 표시하고 분기별 1회씩 각 측정기기별로 평상시 측정결과 범위의 농도에서 하나의 농도를 선정하여 3회 반복 측정하여 정밀도 검사를 수행한다. [목표 5 %]

- 재현성(%) = 표준편차 / 측정값의 평균 × 100

- ㉡ 편의(bias) : 측정값(measured value)과 참값(true value)의 오차정도로 측정자료의 신뢰성(reliability)을 나타내며 각 측정기기별 1년에 1회 이상 평상시 측정 농도범위 중에서 선택하여 표준농도의 시료(known sample)를 제조하여 3회 반복 측정하여 측정값과 비교 평가한다. [목표 10 %]

- 신뢰성(%) = 평균오차 / 참값 × 100 [오차 = |측정값 - 참값|, 참값 = 조제한 농도]

7.2 소독공정 운영개선

가. 염소소독제 주입량 조정

소독능을 높이기 위해서는 염소 주입량을 높여야 하나, 염소냄새에 의한 수돗물 민원 등이 있으므로, 당해시설에서의 병원성미생물로 부터의 소독능 확보를 위하여 동절기의 최악의 조건 때의 정수처리기준 만족을 위한 염소주입농도 이상으로 주입하는 것을 원칙으로 한다.

일부정수장에서는 염소냄새로부터의 민원해결을 위하여 정수지에서의 염소주입농도를 낮게 주입하고 송배급수관에서의 재염소 주입으로 저농도의 잔류염소를 수도관에 유지하려고 하나, 이때에도 정수지 및 배수지에서의 정수처리기준에 의한 소독능이 만족될 수 있는 범위 내에서 염소 주입량을 설정해야 할 것이다.

나. 정수지 수위 관리

정수처리기준에 의한 소독능 향상을 위해서는 정수지 수위를 조절하는 등 유효접촉시간을 늘려 운영하는 것을 원칙으로 하며, 정수지내 장폭비와 동절기, 하절기 소독능을 고려하여 최대한 높여서 운영하는 것을 권한다.

다. 장폭비 환산계수(β) 값 조정

(1) 도류벽의 설치

정수지(배수지)에서 소독제와 물의 최대 접촉시간을 갖도록 하는 데는 보통 폭과 길이의 비(장폭비)가 1 : 20이 가장 효율적이며, $T_{10}/T(\beta)$ 값은 0.6 정도이다. 따라서 도류벽 등을 설치하여 이 비를 높여 줄 수 있다.

소독은 소독제를 사용하여 물에서의 병원성미생물을 일정농도 이하로 불활성화 시키는 처리공정이며, 불활성화비는 정수시설의 일정지점에서 소독제 농도 및 소독제와 물과의 접촉시간 등을 측정·평가하여 계산된 소독능값과 대상미생물을 불활성화하기 위해 이론적으로 요구되는 소독능 값과의 비를 말한다. 병원성미생물을 불활성화 시키기 위한 대부분의 소독제 주입지점은 정수지 유입부이며 계산된 소독능 값을 산출하기 위한 인자로 소독제 농도와 접촉시간이 필요하다. 접촉시간은 소독제와 물과의 접촉시간으로 계산 시 정수지내 물 흐름 길이를 환산하여 계산인자(β)로 사용한다.

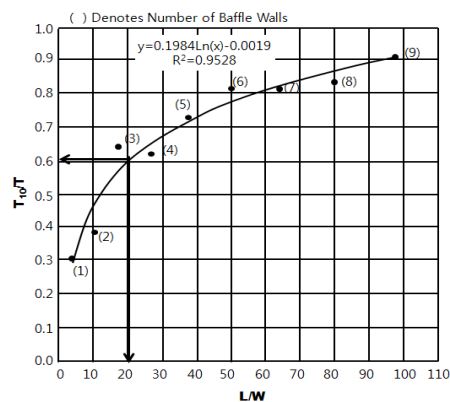
접촉시간 계산인자 β 는 접촉시간 증감에 많은 영향을 미치는 중요한 인자이며 환산에 필요한 물 흐름 길이는 정수지내 설치하는 격벽의 개수가 결정하므로 정수지내 격벽은 물 흐름 길이를 산정하는 중요한 인자이다.

라. 정·배수지 도류벽 개수 산정검토

(1) 이론적인 고찰

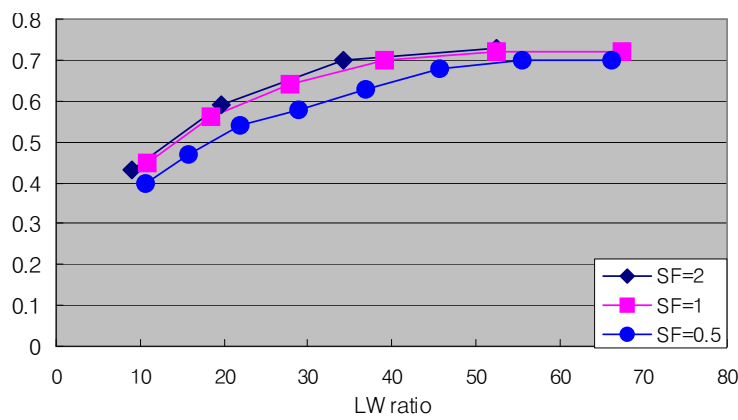
- Bishop(1993)등은 추적자 실험을 통하여 L(물흐름 길이) : W(물흐름폭)비는 대략 20:1의 비에서 가장 경제적이며 효율적인 $T_{10}/T = 0.61$ 을 나타내고, 그 이상의 비에서는 설치비용에 비해 효과가 크게 증가하지 않는다고 발표

※ T_{10} : 정수지 유입측에서 Tracer 주입 시 10 % 유출되는 시간, T: 정수지의 이론적인 체류시간

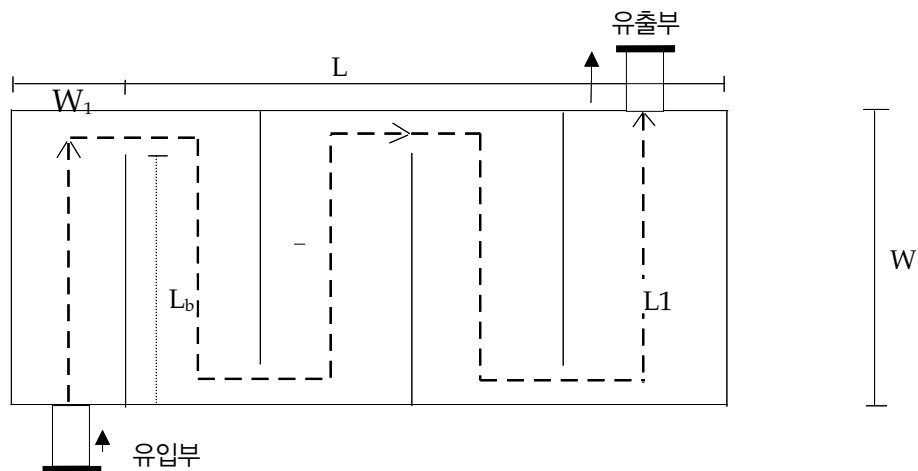


〈그림 7.1〉 정·배수지 도류벽 개수 산정

- Mark M. Clock(1999)의 pilot test 연구결과(전구간 일정한 폭의 도류벽)는, Bishop과는 달리 장폭비가 20 이후에도 T_{10}/T 값의 지속적인 증가가 있었으며 장폭비가 50이 넘어간 경우 증가가 둔화되는 경향을 보였으며
- 최근, 국내 박희경(2005, “전산유체를 이용한 정수지 및 배수지 최적화 방안 연구”)의 pilot test 전산유체(CFD) simulation 결과 도류벽 간격이 균등할 때 T_{10}/T 값은 아래 그림에서와 같이 장폭비가 50 이상 증가하면 형상영향인자(shape factor)에 따라 일정한 값으로 수렴하는 것으로 보고되었다.

〈그림 7.2〉 도류벽의 장폭비와 T_{10}/T 의 관계

(2) 도류벽 설치기준 계산 근거



- L_1 : 도류벽이 설치되어 있을 때의 실질적인 물 흐름 길이(m)
 W_1 : 도류벽이 설치되어 있을 때의 실질적인 물 흐름 폭(m)
 L : 정수지 길이(m), W : 정수지 폭(m), n : 도류벽 개수
 L_b : 도류벽 길이(m)

〈그림 7.3〉 도류벽 설치기준 계산

(3) 도류벽 소요 개수 계산식 보완 유도

$$\text{최적 } L_1/W_1 \text{비} = 20 : 1 = W(n+1) + \frac{L \times n}{(n+1)} : \frac{L}{n+1}$$

도류벽 개수 산출식	도류벽수(n) = $\frac{-(2W+L) \pm \sqrt{(2W+L)^2 - 4W(W-20L)}}{2W}$
---------------	--

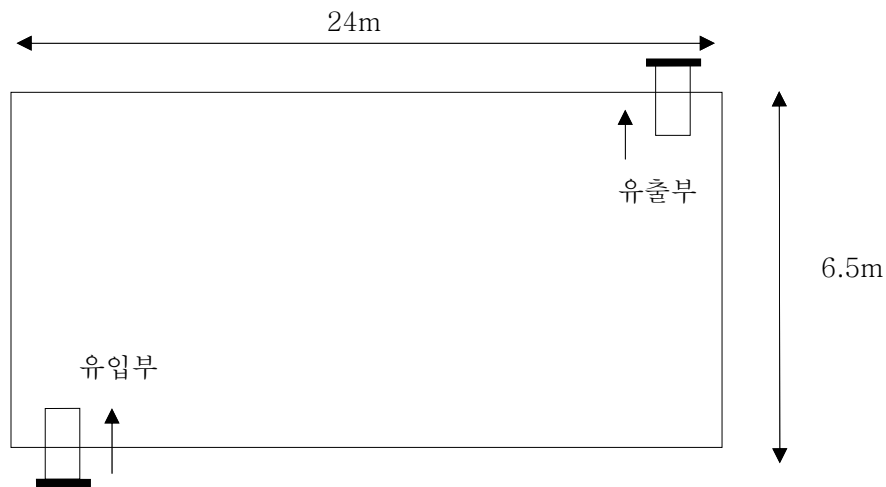
(4) 도류벽 길이(L_b) 계산(국·내외 최초로 길이 계산식 유도)

$$L_1 : W_1 = 20 : 1 = (L_b + \frac{(W-L_b)}{2}) \times 2 + L_b \times (n-1) + \frac{L}{(n+1)} \times n : \frac{L}{n+1}$$

도류벽 길이 산출식	도류벽길이(L _b) = $\frac{\frac{(20L-L \times n)}{(n+1)} - W}{n}$
---------------	---

(5) 도류벽 개수 및 길이 계산 예

폭이 6.5 m이고 길이가 24 m인 정수지에 소독능 향상을 위하여 도류벽을 설치할 경우 적절한 도류벽의 개수



〈그림 7.4〉 도류벽 개수 및 길이 계산 예시

① 도류벽 설치 개수

$$\therefore n = \frac{-(2 \times 6.5 + 24) \pm \sqrt{(2 \times 6.5 + 24)^2 - 4 \times 6.5(6.5 - 20 \times 24)}}{2 \times 6.5} = 6.2$$

따라서 소요 도류벽 개수 : 7개

② 도류벽 길이

$$\therefore \text{도류벽길이}(L_b) = \frac{\frac{(20 \times 24 - 24 \times 7)}{(7+1)} - 6.5}{7} = 4.64$$

마. 추적자 실험(Tracer Test)

추적자 실험은 정수처리 공정 내 물 흐름 특성 분포를 측정하는 실험으로 공정별 지내 흐름 분포와 체류시간 등을 분석한다.

정수장 단위공정이 이상적인 Plug flow 반응기일 경우 접촉시간은 수리학적 체류시간과 동일하나, 혼화조, 침전조, 정수지에서는 Plug flow가 아니거나 일반적으로 단락류가 발생하기 때문에 수리학적 체류시간이 접촉시간을 대표하지 못한다. 따라서 접촉시간은 해당 단위공정에서 접촉시간을 추적자 실험 등을 통하여 결정하게 된다.

정수장에서 CT 평가를 위한 연구는 정수공정의 구조적 형태로 대변되는 T_{10} 값을 결정하는 것으로 나타낼 수 있다. 여기에서 T_{10} 은 Tracer가 무게비로 10 % 유출되었을 때 시간을 의미하며 소독제가 물속의 미생물과 90 %가 접촉되는 시간을 의미한다. 즉 10 % 미만의 물이 해당되는 소독제의 농도에서 T_{10} 보다 짧은 시간의 체류시간을 가지고 정수지를 빠져 나간다.

정수지에서 소독제와 접촉시간인 T_{10} 값을 측정하기 위한 추적자 실험을 하기 위해서는 추적자를 선택하여야 한다. 이상적인 추적자는, 쉽게 구할 수 있고 추적자 실험기간동안 소모되거나 없어지지 않고 보존되어야 하며 측정이 용이하여야 하고 음용수에 사용이 가능하여야 한다. 일반적으로 KMnO_4 , Alum, Chlorine, Sodium Carbonate 등 많은 화학물질들이 추적자 실험에서 사용되었으나, 비독성 염화물(Chloride)과 불화물(Fluoride)이 음용수에 가장 많이 사용되어지고 있다. 추적자의 투입과 측정위치는 반응기 구조를 대표할 수 있는 위치가 바람직하다.



8

여과시설 유지관리



8

여과시설 유지관리

8.1 급속여과시설

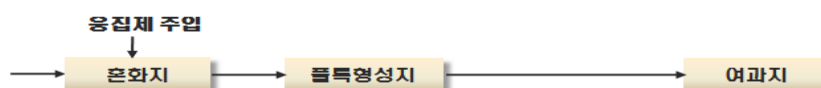
8.1.1 일반현황

급속여과는 물속에 존재하는 입자상의 물질을 응집약품으로 Floc을 형성하여 침강·제거한 다음에 나머지를 여과지에서 여과·제거하는 방법이다. 여과지 내에 유입된 미세플록은 여재입자에 물리·화학적 작용으로 부착되거나 플록상호간의 역류기작에 따라 비교적 대량의 부유물질을 제거할 수 있다. 그러나 용해성물질의 제거능력은 거의 없으므로 용해성물질의 종류와 농도에 따라서 고도정수시설이 더 필요하며, 굵은 여과모래를 사용하고 여과속도는 120~150 m/d가 표준으로 대량의 물을 처리할 수 있는 방식이다.



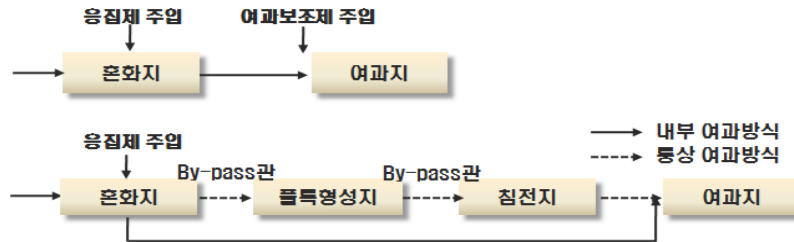
〈그림 8.1〉 급속여과 공정도

직접여과(Direct filtration)는 일반적인 정수처리의 침전공정이 생략된 방식으로 수질변화가 적고 비교적 양호한 수질(미국 : 원수의 평균 탁도가 10 NTU를 초과하거나 최대 탁도가 20 NTU를 초과하는 경우는 가급적 제외)에서는 설치비와 운영비가 적게 소요되며, 응집제 주입량을 통상 주입량의 1/2~1/4 정도만 주입하여 플록을 형성시킨다. 이때 생성되는 플록은 입경과 침강속도는 작지만 밀도와 강도가 큰 마이크로플록이 형성되어 안정하게 처리될 뿐 아니라 약품사용량이 절약되고 슬러지 발생량도 줄일 수 있는 공정이다.



〈그림 8.2〉 직접여과 공정도

내부여과(In-line filtration)는 응집과 침전공정이 생략된 방식으로 응집제를 여과지에 유입되는 관로에 주입하는 방식이다. 원수의 탁도나 미생물 농도의 변화가 심할 경우 및 응집제주입량이 과다한 원수에서는 사용이 어렵다.



〈그림 8.3〉 내부여과 공정도

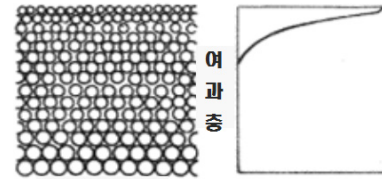
정수처리기준(Treatment Technique)은 병원성미생물에 대한 관리능력을 향상시킬 목적으로 제정되어 실제적인 먹는물 수질기준의 농도 규제에 대하여 처리기술 기준을 설정하여 이러한 물질들을 실시간으로 Monitoring하는 것이다. 최종 처리수인 여과지의 탁도를 감시함으로써 전처리의 약품투입 문제, 혼화·응집·침전공정, 여과지 파과현상 등 전반적인 정수처리공정의 운전방법을 최적화로 조정하게 되며, 정수공정의 문제발생을 조기에 해결할 수 있고 여과지 성능을 최적으로 발휘함으로써 이러한 과정을 통해 운전기술의 향상과 안정된 수돗물이 생산되어 법규에서 요구하는 수질보다 더 우수한 처리수를 생산하는 것을 목적으로 한다.

병원성미생물을 제거하는데 탁도에 대한 규정을 설정하는 이유는 실제로 원수 중의 바이러스와 지아디아는 콜로이드 입자와 유사하게 응집침전여과를 통하여 제거되기 때문으로 원수의 병원성미생물 제거목표는 소독공정 뿐만 아니라 여과공정도 적절하게 운전되어야만 달성할 수 있다. 따라서 수도사업자는 정수처리기준을 준수하기 위해 여과시설(급속·직접·완속·막여과 및 기타여과)을 갖추어야 하고 여과시설의 종류 및 규모 등에 따라 최종 탁도기준을 준수하도록 운영관리를 철저히 하여야 한다. 여과시설의 종류 및 규모 등에 따라 아래 내용을 참고하여 최종 탁도기준을 준수하도록 운영관리를 철저히 하여야 한다.

- 정수처리 관련 신기술·신공법의 기술변화 추이를 반영하고 항시 최적화 운영
- 각 처리시설에 대해 법규를 가급적 실시간(Real-time)으로 적용/감시

표면여과와 내부여과 등 여과방식에 따른 유지관리 요령

급속여과(유효경 0.45~0.7 mm, 여층두께 60~70 cm, 여과속도 120~150 m/d) 방식은 수중 현탁물질을 약품으로 응집(Al/T) 중력침강 후 잔류량을 여재에 부착하거나 체거름 작용으로 탁질을 제거하는 고액분리공정으로 여재입경과 여층두께가 매우 중요하다. 즉 여재입경을 작게 할수록 역류효과가 높아지고 여층두께가 얇아도 탁질을 역류할 수 있으나, 역류물이 여과 표층에 집중되어 손실수두가 높아지기 때문에 장기간 여과지속은 어렵고 얇은 여과층에서 역류되는 탁질량은 한계가 있는데 이를 **표면여과**(표층여과)라 하며 세척시 20~30 % 팽창시켜 역세척하여야 한다. 이에 반해 여과층 내부로 플록을 침투시켜 여과층 전체를 이용하여 탁질을 포착할 수 있는 여층을 사용하면 대량의 탁질을 여과층 내에서 역류할 수 있어 이를 **내부여과**(심층여과)라고 한다. 내부여과에서는 공극률이 큰 여재로 비교적 고속으로 여과함으로써 플록을 내부로 침투시켜 내부에 역류시키는 것이지만 플록의 침투가 지나치면 누출되기 쉬우므로 반드시 여과수 탁도를 연속적으로 감시하는 등 고도의 기술적인 관리능력을 필요로 한다.



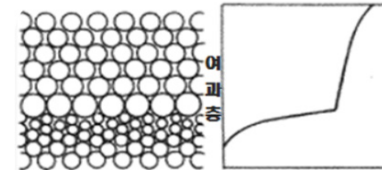
단일 여과층

역류량

사 팽 창

팽창 : 20~30%
E.S. 0.45~0.7mm
사층 두께 60~70cm
역세수량 0.6~0.9m³/m²분

또한, 밀도가 다른 여러 여재를 이용한 **다층여과**(2층, 3층, 복층) 방식이 있는데, 모래층 위에 안트라사이트(가넷, 철광석 등)를 넣은 이층여과로 모래에 비하여 입경이 크고 밀도가 작은 안트라사이트층에서 탁질의 대부분을 역류하고 나머지를 모래층에서 역류기작에 따라 각각 분리하는 방식으로 역세척시에는 반드시 층분리가 이루어져야 역세효과를 달성할 수 있다.



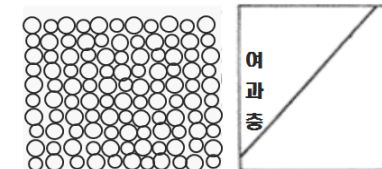
2층 여과층

역류량

층 분리

층분리로 팽창 필요
안트라사이트 1.0mm 포원한
이층여재
역세수량 0.62~0.82m³/m²분
공기량 0.92~1.22m³/m²분

최근 모래만을 여재로 사용하는 단층여과지에서 이와 같은 단점을 보완시키기 위해서 여재입경 분포 폭을 작게 하고 또 입도를 크게 하여(L/De 1,000~2,000, 유효경 1.0 mm 이상, 여층두께 110 cm 이상) 표층에서 역류량의 집중을 완화시키며 여과층을 두껍게 함으로써 탁질누출을 지연시키는 조립심층여과방식이 많이 채택되고 있는데, 이는 내부여과의 장점을 채택한 것으로, 공기+물 역세척시 비팽창 방식(Aquazur Filter)에 의한 역세수량과 에너지를 절감하는 방식으로 불란서 등 유럽에서 많이 설치되고 있다.



심층조립 단일여과층

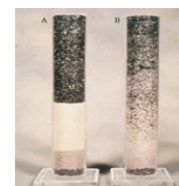
역류량

비 팽 창

비팽창 방식
E.S. 0.9~1.1mm
사층 두께 110~120cm
역세수량 0.24m³/m²분
공기량 0.84 m³/m²분

여과공정은 정수처리의 최종 보루로써, 지아디아 등 병원성미생물이 수돗물에 함유되지 않도록 개별 여과지 유출수 탁도를 연속측정장치를 사용하여 상시 파악하고 0.1 NTU 이하로 유지할 것을 목표로 하는게 선진국들의 권장 추세이다.

급속여과는 여과층 내부까지 floc이 역류되는 내부여과가 이상적이나 여과층 분리현상이 심화되면 여과지 유입수 중의 floc은 여층의 표면에서 주로 제거되는 표면여과가 되므로 여과손실수두의 급작스러운 증가, 여과지속시간을 유발할 뿐 만 아니라 여과수 중에 floc이 파과되어 수질이 악화된다. 또한, 다층여재의 경우 각 여재별로 균등계수가 낮아야 각 층의 경계가 뚜렷하게 분리 팽창된다.

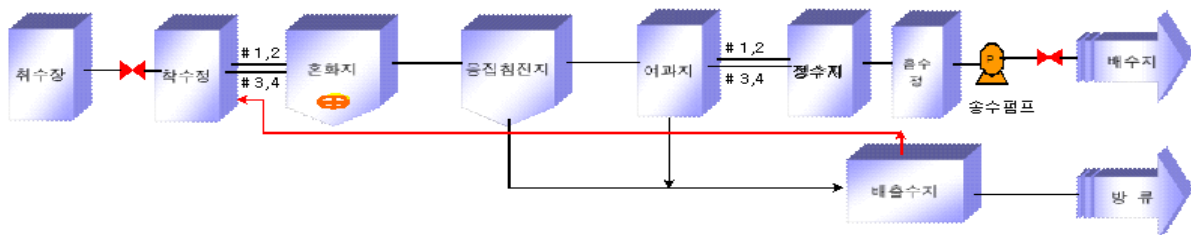


균등계수 낮은 이층여재(A), 균등계수 높은 여재(B)

8.1.2 여과지 최적화 운영/유지관리(Operation/Maintenance)

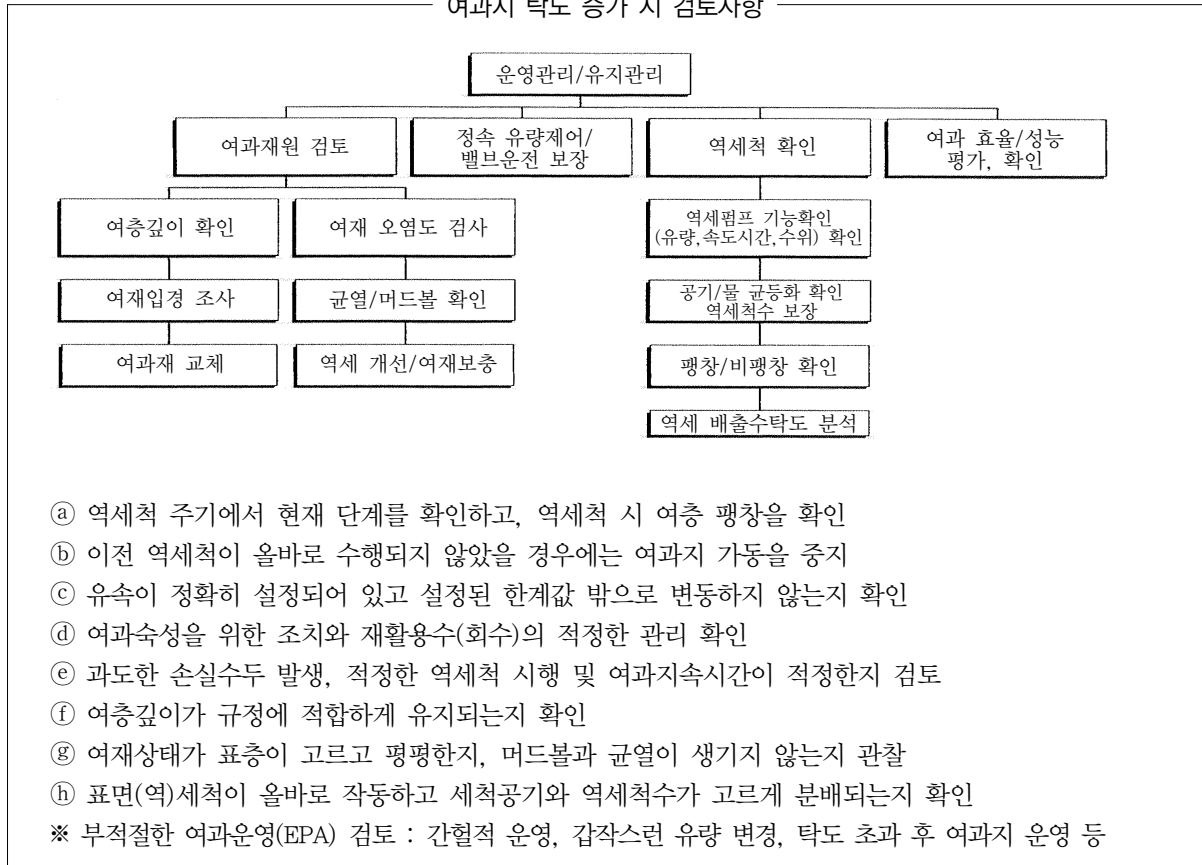
여과시설의 설치·운영의 경우 광역·지방상수도는 수도법 제17, 18조의 규정에 따른 정수시설을 갖추어야 하며, 다만, 여과시설이 설치되지 아니한 시설의 경우에는 소독에 의한 병원성미생물 제거율을 달성하여야 하고 탁도기준도 준수하여야 한다. 또한 활성탄 및 기타여과공정을 통해 정수처리기준을 만족하고자 하는 경우에는 한국상하수도협회장의 인증을 받아야 한다.

여과공정은 침전지로부터 유출되는 탁도 유발물질 등 미세 Floc을 입상 여과재의 내부 간극에 억류시켜 제거하는 마지막 공정으로, 급속여과 효율에 가장 큰 영향을 주는 것은 적절한 응집·침전이고 침전수의 탁도가 낮으면 낮을수록 또는 플록의 양이 적으면 적을수록 여과지속시간이 길어지고 여과수의 탁도도 낮다. 따라서 급속여과의 관리에 있어서는 침전지 유출수의 탁도나 플록의 다소와 크기 등을 계속 측정·관찰하여 그 결과를 약품주입, 응집·침전작업에 반영하고 전처리 효과를 높이도록 운영/유지관리 하여야 한다.



〈그림 8.4〉 일반적인 정수처리 공정도

여과지 탁도 증가 시 검토사항



가. 여과공정 최적 운영관리

보통 여과공정은 혼화, 응집, 침전공정의 다음단계로 원수의 현탁 입자, 여과재의 물리·화학적 작용과 수력학적인 운전조건 등 많은 요인이 매우 복잡하게 얽혀있는 현상으로 주요 영향인자들 중 여재입경 분포, 여재공극율, 입자의 밀도, 크기, 표면전위, 여과속도, 사층 깊이, 손실수두, 세척방법 등 제반인자들의 상관관계를 비교하여 선행 운전하여야 한다.

- ① 여과 원리 및 구조 등을 이해하고 수질이상시 즉시 대처 할 수 있는 능력을 보유하여야 하며, 세척효율 등을 현장 점검하여 최적으로 운전하여야 함.
- ② 지별 여과지에 수충격으로 탁도변화가 가급적 생기지 않도록 운영한다(FRS 운영)
 - 효과적인 여과지 운영관리는 여과지를 자주 start-up, shut-down 하거나 여과속도를 하루에도 몇번씩 올렸다 내렸다 하지 않고 여과지를 원활하고 일정하게 운영한다는 것을 의미 함.
 - Cleasby, Williamson, and Baumann(1963)는 여과속도 변화가 천천히(10분 이상) 이루어질 때 보다 빠를 때 속도증가에 따른 수질악화가 더 크다는 사실을 보여 주는데 100 % 유속 증가가 25 % 유속 증가보다 22.5배 더 많은 물질을 배출한다고 보고 함.
- ③ 원수 탁도변화에 따라 응집제 주입량을 변화시켜, 자 테스트, 조건표, 제타 전위나 유동전류 측정

등으로부터 정보를 얻어 전처리공정 최적화를 유도하여야 함.

- 천연 유기물질(NOM)은 색도와 다른 형태로 나타날 수 있고, 철과 망간은 부영양화 저수지의 심수층에 용존산소가 낮은 조건에서 존재할 수 있으며, 세균들이 유기물질을 이용하기 때문에 용존산소가 고갈됨으로써 침전된 철과 망간이 가용성 형태로 전환될 수 있다.
- ④ 운영자는 시간대별 탁도나 입자수의 트렌드를 이용하여 분석하고 불규칙하게 발생하는 피크에 대한 해석능력을 개발하여 최적화로 운영하여야 한다.
- 트렌드상 피크 발생은 응집제 과대 및 과소투입, 과부하 운전, 순간정전, 여과지 전단 단위공정 작업, 여과속도 변경 등을 검토하고
- 지별 여과수 탁도관리 목표 위반 시 위반된 여과지 번호, 위반일자, 탁도 등을 기록하고 여과개시 초기탁도가 단위공정 여과지 전체에서 발생하는지 1개 여과지에서 발생하는지 원인을 분석하여 운영방법이나 근본적인 개선방안을 강구하여야 함.

여과지 목표수질 최적 운영사례

Fort Collins Water Treatment Facility에서는 침전과 여과공정의 목표수질을 설정하여 모든 운영자들이 이를 달성코자 정수처리 성능을 최적화하였는데, 그 공정별 최종 처리수의 목표 탁도와 입자수는	
침전지 말 탁도	≤ 1.0 NTU
개별 여과지 탁도	≤ 0.1 NTU
개별 여과지 입자 계수	$2 \mu\text{m}$ 이상 mL당 ≤ 10
역세척후 탁도 급상승	≤ 0.3 NTU
역세척 후 사용 개시 15분내 개별 여과지 탁도	≤ 0.1 NTU
역세척 후 사용 개시 15분내 개별 여과지 입자 계수	$2 \mu\text{m}$ 이상 mL당 ≤ 10 개

- ⑤ 동절기 저수온 사이클로텔라 조류가 유출됨에 따라 탁도가 발생할 수 있으므로 여과보조제를 사용하여 탁도누출을 억제한다.
- ⑥ 역세척 시간대별 발생 탁도 변화, 여과 지속시간의 적정, 역세척 효율을 평가하여 여과수량 대 역세척 수량의 비로 여과효율을 주기적으로 평가한다.
- ⑦ 염소처리된 역세수는 입상여재 여과지에 미생물 성장을 차단하고 여층을 깨끗하게 유지하나, 잔류소독제를 함유하지 않은 물로 여과하면 여층에서 생물 활성도가 높아 천연유기물질을 제거할 수 있는 장점이 있으며, 많은 종속 영양 세균수(HPC)를 보임
- ⑧ 생물 여과지는 살아있는 미생물(박테리아)이 여층내 여재입자에 부착해서 자라고 성장하므로 여과지에서 세균의 탈리(Sloughing)가 발생할 수 있어, 오존으로 전처리가 필요하다.
- ⑨ 입상여재 여과지의 가장 모범적인 운전 방안은 손실수두, 가동시간 또는 여과지 유출수 탁도의 한계에 도달할 때까지 여과지를 가동한 다음 여과를 멈추고 역세척하는 것이다.
- ⑩ 영국에서 발행된 전문가그룹 보고서(Badenoch, 1990)는 “급속 여과지를 정지한 후에는 반드시 역세척하고 나서 재가동해야 한다”라고 주장하고 “캘리포니아 지표수 처리 규칙” (California Surface Water

Treatment Rule)은 여과지를 정지한 다음 재가동시에는 반드시 여과지를 역세척하도록 요구함.

- ⑪ 탁도파괴가 발생하면 입상여재 여과지에서는 가동 초기에 여층의 공극 공간에 저장되었던 오염물질이 플록과 함께 배출되므로 정수시설용량, 여과지 수, 수원별 평균 및 최대 탁도 등을 검토하여 예방운전을 하여야 한다.
- ⑫ 여과지를 오랫동안 정지시켜 놓을 경우 박테리아가 성장할 수 있고 여층 내 물에 용존산소가 고갈될 수 있어 이럴 경우 여층에 포착된 산화철이나 산화된 망간의 누출과 맛·냄새 문제가 생길 수도 있으므로 특히 입상활성탄 여과지를 며칠 동안 정지시키면 질화 박테리아가 여층 내에 자리 잡아서 아질산염(Nitrite)이 형성될 수도 있다.
- ⑬ 고액분리를 위한 용존공기부상(DAF)은 조류제거에 탁월한 공정으로 조류는 부유하는 경향이 있어 응집된 입상물질의 제거를 위한 부유는 조류가 움직이는 방향과 같은 방향에서 조류를 제거하는 작용을 하기 때문이다.

역세척 방법 : 여과를 계속하게 되면 사층에 mudball-泥狀物質의 퇴적량이 증가하게 되어 사층의 마찰저항(여과저항)이 증대하게 되므로 여과 조절정의 수위가 여과지 수위보다도 손실수두만큼 내려가는데 이를 검토하여 역세척(Back washing)시기를 결정하여야 한다. 물만을 사용하는 세척방법은 가장 효과가 낮았으며 공기세척과 병용한 비유동화 물세척이 가장 효과가 높았다. 역세척 중 중요한 세척 메카니즘은 여재간 충돌로 부착물을 제거하는 것이다.(유동화, 여상 팽창율, 수리학적인 전단력, 여과 속도 등)

- ① 완전 유동화를 이용해서 위로 세척하는 방법
- ② 표면 세척으로 보완 및 공기 세척에 의해 역세척 보조
- ③ (공기세척) + (공기세척과 물세척 동시) + (물 세척)

- 아이브스(Ives 1981)는 사용된 역세척수의 양은 여과지 생산량의 1 %가 정상이며, 3 %는 높고, 5 %는 과도한 것으로 간주된다고 함
- 물과 공기병용 세척법은 공기세척 후에 물 세척을 하는 것보다 더 효과적인 것으로 판명되었다.
- 공기세척 단계에는 역세척 속도가 매우 낮아야 하며, 최소 유동화 속도의 30~50%의 역세척수 속도를 설계기준으로 발표했다.
- 클리스비와 록스돈(Cleasby and logsdon(1999)은 여재 손실을 방지하기 위해 수위를 세척수 트라프 상단에서 아래쪽으로 약 15 cm 낮추어 실시했다.

— 미국의 역세척수 재활용 시 Guideline(Filter Backwash Recycling Rule) —

- ① Integrated Design of Water Treatment Facilities(Kawamura)
 - 무처리 반송 시 응집·침전공정 효율 향상
 - 원수 유입량의 10 % 이하 재활용과 살균으로 양호한 효과를 얻음
- ② Water Treatment Plant Design(ASCE, AWWA)
 - 역세척수 회수 시 침전 향상 및 여과지 손실수두 감소, 응집제 약간 증가
- ③ Water Quality and Treatment(AWWA)
 - 여과지 Giardia cysts 농도 가중, Shock Load를 피할 수 있는 조정조 필요
- ④ Recommended Standards for Water Works(AWWA)
 - 고형물 일정수준 제거, 원수 유입량의 10 % 이하로 회수
 - 조류가 많거나 여과수에 이취미가 있을 때 및 배급수 관망내 THMs 허용치 이상일 때 금지
- ⑤ Waste stream recycling effect on water quality(David A, Cornwell Ramon G)
 - 24시간 연속적인 회수와 원수 유입량의 10 % 이하로 회수

- 여과지 손상이나 여재 손실을 방지하기 위해 역세척수 유속을 신중하게 제어해야 한다. 지지 자갈(존재할 경우)의 전복이나 하부집수장치 손상을 방지하기 위해 역세척은 최소한 30초에 걸쳐서 서서히 시작해야 한다(Cleasby and logsdon 1999).
- 유동화세척은 물의 점성변화를 감안하여 수온에 따라 계절적으로 세척속도를 변화시키는 것이 바람직하며, 20~30 % 정도 팽창시키면 충분히 유동화 된다(1년에 4번 측정).
- 수온에 따라 유량을 변화시킬 수 있어야 하는데 효과적인 유량제어 기능이 안 될 때는 여상 팽창으로 여재손실이 일어날 수 있다.
- 역세척 직후 초기 15분 이내에 최고 탁도가 나타나야 하며, 이후에 목표 수질에 도달하지 못 할 경우, 역세척 수량 및 수압의 부족, 여과지 운전방법의 부적정 등을 전반적으로 검토해야 한다(정수장 기술진단 매뉴얼).
- 세척 트라프의 위치에 대한 미국의 관행은 0.9 m 이하의 수평 이동거리를 제공하는 것이며, 반면에 유럽의 공기와 물세척 관행은 일반적으로 월류 중에 트라프를 사용하지 않고 4 m의 수평 이동거리를 허용하는 것이다.

역세척 시작 : 여과지 가동시간, 유출수 탁도, 손실수두 등과 같은 여러 가지 요인들을 결합해서 역세척 시기를 결정하고, 정속으로 운전되는 여과지는 손실수두 때문에 유속이 제한될 때 역세척이 필요하며 감쇄여과에서는 유속이 느리거나 여과지내의 수위가 높을 때 세척이 개시된다. 역세척이 적정치 않아 장기적으로 과도한 오염물 부착이 발생할 경우에는 여과지속시간에 근거해서 여과지를 세척하는 것이 유리한데 이 경우 손실수두에 의한 세척빈도 보다 여과지를 더 자주 세척함으로써 여재 청정도를 개선시킬 수 있다. 여과지를 휴지한 후에 역세척을 실시했더라도 재시동하기 전에 중지된 여과지 내에서 박테리아가 성장할 수 있으므로 반드시 역세척을 다시 해야 한다. 역세척 시점은 아래와 같다.

- ① 여과지 지별 탁도나 입자계수가 허용 목표값을 초과하거나 누출될 경우
- ② 손실수두가 최대 허용값에 도달했을 때
- ③ 여과지속 시간이 최대 허용값에 도달했을 때
- ④ 장시간 여과지 운전정지 후 운전재개 시 및 정수처리시설 운영에 필요시 등

또한, 여과지 역세척 일정계획은 여과지 성능측면(여과수 수질, 손실수두 및 여과지속시간, 오염도 등) 뿐만 아니라 정수처리시설 운영 환경에 의해서도 영향을 받는데 그 주요 요인들은 아래와 같다.

- ① 물 수요량과 생산속도, 최종 처리수의 저장량
- ② 세척수의 가용성과 역세척수의 배출수 저장능력
- ③ 여과지 수와 세척을 위한 여과지 가동 중지 시간에 따른 영향
- ④ 다른 여과지들의 손실수두 상태
- ⑤ 여과지 이후 소독에 대한 영향 등을 검토하여, 생산량을 최적화하고 최종 처리수 수질을 악화시키지 않으면서 역세척 비용을 최소화하기 위해서는 역세척 일정계획을 계절별로 검토하는 것이 바람직하다.

역세척 효과평가 : Kawamura(2000)는 역세척 배출탁도가 10~15 NTU에 달할 때 역세척을 종료하도록 권장하고, Cleasby and logsdon(1999)은 역세척 배출수 탁도가 10 NTU에 달하면 여과지가 충분히 세척된 것이라고 제안했다. 역세척을 중지하는 시기는 운영자의 과거 경험과 역세척 배출수의 투명도에 대한 시각적인 관찰에 근거하거나 미리 설정된 역세척 시간을 이용한다.

- ① 여과지 세척 전과 후에 여상의 육안 검사
- ② 역세척 개시 후 1분 간격으로 역세척된 물의 탁도 측정(탁도추이 분석)
- ③ 여과지 세척 전, 후에 여상의 코아 시료채취 및 플록 체류분석 실시
- ④ 여과지 수가 매우 적고 정속여과방식을 가진 정수처리시설에서 최종 손실수두의 10~20 % 밖에 남지 않은 여과지에서 여과속도를 30~50 % 증가하면 그 여과지는 탁도 파과가 매우 빠르게 최종 손실수두에 도달하므로(연쇄 반응) 가급적 피하여야 한다.

여과지 L/De 활용 사례

최근 심층조립 단일여과지의 경우, 여층깊이(L)와 여재입경(De)과의 값(L/De)에 따라, 즉 L/De값이 클수록 여과효율이 높고 에너지나 역세척 수량을 절감할 수 있다. 필요한 L/De값은 대상 여과수의 성질, 여과속도, 제거율 및 요구되는 여과지속시간에 따라 변하므로 보통 자연수의 응집침전수를 대상으로 할 경우 여과속도 100~300 m/일, 제거율 60~90 % 를 확보하려 할 때의 필요한 L/De값은 1000이상이면 좋다고 알려져 있다.

여재입경이 1.5 mm 이상이면 보통 여과층 공극에 비해 여재 입자간 공극은 훨씬 커지며, 여재 입경이 2배가 되면 공극은 3배가 되므로 L/De 비는 여재입경이 1.5 mm 이상일 때 추정값으로만 사용하고 실제값은 반드시 모형실험을 통해 구하여 사용한다. 또한 파과현상으로 인하여 원생동물의 난포낭과 같은 작은 입자가 유출되는 것을 방지하기 위해 심층조립 단일여재의 여과층 바닥에 0.3 m정도의 모래층을 두고, 여과수탁도 0.1 NTU 이하를 맞춰야할 경우에는 L/De가 15 % 정도 증가가 필요하다 하였다 (통례적인 L/De=1000 ~ 2000).

여과지 재성층화 : 이중여재 여과지나 다중여재 여과지를 사용할 경우에 세척 후에 여상을 원 상태로 회복시키는 것으로, 밀도가 낮은 대형 여재(안트라사이트)를 여상의 상부로 복귀시키고 크기가 작고 밀도가 높은 여재(모래)를 아래쪽에 위치하도록 하는 것이다. 예를 들어, 모래와 안트라사이트로 구성된 이중여재에서는 격렬한 유동화 역세척으로 이 두 재료가 서로 섞이게 된다, 물의 상향류를 이용해서 여상을 재성층화하여 가벼운 안트라사이트를 모래 위쪽으로 이동시키고, 재성층화를 위한 역세치에는 상승속도를 역세척 주기가 끝날 때까지 점진적으로 낮추어 서서히 감소시키면 효과를 극대화할 수 있다. 결론적으로 역세척이 끝날 때 각 여과재 종류 별로 가장 작은 입자가 그 재료층의 상부에 위치하게 된다.

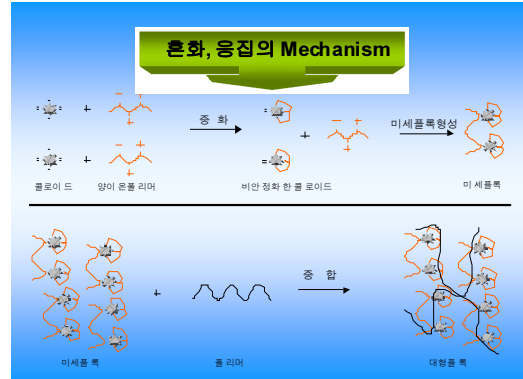
나. 여과공정 최적 유지관리

엄격한 여과수질의 목표를 달성하기 위해서는 여과 메커니즘, 즉 입자 부착과 물리적 체가름 작용이 잘 이루어지도록 운영하고 그 결과를 반영한 여과지 평가나 진단을 그때그때 실시하여 피드백이 잘 이루어져야 여과공정 최적화가 될 수 있다.

- ① 주기적으로 역세척 현장을 확인하여 역세시간의 적정성, 하부집수장치의 이상여부를 검토한다.
- ② 여과지별 사층조사(1회/월), 오염도조사(1회/분기),

여과모래 재질 적정여부 등은 계열별 대표지점에 대해 반드시 주기적으로 확인하고, 지별 여과지 이상 발생시는 수시로 확인하여 정비한다.

- 여과모래 오염은 역세척 시간, 역세 효율 및 여과수 수질에 영향을 주고, 여과층 내부에서 오염이 진행될 수 있으므로 오염도조사를 층별로 실시하여 오염여부를 확인 (여과모래층 하부가 오염되어 있으면 평상시 여과지 오염도조사를 소홀히 하였거나 관리를 하지 않았다는 증거).
- 지별 여과지 관리카드를 만들어 제반제원이나 운영상황을 기록하고, 여과지 성능을 비교/평가하여 유지관리 하여야 한다.



여과지 성능·평가관리 : 여과지 내에서 어떤 일이 일어나고 예상되는가를 운영일지의 데이터나 기록 등을 분석하고 여과성능에 대한 정보를 읽혀, 여과지가 지금까지 어떻게 가동되어 왔는지 파악하므로 여과지 최적운영을 위한 정확한 의사결정을 내리는 것이다. 여과지 성능은 여러가지 방법으로 평가할 수 있는데 개별(통합) 여과지의 탁도, 입자수 측정, 여과지속시간 및 오염도 측정 등이 있으며 탁도나 입자계수의 급상승 정도와 지속시간, 그 외 유출유량, 손실수두, UFRV 등이 있다. 여과성능 평가지표는 여과지속시간 내 처리된 여과지 단위면적(m^2)당 여과수량(m^3)(unit filter run volumn, $UFRV = \text{여과속도}(m/\text{분}) \times \text{여과지속시간}(\text{분})$)으로 나타내며, UFRV값으로 아래와 같이 판단할 수 있다.

- ① UFRV값 $200 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 이하 : 여과지속시간이 너무 짧다
- ② UFRV값 $410 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 초과 : 여과지 성능 양호
- ③ UFRV값 $610 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 이상 : 재래식 정수공정에서 여과성능이 좋다

정수장 기술진단 매뉴얼에 UFRV 300이하 정수장은 원인조사와 분석을 실시하여 대책을 강구토록 되어 있다. 매일 여과수 탁도, 유량 및 손실수두 경향을 지속적 Monitoring하여 주어진 목표 및 해당

처리시설의 “정상” “비정상” 여부를 판단하여 조치를 취하고 그 내용을 기록한다.

- 여과수질을 0.1 NTU 미만으로 유지하고 역세척 후 초기 탁도 급상승의 정도를 최소화하여야 한다.
- Partnership for Safe Water(미국, AWWA)의 목표는 역세척 후에 탁도 급상승이 0.3 NTU를 초과하지 않으며, 여과수 공급 시작 후 15분 안에 탁도가 0.1 NTU 미만으로 떨어지는 여과수를 생산하는 것이다.

입자계수는 탁도 데이터 보다 더 자세한 데이터를 제공해 주는데 탁도는 물의 흐림 정도에 대한 총체적인 척도인 반면, 입자계수는 여과수 내에 있는 입자의 수와 크기 범위에 대한 추정값을 제공하는데, 여기에는 계수 셀을 통과하는 입자에 해당하는 액체의 부피, 센서를 통과하는 입자가 광 탐지기에 그림자를 비출 때 차단되는 빛의 양, 그리고 입자에 의해 산란되는 빛의 양 등이 포함된다. 그러므로 입자계수기는 아래와 같은 사유로 초기의 탁도 문제를 조기에 경고해 줄 수 있다.

- 입자 밀도가 높은 시료수는 총 입자수가 실제보다 낮게 계산될 수 있다.
- 입자 계수기는 매우 민감한 여과지 성능감시 장치이다. 탁도 데이터로 명백히 드러나지 않는 수질 차이를 입자 계수기를 사용하여 밝힘으로써 운영자들은 여과 수질을 더욱 최적화하여 추가적인 수질개선을 얻을 수 있다.
- 입자계수를 근거로 한 사례(Carmichael, Lewis, and Aquino 1998)로, 운영자들은 2개 여과지의 유출수 내의 입자 수가 mL당 1개 미만에서 mL당 약 5~15개로 증가했다가 다시 감소했다는 사실을 발견했는데 이러한 현상은 하루 걸러 한번씩 자정 켜에 일어났다. 이들 2개 여과지로 들어가는 유입수는 주로 4개의 병렬 침전지 중 하나에서 왔는데 운영자들은 늘어난 입자계수가 침전바닥을 청소하기 위한 슬러지 콜렉터 가동이 예정된 시간쯤에 관찰된다는 사실을 깨달았다.

여과효율 측정방법 : 다음과 같은 4가지 방법이 있다.

① 여과수 탁도 측정(입자수)

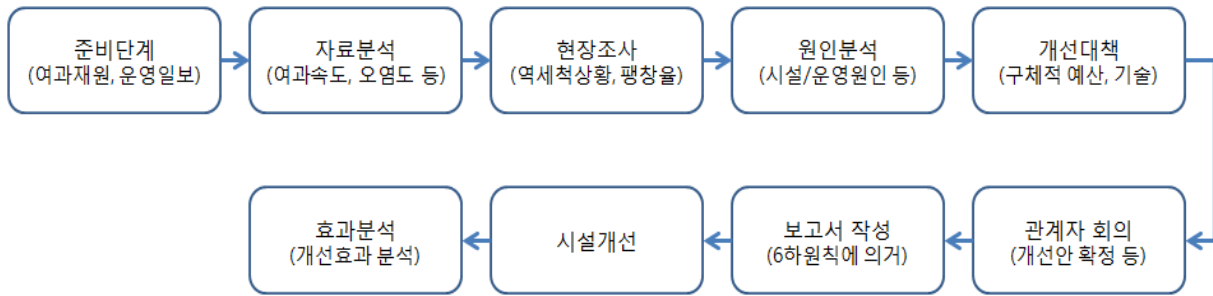
- Kawamura는 2 um보다 큰 입자수가 50이하/mL(매우 양호), 50~150/mL(양호), 200이상/mL(나쁨)

② 여과지속시간 측정

③ 여과수량에 대한 역세척수량의 비율 산정

④ 여과지속시간내에 처리된 단위 여과면적당 여과수량(UFRV)

여과지 자가진단 : 여과개시 후 초기 0.5 NTU 를 초과하거나 여과개시 4시간 경과 후 0.3 NTU를 초과하고 매월 1 NTU 초과한 사례가 3개월 연속 발생시에는 각 분야 실무담당자로 진단팀을 구성하여 자가진단을 실시한다. 그 진단 절차는 다음 그림과 같다.



〈그림 8.5〉 여과지 자가진단 흐름도

그 주된 내용은 미국 환경청의 CCP프로그램 등을 활용하여 실시할 수 있고, 탁도 이상으로 정수수질에 영향을 주어 탁도관리 목표를 초과하거나 시민에게 공지사유 등 특별한 경우에는 즉시 보고하여야 하며 모든 측정결과 자료는 3년간 보관한다.

- ① 여과지에서 유량을 감시하는 이유는 입자상에서 제거된 입자들을 떨어뜨릴 수 있는 유속의 단계적 변화로 인한 수압 충격을 탐지하기 위해, UFRV를 측정하기 위해, 저속 시동을 평가하기 위해 그리고 시동방수에서 급수로 변화할 때 유속의 단계적 변화가 일어나는지를 알아내기 위함이다.
- ② 플록 역류시험(슬러지의 여층내 퇴적분포)결과 역세척후 탁도가 30~60 NTU은 깨끗하고 숙성된 여층을 나타내고, 120 NTU를 초과하면 여과지 세척시스템과 역세척 절차를 평가할 필요가 있는 오염된 여상을 나타내며, 300 NTU를 초과할 시에는 머드볼 문제가 있음을 의미한다.
- ③ 여과시설의 종류 및 규모 등에 따라 정수처리기준에서 정한 탁도기준을 준수하도록 유지관리와 수질검사를 실시하고 전반적인 여과지 검사는 정수처리시설 예방 유지보수의 핵심적인 부분으로 정기적으로 실시한다.
 - 지별 탁도계 측정자료는 전산디스켓에 입력하여 3년간 보존·관리
 - 지역주민에게 공고 시 공고문을 24시간 이내에 시·도지사를 거쳐 환경부장관에게 보고
 - 지난 1년 동안의 정수처리시설 운영을 기록(여과속도, 생산량, 역세척수가 사용된 비율 등)
 - 정수처리시설 표준 운영절차(여과지 역세척, 여과지 가동, 세척수 폐기 또는 회수)
 - 모든 여과지 검사를 완료한 후에는 향후에 기록을 검색하고 시간에 따른 여과지 상태 비교를 할 수 있도록 적절한 파일 시스템을 이용해서 검사 기록을 보존한다.
- ④ 여과지 배수속도가 느리다면, 여재가 평평한지 여부를 빨리 판단할 수 있는 방법으로 수면이 여재에 닿을 때 즉시 여과지 배수를 정지하는 것이다. 물이 스스로 수평을 찾으면서 함몰은 웅덩이로 나타나고 요철부위는 수면 위로 솟는 형태로 나타난다.
 - 여과지를 배수한 후에 여재를 주의 깊게 검사하여 균열, 구멍, 무더기 또는 함몰이 있는지 확인하고 여재를 벽에서 분리되지 않았는지 살펴보고 일반적으로 세척 효과가 좋지 않은 여과지 구석에 있는 여재를 주의 깊게 관찰한다.

- ⑤ 트라프가 수평인지 확인하는 방법은 여과지 구조물을 역세척할 때처럼 천천히 채우는 것으로 상승 속도를 매우 느리게 해서(물이 거의 정지한 것처럼 보이는 상태) 수면이 모든 트라프의 꼭대기에 동시에 도달하는지 관찰한다.
- ⑥ 물을 이용한 역세척 기간 중에 비등영역이 있으면 지지 자갈이 붕괴되었거나 노즐이 깨졌거나, 또는 다른 하부집수장치상 문제가 있음을 나타낸다. 비등영역은 국부적으로 과도한 수류가 존재하여 여재표면이 주위의 유동화 여재보다 더 높이 솟아오르게 만들 때 나타나는 징후이다.
 - 역세척을 관찰하면서 “비등(Boiling)”이나 고르지 않은 수류 또는 세척수 안에 원하지 않는 공기가 들어 있는지 살펴보고, 역세척이 비효율적인 것처럼 보이는 사각 지점(Dead spots)과 물이 깨끗해지는데 다른 지역보다 세척시간이 오래 걸리는 사각지점이 있는지 여부와 특히 여상의 모서리에서 이 같은 문제가 잘 일어난다.
 - 공기세척의 균일성은 매우 중요하며 건설 단계에서 여과지 안에 여재를 설치하기 전에 관찰하는 것이 중요하고 여재설치 후에는 공기세척이 진행되는 도중에 기포의 패턴으로 관찰할 수 있다.

8.1.3 실시간 문제발생(경보, 고장)에 따른 대처 방법

여과수질 문제는 높은 탁도와 많은 입자수에 관련된 문제들로 여과지를 통과하는 탁도/입자수가 증가하는 것은 문제가 있다는 징후로 사전에 Monitoring설비가 경보를 발령하여 이에 따른 진단과 조치를 취하도록 하여야 한다.

가. Monitoring설비 정보에 따른 조치

(1) 불안정한 탁도(일부 여과지 탁도가 높다)

- ① 여과수 샘플을 채취해 탁상용 탁도계로 시험하여 여과수 탁도가 높은지 확인하고, 이때 시험에 사용되는 탁상용 탁도계는 시료 측정전에 표준용액으로 검사하여 탁도계의 이상유무를 검사한다.
- ② 여과수 샘플탁도가 정상인 경우에는 온라인 탁도계와 탁상용 탁도계로 여과수 탁도를 다시 검사하여 탁상용 탁도계로 정상 탁도가 확인되면 온라인 탁도계의 보정이 필요하다는 것을 의미하거나 온라인 탁도계로 가는 공급관을 청소한다.
- ③ 여과수 샘플 탁도가 높고 탁상용 탁도계와 온라인 탁도계가 서로 일치할 경우에는 여과지를 검사한다.
 - 여과지가 최근에 가동되어 높은 탁도가 초기 개선기를 나타내는지 판단하고, 응집제로 폴리머 한 가지만 사용하면 초기 개선기가 길어질 수 있음
 - 최근 여과속도를 크게 증가시킨 적이 있을 경우 속도증가 후에 탁도 파파에 도달하는 것은 플룩이 약하다는 신호이며 이 경우에는 여과보조제를 사용해야 할 수도 있는데 이럴 경우 여과지 통과유속

이 과도하게 높아질 수 있음

- 여과지운전 종료 직전에 손실수두가 높아 탁도 파파가 있었는지 확인
- 새로 발생된 문제인지 아니면 계속 반복되는 문제인지를 데이터나 기타 운영일지로 확인한다.
- 여과속도 제어기가 불규칙하게 작동하는지, 자주 반복해서 속도를 바꾸는지 확인
- ④ 여과수 샘플 탁도가 높고 탁상용 탁도계가 온라인 탁도계와 일치하는지 여과지에 아무 문제가 발견되지 않을 경우에는 유입수의 수질을 검사한다.
- 유입수질이 다른 여과지수질과 동일한지, 아니면 단락류나 밀도류 및 그 외의 다른 문제로 인해 수질이 다른지 확인
- 여과 보조제를 사용할 경우에 각 여과지에 개별적으로 첨가, 통합수로에 첨가하는지, 모든 여과지에 대해 주입량을 동일하게 하고, 간혹 여과 보조제를 첨가한 후에 조절시간이 있을 경우 성능에 차이가 발생할 수 있음
- ⑤ 여과수 탁도 불량이 여과지 운영이나 적용된 수질과 관련이 없을 경우에는, 여층과 하부집수장치 그리고 배관과 밸브의 상태를 검사
- 역세척 중 비등(Boiling)이 일어나는지 관찰(자갈층 붕괴, 하부집수장치 이상)
- 역세척 활동이 전혀 일어나지 않은 사수구역(Dead zone)이 있는지 관찰
- 여재 안에 머드볼(Mudball)이 있는지 검사
- 여과지 물을 빼고 사면의 요철 부위 혹은 함몰된 부위가 있는지 검사
- 여재가 평평해 보이면 여층깊이를 검사해 사층유실 여부를 확인하고 다른 여과지와 비교/판단하여야 한다.

(2) 모든 여과지에서 탁도가 높음

- ① 여과수 샘플을 채취해 탁상용 탁도계로 시험하여 탁도가 높은지 확인, 모든 온라인 탁도계의 눈금이 높을 가능성은 매우 낮지만, 전처리 단계를 검사하기 전에 각각 여과지를 검사한 후 모든 여과지의 탁도가 높을 경우에는 전처리에서 문제가 발생했을 가능성이 높음
- ② 응집약품 주입 및 주입량 검사를 위한 전처리 단계를 확인
- 응집약품 주입공정을 검증, 즉 약품투입기의 작동, 응집약품이 제대로 공급되는지 약품투입관로의 손상유무나 응집약품 주입율을 검사한다.
- 온라인 pH측정기와 적절한 버퍼(Buffer)로 보정한 탁상용 pH측정기를 사용해서 비교검사한 후 혼합된 물의 pH가 적절한지 확인한다.
- 응집약품 주입량을 유동 전류측정기로 검토하고 필요할 경우 청소한다.
- 약품투입 조건표를 사용할 경우 정확한 원수수질 데이터를 가지고 있는지, 원수 수질 매개변수들을 다시 확인하고, 응집제 주입량 조건표를 작성할 때와 동일한 응집제와 약품 강도를 사용하고 있는지를 검토한다.

- 현재의 원수 수질에 대해 손실수두의 증가가 매우 적거나 극소량일 경우, 이것은 응집제 주입량이 너무 적어서 탁질 입자가 여층에 포착되지 않고 여과지를 통과한다는 징후일 수도 있다.
- 침전 유출수 탁도가 낮거나 여과지에서 제거가 부적절한 경우, 이것은 플록이 약하다는 징후로 여과 보조제 또는 응집 보조제를 사용하여 플록을 강화하는 방법을 고려해야 한다.
- 원수 수질이 바뀌었다면 응집약품의 적절한 주입량을 결정하기 위해 자 테스트를 실시한다.
- 원수 내에 대량의 조류가 존재하는지, 조류가 많을 경우에는 여과지 내의 탁도가 상승하고 손실수두가 보다 빠르게 증가될 수 있다.
- ③ 혼화·응집기의 적정운전을 검토한다.
- ④ 여과지 상태를 검사하여 공기누출이 발생하는지 확인하고 여과속도는 증가하지 않고 손실수두 증가율이 갑자기 높아질 경우 공기누출이 그 원인일 수도 있다.
- ⑤ pH를 조정제를 사용하는 경우 침전 후에 소석회를 첨가하면 탁도가 상승할 수 있다.

나. 전처리공정 비효율적으로 인한 여과수 불량

여과성능 최적화를 위한 적절한 전처리는 필수적이고 여과수질에 큰 영향을 미치므로, 여과지에 문제가 발생할 경우에는 전처리에 대한 조사가 필요하다. 예비 산화공정, 응집약품, 혼화/응집공정과 침전공정에 대해 적절하게 이루어졌는지 검토되어야 한다. 예를 들어 침전지 유출수 탁도를 2 NTU 이하로 맞출 것을 권장하는데 이는 여과지에 걸리는 부하를 최소화하기 위해서이다. 또한 여과지 역세척 직후 초기 15분 이내에 최고 탁도가 나타나고 이후에 목표 수질에 도달하지 못하면 역세척 수량 및 수압의 부족, 여과지 운전방법의 부적정 등을 전반적으로 검토해야 한다(정수장 기술진단 매뉴얼). 전처리 공정에 주요 유의사항은 아래와 같다.

- 취·송수 모타펌프 대수제어에 의한 수리적 충격완화 : 보조펌프나 회전수제어방식 전환
- 심야 전력사용정책의 주야간 생산량 증폭 최소화 : 균일한 생산
- Flash Mixing과 Coagulation, pH조정제의 SV값 적정 확인, G값 등 시설기준 검토
- 침전지 내의 플록체류가 불량인지 확인
- 자동 급속여과방식에 응집약품 미사용 : 반드시 응집제 사용
- 조류발생 시 pH변화와 알칼리도 저감에 적정 대처 : TOC 2 mg/L이하
- 초기 강우 시 Monitoring에 대한 실시간 대응조치
- 겨울철 저수온 시 시설·공정 관리 : 동파, 역세척 수량, 약품주입, 소독능 등
- 응집약품 주입의 적정과 위치 확인, 시간차(Time-lag), 외란(Disturbance)
- Monitoring계측기기의 주기적인 QA/QC
- 회수 재사용 시 원수유입량의 10 % 이하로 수리학적 충격을 최소화하는 균등화 재활용
- 기타, 비상시 응급대책 등

(1) 전처리 공정 이상으로 뿌열거나 흐리고 탁한 물

- ① 침전수의 샘플을 채취해 탁상용 탁도계로 비교/검사하여 탁도가 높은지를 확인
 - 표준용액으로 보정한 탁상용 탁도계 샘플의 탁도가 정상이고, 높지 않을 경우에는 온라인 탁도계와 탁상용 탁도계로 침전수 탁도를 다시 검사한다. 탁상용 탁도계로 정상탁도가 확인되면 침전수의 탁도를 측정하는 온라인 탁도계의 눈금 교정이 필요하다는 것을 의미한다.
- ② 침전수가 뿌열거나 혼탁하면 응집제 주입량이 적거나 pH가 너무 낮기 때문일 수 있음
- ③ 뿌열거나 흐리고 탁한 물은 부적절한 혼화·응집이 원인일 수도 있음
 - 급속 혼화공정이 빠르고 균일하게 분산시키는가를 확인하고 응집기가 작동하고 입자 충돌을 일으켜서 응집제로 인하여 불안정화된 입자들이 플록을 형성하도록 만드는가를 검토한다.
- ④ 혼화공정이 잘 되었어도 침전지 내의 유량 증가가 탁한 물을 발생시키는 원인이 될 수 있다. 탁도가 낮거나 높은 색도의 물을 응집시키기 위해 사용되는 상향류 침전지나 슬러지 블랭킷 침전공정은 특히 플록이 씻겨 나가서 쉬워 그와 같은 원수는 가볍고 솜털 같은 플록을 형성하는 경향이 있기 때문이다.
- ⑤ 슬러지 제거장치의 부적절한 운영, 수작업에 의한 슬러지를 자주 제거하지 못할 경우, 특히 고장난 슬러지 제거장치를 운영하면 슬러지가 교란되어 침전수 탁도가 높아지는 결과를 초래한다.
 - 슬러지 제거장치가 없을 경우 슬러지 깊이를 자주 검사하여 슬러지가 과도하게 축적되었는지 확인하여 침전지 물을 빼고 슬러지를 제거해 주어야 한다.
 - 슬러지 제거장치가 있는 경우 슬러지 제거장치 사용 전·중·후에 각각 침전수 탁도를 관찰하고 슬러지 제거장치 사용 후에 탁도가 증가하면 침전지에서 물을 빼고 슬러지 제거장치에 문제가 있는지 검사해 볼 필요가 있다.

(2) 깨끗한 침전지 유출수에 대형 플록들이 같이 유출되는 경우

- ① 응집제 주입량이 너무 많거나 폴리머 사용량이 부정확할 수 있다.
- ② 만일 응집제 주입량이 정확할 경우에는 단락류가 문제일 수 있다.
 - 몇 시간 전에 원수 온도의 상승이나 하강에 대한 운영기록을 확인
 - 몇 시간 전에 원수 탁도가 매우 크게 상승하거나 하강한 운영기록이 있는지 확인
 - 강한 바람이 불어서 침전조 내에 역류흐름 패턴이 발생했는지 확인하여 만일 이 문제로 인해 여과지 가동시간이 짧아진다면 여과 속도를 줄여 운전

(3) 예비 산화공정

- ① 예비 산화는 민물 담치 억제, 맛·냄새제어, 조류억제, 철(Fe^{2+})과 망간(Mn^{2+})의 산화, 그리고 소독 등 다양한 목적을 위해 실시하며, 원수를 처리하는데 필요한 예비 산화제 주입량은 원수 특성과 예비 산화의 목적에 따라 달라진다.
- ② 과망간산칼륨은 맛·냄새 제어, 민물담치 억제 및 철과 망간의 산화에 효과적이다.
- ③ 전처리로 현장제조형 염소발생시설을 사용할 경우 아염소산염(Chlorite)과 염소산염(Chlorate) 분석한다.
- ④ 오존은 복잡한 유기분자들을 분해시켜서 여상 내의 박테리아가 먹이로 사용할 수 있는 유기물로 형성시킴으로써 여상내의 생물활동을 강화하거나 극대화시킨다.
- ⑤ 전염소처리는 물의 여과성을 개선시킬 수 있으며 전염소로 처리하지 않은 물과 비교할 때 여과수 입자계수가 낮아진다.
- ⑥ 예비 침전(Pre-sedimentation)은 원수 탁도가 매우 높을 때 표준식 처리를 시작하기 전에 일부 무거운 입상 물질을 침전시킴으로써 표준식 정수처리시설의 부하를 줄일 수 있다.

(4) 응집약품 주입공정

- ① 자-테스트를 이용한 응집제나 알칼리제 등 주입량 확인과 혼화/응집조건의 선정은 유지관리 및 제어의 핵심적인 운영 활동으로 반드시 기록/관리한다.
- ② 정수시설 전처리에서 혼화·응집조건 결정 및 감시방법
 - 자-테스트, SCD, 제타전위, 파일럿여과지, 응집약품조건표, pH와 알칼리도, UV흡광도, 육안 관찰 등
- ③ 원수특성에 맞는 응집제를 선택하고 정확한 주입량을 결정하는 것은 입상여재 여과지 운영 최적화에 매우 중요하며 더불어 효과적인 혼화·응집은 필수적이다.
 - 부적절한 혼화, pH 또는 불충분한 응집제 주입량으로 인하여 플록이 약하고 낮은 손실 수두에서 탁도 파과가 일어나고 여과수 탁도가 높음
 - 과도한 응집제 주입량으로 인해 침전지에서 넘어간 플록에 의해 손실수두 증가 속도가 빠르고 여과 지속시간이 짧아지며 여과지내에 머드볼이 쌓임
- ④ 자연유기물질(NOM) 농도가 증가하면 화학 응집제와 반응하여 응집제 주입량을 늘려야 하는 결과가 발생하고 254 nm의 UV흡광도는 물에 있는 NOM의 개략적인 척도이다
- ⑤ 유동전류의 측정(Streaming Current Detectors, AWWA 2000)은 물 안에 있는 혼화된 입자의 처리성을 추정하기 위해 급속 혼합기의 하류에 설치하여 사용한다(설치 위치가 매우 중요).
- ⑥ 응집약품투입기 및 배관을 정기적으로 검사하여 침전물 퇴적이나 막힘이 일어나기 전에 제거한다.
- ⑦ 정수처리 약품공급 펌프를 장기간 동안 신뢰할 수 있게 운영하려면 일상적 유지 관리와 정기적 보정 검사가 필요하다(예비부품 준비, 추가 펌프를 확보)

- ⑧ 응집 보조제는 미세한 입자사이에 가교역할을 하여 서로 결합시키는데 도움을 주지만 과도한 투입량은 너무 단단하고 큰 플록을 만들어 손실수두가 빠르게 증가하고 여과지 운전시간이 짧아진다.

(5) 혼화·응집·침전공정

혼화란 응집약품과 원수를 혼합하여 콜로이드입자의 표면전하를 중화시키는 것으로 신속하고 균일하게 교반시켜야 하며, 혼화과정에서 생성된 미세한 floc들이 서로 결합하여 침전이 용이한 큰 입자로 만드는 과정을 응집이라 한다. 혼화·응집효율은 원수의 특성(수온, pH, 알카리도, 탁도 등)변화에 따라 달라지므로 응집약품에 대해 자-테스트(Jar-test)를 실시하고 이 결과에 따라 적정응집제의 선정과 투입율을 결정해야 하며 침전공정은 원수 내에 존재하는 입자성 불순물질을 중력에 의하여 침강, 제거하여 후속 여과공정에 대한 부하를 줄여야 효과적인 여과공정을 수행할 수 있다.

- ① 혼화공정은 콜로이드 입자의 표면전하를 중화시키는 공정으로 가수분해와 콜로이드입자 흡착이 거의 동시에 일어나므로 Flash mixing시켜야 하고, 응집은 미세플록 결합, 침전이 용이한 큰 입자로 만드는 공정이다.
- ② 기계적인 응집공정은 다양한 교반장치를 사용하여 물을 부드럽게 교란시켜 플록을 성장시켜야 함
- ③ 플록크기는 응집시간과 물 안으로 방산되는 에너지에 비례한다. 일정한 혼화강도를 받은 플록 입자는 시간이 흐름에 따라 더 커지는 경향이 있다. 이렇게 하면 흐름패턴이 플러그흐름(Plug flow)과 비슷해져서 체류시간의 균일성이 향상됨
- ④ 응집지 내의 흐름패턴은 도류벽의 배치에 따라 결정되는데 도류벽의 기능은 플러그흐름을 촉진시키고 응집 구역에서 물이 너무 빨리 배출되는 것을 방지하는 것이다.
- ⑤ 점감식 응집(Tapered flocculation) 응집기 패들의 면적을 감소시키거나 패들 회전 속도를 낮춰서 에너지 입력을 줄여 준다. 물이 차가워질수록 플록 형성율은 줄어든다. 연간 수온 변화 폭이 20℃에서 30℃까지 달하는 곳에서는 운영자들이 응집기 에너지 입력을 계절마다 평가해서 응집 에너지 입력을 적절히 변경
- ⑥ 플록형성의 특성은 사용한 응집기 유형에 따라 달라지는데 장방형침전지에서 침전시키려면 대형 플록이 필요하나 직접 여과법과 용존공기부상법에서는 작고 단단한 플록, 즉 “핀 포인트(Pin point)”플록이 적합하다
- ⑦ 용존 공기부상법은 침전 특성이 나쁜 입상물질 제거에 효과적인 고액분리 공정으로 조류 또는 NOM과 같은 저밀도 입자로서 부하율이 높지만 탁도가 낮은(30 NTU 이하) 물이 DAF의 주요 대상으로 부유하는 플록이 표면에 너무 오래 머물러 있을 경우에는 붕괴되어 가라앉을 수 있다.
- ⑧ DAF시설에서 노즐 조정과 반응조를 가로질러 유량이 균일하게 분포하도록 밸브를 조정해야 하고 포화기에서 나오는 유출수가 미세한 기포구름을 형성하도록 하여야 하며, 만일 DAF조가 건물 안에 있지 않다면 바람이나 비로 인해 부유플록이 가라앉는지 검토하여야 한다.
- ⑨ 침전속도에 영향을 주는 몇 가지 요인들은 스토크스 법칙(Stokes' Law)에서 입자의 비중과 물의

비중 간의 차이가 증가함에 따라 침전속도도 증가한다는 것이다. 또한 침전속도는 입자직경의 제곱과 비례해서 증가하며, 플록의 밀도가 높고 크기가 클수록 침전 속도는 더 빨라지고 물의 점성이 증가함에 따라 침전속도는 감소한다.

- ⑩ 단락류의 원인에는 침전지 유입구 설계 불량, 침전지 유출구 설계불량, 지속적으로 부는 강한 바람에 의해 침전지 내에 생기는 흐름, 그리고 물의 비중 차이 등이 있다.
- ⑪ 침전속도 향상을 위해 미세 모래와 결합된 플록을 사용하는 유럽의 액티플록방식은 미세한 모래와 응집제를 혼화지 안에 있는 원수에 첨가한 다음 미세모래를 플록에 부착시키기 위해 폴리머를 첨가하고 부드럽게 교반해서 플록이 매우 빨리 침전하도록 플록크기를 키운다. 침전된 플록과 모래는 계속해서 침전으로 제거되며 원심분리기로 주입하여 모래에서 플록을 분리한 다음 깨끗한 모래를 플록 무게를 늘리기 위해 재사용하는데 이 공정에서 가능한 매우 빠른 침전의 핵심은 플록을 미세한 모래에 부착시키는 것이다.
- ⑫ 여과처리공정은 “정상” 및 “이상” 조건에 따른 조치결과를 반드시 기록하고 유지한다.

다. 여과지 숙성과 초기탁도 누출제어

여과지 운전은 여과, 역세척(표면세척), 배수의 3단계로 이루어지며, 여과속도의 증가나 급격한 변동은 여재층에 침착되어 있던 부유물 등에 영향을 주게 되므로 적정운전이 필요하고, 부득이 증가시킬 필요가 있을 경우에는 유속 상승에 따른 충격을 완화시키기 위하여 10분이상의 시간을 두고 점진적으로 증가시켜야 한다. 또한 여과 숙성은 안정된 수질을 얻을 수 있고, 초기탁도 누출을 방지하기 위하여 여과보조제를 첨가하거나, 역세척 후에 일정시간 동안 여과지를 가동중지 및 가동 시 여과속도를 점진적으로 증가시키는 방법, 그리고 시동방수 등이 활용된다.

(1) 여과지 숙성 제어방법의 개량

여과지 숙성 제어를 위한 용이성과 비용은 선택한 방법에 따라 큰 차이가 나는데 숙성 제어를 위한 정수처리시설을 개량하거나 수정하는 방법은 아래와 같다.

① 지연 시동(Waiting)

생산용량에 여유가 있을 경우, 남아 있는 여과지로 추가적인 유량이 분배되도록 검토하여 생산하는 물의 양이나 수질이 영향을 받지 않도록 운영한다. 지연시동은 역세척 후에 몇분~몇시간 휴지상태로 운영하는 것으로 역세척 후에 여과지 여재를 약간 밀착시켜서 공극구조를 더 뽁뽁하게 만듦으로써 초기 여과수질을 개선할 수 있는 방법으로 특별한 장비나 시동방수 배관이 필요 없다

② 저속 운전(Ramping)

여과지 속도 제어밸브를 천천히·점진적(단계적)으로 조작/운전하므로 공사가 필요 없으나 변속제어 밸브가 있어야 한다. 저속 시동은 여과지를 낮은 여과속도에서 시작하여 일정한 시간, 예컨대 15분에

걸쳐서 점진적으로 속도를 높이는 방법으로 초기탁도 급상승을 억제하는 방법이다. 속도제어 밸브를 단계적으로 작동한다 하더라도 빨리 또는 갑작스럽게 작동하는 것보다는 천천히 단계적으로 작동하도록 권장한다. 이스트베이 시립시설지구(EBMUD)는 여과수탁도 급상승을 감시하는 프로그램을 실시했는데(Pontius, 2001), EBMUD의 수처리 국장인 짐 스미스(Jim Smith)는 “우리의 목표는 0.10 NTU를 초과하는 탁도가 15분 이상 지속되지 않거나, 어떤 경우에도 0.30 NTU보다 큰 급상승이 발생하지 않도록 하는 것이다”라고 말했다고 한다.

③ 시동 방수

시동방수 배관과 밸브를 기존시설에 설치하려면 공사가 필요한 경우가 많고 가장 비용이 많이 드는 선택이 될 수 있다.

④ 역세척수에 응집제(중합체) 첨가

화학 응집제나 중합체를 역세척수에 첨가하는 것은 시동방수방식 보다는 공사나 장비가 필요 없지만 역세척수를 화학 약품으로 처리하려면 화학약품 공급탱크, 화학약품 펌프, 배관, 밸브 및 제어장치가 있어야 한다. 여과보조제나 중합체를 과다 투입하는 것은 매우 나쁜 결과를 초래할 수 있다).

⑤ 유입수(침전수)에 응집제(중합체, Polymer) 첨가

화학 응집제(중합체, Polymer)를 여과지 유입수에 첨가하는데 필요한 설비는 매우 다양한데 화학약품의 공급탱크와 주입펌프, 배관 및 제어 장치가 필요하다.

라. 손실수두(Head loss of filtration)에 문제가 있는 여과지

물이 입상 모래여과지를 통과하여 흐를 때 일반적으로 플록억류에 따라 압력강하가 일어나는데 여층 내의 손실수두는 여층의 깊이, 여과속도, 그리고 물의 점성에 비례하고 여재의 크기와 모양, 그리고 여층의 공극률과도 상관관계가 있다. 낮은 여과속도에서 가동중일 때 속도 증가가 일어나면 개략적으로 여과속도 증가에 비례하여 손실수두가 증가하게 되며 이러한 손실수두 조사는 여층내부의 양방향 차압을 측정한다. 즉 여재 위, 여층 내부, 그리고 여재 아래의 한 지점에서 수압을 측정하여 각 개별 여재층 안의 어디에서 플록제거가 일어나고 있는지를 판단하는데 사용된다. 안트라사이트 아래의 모래층에서 손실수두가 크게 증가한다면 높은 비율의 플록이 안트라사이트를 통과하여 모래에서 포착됨을 나타낸다. 그러므로 여과지를 높은 손실수두에서 운전하면 여상 내에 부착된 오염물질이 누출될 위험이 더 커지므로 온라인 탁도계와 입자 계수기를 이용하여 지속적으로 감시할 필요가 있다. 손실수두 측정은 아래와 같은 방법들이 있다.

- 여과지 수위 측정
- 여과지 수위와 여과지 유출 후 수위차 측정
- 여과층 전후의 압력차 측정
- 여층깊이에 따른 손실수두 측정

(1) 여과지 유입수에 많은 플록과 입상물질이 있으면 손실수두가 빠르게 증가한다.

① 여과지 유입수 탁도가 너무 높고 플록 전이가 일어날 경우에는 침전공정을 검토

- 급격한 수온변화는 밀도차이를 일으켜서 단락을 일으키는 원인이 됨
- 원수 탁도가 갑작스럽게 크게 변화하면 물의 밀도를 변화시켜 단락의 원인
- 많은 유량증가는 응집·침전지 밖으로 응집플록을 부유하여 유출시킬 수 있음
- DAF경우 충분한 공기공급 및 포화기 내의 재활용 비율과 운영 압력을 확인
- 침전지가 용량을 초과하는 월류위어 부하율로 운영되는지 검토

② 여과보조제 주입량이 과다하면 플록이 강해지며 여과지로 넘어간 플록이 여층 상단위에 넓게 막을 형성할 수 있어 표면여과는 심층여과 속도 보다 훨씬 높은 손실수두 증가의 원인이 된다.

③ 조류(*Synedra acus* 등)는 손실수두의 증가를 빠르게 한다.

(2) 여과속도가 느린 상태에서 손실수두 증가 속도가 처음엔 느리다가 나중에 빨라진다.

① 손실수두 증가속도가 점진적으로 증가하면 표면여과가 일어나며 여층 상단에서 플록이 제거되는 것을 의미할 수 있음

② 여과지 가동 중에 손실수두 증가속도가 갑작스럽게 증가하면 여과지의 공기누출이 일어날 수 있음

(3) 깨끗한 여상의 초기 손실수두가 정상 보다 높다

① 제한적인 범위의 여과지 검사를 실시

- 머드볼과 진흙이 존재하는지 조사/확인, 역세척 후에 여재의 플록체류 분석

(4) 여과속도 조절

① 모든 여과지들의 속도가 서서히 증가한다.

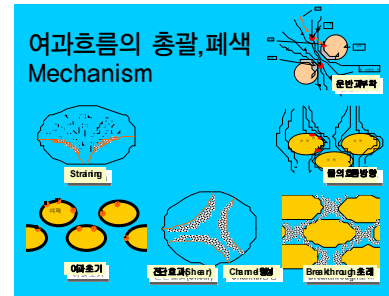
② 휴지 여과지를 투입해서 가동한다.

③ 원수 유량을 감소시킨다.

④ 침전지 부하량을 늘려 여과지 부담을 경감시킨다.

마. 역세척 효과의 불량

역세척은 여과사층 공극에 역류된 플록들을 씻어 배수로 (Trough)를 통해 배출시키는 것으로 역세척 관찰은 입상여상의 유동화, 여층상태, 세척에 따른 상대적 효능 등을 파악하여 불규칙 비등이나 균열이 존재할 경우 머드볼, 플록역류가 많아져 최종적으로 여과수 탁도가 높아지거나 손실수두가 빠르게 증가하게 된다. 그러므로 손실수두, 여과수 탁도 그리고 여과지속시간은 역세척 시기를 결정하는 중요한 시점이 된다. 그러므로 역세척의 목적은 여상내에 가용 공간을 회복하고 만족스러운 재가동 손실수두를 얻어 다음 여과지 가동을 위해 여과지를 준비함에 있다.



여과주기란 깨끗한 여과지를 시동해서 여과지를 운영하여 물에서 입자들을 제거하고 가동을 중지한 다음 새로운 가동을 시작하기 전에 역세척하는 것으로 입자들이 제거되어 여층내에 축적됨에 따라 손실수두가 증가하는데 지연 단계(Lag phase) - 숙성 단계 - 악화 단계 - 파과점 단계 - 역세척 순으로 진행된다.

- 역류플록을 제거하고 청정 여재상태를 유지하기 위한 역세척 후 트렌드결과의 분석/검토
- 역세척 전, 후에 여상의 상태(청결도, 요철부위, 균열 등)를 확인
- 역세척이 완료된 후에는 세척수 트라프에 여과지 여재가 존재하는지 확인
- 계절별 시험을 통한 최적 역세척 조건을 수립(Wen & Yu, 최소 유동화)
- 역세척 운영을 관찰하여 여과수질 하락, 여재와 하부집수장치 문제들을 검출하고 진단에 활용
- 여과를 재개할 때에 여과속도의 단계적 증가방식(Slow start, or FRS(Filter ripening sequence)) 운영
- 여재손실과 여층균열에 대한 여재상태의 정기적인 육안 검사
- 연간 계획된 여층 오염도조사 및 여재상태 평가에 따른 피드백 운영/관리

(1) 역세척 청소 효능을 평가

- ① 역세척 중에 세척수 상향흐름이 일어나지 않는 Dead Zone이 존재하는지 관찰
- ② 보조세척 확인
 - 표면세척 노즐이 막혔거나, 공기세척 중에 공기 분포가 균일한가
- ③ 역세척 전과 후에 플록 체류시험을 실시하여 역세척 효율을 평가
- ④ 역세척이 충분히 긴 시간 동안 수행되는가 확인
- ⑤ 역세척 배출수 탁도 추이분석을 실시

(2) 역세척 중에 적용되는 유량을 검사

- ① 역세척수 유량의 적절/유량계가 정확한가를 상승 속도시험을 실시하여 확인

- ② 상승 유속시험을 실시하여 표면 세척 유량계를 검사

(3) 여층 팽창을 평가

- ① 여층 팽창 측정기를 이용해서 역세척 팽창을 시험
- ② 여층 내의 여재에 대해 최소 유동화 속도를 계산

바. 기포발생 현상(Air binding)

여층내의 압력이 대기압보다 낮아지게 되면(Negative head) 물에 녹아있던 공기가 용액 밖으로 용출되어 여층내에 공기방울을 형성하게 되어 부압이 형성되고 기포로 유리되어 여과사의 공극을 메우게 된다. 이것이 여과지내의 흐름에 대한 저항으로 작용하게 되며 여과지속시간을 짧게 하고 실질여과면적을 감소시켜 여과유속이 증대되어 여층중에 억류된 플록이 파괴되어 탁질누출현상(Break through)이 일어나기도 한다. 또한 Air binding은 공기가 과포화상태인 찬물이 봄철에 수온이 상승하는 경우와 같이 온도가 높아질 때도 주로 발생하는 현상이다.

- (1) 여과지 가동이 끝나는 시점에 여과지에서 나오는 하향류가 멈추면, 운영자들은 운전 중에 여상 안에 갇혔던 공기로 인하여 발생하는 공기방울 방출에 주의하여야 한다.
- (2) 수온이 낮거나 조류의 대발생으로 원수에 산소가 과포화되면 여상 안에서 기포가 발생(Air binding)될 수 있으며, 원수가 차가울 때 더 자주 일어나는데 이는 온수 보다 냉수에서 산소의 용해도가 더 크기 때문으로 여층 안에서 손실수두가 일어나서 여층 내의 압력이 대기압 보다 낮아지면 용존가스가 용액 밖으로 나와서 여층 내에 기포를 형성할 수 있다.
 - ① 공기누출 현상이 발생할 경우 여과지 내의 손실수두를 제한하는 것
 - ② 여과수 유출수위가 여과지 여재의 상단높이 보다 더 높도록 유출위어를 설계하는 것
- (3) 과도한 공기가 갑작스럽게 흘러 들어오면 여과지 여재와 지지 자갈층이 손상될 수 있으므로 운영자는 여과지 세척 초기를 주의 깊게 관찰한다.
- (4) 공기세척을 이용할 경우에는 여상 전체에 걸쳐서 거품작용이 균등하게 일어나는지, 기포가 없는 지역, 또는 격렬하게 끓어오르는 지역 등과 같은 비정상적인 공기분포 패턴을 주의해서 관찰한다.
- (5) 기포발생(Air binding)현상의 대처방법으로는 여과지 수위를 최대수위(1 m 이상)로 유지하고 역세척을 자주 실시하여야 한다.

사. 여재의 손실

(1) 여재손실을 알아내기 위한 여과지 검사에는

- ① 과거 여과지 검사기록을 확인하고 마지막 검사에서의 여재 표고(Elevation)를 기록
- ② 여재에서 표면으로 물을 빼낸 다음 검사
 - 몇 개 위치에서 표고를 확인하여 손실의 정도를 결정
 - 물이 빠진 상태에서 여재의 요철 부분이나 함몰부위 확인
- ③ 세척 중에 여재의 비등이나 다른 하부집수장치 붕괴의 징후가 있는지 주의 깊게 관찰한다.
- ④ 사용된 세척수 저장 용기(배출수지)나 사용된 세척수 라군(Lagoon)에 여재가 있는지 확인한다.
- ⑤ 이중여재 사용시 여과지 코아샘플 기록을 검사하거나 몇 개의 코아샘플을 채취해서 한 종류의 여재가 손실되었는지 혹은 모든 종류의 여재가 손실되었는지 파악한다.

(2) 하부집수장치 문제를 확인하기 위한 여과지 검사

- ① 여과지 굴착상자를 이용하여 여재 함몰부위나 역세척 중에 비등이 관찰된 모든 지역을 검사한다.
- ② 여과지 노즐근처에서 굴착작업을 할 경우에는 작업도구로 인해 노즐이 손상되지 않도록 주의한다.
- ③ 플리넘(Plenum)에 접근할 수 있을 경우에는 여재가 축적되었는지 검사
- ④ 손상된 노즐이나 하부집수장치 손상이 발견되면 여과지를 다시 설치

(3) 여재 손실을 검사하기 위한 역세척 평가

- ① 여층 팽창 측정기를 이용해서 역세척 팽창을 시험
- ② 여층 내의 여재에 대해 최소 유동화 속도를 계산
- ③ 여과지 세척 트라프를 검사하여 역세척 후에 트라프 안에 있는 여재가 있는지 확인
- ④ 만일 역세척으로 인해 여재손실이 발생했다면 역세척 중에 진행한 절차를 검토하고 특히 공기세척을 이용할 경우에는 물이 세척 트라프 위로 월류할 때 공기가 주입되었는지 확인한다.

(4) 오염된 여과사의 가성소다 세척방법

- ① 유기물질로 오염된 여과사를 가성소다로 세척할 경우 상당량의 거품이 발생될 수 있으므로 필요한 안전조치를 취하여야 하며 반드시 안전장구 착용과 안전교육이 필요하다.
- ② 2 % 내외의 가성소다 용액을 여과사 공극내의 수량을 감안하여 투입한다.
- ③ 여과사를 충분히 접촉하도록 약 2시간 이상 정치(여과사 오염 정도에 따라 가감)
- ④ 여과사를 검사한 후 세척이 부족할 경우 약 1 % 가성소다 용액으로 재차 세척



- ⑤ 최종적으로 역세척을 행하여 역세척수의 pH, 탁도 등을 검사하고 잔류 제거물 확인
- ⑥ 경우에 따라 역세척을 여러번 행하고, 역세척수의 배출수에 중화 조치
- ⑦ 물에 가성소다 투입 시 열이 발생되므로 화상 등 취급에 각별한 주의가 필요하고 세척제를 투입한 후에는 부식성이 강하여 여과시설을 보호한다.

아. 철·망간 등의 유출

(1) 탄산칼슘이 여층내 석출(광물질이 여재표면 집적)되거나, 배급수관망 내에 과도한 양으로 침전하거나 파편(Coupon)으로 분리

- ① 여층을 채취해 산 용해도시험을 통해 탄산칼슘 석출물이 여재 상에 집적되었는지 검사한다.
- ② 표정한 탁상용 pH측정기를 이용해 재탄화 및 여과수의 pH를 검사하여 온라인 pH측정기가 적절하게 보정되었는지 검증
- ③ 재탄화수에 대한 적절한 pH 와 알칼리도를 결정
- ④ 부식억제제로 다중 인산염(Polyphosphate)을 사용할 경우 그 약품량이 적정한지 검토/확인한다.

(2) 철, 망간이 여과지를 통과하여 검출

- ① 추가 작업을 실시하기 전에 화학분석에 문제가 있는지 확인
- ② 철의 출처를 확인하고 조치 계획을 세움
 - 자연 원수내 존재 : 산화제 주입량과 종류, 접촉시간 및 pH가 철이 산화되어 침전되기에 적합한지 검증하고, 철이 유기물질과 결합할 수도 있어 이럴 경우 철의 제거는 더욱 어려워진다.
 - 제2철 또는 제1철 응집제에서 나온 철 : 회수하지 않을 경우는 혼화조건(pH와 철염 주입량)이 거의 모든 철염 응집제에서 철 이온을 침전시킬 수 있는지 검토하고, 역세척수를 재활용할 경우에는 회수된 플록에서 가용성 철이 형성될 수 있으므로 회수처리 방안을 변경한다.
- ③ 망간의 출처를 확인하고 조치 계획을 세움
 - 자연 원수내 존재 : 산화제 주입량과 종류, 접촉시간 및 pH가 망간을 처리하기에 적합한지 검증하고 전염소와 망간사 접촉산화로 망간을 제거하는 경우, 중염소를 산화제로 사용하는 경우 여재에 코팅된 이산화망간이 유입되는 망간을 제거하는데 부족한지 확인(망간사 접촉산화 : 여과지 유출 잔류염소 0.5 mg/L이상, pH 7.0이상 유지)
 - 처리 중에 KMnO_4 을 사용하여 생기는 망간인 경우 : 망간이나 맛·냄새제거, 천연유기물질의 산화, 또는 민물담치 제거를 위한 KMnO_4 사용량이 적절한지 검토하고, 재활용수에 망간 순환가능성을 확인하며 특히 슬러지가 산소결핍 상태가 되어 망간이 가용형태로 되돌아가는지를 검토한다.

자. 감시계측설비의 정보관리와 QA/QC관리(Quality Assurance/Quality Control)

(1) 감시·경보의 적절한 사용

여과지의 연속 탁도계, 입자 계수기, 손실수두계 및 유량계 등의 계측설비에서 오는 데이터는 규제준수와 운영검토를 포함해서 다양한 목적을 위해 저장하고 잠재적인 문제를 미리 경고하기 위해 경보체계를 가지고 있다. 이러한 경보체계는 운영자들에게 정수처리시설의 내부 수질목표를 달성하지 못하는 상황과 초기단계에서 규제준수 실패에 대해 사전에 예비경보를 하고, 다가오는 문제들에 대해 사전에 조치하도록 설정하여 정수처리 사고를 미연에 예방하는 기능도 가지고 있다. 정수시설 운영자는 감시계측장비에 서 실시간으로 전달되는 데이터를 이용하여 시설 운영상황을 관찰해야 할 의무가 있고, 정상 가동과 비정상 가동을 구분할 수 있어야 하며 비정상 가동시에는 즉각적인 조치를 취해야 한다. 이러한 감시계측설비에 사용되는 측정장비의 정도관리는 『환경분야 시험·검사 등에 관한 법률』에 의한 정도검사를 받아야 하며 정도검사는 환경측정기기의 형식승인 정도검사 등에 관한고시에 따르고, 대상이 아닌 수질자동측정기는 본 고시에 준하는 성능이 유지되도록 주기적으로 검사하여 재현성, 신뢰성이 확보되어야 한다.

- ① 여과지별 온라인 탁도계측 감시설비와 여과 유량 및 손실수두계를 설치/관리
- ② 감시 계측설비를 정기적으로 유지관리하고 보정방법에 대해 문서화/교육
- ③ 유지관리와 눈금측정에 대한 기록을 유지하고 정기적으로 점검
- ④ 추가적인 감시와 최적화를 위해 온라인 입자계수기 사용을 고려

(2) 제조사에 대한 정보 파악

계기와 측정 장치의 검사, 세척, 유지관리, 보정절차는 제조업자가 제공한 지침서를 참조하고 운영 지침서나 사용 설명서에 정보를 파악하여야 한다.

- ① 규제 지침은 각 나라별 지역별로 적용기준이 상이하다
- ② 수질 계측설비는 시설의 규모와 관계없이 데이터는 정확해야 한다.
- ③ 탁도계나 입자 계수기의 용수량에 따라 값은 달라질 수 있다. 탁도계와 입자 계수기를 세척하고 보정하는데 필요한 공급품과 소모품 등을 확인하고 품질관리를 수행한다(탁도가 0.5 NTU 미만인 경우 편차는 $\pm 10\%$ 이하, 탁도가 0.3 NTU 미만일 때 ± 0.03 NTU 이내).
 - 매일, 매주단위로 온라인 탁도계의 기록을 검사하여 계기의 보정에 편차가 있는지 확인
 - 수동 시료측정의 특성 때문에 탁상용 탁도계의 탁도는 갇힌 공기나 오염 등으로 온라인 값보다 높을 수 있으므로 병을 세척하고 시료를 조심스럽게 취급하여야 한다.
 - 원수 내 입자의 시료 채취 및 계수 위치에 대한 최종 결정은 시설에 따라 달라질 수 있다.
- ④ Monitoring설비 알람 시 현장 점검 및 확인사항

전기·통신 이상 유무와 RTU 정상작동 여부 점검 후 현장조치가 불가능 할 경우 제조업체에 AS요청 한다.

- 계측기 통신 파라미터 설정 이상 유무 확인
- 계측기와 RTU(측정데이터 전송설비)간의 통신선로 점검
- RTU 전원차단 여부 확인
- RTU 내부 알람 램프 동작여부 확인

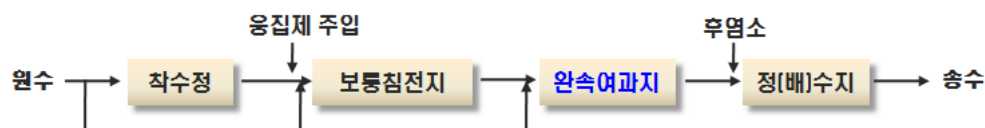
8.2 완속여과시설

8.2.1 완속여과 처리공정

가. 일반현황

완속여과지는 1820년 영국 런던의 첼시정수장에서 처음 시작되었는데, 사층표면에 성장한 호기성 미생물 여과막에 의해 현탁성물질을 억류함과 함께 환원성 무기물을 산화하거나 생물 분해성 물질을 분해하는 생물여과막 또는 슈무츠데케(Schmutzdecke-얇은 유기물층)에 의한 여과효과가 그 특징이다

완속여과방식은 유지관리가 간단하고 고도의 기술을 요구하지 않으면서 안정된 양질의 처리수를 얻을 수 있다는 장점이 있으나 여과속도가 느리기 때문에 넓은 면적이 필요하고 또 오사삭취 작업 등을 위한 많은 인력이 필요하다. 또한 원수수질에 따라 보통침전지를 설치하는 경우와 생략하는 경우가 있으며 필요에 따라서는 침전지에 약품처리가 가능한 설비를 갖추어야 한다.



〈그림 8.6〉 완속여과 공정도

완속여과법은 약품을 사용하지 않고 자연의 정화능력을 이용하는 방법으로 여과층 표면 10 mm 정도의 부분에 발생한 호기성의 생물에 의해 만들어진 점질막(粘質膜)과 내부 모래입자 표면에 생기는 생물피막에 의해 여과되는데 물리·화학·생물학적으로 탁질, 세균 등의 부유물이나 암모니아성질소, 철, 망간, 냄새물질 등의 용해성 물질이 제거된다. 완속여과에서 현탁물질(탁도, 조류 등) 억류는 모래층표층부에 집중되기 때문에 표층부분에서 큰 여과손실수두가 생겨 필요한 통수량이 유지되지 않으면 여과를 정지하고 표층의 모래를 삭취한 후 표면을 재생하여야 한다. 그래서 여과사층의 미생물군의 번식상황을 항시 관찰하여야 하고 특히 여과사를 보충한 후의 여과지는 미생물군이 번식하고 정상적인 여과기능이 발휘되는 것이 확인될 때까지 특별한 작업관리가 필요하다.

통침전지는 완속여과지와 조합하여 사용하는 것으로 응집제를 사용하거나 자연침전에 의하여 원수중의 큰 입자를 제거하여 완속여과지의 부담을 경감하고자 하는 목적으로 설치하며, 이때 플록이 여과지에 유입되어 여과폐색이 일어나지 않도록 보통침전지의 평균유속을 30 cm/분 이하로 운전하여야 한다. 또한 초벌여과(조대입자여과)설비는 플랑크톤, 조류, 탁질 등의 부유물질들을 제거하여 여과지의 부담을 줄이기 위하여 완속여과지의 전단계로 필요에 따라 설치한다. 완속여과지에 추가하여 응집제를 주입하는 보통침전지를 갖추어 아래와 같이 운영할 경우 병원성미생물에 대한 제거능을 더 확보할 수 있다.

- 연속으로 보통침전지를 운영하고 정수장 처리수량 전체 물량이 통과할 것
- 보통침전지에 연속적으로 응집제를 투입할 것
- 1년중 최소 11개월 이상 침전지에서 월간 탁도기준으로 0.5 log 이상을 제거할 것

상수원이 크립토스포리디움 등의 병원성미생물로 오염될 우려가 있는 경우에는 여과속도는 5 m/d 를 넘지 않도록 하고, 여과모래를 교체한 다음에는 여과수를 배출시키면서 생물막이 다시 형성되어 정수탁도가 0.1 NTU 이하로 될 때까지 낮은 여과속도로 여과하고 서서히 올리도록 한다. 또한 여과를 중단하면(여름철 18~20 °C에는 2일, 겨울 7~10 °C에는 7일) 여과사층 내의 용존산소가 결핍되어 나쁜 냄새나 맛이 발생하고 망간이 용출되기도 하므로 이럴 경우 여과기능 유지를 위해 최저 0.5~1.0 m/일 정도의 여과속도로 물을 통과시키는 것이 좋다. 플랑크톤 조류에 의한 여과폐색을 방지하기 위해서는 저수지에서 플랑크톤 조류처리를 하거나 그것이 불가능한 경우에는 여과 전에 마이크로스트레이너를 사용하여 제거한다거나 2단여과의 일차여과나 응집침전에 의하여 제거할 필요가 있다.

나. 운영·유지관리

유입부에 정류벽 등을 설치하여 여과사 교란이나 불균등 여과를 예방하고 여과지의 수위를 사면위 90~120 cm를 유지해야 한다. 완속여과 속도는 5 m/일 내외로 최대 8 m/일 이내에서 조작할 수 있어야 하고, 여과지 유입수 탁도는 연중 최고 10 NTU를 초과해서는 안된다. 여과속도 상승폭은 10~20 % 이내로 하며 급격하게 50 % 정도 증가는 여과효과를 저해한다.

여과층 표면이 갈퀴, 막대 등의 교반에 의해 여과막이 손상되거나, 조류발생에 의해 부상, 혹은 어류, 패류, 지렁이 등에 의해 손상되면 부분여과(국부여과)될 우려가 있으므로 주의해야 하며, 여과막이 손상될 우려가 있는 경우는 조금 일찍 두껍게 삭취작업을 해두어야 한다.

느린 여과속도로 운전을 계속하게 되면 플랑크톤의 이상번식에 의한 착색현상이 일어나는 경우가 있으므로 이러한 여과지에서는 물을 뺄 때 농축되어 모래층 내에 남아 있던 플랑크톤이 오사(汚砂) 삭취 후의 여과수에 대량으로 나타나는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

완속여과의 손실수두는 표면의 여과막에서 발생하는데 이는 부유물에 의한 폐색이 대부분 표면에서

일어남을 보여주고, 하부 사층에서도 여과작용을 하므로 사층두께가 얇을 경우 여과효과에 악영향을 미칠 수 있다. 여과지의 유출수위는 사층표면보다 저하시켜서는(부수두 발생) 안되며 급격한 손실수두의 상승이나 하강 시에는 여과막 등에 이상이 있는 징조이므로 즉시 여과를 중지하고 조사, 보수를 시행하며, 여과지속 일수는 여과속도, 원수의 수질, 여상의 상태 등에 의하여 좌우되므로 그 지속일수가 너무 길거나 짧을 경우 이상의 유무를 조사하여야 한다.

완속여과지의 경우에 약품을 사용하지 않는 것이 장점이나 여름철 고탁도나 비상시에는 완속여과지가 감당할 수 있을 정도의 탁도를 저하시켜 줄 전처리 설비를 보완해야 한다. 또 다른 계절적 문제점으로 봄, 가을에 조류의 번식과 겨울철에 미생물의 활성저하로 인한 완속여과지의 기능저하를 예방할 수 있는 조류번식을 억제하기 위한 차광막 설치 또는 겨울철 보온용 여과지 덮개 등 적절한 보조설비들이 필요하다.

Fogel et al.(1993)은 완속여과의 실공정에서 크립토스포리디움과 지아디아에 대해 제거율을 평가한 결과 제거율은 각각 $0.1 \sim 0.5 \log$, $0.9 \sim 1.4 \log$ 로 나타났으며, 이때 원수 유입탁도와 여과 유출탁도는 각각 $1.3 \sim 1.6 \text{ NTU}$, $0.31 \sim 0.35 \text{ NTU}$ 로 낮은 원생동물 제거효율을 나타냈는데 그 이유로는 저급 여재를 사용하고 생물학적 활동도가 낮은 수온(1°C)에서 운영되었기 때문으로 판단하였다.

오사 삭취나 보사작업을 위하여 여과지를 비울 때 함몰, 내부의 슬러지 축적, 미생물번식 등의 상태를 정기적으로 조사하고 이상상태가 감지될 때는 신속히 보수 또는 교체하거나 오사삭취 두께를 가감하여야 하며, 오사 삭취는 나무판 등으로 사층 표면적 1 cm (삭취간격은 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}$)를 평탄하고 균등하게 삭취하고, 작업 시 잔존사층의 두께가 40 cm 내외로 감소하였을 때에는 여과사를 반드시 보충하며 한랭기 이전에 시행하여 동결하지 않도록 주의하여야 한다. 오사 삭취 작업은 다음과 같이 시행한다.

- (1) 인입, 인출의 정지와 주벽 등의 세척 작업
- (2) 사면 이하의 반출 및 삭취 오사의 반출
- (3) 사면고르기
- (4) 여과수의 역송
- (5) 원수 인입 및 여과배수 후 사용개시

여과사 보충은 기존의 여과사를 적당한 폭으로 굵은 모래면까지 삭취 굴착하고 새로운 여과사를 포설하고 그 상부에 기존의 여과사를 뒤집는 것을 순차적으로 반복하여 전면에 걸쳐 작업한다. 이런 작업중에 기존의 여과사와 새로운 여과사가 혼합되지 않도록 그 사이에 나무판으로 구분하여 작업한다. 보사나 교체작업 후 사면고르기는 보행판을 설치하여 사면을 직접 밟지 않도록 하며, 삭취오사를 반출한 사면은 목제의 고르기판을 사용하여 평탄하게 하지 않으면 안된다.

오사 삭취 후 원수 유입에 앞서 여과사층내의 공기배제와 여과사면 보호를 위하여 인출구로부터 여과수를 2 m/일 이하의 속도로 서서히 인접여과지의 여과수를 역송하여 여과사면 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 까지 물을 올려

야 하고, 원수의 인입은 역송이 끝난 후 여과사층면을 흐트러지지 않게 서서히 행하고 규정수위로 하지 않으면 안된다.

여과층 조사는 각 층의 슬러지량 등을 조사해 모래층 내부상황을 분석하고 이전의 값과 비교하여 오염 진행 상황을 판정한다. 여과배수는 삭취 후 여과기능 발휘에 이르기까지 3 m/일 한도로 하고 여과속도를 서서히 증가시켜야 한다.

정수의 역송, 원수의 인입, 여과배수, 사용개시는 삭취작업의 경우에 준하여 행하나 여과사 보충 후의 여과지는 상당한 기간에 걸쳐 여과기능 발휘가 지체되므로 규정 여과속도의 1/2정도로 여과하고, 여과지 기능을 확인하기 위한 수질검사를 적어도 탁도, 색도, 일반세균 및 대장균군에 관하여 수행한다. 특히 오사삭취나 보사작업의 기간을 이용하여 계기류나 기타설비 등을 점검·보수하며, 여과지의 손실수두, 여과수량, 등의 운전일지를 작성하고 관측하여야 한다.

완속모래여과 시스템의 탁도 성능요건(출처:USEPA)

- ㉠ 매달 측정된 여과수 탁도의 95 % 는 1 NTU 또는 그 이하이어야 한다.
 - ㉡ 소독공정 없이 탁도가 5 NTU를 결코 초과하지 않으면, 정수처리운영에 따라 더 높은 유출수 탁도를 허용할 수 있으나, 배수시스템에 들어가는 최종 처리수의 가장 탁도가 높은 시기에 대장균군 MCL을 충족하고 HPC가 10/mL보다 낮아야 한다.
 - ㉢ 여과수 탁도는 언제라도 5 NTU 를 초과할 수 없다.
- ※ 완속여과층 조사는 각 층의 슬러지량 등을 조사해 모래층 내부 상황을 분석하고 이전의 값과 비교하여 오염진행 상황을 판정한다. 모래의 부착물량 조사결과 예시는 아래와 같다.

조사 내용	○호지, ○년 ○월 ○일(보사 작업일시 : ○), 잔존 모래층 : 약 75 cm			
외관	깊이 0~30 cm : 엷은 갈색, 부착물이 많음, 30~75 cm : 회색			
모래층 깊이(cm)	세척탁도(NTU)	KMnO ₄ 소비량(mg/g)	Fe(mg/g)	Mn(mg/g)
0~1	290	4.4	0.75	0.062
1~5	87	1.3	0.28	0.014
5~10	60	0.6	0.16	0.007
10~15	63	0.6	0.17	0.008
15~20	50	0.4	0.14	0.006
20~30	65	0.6	0.16	0.008
30~40	25	0.0	0.01	0.000
40~50	25	0.0	0.01	0.000
50~60	26	0.0	0.01	0.000
60~70	25	0.0	0.01	0.000

8.3 막여과시설 및 기타여과(GAC 등)

8.3.1 막여과 시설

물속의 현탁성이나 콜로이드성 물질을 정밀여과막(MF), 한외여과막(UF) 등의 분리막을 여재로 사용하여 막의 공경(Pore size)에 상응하는 입자(Particle)나 오염물질을 물리적으로 제거하는 방식으로, 막여과의 성능을 효율적으로 발휘시키기 위해서는 협잡물 등을 제거하기 위한 전처리가 필요한 경우가 있다. 막여과로 제거하기 어려운 용해성 유기물나 망간 등을 제거하기 위해서는 후처리를 해야 하며, 특히 트리할로메탄, NO_3^- -N, 농약, 냄새물질 등 용해성 미량 유기물질을 막처리로 제거하기 위해서는 나노여과막이나 역삼투압막 등이 필요하다.



〈그림 8.7〉 막여과 공정도

막여과 방식에는 가압형과 침지식이 있으며 가압형 막모듈방식은 막모듈을 케이싱 안에 수납하는 방식으로 막공급수를 가압하여 여과하는 것이고, 침지식 막모듈방식은 막모듈을 조 내에 침적하는 방식으로 수위차나 흡인펌프를 이용하여 여과를 수행하는 것으로 구분한다. 막운전 방법에는 막공급수 차압을 일정하게 유지하여 여과하는 정압여과방식(Constant pressure filtration)으로 펌프, 수두 등을 이용, 압력을 일정하게 유지하여 여과를 행한다. 또한 막의 여과유량을 일정하게 유지하여 여과하는 정유량여과방식(Constant flow filtration)이 있는데 정량펌프나 유량계를 이용하여 여과수량을 일정하게 유지해서 여과를 행한다. 막 종류별 공극과 조작압력 및 투과 Flux는 다음과 같다.

〈표 8.1〉 막 종류별 공극과 조작압력 및 투과 Flux 비교

종 류	공 극 (Pore size)	MWCO (Dalton)	조작압력 (kg/cm ²)	투과 Flux (m ³ /m ² ·d)	제거가능 물질
정밀여과막 (MF)	0.01 μm 이상 ¹⁾	—	0.3~1.4	0.5~5 ^{2,3)}	부유물질, 콜로이드, 세균, 조류, 바이러스, 크립토포리디움 난포낭, 지아디아 포낭 등
한외여과막 (UF)	0.001~ 0.1 μm	100,000 이하 ¹⁾	0.3~2.8	0.5~5 ^{2,3)}	부유물질, 콜로이드, 세균, 조류, 바이러스, 크립토포리디움 난포낭, 지아디아 포낭, 부식산, 등
나노여과막 (NF)	1~10 nm	200~ 1,000 ⁴⁾	5.3~10.6	0.5~2	유기물, THMFP, 농약, 맛·냄새물질, 합성세제, 칼슘이온, 마그네슘이온, 황산이온, 질산성질소 등
역삼투막 (RO)	1 nm이하	100이하 ⁴⁾	14이상	0.4~0.8	저분자량 물질, 용존물질, 염류, 이온성물질(금속이온, 염소이온 등)

주 1) 막여과 정수시설의 설치기준 <별표 1>, 환경부고시 제2008-198호, 2008

2) Microfiltration and Ultrafiltration, Treatment Tech. Fact. Sheets, United States Bureau of Reclamation, 2010

3) Manual of Water Supply Practices - M53, Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, AWWA, 2005

4) Membrane Filtration Guidance Manual, US EPA, 2005

막과 관련된 용어 정의는 아래와 같다.

- 모듈 : 수십개의 막을 하나 단위로 묶은 것
- 막 오염 : 장기간 운전으로 막의 여과성능이 저하되거나 막 자체의 노화, 막힘, 공극폐색 등을 나타낸다.⁷⁾
- 막 세척 : 막 오염을 원래상태로 회복시키기 위해 막세척을 하는데 막세척의 종류에는 공기와 물을 이용한 물리세척과 약품을 이용한 화학세척이 있다.
- 직접 완전성 시험(Direct integrity testing) : 병원성 미생물(입자성 물질)의 제거율을 검증하여 막 안전성을 확보하는 시험(Pressure-based test와 Marker-based test)
- 간접 완전성 시험(Indirect integrity testing) : 여과수의 탁도나 입자수를 모니터링하여 막여과시스템의 완전성을 연속적으로 검증하는 것으로 전체 막여과의 완전성을 확보하는 시험.

— 막공정의 추가 제거능 향상방안 —

최근 정수장에 도입되고 있는 막여과 공정의 병원성미생물에 대한 제거능은 연속적으로 막여과 공정의 압력변화를 모니터링 할 수 있는 장치가 설치되어야 하고, 현장의 원생동물 제거율 실험결과와 직접 완결성 실험결과에 의해 계산된 log제거율 중 낮은 제거율을 인정하되, 지아디아 포낭의 경우 MF, UF의 유출수 탁도가 정수처리기준을 만족할 경우 추가적으로 제거능을 인정하는 추세이다.

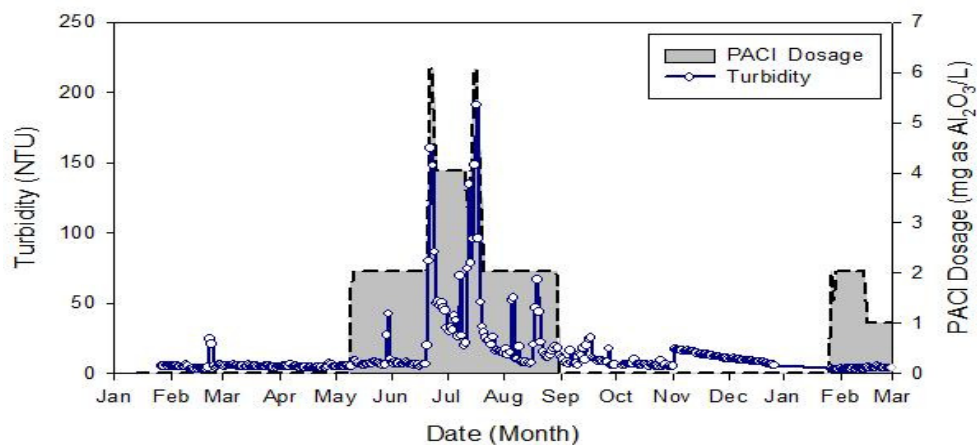
- ① 막여과 공정의 설비에 대한 기본 정의를 만족
- ② 직접완결성실험(Direct Integrity Test)을 입증하여야 하고, 현장 평가실험(Challenge Test)을 통해 크립토스פור리디움의 제거 효율을 입증
- ③ 공정운영 중 직접완결성 실험을 정기적으로 수행하고, 간접완결성 실험을 연속적으로 모니터링 하여야 한다.

가. 막여과 운영·유지관리

(1) 고탁도 유입 시 감시 및 대처방법

100 NTU 이상의 고탁도가 유입되어 막차압(1 kg/cm^2)이 상승하고, 정수생산량이 현저히 감소하는 현상을 보일 때의 대처방안은 다음과 같다.

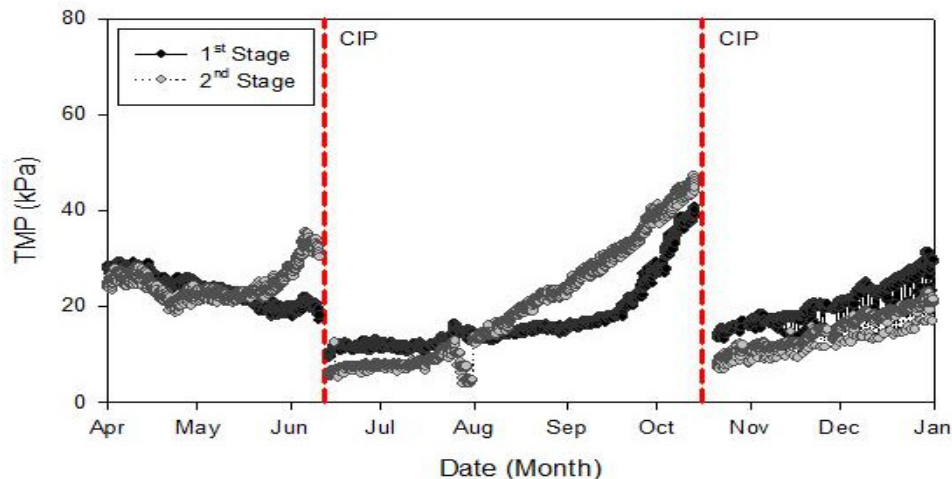
- ① 전처리 공정 강화 : 응집제 투입, 침전지 및 가압부상조 가동 등
 - 평상시 착수정 원수 직접여과 ⇒ 고탁도시 응집/침전수 여과
 - 평상시 저농도(1 mg/L 이하) 응집제 주입으로 미세플록 형성 후 직접여과 ⇒ 고탁도시 침전지 추가 운영, 플록 침강성 증대를 위해 응집제 주입량 증가



〈그림 8.8〉 원수 탁도 증가에 따른 응집제 투입량 증가

- ② 순환여과(Cross-flow filtration) 방식 전환 : 막모듈 내부의 오염물질 축적을 방지
 - 평상시 전량여과(Dead-end filtration) 운전 ⇒ 고탁도시 순환여과 운전

- 평상시 20 % 순환여과 운전 $\Rightarrow$ 고탁도시 30 % 순환여과 운전(농축수 이송량 10 % 증대)
- 단, 회수율을 유지하기 위해 막모듈에서 순환되는 농축수는 원수저장조로 회수
- ③ 유지세척 주기 단축 : 저농도의 산·알칼리제(차아염소산, 황산 등)로 유지세척 주기 단축운전
차아염소산 500 mg/L 농도의 세척약품으로 5분 동안 순환 후 20분 동안 정치
- 평상시 유지세척 주기 : 1회/3~7일 $\Rightarrow$ 고탁도시 유지세척 주기 : 1회/1일
- ④ 화학세척 실시 : 고농도의 산·알칼리제(차아염소산, 황산 등)로 화학세척 실시
- 차아염소산 2,000 mg/L에서 6시간 순환, 황산 10,000 mg/L에서 2시간 순환 등



〈그림 8.9〉 막여과 시설의 화학세척(CIP) 수행결과

- ⑤ 역세척(물리세척) 주기 단축 및 역세수량 증가 운전 : 『회수율에 영향』
- 평상시 30분 여과, 60초 역세척 $\Rightarrow$ 고탁도시 15분 여과, 60초 역세척
- ⑥ 여과 플럭스 감속 운전 : 『생산량 감소』
- 평상시 여과플럭스 $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ $\Rightarrow$ 고탁도시 여과플럭스 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 로 조정

(2) 조류 유입 시 감시 및 대처방법

조류예보제와 조류 대발생 단계로 2회 연속채취 시 Chl-a 농도 $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이상, 남조류 세포수 10^6 세포/mL이상 유입 시에 대처방안은 다음과 같다.

- ① 전처리 공정 강화 : 응집제 투입, 침전지 및 가압부상조 가동 등
- 평상시 착수정 원수 직접여과 $\Rightarrow$ 고탁도시 전염소 처리 및 응집/침전수 여과
- 평상시 저농도($1 \text{ mg}/\text{L}$ 이하) 응집제 주입으로 미세플록 형성 후 직접여과 $\Rightarrow$ 고탁도시 침전지 추가 운영, 플록 침강성 증대를 위해 응집제 주입량 증가
- ② 순환여과(Cross-flow filtration) 방식 전환 : 막모듈 내부의 조류 축적을 방지
- 평상시 전량여과(Dead-end filtration) 운전 $\Rightarrow$ 고탁도시 순환여과 운전
- 평상시 20 % 순환여과 운전 $\Rightarrow$ 고탁도시 30 % 순환여과 운전 (농축수 이송량 10 % 증대)

단, 회수율을 유지하기 위해 막모듈에서 순환되는 농축수는 원수저장조로 회수

③ 유지세척 주기 단축 : 저농도의 산·알칼리제(차아염소산, 황산 등)로 유지세척 주기 단축운전

- 차아염소산 500 mg/L 농도의 세척약품으로 5분 동안 순환 후 20분 동안 정지

- 평상시 유지세척 주기 : 1회/3~7일 ⇒ 고탁도시 유지세척 주기 : 1회/1일

④ 화학세척 실시 : 고농도의 산·알칼리제(차아염소산, 황산 등)로 화학세척 실시

- 차아염소산 2,000 mg/L에서 6시간 순환, 황산 10,000 mg/L에서 2시간 순환 등

⑤ 역세척(물리세척) 주기 단축 및 역세수량 증가 운전

- 평상시 30분 여과, 60초 역세척 ⇒ 고탁도시 15분 여과, 60초 역세척

⑥ 여과 플럭스 감속 운전

- 평상시 여과플럭스 $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ⇒ 고탁도시 여과플럭스 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 로 조정

(3) 막파단 감시 및 대처 방법(Integrity Test)

① 막파단 감시시스템 구축

막여과 공정이 온전한 상태를 유지하면서 연속적으로 처리수를 생산할 수 있는가를 감시하는 방법은 아래 표와 같이 직접법과 간접법으로 구분할 수 있다.

〈표 8.2〉 막파단 감시방법에 따른 시스템 구축

감시 방법	감시 방법	감시대상		파단감시기준(예)	감시주기
		계열	모듈		
간접법	탁도계	◎		0.1 NTU 이상	연속감시
	입자계측기	◎		10 EA/mL 이상	연속감시
직접법	PDT	◎		0.03 kgf/cm ²	1일 1회
	(압력손실시험)		◎	0.03 kgf/cm ²	수질이상경보시
	Air Bubble Test		◎	감청/육안	PDT이상경보시

출처 : 김형수(2006)

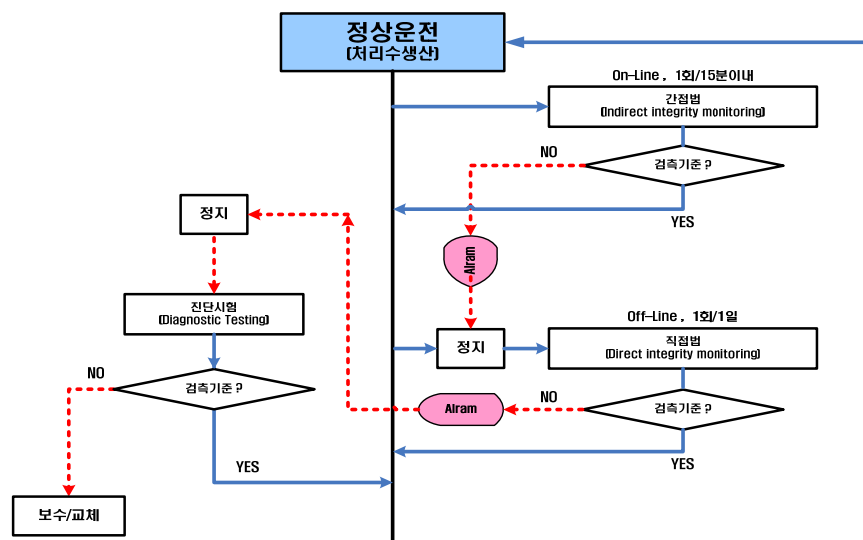
- 탁도나 입자수 감시는 비용면에서는 우수하지만, PDT나 입자수계측기 등과 같이 검출한계값(Resolution)이 낮고 민감도(Sensitivity)가 높은 방법의 병용이 필요하다.

- 막손상 검지방법으로서 PDT 등의 직접법을 채용하지 않는 경우에는 고감도(0.5 um) 입자수계측기의 채용이 바람직하다.

- 직접법 중 PDT법은 감도가 매우 좋고, 신뢰성이 높은 방법이다. 특히 공기역세를 채용하고 있는 시스템에서는 비용이 거의 들지 않는 방법이다 [버블 포인트시험(Bubble point testing)은 초기에 공경크기나 막의 완전성을 평가하는 방법으로 사용되고 막 파손시 막 모듈 입구 또는 출구에서 손상된 가닥(Fiber) 밖으로 나오는 공기방울이 처리수 투명관에서 발견되었을 경우 비정상 상태로 판단]

〈표 8.3〉 막파단 감시방법 비교

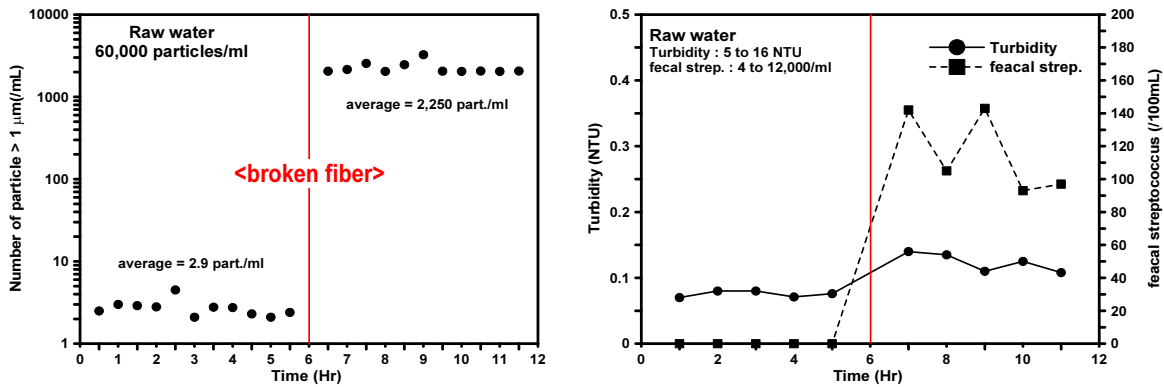
감시 방법	장 점	단 점
간접법	탁도 감시 Turbidity monitoring	■ 간접적인 막의 완전성 측정 ■ 낮은 탁도 범위에서 입자 범위에 민감하지 않음 (감도가 낮음)
	입자수 감시 Particle monitoring	■ 저비용 ■ 연속적인 온라인 측정 가능
	입자수 계측 Particle counting	■ 고비용 ■ 원수 수질에 따라 민감함 ■ 대규모 적용 시 여러 개의 센서를 요구
	미생물 감시 Bio-logical monitoring	■ 막의 완전성 모니터링의 간접 측정 방법 중 가장 민감함 ■ 정지 후 각각의 모듈을 측정 가능 ■ 소독 효율을 직접적으로 측정 가능
직접법	압력손실시험 Pressure Decay Test (PDT)	■ 막분리 시스템 내에서 설치 가능 ■ 직접적인 막의 완전성 측정 ■ 수동으로 한 번에 한 계열을 측정
	버블포인트 감시 Bubble point testing	■ 비연속적인 모니터링 방법 ■ 완벽히 밀폐된 밸브의 요구 ■ 수동으로의 적용 시 노동 집약적임
	초음파 감시 Sonic sensor (Sonic leak testing)	■ 작은 모듈 당 고비용 ■ 정지 후에 측정 가능 (수동측정) ■ 대규모 적용 시 노동 집약적임



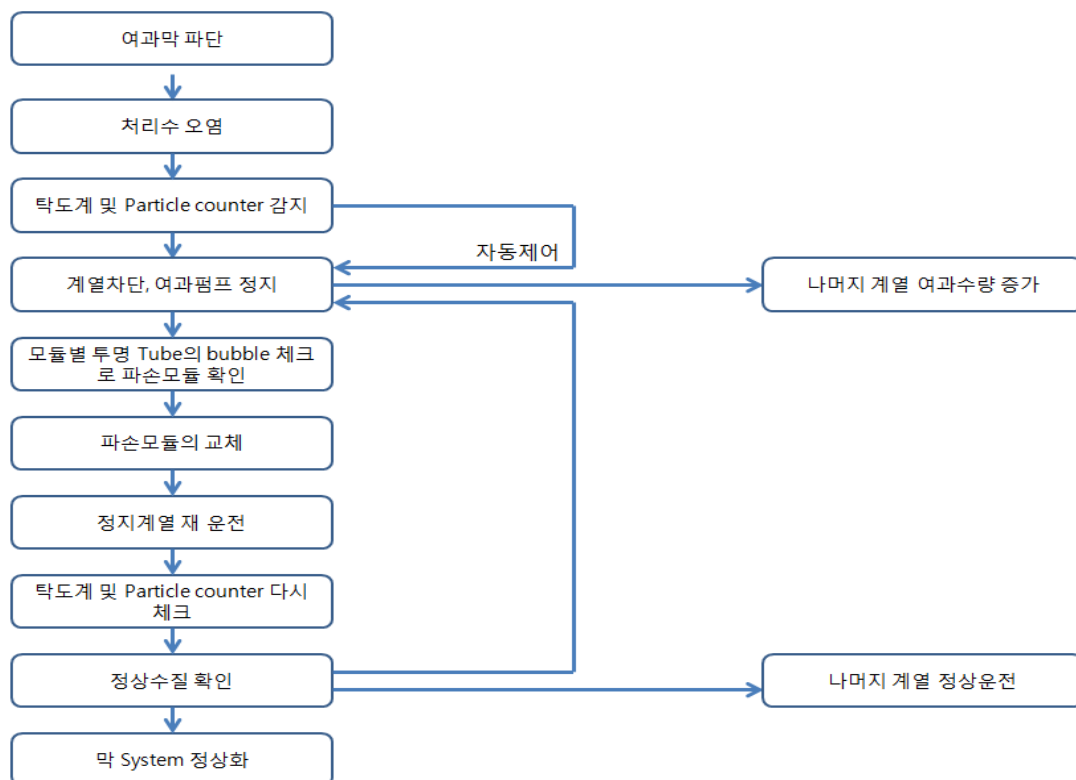
〈그림 8.10〉 막파단 감시 시스템 흐름도

② 막파단에 의한 생산수 수질의 저하

각 계열별로 설치된 탁도계 및 입자수계측기를 통해 상시 감시하고, 처리수 탁도계 수치가 0.1 NTU 이상이거나, 처리수 내 2 μm 이상의 입자수가 10개를 초과한 경우



〈그림 8.11〉 막파단에 따른 탁도 및 입자수 수질변화
(Jacangelo 등, 1991)



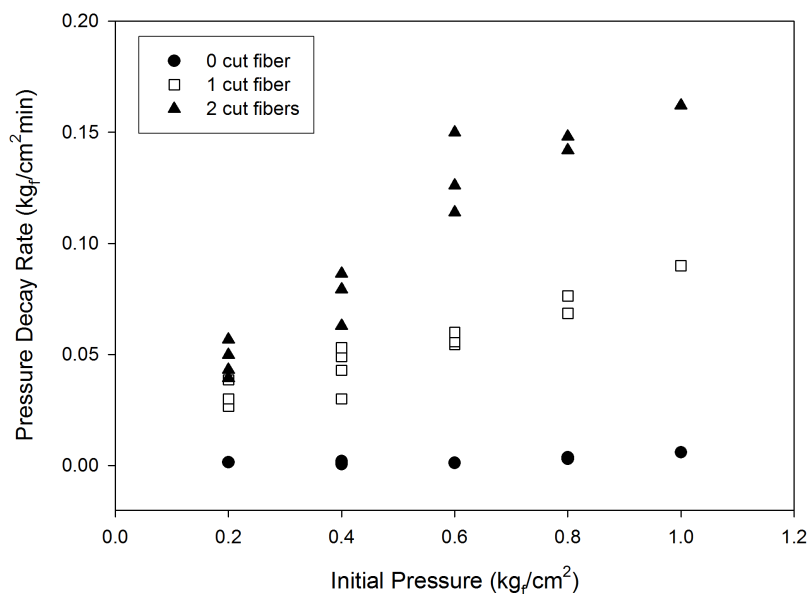
〈그림 8.12〉 탁도 및 입자수 감시 흐름도

③ 대처방안

탁도 및 입자수가 감시기준을 초과한 계열은 즉시 운전을 정지하고 계열별(모듈별) PDT

(Pressure Decay Test)를 통해 여과막의 파단 여부를 검사하고, 여과막을 보수 또는 교체 후 재 운전하여야 한다. 또한 주기적인 PDT를 통해 여과막 파단 여부를 확인한다.

- 막 파손이 발생하여 경보 발생 후 막여과장치의 계열이 정지되었을 경우, 타계열을 증량 운전하여 생산수량을 확보한다. 단, 한계여과유속 (Critical Flux, 예 $2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 등) 이상으로 운전하지 않는다(공정흐름의 목표값을 설정하여 감시, 확인)



〈그림 8.13〉 막파단에 따른 PDT 수행결과

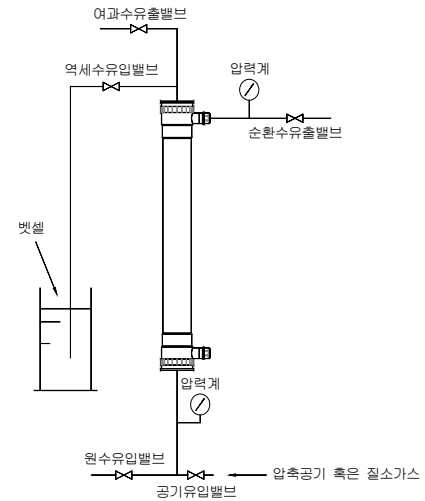
- 초기 대응 시에는 원인조사 실시 및 현장에 보관되어 있는 예비 여과막으로 교환하여 막여과 설비가 정상운전이 가능토록 한다.
 - 예비 여과막은 전체 모듈수의 10 % 내외의 모듈을 시설 내 비치
 - 초기 설치 당시 장기보관 처리가 되어 개봉하지 않을 경우 그대로 장기보관
- 동시에 막 설비 시공업체(제조사)에 A/S를 요청하고 기술담당자와 함께 막 파손원인을 조사한다.
- 막파단 Test 주의사항
 - Test시 주입공기에 의한 여과막 건조와 오염 주의
 - Test는 10분 이내에 완료하고 Test 직후에 모듈 내부를 물로 충진
 - 검사 후에 여과하여 압력제거
- 막 파단 Test 순서
 - 여과중지와 원수유입밸브와 여과수 유출밸브 차단
 - 공기유입밸브에 압축공기 혹은 질소가스라인 연결
 - 역세유입밸브에 얇은 튜브를 연결해(약 $\phi 5 \text{ mm}$) 반대쪽 끝을 벅셀 내부에 담근다.
 - 역세유입밸브와 공기유입밸브를 천천히 개방, 모듈내부에 기체 공급압력을 100 kPa 이상 설

정한다.

- 여과막 모듈 상부 투명관에서 지속적인 공기 방울이 발생할 경우 비정상 상태로 조치필요. 단, 공기방울이 전혀 없는 상태는 여과막에 압력이 차지 않은 초기상태로 비정상상태가 아님(만일 역세유입밸브가 시스템상에서 사용이 불가능할 경우 여과수 유출밸브를 개방해 모듈의 처리수 노즐에 공기방울의 발생을 검출한다).

④ 막 모듈의 보수요령

- 해당계열을 정지하고 파손된 모듈 상부 캡을 분리한 뒤, 막 모듈에 공기압축기로 공기를 공급해 파단된 부위를 확인하고 보수한다. 필요시 해당 막모듈을 계열에서 분리해 예비막으로 교체한 후 별도 장소에서 보수할 수도 있다.
- 일반적인 막모듈 보수요령은 다음과 같다.



〈그림 8.14〉 막파단 장치 예



- ① 단계 : 해당 모듈에 압축공기를 유입시켜 파손된 막 섬유를 확인한다.
- ② 단계 : 파손된 막 섬유에 스테인레스 핀으로 중공사를 막는다.
- ③ 단계 : 스테인레스 핀을 고무 망치로 가볍게 두드려 핀을 고정한다.
- ④ 단계 : 파손된 막 섬유가 수리된 모습

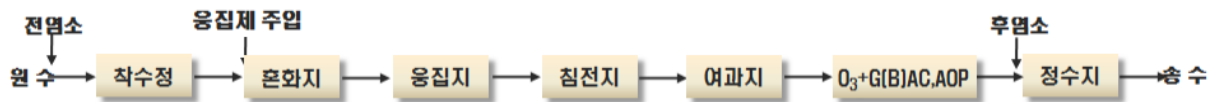
일본의 MAC21, 고도처리 ACT21

MAC 21(Membrane Aqua Century 21)은 소규모 수도시설에 하천수 원수를 35종류의 막여과 실험 장치를 사용하여 제탁, 제균을 중심으로 처리성능, 세척방법, 운전제어방법, 전력소비량, 신뢰성, 경제성 및 비상대책 등에 종합적인 검토로 소규모수도의 막여과시설 도입 가이드라인, 유지관리 매뉴얼과 운전관리방법이 수도기술연구센터에 의해 작성되었음.

고도처리 ACT 21은 막이용 신고도 정수처리기술 개발연구로 THM, 농약을 비롯한 미량화학물질, 맛·냄새물질 및 바이러스 등의 제거를 주 목적으로 하여 NF, UF, MF와 고도정수처리(오존, GAC, BAC 등)를 조합한 처리방식을 개발하였고, 더불어 정수장 배출수의 농축을 막을 이용함으로써 효율적이고 안정적인 처리가 가능함을 실증하였다.

8.3.2 기타, 입상활성탄 등

통상의 정수처리로 먹는물 수질기준을 만족할 수 없을 경우 일반적인 정수처리에 추가하여 오존처리, 입상활성탄 처리, 생물 활성탄 처리, 고도산화처리(AOP) 등을 추가하여 합성 미량유기화합물을 제거하게 되는데, 중요한 점은 원수 수질의 특성을 정확히 파악하여 처리수의 목표수질을 대상으로 비교·평가한 다음 모형실험을 거쳐 새로운 공정을 추가하여 설계 및 시공하게 된다. 그러므로 기존 정수처리공정 이외에 2차적으로 모래여과나 활성탄 흡착공정을 새로이 도입할 경우 병원성미생물에 대한 제거능을 추가적으로 확보하여 안전한 물을 생산할 수 있다.



〈그림 8.15〉 고도정수처리 공정도

——— 최근 강화지표수처리규칙(ESWTR)의 목표수질 : TOC 2 mg/L이하 ———

미국 환경청(EPA)은 장기1, 2 강화지표수처리규칙”(LT1,2 ESWTR)에 강화응집 요구조건으로 소독제 및 소독부산물(D/DBP) 저감을 위해 원수의 TOC 및 알칼리도에 비례한 총유기탄소(TOC) 목표수질을 정보수집규칙(ICR)에 따라 아래 표와 같이 요구하고 있다.

지표수처리규칙(ESWTR)의 목표수질

원수 TOC(mg/L)	원수 알칼리도 (mg/L, CaCO ₃)		
	0 ~ 60 mg/L	> 60 ~ 120 mg/L	> 120 mg/L
2.0 ~ 4.0	35.0 %	25.0 %	15.0 %
4.0 ~ 8.0	45.0 %	35.0 %	25.0 %
8.0 이상	50.0 %	40.0 %	30.0 %

가. 일반 현황

입상활성탄은 다공질 구조의 탄소재료(직경 2~50 nm)로 그 흡착능은 공극률, 비표면적, 세공용적, 세공분포 등에 따라 다르고, 흡착원리는 고체의 표면장력(면적당 에너지)에 영향을 받는다. 입상활성탄 흡착설비는 흡착탑 또는 흡착지에 입상활성탄을 고정층이나 유동층으로 충전하고 여기에 처리할 물을 통과시켜 처리대상물질인 오염물질을 흡착하여 제거하는데 흡착탑 내부의 미생물의 활동여부를 기준으로 입상활성탄(GAC)방식과 생물활성탄(BAC)흡착방식으로 나눌 수 있다.



입상활성탄 처리방법은 활성탄 내부세공(pore)에 오염물질이 이동하여 흡착, 축적됨으로써 오염물질을 제거하는 공정으로 처리대상물질의 농도가 파과되어 초기농도에 가까운 농도를 보일 때에는 활성탄접촉조의 운전을 멈추고 곧바로 활성탄의 교체를 수행하여야 한다. 이러한 흡착지를 사용함에 따라 손실수두가 증대되고 미생물의 과다한 번식이 발생할 수 있으므로 정기적으로 7~10일에 1회 정도의 역세척이 필요하다. 입상활성탄의 맛·냄새제거 기작은 다음과 같다.

- ㉠ 경쟁적 흡착(Competitive adsorption) : Geosmin, 2-MIB는 분자량이 매우 작은 물질로써 분자량 500이하의 저분자 자연유기물(NOM)과 흡착과정에서 직접적인 경쟁관계에 있으므로 원수유기물의 특성을 파악할 필요가 있다.
- ㉡ 세공막힘현상(Pore blockage) : 저분자 유기물 중에서도 분자량 600정도의 유기물들은 활성탄내 세공통로(Transitional-pore)를 막히게 하는 세공막힘을 일으켜 처리효율과 관련이 있다.
- ㉢ 탈착(Desorption) : 활성탄 세공내의 흡착과 탈착이 반복되어 활성탄 내부의 흡착 농도가 주위농도보다 매우 높아지는 경우 탈착될 수 있다. 즉 유입수의 Geosmin, 2-MIB이 낮아졌는데도 입상활성탄 유출수의 Geosmin, 2-MIB이 일정기간 검출되는 경우도 있을 수 있다.
- ㉣ 미생물에 의한 분해(Biodegradation) : 2-MIB와 Geosmin은 Alicyclic alcohols, Ketones류로 생물분해 가능한 물질이다. 특히 한강원수는 입상활성탄의 미생물활성도가 높은 하절기에 Geosmin이 유입되므로 높은 처리효율을 기대할 수 있고 반대로 2-MIB의 경우 겨울철(입상활성탄의 미생물 활성도가 낮은 시기)부터 발생되므로 제거하기가 어렵다.

활성탄 흡착능력은 활성탄의 종류와 피흡착 물질, 수온, pH 및 공존물질에 따라 다르고, 운전시간이 지남에 따라 흡착능은 점차 감소하여 포화상태에 도달되어 처리 목표달성이 어려워지는 시점에서 재생하거나 교체하여야 한다. 오존처리를 병행할 경우에도 생분해성 증가와 전체적인 오염물질제거율은 제한적이므로 원수수질, 통수조건, 제거대상물질의 농도, 처리효율 등을 종합적으로 판단하여 설계·시공한다. 특히 입상활성탄 흡착설비의 처리공정 배열은 원수수질, 처리목표수질 및 농도, 경제성 등 다양한 현장조건에 따라 다를 수 있으므로 적정한 처리공정의 배열을 선정하여 적용할 수 있다.

〈표 8.4〉 활성탄의 종류 및 특징

재 질	특징	제거 대상 물질
야자계	미세공 발달 (micropore)	THM 등, 미량유기물질제거 적합
석탄계	중간세공 발달 (mesopore)	자연적 유기물질제거 적합
목탄계	대세공 발달 (macropore)	생물활성탄에 적합

활성탄 흡착지 운전을 정지하였다가 재개할 때에 갑작스러운 수량의 유입은 유동층 계면을 교란하고 활성탄이 유출되는 위험이 있으므로 서서히 수량부하를 증가시키는 것이 필요하고, 활성탄흡착지를 새로이 사용개시 하거나 재생탄을 다시 충전하여 사용개시 할 때에도 충분히 세척하여 분탄의 누출을 예방하여야 한다. 특히 신탄은 pH값이 높은 경우가 많으므로 활성탄 양의 100~300배 정도의 물로 세척해 주거나, 이미 pH값을 중성상태로 세척해 놓은 활성탄을 구입하는 것도 좋다

입상활성탄의 처리효율에 대한 설계값은 접촉시간 또는 공간속도, 선속도, 탄층 두께, 입경 등 상호관계로부터 결정되며, 공간속도를 우선 정한 뒤 그에 따른 각 정수장의 조건에 적합한 활성탄층 깊이를 결정한다.

① 공상접촉시간(empty bed contact time, EBCT)

입상활성탄의 충전량(m^3)을 처리수량(m^3/h)으로 나눈 값으로 공상접촉시간이 결정되면 탄층의 두께와 선속도의 관계가 결정되며 선속도를 크게 하려면 입상활성탄의 충고를 두껍게 해야 하고, 공상접촉시간이 길수록 처리효과는 증가한다.

② 공간속도(Space velocity)

입상활성탄층을 통과하는 1시간당 처리수량을 입상활성탄의 용적으로 나눈 값으로 공상접촉시간의 역수이다. 즉 1시간에 통과하는 수량이 입상활성탄 용적(m^3)의 몇 배가 되느냐를 나타낸 통과수량($m^3/m^3 \cdot h$)이다

③ 선속도(Linear velocity)

처리수량을 흡착지의 면적으로 나눈 값으로 여과속도에 해당된다. 중력식 고정상인 경우에는 10~15 m/h, 가압식인 경우 15~20 m/h, 유동상인 경우 10~15 m/h 정도이다.

입상활성탄 흡착공정의 앞 단계에서 염소처리를 실시한 경우에도 활성탄 지내에서 미생물이 번식하며 이를 먹이로 하여 미소동물이 증식하는 경우가 있으므로 이러한 경우의 세척빈도는 손실수두에만 따라 세척하지 말고 미소동물의 생명주기(Life cycle) 등을 모두 고려하여 정하고, 이때 정수로 세척하더라도 단기간이기 때문에 생물활성탄의 처리효과에는 거의 영향을 주지 않는다.

나. 운영·유지관리

활성탄 흡착지 운전은 일반적인 모래 여과지의 운전과 유사하므로 이를 참조할 수 있으며, 다만 역세척시 여상팽창은 최소한으로 억제해야 하며, 활성탄의 비중이 작으므로 역세척수의 공급율도 낮추어야 한다. 흡착지 유출수는 주기적으로 검사하여 활성탄으로 흡착하고자 하는 오염물질의 누출여부를 확인하여야 하며, 냄새물질, 트리할로메탄, 소독부산물, 음이온 계면활성제 등이 흡착대상물질로 인식되고 있다.

역세척속도는 사용하는 입상활성탄의 종류에 따라 다르며 동일 역세척속도에서 탄층팽창률은 수온의 영향을 받는데 일반적으로 탄층팽창률이 20~40 % (평균 25 %)정도가 되도록 역세척한다. 실 예로, 야자계 활성탄에서는 수온 20 °C, 팽창률 40 %일 때의 역세척유속은 약 $0.48 m^3/m^2 \cdot \text{분}$ 으로 되며, 일반적으

로 입경이 동일한 경우에 모래여과지보다 느리다. 입상활성탄은 비교적 가벼우므로 역세척시 과도한 팽창이나 유실이 발생할 우려가 많으므로 역세척 수량의 공급에 주의하고 역세척시 과도한 교란은 오히려 효율저하의 원인이 된다. 물에 의한 역세척을 보조하는 공기세척은 입상활성탄 입자의 유실과 마모 및 잔류 기포에 의한 편류와 같은 문제가 있지만, 입상활성탄 입자 상호간의 전단력이 크기 때문에 물에 의한 역세척만으로는 세척이 불충분할 경우에 공기세척을 병용하는 방식이 더 효과적이다.

장래 수질기준이 엄격해질 것을 예상하여 보통의 여과층을 활성탄(GAC)여재로 교체하는 계획을 수립할 경우 가장 짧은 공탐접촉시간(EBCT) 10분인 활성탄여과에 필요한 접촉시간을 확보하기 위하여 보통의 여과지를 신설 할 경우에도 활성탄여과에 대응할 수 있도록 깊게 하는게 좋은데, 240 m/d 여과속도에서 10분의 공탐접촉시간을 확보하기 위해서는 최소한 1.7 m 여층두께가 필요하다.

이중여재 여과지에서 안트라사이트 여재를 GAC 여재로 바꾸면 여과지 구조물이나 여재 설계, 그리고 역세척 기법이 매우 중요해지는데 안트라사이트의 밀도가 GAC의 밀도 보다 더 크기 때문에 여재 크기가 비슷할 때 GAC의 역세척 속도가 더 낮다. 그러나 GAC 아래에 모래층이 존재할 경우에는 상승속도가 모래와 GAC가 유동화세척이 될 수 있도록 비중이나 균등계수 적정해야 한다. 이중여재 및 다중여재 여상에서는 떨어진 고형물을 여과지에서 제거하고 여재층을 재생충화하기 위해 유동화 행균(rinse)이 반드시 필요하나 단일여재의 경우 유동화를 위해 필요한 세척수 상승속도는 여재의 직경이 증가함에 따라 증가한다.

Kawamura, Najm, and Gramith(1997)는 역세척수 트라프의 측면벽에 단순한 도류벽을 설치함으로써 GAC 여재손실을 70 % 까지 줄일 수 있었다고 보고했다

입상활성탄을 일정기간 사용하여 흡착력이 없어지면 재생을 하는데 재생효과는 신탄에 비하여 83~97 %의 흡착능 회복률을 보이고, 기존의 흡착시설에 추가하기 쉬울 뿐 아니라 경제성에서도 신탄가격의 10~20 % 정도의 비용이 소요되는 등 여러가지 장점을 가지고 있다.

GAC(BAC)공정의 미생물 추가 제거능 향상방안

2차적 여과지는 침전지와 여과지가 있는 기존공정 후단에 추가적으로 설치된 여과지로 입상활성탄, 2차 급속여과 및 완속여과, 이중여재 여과 등으로, 이러한 급속여과지와 같이 응집제 투입이 없는 정수장의 후단에 추가로 설치된 여과지는 2차적인 여과지로 병원성미생물에 대한 제거능을 향상시켜 아래와 같은 조건을 만족할 경우 먹는물에 안전성을 추가적으로 확보하는 방안이 될 수 있다.

- ① 1차적 여과지의 전단에 응집제의 투입이 반드시 수행되어야한다.
- ② 기존의 1차적 여과지를 통과한 전량의 처리수가 2차적 여과지를 통과할 경우 인정한다.
- ③ 1차적 여과지 유출수 탁도의 4시간 간격 측정값과 2차적 여과지 유출수 탁도값을 비교하여 항상 1차적 여과지 유출수 탁도 보다 2차적 여과지의 유출탁도가 낮은 경우에 병원성미생물에 대한 제거능을 인정한다. 이때 2차적 여과수의 탁도가 높을 경우 여과시설의 점검사항으로는
 - 역세척이 충분히 이루어지는지 검토(역세압력, 탄층 팽창율, 활성탄층 두께, 오염도 등)
 - 하부집수장치 점검 등이다.

A thick gray horizontal bar spans the width of the page. To its right, a gray square is partially visible, with its top half being a lighter shade of gray.

9

소독시설 유지관리

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy lines in various shades of gray, starting from the left edge and curving upwards towards the right.

9

소독시설 유지관리

상수도에서 소독은 염소, 차아염소산나트륨, 오존, 자외선 등에 의한 방법이 주로 사용되고 있으며, 「수도법」 및 「수도법시행규칙」에 의해 수도꼭지에서 일정농도의 잔류염소를 유지하도록 규정하고 있다.

염소는 국내 정수장에서 가장 널리 사용되는 소독제이다. 염소제의 장점은 소독효과가 우수하고 대량의 물에 대해서도 용이하게 소독이 가능하며 소독효과가 잔류하는 점 등을 들 수 있다. 한편 트리할로메탄(THMs ; Trihalomethanes) 등의 유기염소화합물을 생성하며 특정물질과 반응하여 냄새를 유발하기도 하고 암모니아성질소와 반응하여 소독효과를 약하게 하는 등의 문제가 있을 수 있다. 또한, 염소 내성 미생물인 크립토스포리디움(*Cryptosporidium*) 등 병원성 미생물에 의한 오염문제를 계기로 염소제에 의한 소독이 완전하다고는 단언할 수 없다는 것이 판명되고 있다.

오존은 매우 강력한 살균효과를 가지고 있어서 바이러스나 원생동물의 포낭을 쉽게 무력화시킬 수 있다. 그러나 염소와 같은 잔류효과가 없으며 수중의 유기물질과 반응하여 유해한 소독부산물을 생성할 가능성도 있다. 자외선 또한 효과적인 병원성미생물의 소독방법으로 주목되고 있다. 자외선은 오존과 마찬가지로 잔류효과가 없으나, 유해한 소독부산물을 생성하지 않으며 바이러스와 원생동물을 효과적으로 불활성화시킬 수 있으며 조작과 관리가 간편하다.

따라서 소독제의 조건으로는 용해도가 높고, 독성 부산물이 적으며 경제성이 있어야 하고 잔류성이 있으며, 소독력이 강할 뿐만 아니라 주입 조작이나 소독제의 모니터링이 용이하여야 한다.

9.1 염소 소독시설

9.1.1 개요

상수도에 사용되는 염소제로는 일반적으로 수중에서 용이하게 차아염소산 및 차아염소산이온을 생성하고 소독효과를 확실히 발휘할 수 있는 약제를 말하며, 액화염소(Cl_2), 이산화염소(ClO_2), 클로라민(Chloramine), 차아염소산나트륨(NaOCl) 및 차아염소산칼슘 [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] 등이 있으나, 국내에서는 일

반적으로 액체염소, 차아염소산나트륨이 사용되고 있어 이들 두가지 염소제에 대해 중점적으로 고찰하기로 한다.

염소제의 선정은 특성, 유지관리의 난이도 및 안전성 등을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 중규모 이하의 상수도에서는 시판 또는 자가 생성 차아염소산나트륨을 사용되고 있으나, 운반과정에서의 사고로 인한 2차 재해방지 등을 고려할 때 자가제조하는 방안을 고려할 필요가 있다.

액화염소는 저장이나 주입에 어려움이 있어 보다 안전하고 취급하기 쉬우며 제해설비가 필요 없는 차아염소산나트륨으로의 전환을 검토할 필요도 있다. 전환 가능 여부는 경제성 등도 충분히 고려되어야 하지만 기존의 액화염소설비의 운영, 유지관리에 따른 애로점, 예상되는 위험도 및 대응 정도 등을 고려하여 판단하여야 할 것이다.

수도법에 의한 수질기준에서는 급수전 수돗물에서 유지되어야 할 잔류염소의 농도를 규정하고 있다. 염소소독은 트리할로메탄 등 유기염소화합물을 생성하며 특정물질과 반응하여 냄새를 일으키기도 하지만, 소독효과가 우수하고 대량의 물을 쉽게 소독할 수 있으며 잔류효과 등으로 염소의 의한 소독은 가장 현실적이고 우수한 소독방법으로 가장 오랫동안 이용되어 왔다.

9.1.2 특성

가. 염소의 성질

정수장에서 사용하는 액화염소는 염소가스를 압축하여 액상으로 변화시킨 염소로서 상온 상압에서 황록색의 자극성 냄새가 나는 기체이다. 물에 녹아서 황색을 나타내며, 염소가스를 냉각시키면서 압축하며 0℃에서 3.7기압, 20℃에서 6.6기압으로 액화된다. 상온에서 염소기체는 공기무게의 2.5배로 공기보다 무거워 누출 시 하부에 위치하게 된다. 액화된 염소는 비중 약 1.56의 오렌지색의 액체로 염소용기에 채워 운반된다. 용기에는 통상 상온에서 90%의 액화염소와 약 10%의 고압염소가 충전되어 있다. 액화염소가 가스로 기화되면 약 460배(0℃, 1기압) 용적의 가스로 팽창한다.

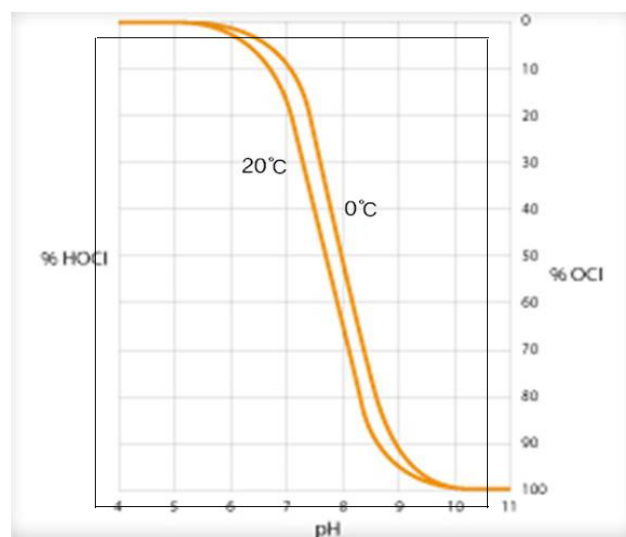
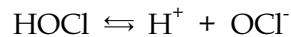
염소의 용해도를 보면 20℃에서 0.71%, 9℃에서는 1%이다.

나. 염소화학

염소가스가 물에 용해되면 급격히 가수분해 반응이 일어난다. 염소는 물과 빠르게 반응하여 차아염소산(HOCl)과 염산(HCl)을 생성한다.



차아염소산(Hypochlorous acid)은 수소이온과 차아염소산 이온(Hypochlorite ion, OCl^-)으로 해리되고, 수중에서 HOCl 과 OCl^- 의 양은 <그림 9.1>과 같이 pH와 온도의 함수이다. 여기서 HOCl 은 OCl^- 보다 소독력이 월등히 우수하다. pH가 증가하면 OCl^- 의 농도가 증가하여 산화효과가 감소하게 된다. 따라서 이상적인 소독의 조건은 낮은 pH(6~7), 비교적 높은 온도(20~25 °C), 긴 접촉시간(30분 이상), 고농도의 잔류염소의 유지(0.5 mg/L) 등이다.



<그림 9.1> 온도와 pH 변화에 따른 HOCl 과 OCl^- 비율

다. 염소의 장단점

염소의 장점은 강한 산화력으로 소독효과가 우수하고 가격이 저렴하며, 소독의 잔류효과가 우수하여 관로에서 미생물의 재성장을 방지할 수 있다. 또한, 대용량의 수처리가 용이하고 오랫동안 소독제로 사용되어 왔다는 점이다.

단점으로는 천연유기물과 반응하여 THMs, HAAs(Haloacetic acids) 등의 소독부산물을 생성하고 pH가 소독효과에 영향을 미치게 된다. 또한, 염소소독으로 인한 냄새로 불쾌감을 줄 수 도 있고, 상대적으로 접촉시간이 필요하며 위해를 방지하기 위한 제해설비가 필요하다.

라. 염소의 독성

염소가스의 공기 중 허용농도는 1 mg/L 이하이며 고농도로 공기 중에 노출되면 위험할 수 있으므로 취급에 주의를 기울려야 한다. 극소량에서도 눈, 코, 인후의 점막을 자극하고 다량 흡입하면 질식하여 호흡곤란을 일으켜 위험하다.

- (1) 냄새를 느끼는 최저농도 3.5 ppm(0.011 mg/L)
- (2) 인후를 자극하는 최저농도 15.1 ppm(0.048 mg/L)
- (3) 기침을 하는 최저농도 30.2 ppm(0.096 mg/L)
- (4) 30분에 위험을 일으키는 농도 40~60 ppm(0.127~0.190 mg/L)
- (5) 순간적으로 치사하는 농도 1,000 ppm(3.16 mg/L)

그러나 염소가 물에 용해하는 경우에는 독성이 심하지 않은데 동물실험에 의하면 생쥐에 염소 100 mg/L을 포함한 물을 50일간 마시게 하였으나 체중의 증감이나 내장에 아무런 이상도 인정할 수 없었다. 또한, 미국 군대가 해외에서 200인에게 잔류염소 32 mg/L을 포함한 물을 수개월간 연속 사용하였으나 아무런 나쁜 결과도 나타나지 않았다고 보고하고 있다.

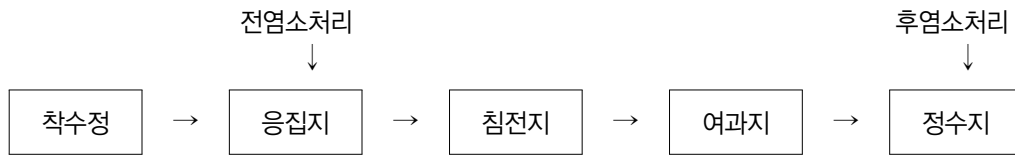
9.1.3 염소공정의 적용

가. 전염소 및 후염소처리공정

정수장에서 염소는 정수처리공정의 여러 단계에서 주입되는데, 주입지점에 따라 전염소처리와 후염소처리로 나눌 수 있다. 전염소처리는 혼화지나 원수가 유입되는 구조물에서 주입한다. 전염소처리의 목적은 원수중의 염소요구량 만족, 조류의 사멸, 암모니아성 질소의 제거, 철 및 망간의 산화, 맛 및 냄새물질의 제거 등으로 응집, 침전공정 전에 주입한다. 전염소처리는 염소가 유기물질과 접촉시간이 연장되므로 트리할로메탄과 같은 소독부산물 생성에 주의하여야 한다.

후염소처리는 수인성미생물의 살균을 목적으로 급수전단계인 정수지에 투입한다. 후염소처리는 정수처리공정의 마지막 단계로서 일정농도의 잔류염소를 유지하도록 하여야 한다. 소독력은 유리염소가 더 강하지만 잔류성에 있어서는 결합염소가 우수하다.

〈그림 9.2〉는 일반적인 정수처리공정에서 전염소 및 후염소처리시의 주입지점을 나타내었다.



〈그림 9.2〉 전염소와 후염소처리의 염소주입지점

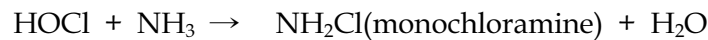
나. 기타 염소처리 방법

전염소 및 후염소처리 이외에 정수장의 여러 상황에 따라 중간염소처리, 과염소처리, 탈염소처리 및 재염소처리를 시행하는 경우도 있다.

중간염소처리는 정수처리 공정의 중간지점에 또는 다양한 공정들의 사이 지점에 염소를 투입하는 것이다. 주로 여과 전에 염소를 주입하는 방법에 적용되고 있으며, 이는 여재에 미생물이 축적되는 것을 최소화하고 여과지의 운전시간을 늘린다. 간헐적 또는 연속적으로 투입할 수 있는데 연속적인 투입으로 소독 부산물 생성의 원인이 될 수도 있다.

수중에 암모니아, 아민류, 아민산류의 화합물이 존재하면 유리염소는 이들과 반응하여 다음과 같이 3가지 형태의 클로아민(Chloramine)을 생성한다.

이러한 반응은 단계적으로 진행되며 수온, pH, 접촉시간, 초기 암모니아와 염소의 비율에 따라 다르다.



일반적으로 과염소처리는 10~50 mg/L의 염소를 투입하는 것으로 높은 농도의 암모니아를 포함하는 물을 처리할 목적으로 적용을 하고 있으나, 소독부산물의 생성을 신중히 고려하여야 한다.

NH_2Cl 은 염소투입량이 수중의 암모니아량의 5배까지 일 때 주로 생성되는 물질이고 염소투입량이 5~9배일 때에는 NHCl_2 이 생성된다.

탈염소처리는 염소가 주입된 물로부터 과량의 염소를 제거하는 공정이다. 일반적으로 사용되는 염소제거제는 이산화황(SO_2), 아황산나트륨(NaHSO_3), 황산나트륨(Na_2SO_3), Sodium Metasulfite, 티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 등이 있다.

재염소처리는 급수관망에 보내진 후 물에 염소를 다시 투입하는 공정이다. 정수된 물이 관말까지 도달하는데 급수관망이 긴 경우에 관망 내에서 염소요구량이 증가한다. 이 경우에는 관망의 적당한 지점에 추가적으로 염소를 주입하여야 한다. 최근 재염소처리를 위해 운영, 관리, 위험도 등을 고려하여 차아염소산나트륨 설비를 갖추어 현장에서 투입하는 방식을 적용하기도 한다.

또한, 관망에서의 잔류염소를 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

9.1.4. 염소 주입설비의 분류 및 유지관리

염소주입설비는 진공조절기, 이젝터(Ejector), 급속분사교반기, 염소용기 계량기, 염소용기, 중화설비, 기타 배관 및 밸브로 구성된다. 염소주입설비는 염소의 주입방법과 기화방법에 따라 크게 구분할 수 있다.

가. 염소 주입방법에 의한 분류

주입방식에 의한 염소설비의 분류는 <표 9.1>과 같이 크게 건식과 습식으로 구분하고 습식방식은 진공식과 압력식으로 나눌 수 있다.

<표 9.1> 주입방식에 의한 염소설비의 분류

종 류		구 조	특 징
습식 : 기화시킨 염소가스를 물에 용해시켜 농도가 높은 염소수를 만들어 처리할 물에 주입하는 방법	진공식	압력수를 이젝터에 통과시켜 진공을 형성시켜 염소를 흡입하여 압력수와 혼합하여 염소수를 만들어 주입	• 주입기 내부가 부압(負壓)으로 염소 누출 우려가 적다 • 사용 후 염소용기내의 염소 잔량이 적다 • 압력식에 비해 다소 고압(2~4 kg/cm²)의 물이 필요하다
	압력식	염소용기 자체의 가스 압력에 의해 염소가스를 물에 용해시켜 염소수를 만들어 주입	• 저압(1.7 kg/cm²)의 물로도 주입이 가능하다 • 구조가 간단하여 고장이 적다. • 외부에서 감시가 용이하다 • 용해효율이 낮다 • 주입기 내부에서 염소누출 우려가 있다 • 사용 후 염소용기내의 염소잔량이 진공식보다 많다 • 소용량에 사용된다
건식 ; 액체염소를 기화시켜 가스상태로 처리할 물에 주입하는 방법		염소용기 자체의 압력을 이용하여 물에 직접 주입하는 방식	• 압력수가 필요없다 • 소규모 상수도에 사용 가능하다 • 구조가 간단하고 설치비용이 저렴하다 • 염소가 공기중에 방산(放散)하기 쉬우므로 위험하다 • 균등한 주입이 어렵다 • 철판류를 부식하기 쉽다

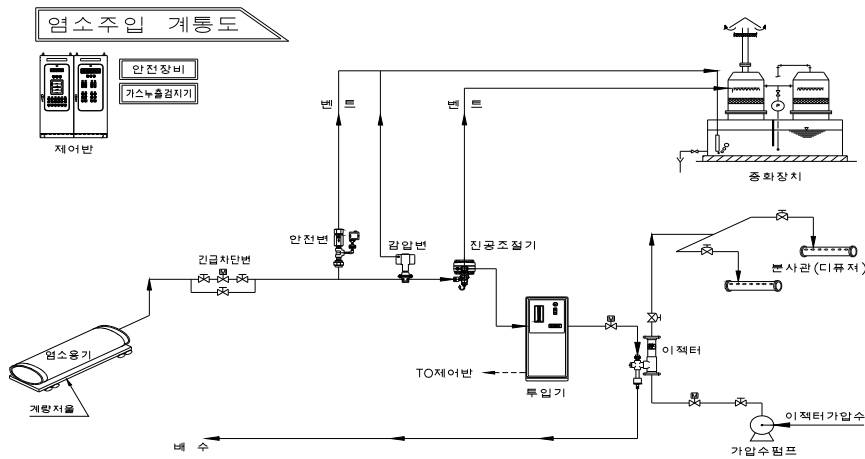
나. 염소 기화방법에 의한 분류

(1) 자연기화방식

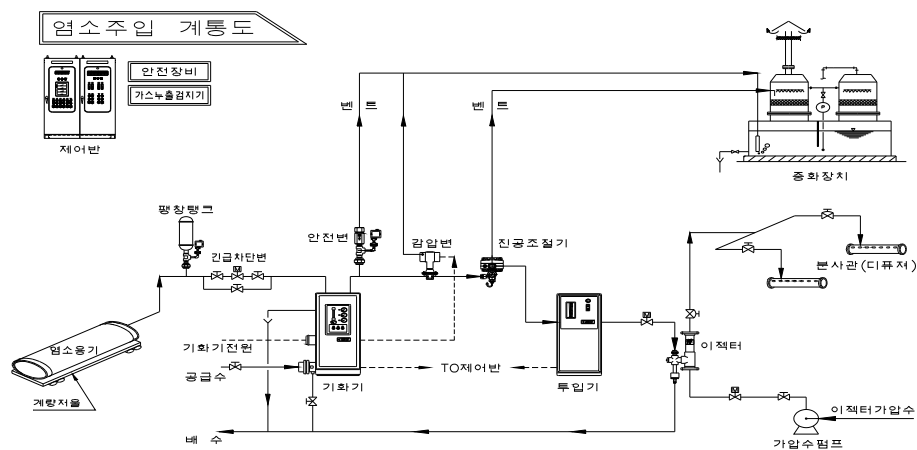
자연기화방식은 <그림 9.3>과 같이 소용량의 염소를 사용하는 경우에 적용이 되고 있다. 즉, 액체염소 용기내에서 기화한 염소가 투입기를 통해 직접적으로 물에 투입되는 방식이다.

(2) 강제기화방식

저온 시($7\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$) 자연기화가 곤란한 지역이나 자연기화량보다 많은 주입량을 필요로 하는 경우에 강제기화방식이 사용되며, <그림 9.4>의 구성도에서와 같이 일반적으로 주입량이 20 kg/h 이상인 경우에 많이 사용된다.



<그림 9.3> 액체염소의 자연기화방식의 구성(예)



<그림 9.4> 액체염소의 강제기화방식의 구성(예)

다. 염소주입설비

염소주입에 관한 중요한 사항은 다음과 같다.

- (1) 기화기를 사용하지 않고 염소용기로부터 염소를 직접 취하는 경우 기화열은 공기로부터 용기의 본체를 통해 공급되어야 한다. 실온이 15~20 ℃일 때 100 kg 용기 1개로부터는 시간당 약 0.8~1.0 kg, 1 ton 용기로부터는 시간당 약 6~8 kg의 염소를 취함이 적당하다.
- (2) 염소사용량이 많은 경우에는 기화기를 사용하는데 일반적으로 시간당 15~20 kg 정도이다.
- (3) 염소설비는 소독이 중단되지 않도록 항상 정비하고 사고에 대비하여야 한다. 특히 염소용기를 기화기에 연결할 때는 연결나사나 누출방지용 고무링 등에 이물질의 혼입 유무를 확인한 후 접속하여야 한다. 기화기 수조는 월류관을 설치하여 수위가 넘치지 않게 하고 물이 증발하여 수위가 낮아지는 경우가 없도록 하며, 수조내 침전물을 방지하기 위해 3개월에 한번 씩은 갈아주도록 한다. 기화기는 매일 일상점검, 6개월마다의 정기점검 및 정기정비로 구분하여 시행하여야 한다.
- (4) 염소주입장소는 착수정, 정수지, 배수지의 입구 등에서 염소와 물이 충분히 혼합할 수 있도록 하고, 배수지나 정수지에서는 도류벽을 설치하여 흐름이 plug flow 형태를 이루도록 하는 것이 바람직하다. 정수지나 배수지 유출부 기타 적당한 장소에서 정기적으로 잔류염소를 측정하고 주입량이 균등하게 유지되고 있는지 검사하여야 한다.
- (5) 염소주입량을 미리 추정하기 위해서는 ① 급수전수에서 유지해야 할 잔류염소 농도 ② 물과 접촉하는 수도시설에 의해 소비되는 염소량 ③ 물의 염소요구량과 염소소비량의 세가지 조건을 고려할 필요가 있으며, 액체염소의 주입량 계산은 다음 식을 이용해 산출한다.

$$V = Q \times R \times 10^{-3}$$

여기서, V : 질량주입량(kg/h)

R : 염소주입율(mg/L)

Q : 처리수량(m³/L)

- (6) 평상시 염소주입량은 관말에 있어서 유리잔류염소가 0.1 mg/L 이상(결합잔류염소의 경우에는 0.4 mg/L) 유지되도록 하다. 단, 다음과 같은 경우에는 유리잔류염소로 0.4 mg/L(결합잔류염소로는 1.8 mg/L) 이상으로 하여야 한다.

유리잔류염소, 결합잔류염소

염소는 물에 용해되면 물과 반응하여 차아염소산(HOCl)과 염산으로 되며 차아염소산은 그 일부가 차아염소산이온(OCl^-)과 수소이온으로 해리되는데, 차아염소산과 차아염소산이온을 유리염소 또는 유리잔류염소라 부른다. 한편 염소는 수중의 암모니아화합물과 반응하여 클로라민을 생성한다. 클로라민은 반응진행정도 및 pH에 따라 모노클로라민(NH_2Cl), 디클로라민(NHCl_2) 및 트리클로라민(NCl_3)으로 존재한다. 모노클로라민과 디클로라민을 결합잔류염소라 한다. 유리잔류염소와 결합잔류염소와의 살균력에는 차이가 있으며 가장 좋은 조건하에서 동일한 접촉시간으로 동등한 소독효과를 달성하기 위해서는 결합잔류염소는 유리잔류염소에 비하여 25배의 양을 필요로 하고, 동일한 양을 사용하여 동등한 효과를 올리기 위해서는 약 100배의 접촉시간이 필요하다.

- ① 수원부근 및 급수구역, 그 부근에 있어 소화기계 전염병이 유행하고 있을 때
- ② 전 구역에 걸치는 광범위한 단수 후 급수를 개시할 때
- ③ 홍수 또는 갈수 등으로 수질이 나빠졌을 때
- ④ 정수과정에 이상이 있을 때
- ⑤ 배수관의 대규모 공사나 수도시설이 현저히 오염될 것으로 예상될 경우
- ⑥ 기타 특히 필요하다고 생각될 때

9.1.5. 염소 저장시설의 유지관리

가. 저장량과 안전관리

액체염소는 공장에서 충전된 용기(50 kg 또는 1 ton 용기)를 저장하여 사용한다. 항상 사용량 10일분 이상에 해당하는 양을 확보하여야 하며, 특히, 액체염소 1 ton을 저장하는 경우 특정고압가스 소비자로서 안전관리 총괄자 1인과 각 사업소마다 안전관리 책임자 1인과 안전관리인 1인 이상을 두어 관련법에 따라 관리하여야 한다.

나. 저장설비의 운영관리

- (1) 염소가스가 충전된 용기는 반드시 정해진 저장소에 보관, 사용하여야 한다. 충전용기와 사용이 끝난 용기는 표시를 하여 구분하고, 염소용기 입하시에는 각종 안전검사를 한다.
- (2) 염소가스의 누출여부는 암모니아수를 용기주입구 근처에 도포하면 염소가 누출될 경우 흰색연기가 나타난다($\text{NH}_4\text{OH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$).
- (3) 연소용기를 운반할 때에는 캡 또는 커버를 씌워 밸브를 보호하고 충격을 주지 말아야 한다.

- (4) 원밸브의 고장이 가장 많이 발생하므로 개폐시에는 너무 강하게 다루지 않도록 하고 전용 핸들을 사용하거나 150 mm 이하의 렌치스패너를 사용하여야 한다.
- (5) 사용이 끝난 용기는 바로 밸브와 뚜껑을 닫고 내부에 습기나 먼지가 들어가지 않도록 한다.
- (6) 고압가스안전관리법에 의한 염소용기의 재검사 기간은 <표 9.2>와 같다.

〈표 9.2〉 염소가스용기의 재검사 기간

용량 \ 제작기간	15년 미만	15년~20년	20년 이상
1 ton 용기	5년	2년	1년
100 kg 용기	3년	2년	1년

다. 염소농도 측정 및 확인

염소주입에 의하여 확인된 잔류염소는 물의 안전도를 확보하고, 배수계통에 있어서는 불의의 오염에 의한 사고를 방지할 수 있다. 그러므로 배수계통에서 잔류염소가 검출되지 않거나 검출량에 이상한 변동이 발생할 경우에는 즉시 원인을 파악하고 그에 대한 조치를 취하지 않으면 안 된다.

정수지에 설치된 자동측정기의 값은 수시로 확인하여야 하며 정수장내의 정수지 유출부 등 적합한 위치에서 매일 1회 이상 잔류염소 값을 실측하여 확인하고, 관망도 등을 검토하여 주기적으로 관말지역에 대한 잔류염소를 측정하여 주입농도에 대한 피드백을 해야 한다.

라. 설비의 안전성 유지

- (1) 소독설비의 설계와 취급은 안전규칙과 관련 법규를 엄격히 지키지 않으면 안 된다. 염소설비가 주택지역 내에 있다면 염소가스가 누출될 경우에 대비하여 적절히 대응할 수 있는 중화설비는 물론 방재장비를 갖추어야 한다.
- (2) 고압가스안전관리법에 의해 고압가스 저장소의 액체염소는 엄격히 관리하도록 규정하고 있는데, 액체염소 1,000 kg 이상을 저장하는 저장소의 허가를 받기 위한 자는 허가검사에서부터 1년에 1회 정기 및 자율검사를 실시하도록 하고 안전교육을 시행하여야 한다.
- (3) 산업안전보건법에 의하면 20톤(저장량 포함) 이상의 염소가스를 취급하는 자는 공정안전자료, 공정위험평가서, 안전운전계획, 비상조치계획 등이 포함된 공정안전보고서를 고용노동부장관에게 제출하여야 한다.
- (4) 국소배기장치, 누출방지조치, 경보설비 및 긴급차단장치를 설치하여야 하고 위험을 방지하기 위한 작업수칙, 탱크 내 작업, 사고 시 대피 등의 작업방법을 구체적으로 수립하여야 한다.

특히, 20톤(저장량 포함) 이상의 염소가스를 취급하는 자는 6개월에 1회 이상 작업환경 측정기록을 보전하고 노동관서에 보고하고 고용노동부장관에게 공정안전보고서를 제출하여야 한다. 또한 작업자의 건강진단을 실시하고 기록을 보고하며, 특수건강진단도 실시하여야 한다.

- (5) 10톤 이상(최대)을 저장하거나 연간 450톤 이상의 염소가스를 취급하는 자는 유해화학물질관리법에 따라 유해성에 관한 자료, 방제시설 및 보유현황, 화학물질안전관리, 조직인력구성도, 응급조치 계획에 포함된 사항을 수립하여 시도지사에게 보고하여야 한다.

마. 제해 및 배액처리

- (1) 염소가스의 누설 시 중화제로서 가성소다용액, 소다회용액, 석회유, 소석회가 있는데, 가성소다용액이 적합하며 널리 사용된다.
- (2) 가성소다용액을 수입한 경우에 농도는 45 %인데, 석출, 동결 등의 문제가 있으므로 15~20 %로 희석하여 사용한다.
- (3) 제해장치로서 염소가스가 누출된 경우에 이를 흡수하여 중화 처리할 수 있는 설비가 완비되어야 하며, 만일 염소가 누출되어 일정농도 이상이 되면 누출검지기가 검지하여 운전실에 통보되고 자동으로 중화장치가 작동되어야 한다. 누출검지기는 염소투입실과 저장실 바닥면 둘레에 10 m당 1개 이상 설치하는 것이 바람직하다.
- (4) 중화설비 내의 가성소다 저장탱크에서 수분이 증발하고 가성소다액이 석출되어 배관 및 펌프의 회전차를 폐쇄하는 경우가 있으므로 정기검사를 하고 물을 보충해 주어야 한다. 특히 동절기 가성소다가 석출될 우려가 있으므로 히팅 코일 설치로 결정 석출을 방지하고 중화설비는 적정한 실내온도를 유지하도록 한다.
- (5) 가성소다용액과 염소가 반응하면 차아염소산나트륨, 소금 및 물이 생성되는데, 차아염소산나트륨은 pH가 높고 염소농도가 높음으로 배액처리는 전문업체에 위탁 처리함이 바람직하다.

바. 염소중독시 응급조치요령

- (1) 콧물이 나오는 경우는 바람이 양호한 장소에서 편히 휴식한다. 증상이 심할 때에는 2 %의 중탄산소다로 비강을 씻어낸다.
- (2) 눈에 접촉하여 통증이 있을 경우 즉시 다량의 물이나 생리식염수로 소독을 실시한 후(약 30-60분) 살균된 붕대로 감싸고 즉시 의학적인 조치를 취한다.
- (3) 증상이 무거운 때는 염소가스가 없는 장소로 옮겨 곧바로 의사를 부른 후 머리와 등을 높게 하고 몸을 따뜻하게 하여 눕힌다. 염소가 부착되었던 의류는 곧바로 벗기고 피부에 묻은 염소는 온수로 씻어 낸다.

- (4) 호흡이 곤란할 때는 산소흡입을 2분 실시 후 2분 멈춤 등을 30분 이내에 실시한다. 호흡이 멈췄을 때는 압박법으로 인공호흡을 한다(단, 1분에 8회 미만으로 실시한다).

9.2 차아염소산나트륨 소독시설

9.2.1 개요

일반적으로 차아염소산나트륨은 가성소다용액에 염소를 흡수시켜 제조한다. 유효염소농도는 보통 5~12 % 정도의 담황색 액체이다. 이러한 차아염소산나트륨은 용기에 충전한 것을 탱크로리로 운반하여 저장조에 이송한 후 사용하는 방식과 현장에서 소금을 분해하여 저농도의 안전한 차아염소산나트륨 용액을 생성시켜 주입하는 두 가지 방식이 있다.

염소가스와 동일한 소독효과를 갖는 반면 처리수 주입후 부산물로 형성되는 수산화이온(OH^-)의 영향으로 수중의 알칼리도, pH를 적절히 유지하고 설비 및 관로 부식을 억제하는 부차적인 효과를 갖는다.

액체염소는 안정성 문제 등 위험성이 있어 다음과 같은 경우에 차아염소산나트륨으로의 전환을 고려할 필요가 있다.

- (1) 대지진 발생 가능성이 높은 지역
- (2) 정수장 주변의 인구밀도가 높아 염소가스가 누설되면 큰 피해가 예상되는 경우
- (3) 액체염소 사용에 동반되는 보안관리를 충분히 실시할 수 없는 상황인 경우

차아염소산나트륨은 염소보다 가격이 비싸지만, 염소에 비해 안전하고 최근 재염소시설이나 소규모 무인정수장과 하수처리장에서 사용되고 있는 추세이다.

본장에서는 주로 현장제조용 차아염소산나트륨에 대해 살펴보기로 한다.

9.2.2 특성

가. 차아염소산나트륨의 성질

시판 차아염소산나트륨은 안정제로 가성소다를 추가로 주입하므로 높은 pH(11.2 이상)를 갖는다.

차아염소산나트륨 용액의 사용에 있어서 가장 큰 문제점은 1주일 이내에 유효염소의 상당부분을 상실한다는 점이다. 용액의 농도가 높고, 온도가 높을수록 품질 저하율이 증가한다. 하절기 12.5 % 용액은 20일 경과하면 유효염소의 약 25 % 상실하게 된다. 보통 10~15 %인 경우 최대저장기간을 60~90일로 유지하는 것이 바람직하다. 차아염소산나트륨은 불안정하고 상온에서도 보존 중에 산소를 방출하고 분해되는데 특히, 일광, 자외선, 중금속, 온도상승 및 pH 가 낮아지면 분해를 촉진하게 되므로 주의하여 저장하여야 한다. 반면에 현장에서 설비를 설치하여 생산하는 차아염소산나트륨은 이러한 문제점을 해소할 수 있다.

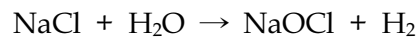
나. 제조방법

(1) 발생원리

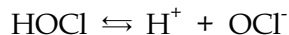
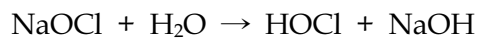
시판 차아염소산나트륨 용액은 수산화나트륨용액에 염소를 흡수시켜 제조하는데 유효염소가 5~12 %의 황갈색의 투명한 액체이고 염소와 유사한 특유의 냄새를 갖는다.



현장에서 제조하는 차아염소산나트륨의 발생원리는 순도 96 % 이상의 소금과 물(연수기를 거친 물)로 과포화된 소금물을 전기분해하여 생산한다.



차아염소산나트륨이 물에 용해되면 다음과 같이 HOCl이 생성되어 소독효과를 갖게 된다.



(2) 현장제조형 차아염소산나트륨 발생방식

현장 제조시에는 전기분해할 때 부산물로 수소가스가 발생한다. 수소는 가연성가스로 제조시 팬을 설치하여 옥외로 방출한다. 발생 차아염소산나트륨을 저장조로 이송할 때는 수소의 혼입을 방지하는 장치를 설치한다. 발생방식으로 무격막방식과 격막방식이 있다.

① 무격막방식

전기분해조에 양극판과 음극판이 설치되며 두판 사이를 구분하는 격막이 없다. 공급된 소금물은 전기분해되어 양극(+)에서는 염소가 발생하고 음극(-)에서는 H_2 가스와 OH^- 이온이 생성된다. 음극측

에서는 Na^+ 이온과 OH^- 이온으로 수산화나트륨(NaOH)이 생성되고, 양극에서 생산된 염소와 음극에서 생성된 수산화나트륨이 반응하여 NaOCl 이 생성된다. 생성된 용액의 유효염소농도는 1 % 전후이다.

② 격막방식

전기분해조의 양극과 음극간에 이온교환막을 설치하여 양극측에 소금물, 음극측에 물을 공급하면 양극에서 염소가 발생하고 Na^+ 이온이 교환막을 투과하여 음극으로 이동한다. 음극에서 H_2 가 발생하며 OH^- 이온이 생성된다. 그리고 양극에서 이동해온 Na^+ 이온과 OH^- 이온 NaOH 이 생성된다. 양극의 염소가스와 음극의 NaOH 가 반응탑에서 반응하여 수산화나트륨이 생성된다.

다음 <표 9.3>에서는 차아염소산나트륨과 염소가스의 장단점 등을 비교하였다.

<표 9.3> 차아염소산나트륨과 염소가스의 장단점 비교

구 분	차아염소산나트륨	염소가스
원 료	포화소금물 + 직류전기	액화염소가스
생성원리	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + e \rightarrow \text{NaOCl} + \text{H}_2 \uparrow$	$2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + e \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$
농도	유효염소 기준 0.8(± 0.1) % 용액	유효염소 기준 99.5 % 의 액화가스
소독효과	염소제로 동일함	
부산물	가성소다(NaOH)	염산(HCl)
안전성	저농도로 안전하고 별도 제해설비 불필요하고 고압가스안전관리법 대상시설 아님	맹독성으로 취급주의 필요, 유출시 대형사고 우려
장 점	- 현장에서 간단히 생산 사용가능, 안전한 대체 소독방법으로 이용 - 부산물로 OH^- 이온이 발생되어 수중 알카리도와 pH를 적정유지로 관로 등 부식방지효과	저렴하며, 취급 및 운영기술의 노하우 축적, 살균 이외에 산화제로 다양하게 이용
단 점	THM 등 발암물질생성, Na^+ 이온의 생성으로 수질면에서 불리한 측면이 있고, 불안정한 물질로써 염소산염의 생성이 우려	- 유독가스의 유출위험 내재, THM 등 발암물질생성 - 부산물로 H^+이온이 발생되어 수중의 알카리도와 pH를 떨어뜨려 부식촉진

9.2.3 주입방식

차아염소산나트륨의 주입방식에는 자연유하방식, 이젝터방식 및 펌프방식이 있다. 소독제의 저농도로 인해 액체염소보다 많은 양을 투입하여야 하며 단위수량에 따른 투입량을 증가로 소독제의 투입관경 및 정량펌프의 용량을 증가시켜야 한다.

가. 자연유하방식

저장조 또는 분배조를 주입점 부근에 설치한다. 주입지점이 다수인 경우에는 각 주입점에 분배조를 설치하고 저장실의 저장조로부터 이송펌프로 각 주입점의 분배조에 이송한다. 분배조는 자연유하로 주입기(전자유량계와 유량조절밸브)에 보내서 주입한다. 구조가 단순하여 주입량의 변동이 적은 소규모 시설에 적합하다.

나. 이젝터방식

이젝터로 압력수를 공급하여 차아염소산나트륨과 희석혼합시킨 후 주입지점에 보내는 방식으로 주입지점에서 혼합효과는 좋다. 이젝터에 공급하는 압력수는 희석혼합에 의한 스케일 생성을 피하기 위하여 가능한 정도가 낮은 물을 사용한다. 압력수의 희석배율은 100배 이상으로 한다.

다. 펌프방식

계량펌프(다이어프램식, 일축편심나사식, 기어식 등)로 주입점에 보내는 방식이며 주입량의 제어범위가 넓다. 단, 펌프 흡입부에 기포가 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다.

라. 주입량

차아염소산나트륨의 주입량은 다음 식을 이용해 산출한다.

$$V_v = Q \times R \times 100/C \times 1/d \times 10^{-3}$$

여기서, V_v : 용적주입량(L/h)

Q : 처리수량(m^3/h)

R : 염소주입률(mg/L)

C : 유효염소농도(%)

d : 차아염소산나트륨 비중

9.2.4 차아염소산나트륨 설비의 운전 유지관리

가. 운전, 저장관리

- (1) 염수를 전기분해하여 0.8 %(± 0.1 %)의 차아염소산나트륨을 생산하여 주입하므로 생성되는 차아염소산나트륨의 농도를 항상 확인하여 운영하여야 한다.
- (2) 염소주입 장소는 염소와 물이 충분하고 균등하게 혼합될 수 있는 곳을 선정하여야 한다. 정수지 유출부, 배수지 유출부, 급수전 등 적당한 위치에서 정기적으로 잔류염소를 실측하고 균등하게 유지되는 가를 확인하여야 한다.
- (3) 저장조는 철판으로 된 탱크내면에 FRP 등의 내식성 재료로 라이닝 또는 코팅을 한 것이나 내식성 재료로 제작된 저장조를 사용한다.
- (4) 시판 차아염소산나트륨은 반입시에는 밸브의 개폐 등을 확인하고 계량과 품질검사를 실시하여야 한다. 특히, 상온에서도 불안정한 물질이므로 유효염소 저하방지에 주의를 기울려야 한다.

나. 유지관리

- (1) 차아염소산나트륨은 기포발생, 스케일생성 등으로 주입오차나 무주입사고 등이 발생할 수 있으므로 정기적인 점검을 실시하여야 한다.
- (2) 원료염의 저장용량은 용해염수 및 생성 차아염소산나트륨을 포함하여 항상 사용량의 10일분 이상이 저장하도록 한다.
- (3) 생성된 차아염소산나트륨의 저장조 용량은 항상 사용량의 1일분 이상을 저장 할 수 있도록 하고 어느 정도의 여유량이 확보될 수 있도록 한다. 여유량은 전극의 교환, 청소 등을 고려하여 산출하여 정한다.
- (4) 차아염소산나트륨 설비에서 발생한 수소(H_2)량이 일정량을 넘으면 산업안전보건법의 규제를 받으므로 관할관청과 협의 후 확인해 두어야 한다.

9.3 자외선 소독시설

9.3.1 개요

자외선(Ultra Violet)은 태양에서 지구에 도달하는 빛의 일부분으로서 1877년 태양광선에 의한 미생물의 살균이 관찰되어 근래에는 자외선을 여러 가지 용도로 사용하고 있다. 자외선은 자연에 이미 존재하고 있던 것으로 환경문제를 해결할 수 있는 최상의 선택이라 할 수도 있다. 최근에 수질오염에 따른 미생물의 소독 및 유기물의 제거에도 응용되고 있다.

자외선은 가시광선보다 짧은 파장을 갖고 있으며, X 광선보다 긴 파장을 갖고며, 살균소독에 이용되는 자외선은 자외선C로 200~280 nm의 파장을 가지고 있다. 가시광선에 비해 파장이 짧은 254 nm 영역의 자외선은 보통 유리의 투과도가 상당히 낮고 물속에서도 수질에 따라 투과깊이가 달라지나, 일반적으로 10 cm 정도 이내밖에 되지 않는 특성을 가지고 있다.

역사적으로 볼 때 자외선은 여객선에서 정수처리 목적으로 이용되어 왔으나, 대중적인 음용수 처리를 위한 정수처리공정에는 활발히 적용하지 못하였는데 이는 소독 후에 잔류성이 없기 때문이다.

자외선에 의한 음용수 소독은 염소소독에 강한 내성을 갖는 크립토포리디움과 같은 원생동물을 불활성화시키는 능력이 뛰어나 많은 주목을 받고 있다.

9.3.2 특성

가. 자외선의 파장별 특성

(1) 자외선 A(320~400 nm, Black Light)

Black Light라고도 하며 실내에서 Suntanning을 하거나 푸른 조명을 할 때 사용한다.

(2) 자외선 B(280~320 nm, Dermo Light)

Dermo선(건강선)이라고 부르며 비타민 D를 형성하거나 피부에 홍반작용을 일으킨다.

(3) 자외선 C(200~280 nm, Germicidal Light)

살균(Germicidal)선이라고 하며 DNA와 단백질 그리고 오존이 잘 흡수하는 파장이다. 따라서 오존을 잘 분해하기 때문에 UV/Ozone AOP 공정이 응용되거나 오존파괴용 또는 소독용으로 사용되고 있다.

(4) 진공자외선(1~200 nm, Vacuum Ultraviolet Light)

진공자외선은 파장이 너무 짧아 흡수성이 높고 투과력이 매우 낮다. 특히, 185 nm의 파장은 산소를 오존으로 바꾸는 성질이 있기 때문에 저농도 오존을 발생시킬 때 사용이 되며, 반도체산업에서는 초순 수공정에서 미량의 유기물질(TOC)을 제거하는데 응용되기도 한다.

나. 자외선의 소독원리

자외선의 소독원리는 주파장이 253.7 nm인 자외선이 박테리아나 바이러스의 핵산에 흡수되어 핵산의 화학변화를 일으킴으로써 핵산의 회복기능이 상실되는데 있다. 따라서 자외선 소독의 의미는 253.7 nm의 자외선을 발생시켜 수중에 함유되어 있는 미생물에 직접 조사하여 유전자의 특성에 변형을 초래하여 번식을 막거나 미생물의 세포막을 통과하여 DNA를 손상시켜 살균하는 방법이다.

다. 자외선의 소독효과

자외선에 의한 살균은 DNA에 대한 광산화효과이며 비활성화(Inactivation)라고 한다. 반면, 자외선에 의해 비활성화된 미생물이 빛에 노출되면 다시 활성화되는 것을 구체적으로 설명하면 DNA 내부에 있는 효소(Enzyme)가 빛을 받으며 손상된 DNA를 복구하여 미생물이 활성화되는데 이를 광회복 효과라 한다.

이러한 이유로 살균에 자외선 사용을 꺼리는 경우가 있는데, 미생물별 자외선 조사량을 알면 별 문제가 되지 않으며 그보다도 자외선 조사량을 항상 동일한 조건으로 유지할 수 있는 것이 중요하다.

자외선으로 소독 또는 산화시킬 때 일정한 수준의 에너지를 연속적으로 피조사체에 조사하여야 하는데, 조사량이 영향을 미치는 것은 투과력과 온도이다. 자외선은 파장이 매우 짧기 때문에 투과력이 제한된다. 또한 물질에 따라 선택적으로 투과하기 때문에 사용재료에 따라 성공여부가 결정된다. 먼지에 의한 자외선의 흡수와 산란 때문에 실제로 깨끗한 물보다 공기가 투과력이 낮을 수 있다. 그리고 주변온도가 너무 높거나 낮으면 조사량이 감소하는데 표준램프를 사용한다면 설계 시 고려하여야 한다.

라. 유기물의 제거효과

유기물의 광분해 제거속도는 유기물이 자외선 에너지를 흡수하는 흡수성 및 분해수율 등이 주 변수로 작용한다. 따라서 자외선을 흡수하는 흡수성, 즉 물흡광계수가 크고 광분해수율이 클수록 분해가 효과적이다.

9.3.3 자외선의 적용

가. 자외선 소독공정 현황

과거 하수처리장에서 주로 염소소독을 사용하였으나 잔류염소에 대한 생태계의 영향 및 소독부산물의 생성으로 인해 최근에는 염소 대체공정으로 자외선 소독을 사용하고 있다. 미국 EPA에서는 원생동물을 소독하기 위해 자외선 소독방법을 제시하고 있다. 국내에서도 원생동물에 대한 규제가 강화될 경우 기존의 염소소독만으로 한계가 있어 대체소독제로 적용성이 크게 될 것이며, 자외선의 적용분야는 다음과 같다.

- (1) 미생물학적으로 양질의 기준을 만족시키기 위한 음용수 소독
- (2) 화장품, 의약품 등의 제조용수 소독
- (3) 수영장, 수족관, 양어장 등의 순환수 및 방류수 소독
- (4) 건물에 있는 바이러스와 박테리아의 확산을 막기 위한 공기 냉각수 소독
- (5) 도시하수, 폐수 및 공업폐수의 소독

자외선 살균이 각광을 받기 시작한 것은 부산물이 발생되지 않기 때문이다. 자외선 살균은 멸균과 개념적 차이가 있다. 따라서 몇 %의 효과가 있는지를 나타내는 데는 보통 99.99 %의 살균을 목표로 하며, 이때 광회복 효과를 고려하여 자외선 조사량을 $40,000 \mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 로 한다.

나. 음용수 살균

과거에는 생수공장을 중심으로 자외선 살균기를 사용하였으나 최근 소비수준의 향상으로 아파트와 같은 집단주거시설 및 집단급수시설(식당, 휴양시설, 교육시설 등)에도 사용되고 있다. 가정용정수기에도 소형 자외선 살균기를 사용하고 있다.

다. 하·폐수

최종 방류되는 하폐수는 미생물을 살균 처리하여 방류하도록 규정되어 있다. 과거에는 염소 등 화학적 처리방법을 사용하였으나, 부산물의 생태계 교란발생 등으로 자외선과 같은 대체 살균제의 사용을 권장하고 있다.

〈표 9.4〉 자외선 소독공정의 장단점

구 분	내 용
장 점	• 먹는물에서 세균과 바이러스를 효율적으로 불활성화시킬 수 있다 • 염소소독보다 낮은 투자비 및 유지보수비용이 경제적이다 • 위험한 화학물질이나 가스를 주입할 필요가 없어 안전하다 • 물의 화학적 성질에 영향을 받지 않는다 • 맛, 냄새, 색도에 영향을 주지 않는다 • 생물에 독성이 있는 부산물을 생성하지 않는다 • 설치 및 유지보수가 간단하고 자동운전으로 관리가 용이하다 • 별도의 반응조 또는 탱크 등이 불필요하여 소요면적이 작다
단 점	• 자외선으로 처리한 처리수는 잔류성이 없다 • 자외선 조사량을 결정하는데 어려움이 있다 • 램프표면에 미생물막이 생길 수 있다 • 자외선램프의 유지관리에 어려움이 있다 • 자외선 처리된 미생물이 가시광선에 의해 재활성화 될 수 있다

9.3.4 자외선 설계시스템 구성

가. 일반 설계사항

자외선 강도는 mW/cm^2 로 표시하며 자외선 조사량은 자외선 강도와 초단위의 곱으로 계산하며 $\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 로 나타낸다. 소독용으로 필요한 조사량은 수질에 따라 다르나 일반적으로 $24\sim 25 \text{ mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 범위이다. 전구는 $40\sim 50^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 작동하고 254 nm 의 단색 방사에너지를 발산한다.

〈표 9.5〉는 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토포리디움 난포낭의 불활성화 정도에 필요한 자외선 조사량을 나타내었다.

〈표 9.5〉 불활성화비 계산을 위한 자외선 조사량

〈바이러스〉

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
자외선 조사량 (UV dose, mJ/cm^2)	39	58	79	100	121	143	163	186

〈지아디아 포낭〉

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
자외선조사량 (UV dose, mJ/cm^2)	1.5	2.1	3	5.2	7.7	11	15	22

〈크립토포리디움 난포낭〉

불활성화 정도	0.5 log	1 log	1.5 log	2 log	2.5 log	3 log	3.5 log	4 log
자외선조사량 UV dose (mJ/cm ²)	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22

나. 자외선요구량

물에서 자외선 요구량은 단위깊이에서 자외선 흡광도와 관련이 있다. 물에 254 nm파장의 자외선이 초기강도 I_0 의 세기로 조사되고 물속 일정깊이를 투과한 지점에서 자외선 세기를 I_t 라고 할 때 흡광계수(A)는 다음과 같다.

$$A = \log_{10} I_0 / I_t$$

또한 물속에서의 자외선 투과율(%T)은 다음과 같다.

$$\%T = I_t / I_0 \times 100$$

따라서 흡광도(A)와 자외선 투과율(%T) 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\%T = 100 \times 10^{-A}$$

$$A = \log_{10} 1/T$$

자외선투과율은 자외선이 투과하여야 할 물의 투명도와 수질특성에 영향을 받는다. 254 nm의 파장에서 자외선 투과에 영향을 주는 페놀화합물, 휴믹산, 철 이온 등과 같은 많은 종류의 유기물이나 무기물은 자외선 에너지를 감소시킨다. 또한 탁도 또는 부유물질(SS)의 농도가 높은 경우에도 수은램프에서 방출되는 자외선을 차단하는 요인이 된다. 따라서 효율적으로 자외선 소독을 하기 위해서는 전처리과정을 통해 이러한 물질들을 제거하여야 한다.

다. 설비구성

소독설비를 구성하는 모듈의 특성은 구성이 견고하고 최적의 자외선 방사량을 조사할 수 있는 구조이며 자외선 램프의 성능이 뛰어나야 최종 방류수의 수질을 보장할 수 있다. 자외선 모듈은 지지선반, 지지대, 자외선램프, 자외선센서 및 램프 세척시스템으로 구성된다.

9.3.5 운전 및 유지관리

가. 일반사항

- (1) 피부와 눈이 자외선램프의 자외선에 노출되지 않도록 하다.
- (2) 수로 위의 자외선 빛을 막기 위한 커버를 설치하고 항상 커버를 덮어 둔다.
- (3) 현장조건을 technical data에 맞추도록 한다.
- (4) 빈번한 on/off 또는 자외선 램프의 과열(Dry-run)은 램프의 수명과 자외선 방출효율을 감소시키고 필라멘트소손의 원인이 된다.
- (5) 수로의 동결은 고장의 원인이 되므로 동결방지를 위해 보온하여야 한다.
- (6) 항상 수중에서 자외선 램프를 운전하기 위해서는 수위를 정확하게 유지한다.

나. 점검사항

- (1) 제어전원 및 시스템 점검
- (2) 전자식 안정기 점검
- (3) 자외선 램프, 석영슬리브, 자외선강도센서, 세척시스템 등의 수명을 고려한 정기적인 점검

다. 유지관리

- (1) 자외선 램프관리 및 교체
- (2) 와이퍼 링 교체
- (3) 전자식 안정기 교체
- (4) UV모듈의 물리적 세척
- (5) UV모듈의 화학적 세척

다음은 환경부에서 2011년 고시했던(2012.9. 폐지) 「정수처리기준 등에 관한 규정」에서 자외선 소독 시설의 유지관리 규정을 발췌하였다.

정수처리기준 등에 관한 규정 (환경부고시제2011-85호(2011. 6. 2 개정)) - [참고사항]

[별표 5]

자외선 소독시설의 유지관리

1. 자외선 소독시설 성능의 확인과 유지를 위해 확인해야할 사항은 다음과 같다.

가. 온라인 자외선투과율 모니터, 자외선강도계의 확인

온라인 자외선투과율 모니터의 지시치를 탁상형 분광광도계의 값과 정기적으로 비교하고 일치하는지를 확인한다. 확인에 사용되는 샘플수는 온라인 자외선투과율 모니터로 실측한 것과 동일한 것이 바람직하다. 자외선 강도계는 설비에 부착된 설치강도계와 기준강도계의 2 종류가 있다. 설치 강도계는 온라인으로, 항상 자외선강도를 감시한다. 한편 기준 강도계는 설치강도계의 성능을 평가하기 위해 사용되는 오프라인 강도계이다. 설치강도계의 열화 유무를 평가하기 위해서는 기준강도계의 특성이 열화되어 있지 않음을 확인해둘 필요가 있다. 이러한 자외선측정기의 공통 사항으로서 센서수광부의 흐려짐, 오염의 유무, 램프, 센서사용시간을 확인하고, 정기적으로 세정, 교정, 교환한다.

나. 유량의 확인

자외선반응조내의 유량이 설계치로부터 저하 또는 증대하였는지, 유닛마다 설정유량으로부터 차이가 있는지 확인한다. 차압을 이용하여 유량분할을 확인하는 경우 압력계의 정도를 정기적으로 확인한다.

다. 램프의 확인

점등을 확인함과 동시에 램프운전시간(램프종류마다 경시특성), 출력저하(허용한도)로부터 교환시기를 파악하는데 유의한다. 소등 또는 초기출력의 70 %로 저하된 경우, 교환이 필요하다. 또한 램프의 빈번한 점등/소등은 램프수명을 현저히 저하시키는 원인이 된다.

라. 램프슬리브의 세정

정기적인 기계적 세정이 일반적이나, 이외에도 초음파세정, 고압수세정, 공기세정, 화학세정(황산, 염산 등) 등이 있다. 이러한 세정은 자동으로 하는 것이 바람직하다. 세정에는 온라인세정과 오프라인세정이 있다. 소독대상수 수질 또는 자외선반응조 설치위치에 따라서는 램프슬리브 표면으로 망간 등의 산화물스케일이 부착하는 경우도 있다. 특히 여과지 전에 자외선반응조를 설치하는 경우에는 수질평가를 충분히 하고, 스케일부착의 우려가 있는 경우에는 사전대책을 강구할 필요가 있다. 슬리브는 3~5년마다, 또는 슬리브의 손상이나 균열, 과도한 오염에 의해 자외선강도가 저하된 경우 중 어느 쪽이든 빨리 도래한 시기에 교환한다. 또한 램프슬리브에 지문이 묻으면 운전시에 손상될 우려가 있으므로, 청결한 면포나 파우더프리 라텍스, 비닐장갑을 이용하여 취급할 필요가 있다.

마. 자외선반응조내의 온도확인

자외선램프는 고온에서 동작하며, 과열을 막기 위해서는 유수가 필요하다. 또한 자외선 반응조내에 에어포켓이 생기면 조내의 온도가 상승한다. 반응조내의 유량, 수온을 정기적으로 감시하고, 이상이 발생한 경우에는 자외선 반응조를 신속히 정지하고 확인할 필요가 있다.

바. 정지시의 조치

자외선반응조내가 만수에서 정지한 경우, 슬리브가 오염되는 경우가 있다. 기계적 세정시스템(온라인 기계세정)을 갖춘 자외선반응조는 처리정지중이더라도 슬리브의 세정을 계속해 두는 것이 바람직하다. 또한 일주간 이상 정지하는 경우에는 자외선반응조의 물을 배수하는 것을 검토한다. 한편, 30일 이상의 장기간 정지 후에는 슬리브의 악품세정을 실시하는 것이 바람직하다. 반응조의 물을 뺄 때에는 반응조내부의 점검, 침전물의 배출, 청소도 동시에 한다. 겨울철에 장기간 정지할 때에는 동결에 의한 손상이 발생할 수 있으므로 자외선반응조내부의 물을 배수하는 등 동결대책을 실시할 필요가 있다.

2. 자외선 소독시설의 정상적인 운영을 위해 필요한 일상점검 항목은 다음과 같다.

점검항목	실시내용	빈도
온라인 자외선투과율 모니터	지시값의 확인	매일
	교정	1회/주
	세정	제조사 지정
반응조, 슬리브, 와이퍼	누수, 손상, 동작확인	1회/월
자외선강도계	지시값의 확인	매일
	교정	1회/월
	교환	수시
약품세정	효과확인	1회/월
세정약품탱크	확인	1회/반년
기준강도계	교정	1회/년
누전차단기	차단시험	1회/년
유량계	교정	제조사 지정
램프	점등확인, 교환	자외선조사강도가 초기치의 70% 값보다 저하 또는 설계수명시간 운전 시
유량감시용 압력계	동작확인	제조사 지정
온라인세정 구동기구	동작상태 확인	제조사 지정
안정기	검사	제조사 지정
제어반 냉각팬	교환	제조사 지정
제어반 흡기필터	청소	제조사 지정
반응조 내부	점검, 침전물의 배출	1회/년

9.4 오존 소독시설

9.4.1 개요

1783년 Van Marum에 의해 발견된 오존(Ozone)은 다른 소독제에 비해 강력한 산화력이 있어 응집 효율 증대 및 난분해성 유기물의 분해가 가능하고 살균, 탈색 및 탈취 등에 매우 효과적이며, 페놀, ABS 등 기존 수처리공정에서 제거가 곤란한 물질들에 대한 탁월한 제거효과로 적용성이 대단히 넓어 현재 프랑스를 비롯한 유럽지역은 물론 미국을 포함한 북미에서도 빠른 속도로 오존처리공정 도입을 추진하고 있고 국내에서도 많은 정수장에서 도입하여 운영하고 있다.

따라서 상수원수의 오염 심화와 오염물질의 다양화 추세, 먹는물 수질기준 강화, 기존 살균소독 방법인 염소처리과정에서 발생하는 유해성 소독부산물(Disinfection By-Products, DBPs) 문제 등 복합적인 수질문제에 대응하는 방안으로 오존처리공정의 이용이 급격히 늘고 있다.

오존처리는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 원수 중에 있는 미량 유기물질의 성상을 변화시킨 후, 활성탄에 흡착시켜 제거하는 방법으로 활용할 수 있으며, THM 전구물질이나 맛·냄새물질의 제거에 효과적이다. 또한 오존은 살균효과가 우수하여 소량의 접촉에 의해서도 대부분의 세균을 사멸시키며, 염소 살균과는 달리 THM 등의 유기염소계 화합물을 생성시키지 않아 대체 살균제로서 많이 고려되고 있다.

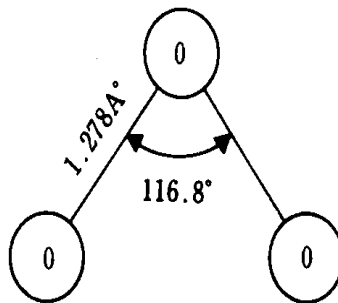
9.4.2 특성

가. 오존의 물리적 특성

오존은 불소(F_2) 다음으로 강력한 산화제로서 수처리에서 원수 중에 존재하는 박테리아와 바이러스 및 다른 물질과의 반응으로 세포막을 파괴시킴으로써 매우 유효하게 사멸시킬 수 있다.

(1) 분자구조와 전자구조

오존은 산소원자가 3개 결합하여 생긴 분자 O_3 로 그 주요 물리적, 화학적 성질은 높은 생성에너지에 유래한다. 오존분자는 동일 3원자 분자인 탄산가스와 같은 직선상 구조와는 달리 물이나 아황산가스와 같은 구조로 <그림 8.5>와 같이 결합각이 $116^\circ 50' \pm 30'$, 원자간 간격이 $1.278 \pm 0.003 \text{ \AA}$ 이다.



<그림 9.5> 오존분자의 구조

(2) 물리적 성질

오존은 수용액에서는 불안정하여 비교적 단시간에 분해되며, 20°C 일 때 30분 미만의 반감기를 갖는다. 오존의 분해속도는 오존의 농도, 불순물의 존재여부, 압력 및 pH에 영향을 받으며, pH가 높으면 분해속도가 빨라는데, pH에 영향을 크게 받는 것은 수산화기(OH^-)에 의해 오존이 스스로 분해할 수 있는 특성을 가지기 때문이다. 기체상태의 오존은 미청색, 액체는 흑청색, 고체는 암자색을 띠며 특이한 냄새를 갖는다. 대기 중에 $0.01 \sim 0.1 \text{ ppm}$ 농도에서도 냄새를 느낄 수 있다. <표 9.6>에서는 오존의 물리적 성질을 나타내었다.

〈표 9.6〉 오존의 물리적 성질

물 성 명	물 성 값
분 자 량	48
물에 대한 용해도 [상온]	570 mg/L (산소의 약 20배)
비 점 [760 mmHg]	-111.9 ℃
융 점 [760 mmHg]	-192.7 ± 2℃
기체밀도 [-183 ℃]	2.144 g/L
점도 [액체 -183 ℃]	1.55 ± 0.22 cP
산화환원전위	-2.07 eV (불소 다음으로 강함)
물에 대한 용해도	570 mg/L (20 ℃ , 산소의 약 20배)
감지농도	0.01-0.05 ppm(by Vol)
허용농도	0.1 ppm(by Vol)
냄새	비릿한 자극성 냄새
폭발농도	15~20% (CO ₂ 로서 20 ppm 이상의 유기물 포함)

(3) 오존의 광분해

자외~가시영역의 빛에 의한 오존의 분해는 그 과정에서 활성 화학종을 생성하며 이것을 이용하여 오존의 반응성을 향상시킬 수 있으므로 중요하다.

나. 오존의 수처리 효과

오존은 각종 병원균의 사멸, 바이러스(Virus)의 불활성화, 산화 및 후처리공정을 효율적으로 수행하기 위한 목적으로 이용되어 왔으며, 소독이나 산화제로의 오존 이용은 많이 연구되어 왔다. 이때 분자가 큰 오염물질(예 : Humic Substances)도 오존에 의해 산화될 수 있으며, 소독부산물의 전구물질을 산화시켜 염소소독부산물의 생성을 최소화시킬 수 있다.

입상활성탄이나 모래여과 전에 오존처리를 실시하면 산화반응의 결과, 일부는 생물학적으로 분해 가능한 물질로 변경되어 생물학적으로 활성화될 수 있다. 오존이 최초로 정수처리에 이용된 때는 소독이 주목적이었다. 그러나 오존은 강력한 산화력으로 인해 살균은 물론 각종 유기물 및 무기물의 산화분해 및 응집효과의 증진 등 수처리 효과에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 지금은 다양하게 수처리 목적으로 이용되고 있는데, 현재 정수처리 분야에서 오존을 이용하는 대표적인 목적은 다음과 같다.

(1) 소독 및 조류(algae) 제거

(2) 무기물질의 산화

- ① 철(Fe) 및 망간(Mn)의 산화
- ② 질소(N) 및 황화합물의 산화

(3) 유기물질의 산화

- ① 맛, 냄새 유발물질 산화
- ② 페놀화합물 산화
- ③ 농약(살충제) 제거
- ④ 색도 유발물질 제거
- ⑤ THMFP(트리할로메탄생성능), TOXFP(총유기할로겐화합물생성능) 및 염소요구량 감소
- ⑥ 유기물질의 생물분해 능력 증대

(4) 응집능력 향상

다. 오존의 장단점

다음 <표 9.7>에서는 오존의 장단점을 보여주고 있다.

<표 9.7> 오존의 장단점

구 분	내 용
장점	• 오존은 염소처럼 유기물과 결합하여 THM을 형성하지 않는다 • 맛과 냄새의 원인이 되는 유기물을 산화시킨다 • 미생물 살균에 염소보다 훨씬 효과적이며 처리대상이 넓다
단점	• 용존오존의 잔류시간이 짧아 수도관에서 미생물에 의한 2차 오염을 방지하기 어렵다 • 원수내 브롬이온(Br^-) 이 존재할 시 오존과 반응하여 Bromate(BrO)와 같은 소독 부산물을 생성한다 • 설치비용과 유지관리비용이 많이 든다 • 원수내 브롬이온(Br^-) 알데하이드, 케톤류 등이 존재할 시 오존과 반응하여 Bromate(BrO)와 같은 소독 부산물을 생성한다 • 부식력과 독성이 강하고 유기물과 선택적으로 반응한다 • 수중 AOC를 증가시켜 이의 제거를 위한 생물학적여과가 필요하다

9.4.3 오존처리공정

가. 오존공정의 적용

오존처리장치는 가스주입장치, 오존발생기, 오존접촉조, 배가스 파괴장치의 4가지로 구성된다. 가스주입장치는 오존발생기로 깨끗하고 건조한 산소를 공급하여준다. 오존접촉조는 처리해야 할 물에 오존을 전달하고 소독이나 기타 반응에 필요한 접촉시간을 제공해 준다. 또한 오존처리공정에서 분해되지 않고 남아 있는 잔류오존이 공기 중에 배출되면 오존의 독성으로 악영향을 유발할 수 있으므로 반드시 배가스를 파괴할 필요가 있다.

오존은 주입목적에 따라 전오존, 중오존, 후오존으로 구분한다. 다음 <그림 9.6>은 일반적인 오존 주입지점 및 공정도로서 처리목적에 따라 주입지점을 변경하게 된다.



<그림 9.6> 일반적인 오존주입지점 및 공정도

나. 오존주입율

오존주입율은 대상물질의 선정, Pilot plant 시험결과에 따라 결정되어지나 전오존 주입율은 하천수, 호소수에 따라 다르며, 조류(Algae), 철, 망간의 농도가 높으며 주입율은 증가한다. 국내에서는 통상적으로 1~2 ppm 정도이며 후오존 주입율은 2~3 ppm 범위이다.

다. 오존접촉시간

오존접촉시간은 오존접촉조에서 제거대상물질과 반응이 완료된 후 가수분해되어 소멸되는 시간을 포함한다. 전오존 접촉시간은 원수의 수질에 따라 차이는 있으나, 3분 이내를 권장하고 있으며, 후오존은 10~15분 이내로 설계를 한다.

9.4.4 운전유지관리

오존처리설비의 운전시에는 오존발생기를 비롯하여 관련기기를 안전하고 유효하게 조작하는 것은 당연한데 주입한 오존화 공기의 수지동향을 파악하면서 운전관리하는 것이 처리효과를 한층 높이는 동시에 운전경비의 경감을 도모하기 위해서 중요하다.

즉, 주입된 오존화 공기는 수처리과정에서 대부분이 처리수에 용해된 후 피산화물과 반응하여 수질개선에 기여한다. 그러나 오존화 공기를 과잉 주입했을 때, 물에 충분히 용해되지 못하고 반응조의 상부로 부터 대기에 방출되어 광화학 스모그의 한 원인이 되므로 다시 산소에 환원시키기 위한 배기오존처리를 필요로 한다. 또한, 배기오존농도는 오존흡수효율과 밀접한 관계가 있고 배기오존농도와 오존흡수효율을 측정함으로써 수질변동이나 오존 반응조에서의 기액접촉 효율과 변화를 빨리 알 수 있다. 더욱이, 물에 용해된 오존, 즉, 잔류오존농도를 측정함으로써 오존농도를 확인하고 주입오존량의 제어를 정확하게 할 수 있다.

따라서 오존처리설비설계시나 운전관리를 할 때에도 이런 동향이나 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다.

오존처리장치는 크게 나누어 ① 공기원 장치, ② 오존발생기, ③ 오존반응조, ④ 배기 오존처리장치로 구성되는데 이들 기기 유지관리의 양호성 여부는 오존처리효율과 유지관리경비에 큰 영향을 준다.

오존처리설비의 운전은 전력의 소비를 동반하기 때문에 계속해서 수질개선 효과를 확인하면서 주입농도를 제어하고 필요 이상의 주입은 피해야 한다.

가. 오존처리장치의 유지관리

오존발생장치에서 생성된 오존농도에 영향은 ① 오존발생기에의 투입전력(인가전압과 주파수), ② 오존발생기에의 냉각수온, ③ 원료공기량, ④ 원료공기의 성분(산소 또는 공기, 습도, 불순물 등), ⑤ 원료공기압력 등에 따라 다르다. 공기를 원료로 하여 오존을 발생시키는 경우, 소량의 N_2O_5 와 NO_2 가 생성된다. N_2O_5 는 생성오존에 대해 물비로 1% 정도인데, 습기를 포함하는 공기를 이용하면 N_2O_5 의 생성비율이 높아지며, 수증기와 결합하여 질산이 되고 금속재료를 부식시키거나 수중의 질소화합물을 증가시키는 원인이 된다. 이 때문에 오존발생기에 공급되는 공기는 ① 이슬점 $-50^{\circ}C$ 이하, ② 오존화 공기온도 $35^{\circ}C$ 이하 ③ 유기물이나 불순물을 포함하지 않을 것 등의 조건이 필요하며, 특히 공기원장치의 유지관리는 이 조건을 만족해야 한다.

(1) 공기원 장치

공기원 장치에는 크게 나누어 2가지 타입이 있다. 즉, 공기공급원에 공기압축기를 이용하여 제습장치(공기건조장치)에 압력재생방식을 이용하는 타입과, 공기공급원에 블로어를 이용하여 제습장치(공기건조

장치)에 열재생방식을 이용하는 타입이 있다.

(2) 오존발생기

오존의 발생방법은 각종 방법이 시도되어 왔는데, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 무성방전방식이다. 오존발생기의 몸체는 접지측 전극으로서 스테인레스관과 특수유리제 유전체를 내장하고 있고, 유전체는 관모양이며 그 내측은 고압측 전극으로서 금속이 코팅되어 있다. 또한, 고압측 전극은 급전용 블러시 및 유전체 보호 휴즈를 통해 고압부싱에 접속되고, 이 유전체와 스테인레스관간의 공극에서 방전을 일으켜 원료로 하는 공기가 여기를 통과하면 오존화 공기가 된다. 방전에 의해 발생한 열은 기기 내를 흐르는 냉각수에 의해 냉각된다.

〈표 9.8〉 오존 발생기의 점검항목 및 대책조치사항

점검항목	대책조치
입구 압력의 상승 및 저하	압력스위치의 확인과 조정, 감압밸브 조정, 수동밸브의 열림 확인, 배관의 누설 확인
냉각수의 이상	수동밸브의 개폐 확인 및 누수점검, 단수 릴레 전자밸브, 온도 스위치의 점검
리액터의 과부하	리액터 점검, 서멀 점검 수리

특히, 운전 중은 방전상태를 관찰하고 방전 열록, 불꽃 방전의 유무 등을 점검하여 변압기 오일의 온도 상승, 발생 오존농도의 그 변동에 주의한다.

(3) 오존반응조

오존발생기로 발생시킨 오존화 공기를 반응조에 유도하여 산기에 의한 기액향류접촉방식으로 정유량 자동조절밸브, 유량계, 산기관 및 이들을 접속한 배관으로 구성된다. 오존화 공기의 흐름은 오존발생기로부터 토출된 오존화 공기가 분배조절기구에 유도되어 주입기관에 분기된 후 정유량자동조절밸브에 들어가 주입량을 균등 분배하고, 반응조중의 산기관에 유도되어 산기된다. 또한, 주입량의 확인은 각 기관에 부착된 유량계로 확인한다.

〈표 9.9〉 오존 반응조의 점검항목 및 대책조치사항

점검항목	대책·조치
흡수효율의 저하, 배기오존의 이상 상승	주입관의 압력 균형 점검
	기포의 분포, 크기 등 확인
	산기관의 막힘, 오염 등의 확인과 청소
	패킹의 변형에 의한 가스 누설 확인과 수리

(4) 배기오존처리장치

오존반응조에서 미반응 배기오존을 산소로 분산처리하여 대기에 환원시키는 장치이다. 현재까지 실용화되어 있는 장치로서 연소방법, 활성탄처리방법, 약액세정방법, 촉매방법 등이 있다. 이들의 유지관리에 대해서는 선택하는 방법에 따라 다르기 때문에 취급설명서에 따라 관리한다.

〈표 9.10〉 배기오존처리장치의 점검항목 및 대책조치사항

점검항목	대책·조치
배기오존농도의 상승	오존화 공기농도가 높은 경우 수질, 수량의 변화
	주입율의 수정
	산기조의 기액접촉상태 점검

9.5 기타 소독시설

정수처리공정에서 소독제로 염소, 차아염소산나트륨, 자외선, 오존에 대해 고찰하였으며, 본 장에서는 기타 소독제로 사용되고 있는 혼합산화제, 이산화염소에 대해 알아보기로 한다.

9.5.1 혼합산화제

최근에 혼합산화제(MIOX, Mixed Oxidant의 약자)가 일부 정수장, 수영장 등에서 소독을 목적으로 사용이 되고 있는데, 염소소독의 가장 큰 문제점인 염소냄새와 맛의 문제를 해결하고 THM 등 소독부산물의 감소가 가능하다고 알려져 있다. 현재 국내 정수장에서 수돗물 병물제조 공장의 소독공정에 많이 도입하고 있어 본 제품의 특성 및 적용성에 대해 고찰해 보고자 한다.

* 혼합산화제란 소금물을 전기분해하여 차아염소산 이산화염소 오존을 동시에 액으로 생산된 것을 말하며 제품에서 생산된 액을 말한다.

가. 제품의 특징

- (1) 소금물을 전기분해해서 현장에서 생산하기 때문에 액체 염소를 운반하거나 저장시의 위험성을 해소할 수 있다.

- (2) 액체 염소보다 살균력이 우수하다.
- (3) 물에서 소독약 냄새가 나지 않는다.(물맛 개선 효과)
- (4) 오랜 잔류 염소 효과가 있다.

나. 제품내용

소금을 브라인 탱크에 투입한 후, 연수기를 통과한 물을 탱크에 주입하여 포화소금물을 만든 후, 그 소금물을 전기분해셀에 공급하여 전기분해를 한 후, 양극과 음극으로 따로따로 차아염소산과 이산화염소 및 오존을 생산하여 산화제 탱크에 저장하여 필요한 양 만큼을 물에 투입하여 살균 소독하는 시스템이다.

또한 자동제어 할 수 있기 때문에 잔류염소량을 일정하게 유지할 수 있으며 뛰어난 잔류성으로 관말에서의 잔류염소량도 확실하게 유지시킨다. 또한 물에서 소독약 냄새가 나지 않기 때문에 민들에게 수돗물에 대한 거부감을 없앨 수 있을 뿐만 아니라, 정수지나 배수지 인근에 사는 시민들의 소독약 냄새에 대한 민원도 동시에 해결할 수 있다. 셀 내의 전기 화학적 반응은 다음과 같다.

라. MIOX의 장단점 비교 등

다음은 MIOX의 장단점과 기존에 사용하고 있는 차아염소산나트륨과의 차이점을 비교분석하였다.

〈표 9.11〉 MIOX의 장단점

장 점	• 소금물을 전기분해하여 안전한 농도의 혼합산화제 액을 생산하므로 취급시 안전하다. • 살균효과가 높다. • 처리 시 : 유기물 제거 • 후처리 시 : 확실한 살균효과, 보다 긴 잔류 효과, 물에서 소독약 냄새가 없다. • 수돗물 특유의 냄새가 없으므로 물맛이 향상되는 효과가 있다. • 체류 시 소독효과가 오래 간다. • 자동운전이 되므로 유지관리가 쉽다.
단 점	• 설치비 고가이다. • 저농도이므로 투입시설이 커진다. • 소금공급을 자주한다.(월 2~3회) • 소금저장 시설과 혼합산화제 저장 시설이 액체 염소에 비해 상당히 크다. • 수온이나 외부 기온에 영향을 받는다. (수온 4 ℃ 이상, 외기온도 2 ℃ 이상)

마. 혼합산화제와 차아염소산나트륨 발생기의 차이점

혼합산화제 발생기와 차아염소산 나트륨 발생기는 소금물을 전기분해 한다는 점 때문에 같은 것이라고 생각하나 두 발생기는 소금물을 전기분해 한다는 점만 같을 뿐 셀의 구조나 화학반응 및 수처리 효과는 차이가 난다.

〈표 9.12〉 혼합산화제와 차아염소산나트륨 발생기의 차이점 비교

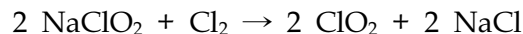
구 분	차아염소산나트륨 발생기	혼합산화제 발생기
전기분해 Cell 구조		
전극의 배열	물의 진행 방향과 수직으로 배열	물의 진행 방향과 수평으로 배열
화학반응	- 음극의 가성소다(NaOH)가 양극의 염소가스와 반응하여 차아염소산나트륨(NaOCl)을 생성 - 물의 진행하는 힘으로 바로 반응함 $2 \text{NaOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NaOCl} + \text{H}_2$	- 물의 진행방향과 전극의 배열이 평행으로 배열되어 음극과 양극의 생성물이 각기 따로 물의 진행방향으로 흐르기 때문에 Cell 내에서 반응이 이루어 지지 않음 (양극에서 생성된 염소가스가 음극에서 생성된 가성소다와 반응하지 않게 만드는 것이 핵심 기술임) - 염소(Cl₂)는 양극에서 아래와 같은 양극반응을 일으킴 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{Cl}^- + \text{H}^+$ $\text{HOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ClO}_2 + 3 \text{H}^+ + 3 \text{e}^-$ $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_3 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ 위 반응 생성물은 양극 방출구로 방출됨

9.5.2 이산화염소

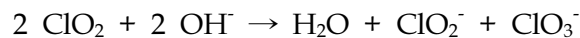
이산화염소는 1811년 Davy에 의해 발견되었는데 최초로 정수처리에 이산화염소를 적용한 보고는 1944년 뉴욕주의 나이아가라 폭포 정수처리장이며, 이후 여러 정수장에서 소독제 또는 산화제로 사용하기 시작하였다.

가. 특징

정수처리에 사용하는 이산화염소는 염소와 아염소산나트륨을 혼합시키는 산화과정을 이용하여 생성시킨다.



이산화염소는 수중에서 THM을 생성하지 않으며, 암모니아와 반응하여 클로라민을 만들지 않으므로 소독제로 사용되어 왔다. 이산화염소는 압축가스로 저장되지 않기 때문에 현장에서 발생하여 사용하여야 한다. THM 생성을 줄이기 위해서 이산화염소를 전처리로 사용하고 잔류염소를 유지하기 위하여 후처리로 염소를 투입한다. 이산화염소는 알칼리조건에서 다음과 같이 불균형이 이루어져 아염소산이온(ClO_2^-)이나 염소산이온(ClO_3^-)을 1:1의 몰비로 생성시킨다.



이러한 반응속도는 이산화염소의 농도가 높거나 pH가 9 이상의 값을 갖는 경우에 빠르게 진행된다. 농도가 5~10 mg/L인 이산화염소는 pH 12에서 20분~3시간의 반감기를 갖는다. 따라서 이산화염소를 몇 시간씩 보관하여 두는 것은 현실적이지 못하다.

이산화염소는 음용수에서 곰팡이 냄새와 맛, 흙냄새, 비린내 맛의 제거에 효과적인 것으로 알려져 있다. 수중의 부패물질과 반응하면 총염소계유기화합물(TOX)이 발생한다.

나. 이산화염소의 적용

(1) 박테리아, 바이러스, 원생동물의 소독효과 등

이산화염소의 살균효과는 1940년대부터 알려졌다. 1~5 mg/L의 농도에서 현탁물이 존재하는 경우에도 *E.Coli*와 바이러스의 소독에 효과적이지만 유기물이 많은 경우에 소독효과가 감소한다. 그러나 염소와 비교할 때 유기물이 많고 pH가 높은 경우에는 이산화염소가 염소보다 우수한 소독효과를

보인다. 이산화염소는 염소와 클로라민보다 바이러스, 크립토퓤포리디움, 지아디아 등과 같은 병원성 미생물에 대하여 더욱 효과적이다.

철, 망간, 황 등을 산화시키며, 페놀화합물, 조류 또는 썩은 식물 등에서 유발되는 맛·냄새를 제어할 수 있고 적절한 소독공정 하에서 halogen-substituted DBPs가 생성되지 않는 장점이 있다. 또한 이산화염소를 쉽게 제조할 수 있으며 pH의 영향을 받지 않고 잔류효과가 있다.

(2) 사용상의 주의점

이산화염소는 가스를 액화하여 사용할 경우 폭발의 위험성이 높기 때문에 현장에서 직접 제조하여 사용하여야 한다. 또한 제조공정 중에 부산물로 아염소산이온(Chlorite, ClO_2^-)과 염소산이온(Chlorate, ClO_3^-)이 생성되므로 최소화시켜야 한다. 과다한 이산화염소의 주입은 인체에 유해한 것으로 알려져 있다. 또한 Sodium chlorite가 비싸며 이산화염소는 빛에 노출되면 분해된다. 또한 이산화염소가 일부 시스템에서 유독한 냄새를 유발할 수 있다.

(3) 국내에서 적용성

국내에서 THM 검출의 계기로 염소소독과정에서 이산화염소와 병행 처리하는 것에서 시작하였다. 당시에 이산화염소에 대한 정확한 인식이나 연구의 부족으로 부적절하게 사용되어온 것도 사실이다. 또한 이산화염소를 주입한 수돗물에서 냄새발생으로 민원을 호소하기도 하였으며, 국내에 이용된 안정화 이산화염소는 부산물로 생성되는 아염소산이온이나 염소산이온과 같은 물질이 함유되는 등의 문제점이 도출되어 사용하는 정수장은 급격히 줄어든 실정이다.

9.6 소독능 향상 방안

여과 및 소독공정으로 원하는 만큼의 소독능 값을 달성할 수 없을 경우에 소독능(CT) 향상 방안으로는 염소투입량 증가, 정수지 도류벽 설치, 정수지 수위를 높게 유지하는 방법이 있으며, 특히 탁도 등 정수 처리 공정관리를 철저히 하여야 한다.

9.6.1 공정관리에 의한 소독능 향상

가. 디퓨저(Diffuser)의 설치

효과적인 소독제 혼합을 위해서는 정수지 전단에 염소 접촉조를 두거나 혼합장치 등을 설치하는 것이 바람직하지만 시설개선 비용이 많이 소요되므로 웨어 낙차부, 여과수 혼합수로 등 혼합이 잘 이루어지는 지점에 투입지점을 변경하고 디퓨저(Diffuser)를 설치하여 목적달성이 가능하다.

즉 염소(소독제) 용액과 물과의 급속혼합을 위해 정수지 유입관에 디퓨저 또는 다공 디퓨저를 설치할 경우 $T_{10}/T(\beta)$ 값은 0.7로 향상시킬 수 있다.

나. 도류벽의 설치

정수지에 도류벽이 미설치 되었을 경우는 유효 체류시간이 짧아진다. 즉 정수지는 침전지와 달리 균일한 여과수의 유입이 이루어지지 않고 유입단면이 정수지 단면에 비해 극히 작으며 이로 인해 단락류 및 사수구역(Dead space)등이 발생하여 체류시간이 균일하지 못하고 매우 불규칙하다. 따라서 부분적으로는 이론적 체류시간의 10 %에도 못 미치는 경우가 있다.

도류벽 설치의 소독능 향상을 위한 가장 효과적인 방법으로 도류벽은 유입·유출부의 속도를 감소시키고 정수지내에 균일하게 유량을 분배하고 단락류 발생을 방지함으로써 정수지의 유효접촉시간을 연장할 수 있다. 정수지에서 소독제와 물의 최대 접촉시간을 갖도록 하는 데는 보통 폭과 길이의 비(장폭비)가 1 : 20이 가장 효율적이며 $T_{10}/T(\beta)$ 값은 0.6 정도이다. 따라서 도류벽을 설치함으로써 이 비를 높여 줄 수 있다.

다. 정수지 수위 관리

적정 소독력을 유지하기 위해선 일정한 접촉시간을 가져야 함에도 불구하고 정수지 수위의 변화폭이 큼으로 인해 실질적인 체류시간의 감소를 가져온다. 이는 수용가의 용수수요가 시간대별로 다른 이유에서도 기인하며, 정수지 수위가 변화하여 소독제와의 충분한 접촉이 이루어지지 않고 있다.

일반적으로 국내에 운영되고 있는 정수지는 수위 변동폭이 매우 커서 소독능 값 계산 시에 최소 수위를 적용하고 대부분의 정수장에서는 정수지 시설규모의 일부 정도만 사용하고 있는 실정이므로 유출구의 위치를 상부로 조정하여 정수장 시설규모의 2/3 또는 3/4 정도를 활용하도록 한다.

라. 전염소 투입 방법

전염소 투입을 통해 부족한 소독능 값을 얻고자 할 경우에는 다음 식을 통해 필요한 잔류 염소의 농도를 구할 수 있다.

$$C = \frac{CT^*}{\beta t_1 + \alpha \beta t_2}$$

CT^* : 응집지 또는 침전지에서 요구되는 총 CT값

C : 응집지의 유출부에서의 유리잔류염소

t_1 : 응집지 체류시간

t_2 : 침전지 체류시간

α : 잔류염소 감소상수 (침전지 유출부 잔류염소/응집지 유출부 잔류염소)

β : 응집지 또는 침전지 구조에 따라 0.1~1.0을 갖는다.

마. 기타 방법

- (1) 소독제의 농도 증가
- (2) 소독 방법의 개선(오존, 자외선 소독 등)
- (3) 정수지내의 오염물질 제거(정수지 청소 등)

9.6.2 정수지 환산계수(β , 계산인자) 및 추적자 실험

가. 정수지 환산계수

소독은 소독제를 사용하여 물에서의 병원성미생물을 일정농도 이하로 불활성화 시키는 처리공정이며, 불활성화비는 병원미생물이 소독에 의하여 사멸되는 비율을 나타낸 값으로 정수시설의 일정지점에서 소독제 농도 및 소독제와 물과의 접촉시간 등을 측정·평가하여 계산된 소독능 값과 대상 미생물을 불활성화하기 위해 이론적으로 요구되는 소독능 값과의 비를 말한다.

병원미생물을 불활성화 시키기 위한 대부분의 소독제 주입지점은 정수지 유입부이며 계산된 소독능 값을 산출하기 위한 인자로 소독제 농도와 접촉시간이 필요하다. 접촉시간은 소독제와 물과의 접촉시간으로 계산 시 정수지내 물 흐름 길이를 환산하여 환산계수로 사용한다. 접촉시간 환산계수는 접촉시간 증감에 많은 영향을 미치는 중요한 인자이며 환산에 필요한 물 흐름 길이는 정수지내 설치하는 격벽의 개수가 결정하므로 정수지내 격벽은 물 흐름 길이를 산정하는 중요한 인자이다.

나. 추적자 실험(Tracer Test)

추적자 실험은 정수처리 공정 내 물 흐름 특성 분포를 측정하는 실험으로 공정별 지내 흐름 분포와 체류시간 등을 분석한다.

정수장 단위공정이 이상적인 Plug flow 반응기일 경우 접촉시간은 수리학적 체류시간과 동일하나, 혼화조, 침전조, 정수지에서는 Plug flow가 아니거나 일반적으로 단락류가 발생하기 때문에 수리학적 체류시간이 접촉시간을 대표하지 못한다. 따라서 접촉시간은 해당 단위공정에서 접촉시간을 추적자 실험 등을 통하여 결정하게 된다.

정수장에서 CT 평가를 위한 연구는 정수공정의 구조적 형태로 대변되는 T_{10} 값을 결정하는 것으로 나타낼 수 있다. 여기에서 T_{10} 은 Tracer가 무게비로 10 % 유출되었을 때 시간을 의미하며 소독제가 물 속의 미생물과 90 %가 접촉되는 시간을 의미한다. 즉 10 % 미만의 물이 해당되는 소독제의 농도에서 T_{10} 보다 짧은시간의 체류시간을 가지고 정수지를 빠져 나간다.

정수지에서 소독제와 접촉시간인 T_{10} 값을 측정하기 위한 추적자 실험을 하기 위해서는 추적자를 선택하여야 한다. 이상적인 추적자는 쉽게 구할 수 있고 추적자 실험기간동안 소모되거나 없어지지 않고 보존되어야 하며 측정이 용이하여야 하고 음용수에 사용이 가능하여야 한다. 일반적으로 $KMnO_4$, Alum, Chlorine, Sodium Carbonate 등 많은 화학물질들이 추적자 실험에서 사용되었으나, 비독성 염화물(Chloride)과 불화물(Fluoride)이 음용수에 가장 많이 사용되어지고 있다. 추적자의 투입과 측정위치는 반응기 구조를 대표할 수 있는 위치가 바람직하다.

정수장에서 필요 소독능을 정확하게 산정하기 위해서는 추적자를 이용한 T_{10} 결정을 하여야 하지만 일부 정수장의 경우 자금, 인력, 설비 등의 부족으로 추적자 실험을 하기 어려운 경우가 있다. 이러한 경우 <표 9.13>과 같이 T_{10} 결정을 정수지의 개괄적인 구조와 수리학적 체류시간을 가지고 산정할 수 있다. 즉 정수지의 길이와 폭의 비, 조 내의 도류벽의 설치 유무, 유입구 도류벽과 유출 방향의 웨어 배열의 효과 등이 영향을 미친다. 다음 <표 9.13>는 미국 환경청에서 정류벽에 따라 T_{10}/T 의 값을 나타낸 것이다.

<표 9.13> 도류벽의 조건에 따른 T_{10}/T 의 결정

도류벽의 조건	T_{10}/T	정류벽의 특징
도류벽 없음	0.1	도류벽 없음, 길이/폭의 비가 낮음, 유입·유출속도가 높음
낮은 효율	0.3	유입·유출구에 도류벽이 없음, 정수지내 도류벽이 없음
평균	0.5	유입이나 또는 유출구에 도류벽이 있음, 정수지내 도류벽이 있음
우수	0.7	유입구에 관형 도류벽이 있음, 정수지내 관형 또는 구불구불한 도류벽이 있음
아주우수 (관형흐름)	1.0	유출구 웨어 길이/폭의 비가 매우 높음, 유입·유출구에 관형 도류벽이 있음, 정수지내 관형 도류벽이 있음

9.6.3 수치해석과 CFD(Computational fluid dynamics)의 개요

가. 수치해석의 정의

유체를 포함하는 하나의 시스템에서 유체의 흐름, 열전달 등과 같은 현상들을 수학적으로 풀기 어려운 비선형 방정식들의 근사해를 구하는 방법이다. 이러한 수치적 근사해와 이론적 해석해와 비교해 보면, 근본적인 차이점은 후자가 전 영역의 유동을 단일함수로 근사하는 것에 비하여 전자는 국소적으로 각각 다른 함수로 근사하게 된다. 따라서 낮은 차수의 다항식을 사용하여 높은 정확도를 얻을 수 있다는 장점을 갖게 된다. 비록 근사해가 오차를 갖는다는 단점을 갖지만 적당한 해석기법 및 이산화 기법, 격자생성 기법을 사용하여 충분한 정확도를 얻을 수 있게 된다.

나. 수치해석의 목적

구조물의 설계 시 전통적인 설계방식 및 이론을 이용하여 설계되었는바 구조물의 형상변화에 따른 수리학적 특성이 최적의 상태로 고려되지 않았다. 정수장의 수리학적 특성을 검토할 수 있는 효율적인 방법이 없었기 때문에 정수품질이 수리학적 특성에 따라 매우 큰 영향을 받음에도 불구하고 간단한 수식을 통한 설계방식을 유지해왔다. 하지만, 최근 컴퓨터의 발달에 힘입어 3차원 수치해석이 정수장 설계에 적용되기 시작하였고, 이것이 수리학적 특성의 파악 및 정수장 효율향상에 효과가 크고, 비용 및 소요시간에서 수리모형실험 보다 효율적이다. 정수공정의 화학적 처리 과정들도 수리적 흐름과 긴밀히 연관되어 있으므로 3차원 수치해석을 통하여 주요 정수장 구조물의 수리학적 특성을 최적화하고 이를 통하여 정수 품질을 향상시키는데 그 목적이 있다.

다. 수치해석의 필요성

수리모형실험과 비교하면 수치해석의 경우가 일반적으로 개발에 소요되는 기간이 짧고 소요비용도 적게 든다. 한편, 신뢰성에 있어서는 수리모형실험 쪽이 높다고 생각될 수 있으나, 이는 대개의 경우가 모델 실험으로 실제유동으로의 재현 및 실물 크기에서의 환산에 문제가 따르며, 또한 데이터를 수집하는 과정에서의 계측오차와 비정상 3차원 유동에서의 그 전모를 충분히 파악해 낼 수 없다는 단점이 있다. 그러나 수치해석은 수리모형실험이 어려운 다양한 해석대상에 대하여 적용할 수 있다는 장점을 갖게 된다.

라. 수치해석 프로그램의 설명

수치해석 프로그램은 해석모델작성, 격자생성, 해석수행, 결과작성 등으로 나누어 볼 수 있다. Water-CFD v1.0 등의 경우 해석모델작성은 프로그램내 모델링을 사용하여 2차원 평면 스케치를 작성하고 이를 이용하여 3차원 모델을 생성할 수 있는 기능이 내장되어있다. 또한, 기존 3차원 모델링 프로그램의 경우 기능 메뉴가 많아 초보자들이 쓰기에 어려움이 많기 때문에 본 프로그램에서는 정수장 구조물 작성에 필요한 기능만 추가하여 초보자들도 쉽게 사용할 수 있도록 구성하였다. 해석모델을 작성한 후에는 PC를 이용하여 해석을 할 수 있게 해석격자를 생성 작업을 수행해야 한다. 해석 격자는 보통 사면체, 육면체, 다면체 격자가 있으나, 본 프로그램에서는 형상 표현에 큰 제약이 없는 사면체 격자를 사용하여 초보자들도 쉽게 생성할 수 있도록 구성하였다. 해석격자가 완성이 된 후에는 해석수행을 통해 계산을 진행하게 되며 계산이 완료된 후에 프로그램 내 결과 보기 프로그램을 이용하여 2차 및 3차원 해석 결과 및 임의의 위치에서의 결과 값 도출이 가능하다. 또한, 해석결과를 토대로 자동으로 보고서를 생성하여 초보자들도 쉽게 수치해석 결과 보고서를 만들 수 있도록 구성하였다.

마. CFD 해석(전산 유체역학 혹은 수치 유체역학)

CT 방법은 너무 보수적으로 소독능을 산정시에 문제가 있어, Integrated Disinfection Design Frame(IDDF)가 개발되기도 하였다. 그러나 CT 방법과 IDDF 방법 모두 소독능의 수리학적 거동을 평가할 때 체류시간 분포 곡선만을 고려한다. 체류시간 분포 곡선은 해당 조 내에서 수리학적 거동을 나타낼 때 매우 유용한 정보이지만, 부분적인 수리학적 효율을 제시하지 못하는 문제가 있다. 따라서 진보된 전산 유체역학(CFD) 모델을 적용하여 소독능을 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재의 소독능 연구는 소독능을 정확하게 파악하는데 주 관심이 있으며, 해당 소독능에서 소독능을 어떻게 증가시킬 수 있는지 방법에 대한 연구는 부족하다. 소독능에 영향을 미치는 여러 가지 요소들 중 수리학적 특성이 일반적으로 가장 중요하다.

기존의 풍동실험 등을 컴퓨터로 대신 하는 실험으로 사용분야는 광범위하여 항공, 자동차, 토목 등 유체가 사용되는 모든 부분에 적용된다. CFD 계산은 지배 방정식으로 미분 방정식을 풀어야 하는데, 여러 경우 직접 풀어내기 못하고 선형화 하게 되며, 비선형의 경우 근사 해를 찾는 여러가지 이론 등의 방정식을 이용하나, 모든 구간을 동시에 진행할 경우 지배 방정식 자체가 너무 어렵고 방정식을 푼다고 해도 오차가 크기 때문에 작게 나누어 계산하여야 한다.

작게 나누는 방법 중 FDM(Finite Defference Methode : 유한 차분법)을 가장 많이 사용한다. 이는 미분 방정식을 풀어내는 수학적 기법으로 편미분 방정식을 차분방정식으로 근사화 시켜서 계산한다. 다른 방법으로는 FVM(Finite Volume Methode : 유한 체적법) 등이 있다. 전반적으로 CFD 해석은 일정 교육과 경험 등을 바탕으로 해석하여야 한다.

CFD는 어떤 문제를 풀기 위해 지배 방정식을 근사화해서 풀어내는 도구로 상황에 따라 그 방정식의 수량이 워낙에 많기 때문에 사람이 풀지 않고, 컴퓨터로 분석하는 것이며 계산할 수 있어야 컴퓨터로 가능하기 때문에 어떤 방정식으로 계산할 것인가가 중요하다. 또한 유체의 경우 고체와 달라 비선형의 영역이 많기 때문에 어떤 방법을 취해서 계산할 것인지는 이론과 경험이 적절히 조합되어야 한다.



10

자주 묻는 질문(FAQ)



10

자주 묻는 질문(FAQ)

10.1 정수처리기준의 이해

질문1

병원성미생물이 수돗물에 어떠한 영향을 미치며 왜 정수처리기준을 준수해야 하는가?

답변

일반세균, 대장균과 같은 병원미생물과는 달리 소독내성이 강한 바이러스, 지아디아, 크립토스포리디움과 같은 원생동물을 포함한 병원성미생물에 대하여 수질기준을 직접적으로 설정하여 관리하는 것은 경제적으로나 기술적으로 유효하지 않다.

왜냐하면 바이러스, 지아디아, 크립토스포리디움의 경우 여과지 유출수나 최종 처리수에 대해 직접 수질검사를 하면 좋겠지만 신속, 정확한 방법으로 분석하기에는 많은 시간과 전문기술, 분석경험을 필요로 한다. 그래서 정수장 수질관리 시 직접 수돗물 중의 병원성 미생물량을 직접 측정하지 않고도 각 공정에서 미생물 제거여부를 파악하고 정수처리공정을 관리하는 방법이 필요하다.

따라서 기존 정수처리시설의 여과 및 소독공정을 병원성 미생물 제거의 측면에서 최적화하여 최대한 높은 수준의 안전성을 확보하려는 다단계방어전략(Multiple barrier strategy)이 필요해진 것이다.

이와 더불어 정수장에서 일상적으로 정수처리기준 준수를 통해 미생물 안전성을 확보하는 동시에 직접 병원성 미생물 분포실태를 병행하도록 하고 있다(수도법 제28조). 지표수를 수원으로 하는 정수처리시설은 물론, 지하수를 사용하는 시설도 주기적으로 바이러스, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭 등 병원성 미생물 실태조사를 실시해야 하며, 조사방법은 5,000세제곱미터 이상과 미만에 따라 다소 다르게 규정하고 있다.

자세한 내용은 “제1장 서론”편을 참고하면 된다.

질문2

정수처리기준은 먹는물 수질기준과 어떻게 다른가?

답변

첫째, 먹는물 수질기준은 먹는물에 허용되는 최대농도를 정한 것이지만, 정수처리기준은 바이러스나 지아디아 포낭과 같은 염소내성이 강한 병원성 미생물을 안전한 수준까지 제거하는데 필요한 정수장 운영기준을 정한 것이다.

둘째, 먹는물 수질기준의 만족여부는 해당 오염물질의 농도를 직접 측정하여 평가하지만, 정수처리기준의 준수여부는 각 정수공정의 운영효율지표인 탁도나 불활성화비를 측정하여 판단한다.

셋째, 먹는물 수질기준은 최종 처리수 즉 수도꼭지 수질에 적용되지만, 정수처리기준은 원칙적으로 정수처리과정 즉 각 처리공정에 적용된다.

넷째, 따라서 먹는물 수질기준은 사후적인 수질관리전략이지만, 정수처리기준은 사전예방적 수질관리제도로 할 수 있다.

10.2 여과지 운영 및 유지관리

질문3

여과지 탁도 Monitoring 감시를 실시간, 15분 간격 연속측정을 하여야 하는 이유는?

답변

여과지에 혼화·응집·침전공정 불량이나 역세척 잘못 등으로 고농도의 탁도가 유입될 경우에 최소 8분동안 저농도의 탁도 측정이 불가능 [저농도(0.03 NTU)→고농도(5,194 NTU) : 5~8분 소요] 한 실험결과에 근거하여 최소한 15분 간격의 안정된 여과지별 탁도 Monitoring이 필요하다.

더불어, 통합수로 탁도계는 계열화된 정수장에 여과지 개개별 초기탁도 누출이나 손실수두 등 현재의 상태를 확인할 수 없어 여과지의 정상적인 성능유지와 원활한 정수처리 유지관리를 위해서는 반드시 여과지별로 탁도계 설치를 권장한다.

질문4

여과지에서 병원성 미생물을 제거하는데 탁도에 대한 규정을 설정하는 이유는?

답변

탁도란 물의 흐린 정도를 정량적으로 나타낸 지표(물리적 성질)로, 수중 입자에 의해 빛이 산란되거나 흡수되는 광학적 성질을 나타낸 것으로 그 구성 물질은 토양성분, 미세한 무기·유기물, 용존성 화합물, 조류, 기타 미생물 등이 포함된다.

실제로 많은 파일럿 시험 결과에서 탁도 제거율과 원생동물 제거율은 매우 높은 상관성을 보여 원생동물 제거정도에 대한 정수처리공정의 적정 수행여부를 간접적으로 판별할 수 있는 지표(Indicator)로 활용된다. 현실적으로 여과공정 전후에 대한 병원성미생물을 직접 시험하여 비교하기에는 막대한 예산과 시간이 소요되므로, 원수 중의 바이러스, 지아디아, 크립토스포리디움 등은 콜로이드 입자와 유사하게 응집침전여과공정을 통하여 제거되기 때문에 최종 보루인 여과공정에서 목표탁도를 유지하므로 원생동물에 대한 안전성을 확인하게 된다.

병원성미생물은 이러한 여과공정과 소독공정을 적절히 수행하여야 달성될 수 있는데 정수장 운영자는 여과 시설의 종류나 규모에 따라 최종 목표탁도를 준수할 수 있도록 여과지 운영관리를 철저히 하여야 한다.

질문5

여과지 Monitoring 탁도 증가 시 검토할 운영과 유지관리 내용은 무엇이 있는가?

답변

여과 재원이나 역세척을 확인하여 주기적인 오염도조사 결과를 참조하여 여과효율이나 성능을 평가/분석하고 유량이나 밸브 시퀀스 등을 점검/확인하여 아래사항을 중점적으로 검토한다.

- ① 역세척 주기에서 현재 단계를 확인
- ② 이전 역세척이 올바르게 수행되지 않았을 경우에는 여과지 가동을 중지
- ③ 유속이 정확히 설정되어 있고 설정된 한계값 밖으로 변동하지 않는지 확인
- ④ 여과숙성을 위한 조치와 재활용수(회수)의 적정한 관리 확인
- ⑤ 과도한 손실수두 발생, 적정한 역세척 시행 및 여과지속시간이 적정한지 검토
- ⑥ 여층깊이가 규정에 적합하게 유지되는지 확인
- ⑦ 여재상태가 표층이 고르고 평평한지, 머드볼과 균열이 생기지 않는지 관찰
- ⑧ 표면(역)세척이 올바르게 작동하고 세척공기와 역세척수가 고르게 분배되는지 확인
- ⑨ 역세척시 여층 팽창을 확인 등

질문6

여과수질이 불량할 경우 전처리공정에서 점검할 주요사항은 무엇인가?

답변

여과성능 최적화를 위한 적절한 전처리는 필수적이고 더불어 여과수질에 큰 영향을 미치므로 여과지에 문제가 발생할 경우에는 전처리에 대한 조사가 필요하다. 예비 산화공정, 응집약품, 혼화·응집 및 침전공정에 대해 적절하게 이루어졌는지 검토되어야 한다. 예를 들어 침전지 유출수 탁도를 2 NTU 이하로 맞출 것을 권장하는데 이는 여과지에 걸리는 부하를 최소화하기 위해서이다. 또한 여과지 역세척 직후 초기 15분 이내에 최고탁도가 나타나고 이후에 목표 수질에 도달하지 못하면 역세척 수량 및 수압의 부족, 여과지 운전방법의 부적절 등 전반적으로 검토해야 한다(정수장 기술진단 매뉴얼) 전처리 공정에 주요사항은 다음과 같다.

- ① 취·송수 모타펌프 대수제어에 의한 수리적 충격완화 : 보조펌프나 회전수제어방식 전환
- ② 심야 전력사용정책의 주야간 생산량 증폭 최소화 : 균일한 생산
- ③ Flash Mixing과 Coagulation, pH조정제의 SV값 적정 확인, G값(교반강도) 등 시설기준 검토
- ④ 침전지 내의 플록체류가 불량인지 확인
- ⑤ 자동 급속여과방식에 응집약품 미사용 : 반드시 응집제 사용
- ⑥ 조류발생시 pH변화와 알칼리도 저감에 적정대처 : TOC 2 mg/L 이하
- ⑦ 초기 강우시 Monitoring에 대한 실시간 대응조치

질문7

여과지 속성과 초기탁도 누출을 예방할 수 있는 방법은?

답변

여과지 운전은 여과, 세척, 배수의 3단계로 이루어지며, 여과속도의 증가나 급격한 변동은 여재층에 침착되어 있던 부유물 등에 영향을 주게 되므로 적정운전이 필요하다. 부득이 증가시킬 필요가 있을 경우에는 유속 상승에 따른 충격을 완화시키기 위하여 10분이상의 시간을 두고 점진적으로 증가시켜야 한다.

또한 여과 속성은 안정된 수질을 얻을 수 있고, 초기탁도 누출을 방지하기 위하여 여과보조제를 첨가하거나, 역세척 후에 일정시간 동안 여과지를 가동중지 및 가동시 여과속도를 점진적으로 증가시키는 방법, 그리고 시동방수 등이 활용된다.

- ① 지연 시동(Waiting) : 생산용량에 여유가 있을 경우, 남아 있는 여과지로 추가적인 유량이 분배되도록 검토하여 생산하는 물의 양이나 수질이 영향을 받지 않도록 운영한다. 지연시동은 역세척 후에 몇분~몇시간 휴지상태로 운영
- ② 저속 운전(Ramping) : 여과지 속도 제어밸브를 천천히·점진적(단계적)으로 조작/운전 방식
- ③ 시동 방수 : 배관 및 밸브 설치공사로 추가예산 필요.
- ④ 역세척수에 응집제(중합제) 첨가
- ⑤ 여과 유입수에 polymer 첨가

질문8

여과효율을 평가하기 위한 방법에는 무엇을 어떻게 하여야 하는지?

답변

여과성능을 파악하기 위해서는 지내에서 어떤 일이 일어나고 예상되는가를 운영일지의 데이터나 기록 등을 분석하고 파악하여 정확한 의사결정을 내려야 하는데, 지별 여과수 탁도, 입자수 측정, 여과지속 시간, 손실 수두, 오염도 측정, 기타 유입·유출유량 등 아래 사항을 들 수 있다.

① 여과수 탁도 측정(입자수)

- Kawamura는 2 um 보다 큰 입자수가 50이하/mL(매우 양호), 50~150/mL(양호), 200이상/mL(나쁨)
- 최근 LT-2 ESWTR은 20이하/mL를 권장하고 있다

② 여과지속시간 측정

③ 여과수량에 대한 역세척수량의 비율 산정

④ 여과지속시간내에 처리된 단위 여과면적당 여과수량(UFRV)

- UFRV값 200 m^3/m^2 이하 : 여과지속시간이 너무 짧다
- UFRV값 410 m^3/m^2 초과 : 여과지 성능 양호
- UFRV값 610 m^3/m^2 이상 : 재래식 정수공정에서 여과성능이 좋다.

질문9

수질자동계측기 정밀도 검사주기는?

답변

- ① 근거 : 환경분야 시험·검사 등에 관한 법률 시행규칙 제11조 및 국립환경과학원고시 제2012-43호 및 국립환경과학원 고시 제2012-48호
- ② 정도검사 주기 : 2년(측정기기를 취득한 날부터 국립환경과학원장이 정하여 고시하는 기간 마다 그 끝나는 날의 30일 전부터 끝나는 날의 30일 후까지의 기간. 다만, 측정기기를 사용하는 자가 정도검사기간 전에 측정기기의 성능 등을 점검하기 위하여 정도검사를 받은 경우에는 정도검사를 받은 것으로 보며, 그 후의 정도검사기간은 정도검사를 받은 날부터 산정.)
- ③ 정도검사 대상 : 잔류염소 연속자동 측정기 및 그 부속기기
탁도 연속측정기 및 그 부속기기

질문10

소독방법으로 염소를 사용하고 있는데, 통합여과수 탁도가 1 NTU를 초과하면 어떤 조치가 필요한가?

답변

통합여과수 탁도가 1 NTU를 초과했다면, 이는 여과공정에서의 병원성 미생물 제거율을 충족하지 못했음을 의미한다.

따라서 3가지 미생물 각각의 총 제거율을 다음 처리공정에서 충족해야만 한다. 불활성화비 계산시 바이러스 4로그 제거에 해당하는 $CT_{요구값}$ 과 지아디아 3로그 제거에 해당하는 $CT_{요구값}$ 을 각각 적용해 불활성화비가 모두 1 이상이 되면, 바이러스와 지아디아 기준은 만족한 것이다. 그러나 크립토스포리디움 경우에는 염소내성이 매우 강해 약간의 제거율도 인정되지 않으므로, 크립토스포리디움 정수처리기준 위반이 된다. 이 경우, 즉시 자체시설 점검 등을 통해 여과공정의 탁도 상승 원인을 조사하고 필요한 개선조치를 취해야 하며, 검사결과 및 개선조치결과는 10일 이내에 환경부장관에게 보고하여야 한다. 만일 개선조치에도 불구하고 1 NTU 초과상황이 24시간 이상 지속되는 경우에는 위반내용 즉 “크립토스포리디움 정수처리기준 위반”을 관할지역 주민에게 알려야 하는데, 구체적인 주민공지의 내용과 절차는 수도법 시행규칙 제18조에 따른다.

질문11

통합여과수 탁도가 한번이라도 0.3 NTU 를 초과하면 기준 위반인가?

답변

탁도가 한번만 0.3 NTU 를 초과했다면 그것은 정수처리기준 위반이 아니다. 4시간 간격으로 측정된 한달간의 탁도 측정치 중 95 % 이상이 0.3 NTU 이하이면 기준을 충족한 것이다. 예를 들어, 한달이 30일인 경우 180개의 측정치가 생성되는데, 이 중 171개 이상이 0.3 NTU 이하이면 기준 위반이 아니다. 따라서 한번 0.3 NTU 초과가 발생되면 즉시 여과공정 관리를 강화하여 더 이상 탁도 누출이 발생되지 않도록 하는 것이 중요하다. 단, 어떤 경우에도 1 NTU를 초과하는 것은 바로 기준 위반이 된다. 만일 0.3 NTU를 초과하는 탁도 측정치가 5 %를 초과한 것으로 확인된 경우에는 즉시 자체 시설점검을 통해 원인을 파악하고 필요한 조치를 취해야 한다. 그리고 이러한 검사결과 및 개선조치결과는 10일 이내에 환경부장관에게 보고하여야 한다.

10.3 소독시설 유지관리

질문12

전염소 투입에 대한 소독능 계산 값을 적용가능한지?

답변

정수장에서 소독기능은 정수지를 중심 대상으로 한다.

물론 염소는 전염소와 후염소를 두 곳을 주입하지만 전염소의 경우 상수원수의 염소요구량을 만족시켜 주는 것이 일차적인 목표이며 이러한 주입방법에서 잔류염소가 대부분의 정수장의 경우 침전지에서 잔류염소의 농도가 거의 영에 가까워지기 때문에 현재와 같은 추가 소독능 계산에서 정수장의 추가 소독에 기여하는 바는 미미하다.

일부 운전자의 경우 여과지 이전에 잔류염소가 측정된다고 하지만 잔류염소의 농도가 높게 유지될 경우 여과공정에서 염소가 휘발하여 여과지 운영 운전자의 건강에 부정적인 영향을 미치거나 여과지 구조물의 빠른 부식을 촉진하여 좋은 운영방법이 아니다.

그러나 단지 전염소의 주입에서 추가 소독능을 인정받을 수 있는 일부 정수장은 취수지점과 정수장의 위치가 상당히 떨어져 있고 정수장의 착수정이 염소 주입위치가 아니고 취수지점일 경우가 해당된다.

이 경우 정수지에서의 소독능 외에 전염소를 주입한 이후에 상당한 시간동안 일정한 농도이상의 염소에 상수원수가 노출되어 소독작용이 원활하게 진행되었다고 볼 수 있다. 이러한 경우에 있어서 조차 자동적으로 추가 소독능을 인정받는 것은 아니며 추가 소독능을 인정받기 위한 입증자료가 전제되어야 한다. 이러한 경우 추가 소독능을 인정받기 위해서는 송수관로에서 예상되는 소독공정 자료를 해당 정수장이 체계적으로 조사하여 제출하여야 한다. 이를 근거로 추가소독능 인증위원회에서 심사를 통해 심의 위원 전원 찬성에 의해 인증 여부를 결정할 수 있다.

질문13

정수지 장폭비를 계산하여 환산계수를 적용하고 있으나, 정수장의 경우 정수지에 도류벽이 3개 설치되어 있고, 정수지가 4개로 나뉘어 각 2개씩 시설용량이 같고 정수지를 거친 물은 흡수정에 모였다가 송수하는데 이런 경우 각각의 정수지의 장폭비를 계산하여야 하는지?

- 또한 각각의 정수지의 장폭비를 계산하여 최악조건을 적용하여야 하는지?
- 흡수정도 정수지의 역할이라 할 수 있는데 흡수정의 장폭비를 계산하여 포함하여 산정하여야 하는지?
- 또한 정수장이 염소 소독시 디퓨저에 의해 완전 혼화가 이루어 질수 있도록 물의 흐름을 실시하고 있고 수차례에 걸친 실험결과 정수지 유입부의 염소투입 후 잔류염소농도와 정수지 유출 잔류염소 농도를 측정해본결과 완전혼화가 이루어지고 있음을 확인하였음
- 이런 경우 정수처리에 관한기준 대로 장폭비 환산계수를 적용하여야 하는 것인지? 아니면 우리 정수장 실정에 맞는 환산계수를 적용하여야 하는 것인지?
- 전염소 투입시설이 있는 경우 이를 소독능 환산에 전부 산입하여야 하는 것인지?

답변

정수지의 구조에 대해서 정확히 인식하기가 힘들기 때문에 정수지의 도면을 보고 확인하는 것이 좋으나, '정수지의 도류벽이 각 정수지별로 3개씩 있고, 이러한 정수지가 2개씩 같은 용량으로 4개가 있다'는 걸로 이해하겠음

다만, 여과지를 거친 한 개통의 물이 염소 소독되어, 각 4개통의 정수지로 분산 유입되는 것인지, 아니면 여과지에서 유출된 여과수가 4개통으로 분산되어 각 개통별로 소독시설이 구비되어 있어 별도로 소독이 되고 있는지에 따라 CT값 산정방식이 달라질 것으로 사료된다.

만약 여과지에서 유출된 여과수가 한 곳에서 소독되어 4개통으로 분산되어 나중에 흡수정으로 자연유하식으로 유출이 된다면 4개의 정수지 물이 합해지는 지점에서 채수하여 잔류염소농도를 측정하고 각 정수지별로 T_{10} 값을 산정하여 소독능값을 계산하여야 할 것이다(여기에서 T_{10} 값은 소독제가 반응조내에서 물속의 미생물과 90 % 이상 반응하는데 소요되는 시간을 의미함).

이때 소독능 계산은 4개 정수지에서 제일 짧은 T_{10} 값을 이용하여 계산해야만 최악의 경우를 가정한 결과를 얻을 수 있다.

그리고 흡수정에서의 체류시간을 T_{10} 값 산정시에 산입되지 않음. 그 이유는 관련 고시에서는 소독능값 산정을 위한 염소농도 및 T_{10} 값은 정수지 유출부로 규정하고 있기 때문임. 앞의 환산계수를 적용할 경우 장폭비 계산이 중요하다.

그리고 대부분 정수지의 구조가 정확한 반응시간 산정을 위한 추적자 시험이 힘든 관계로 환산계수를 이용하여 T_{10} 을 산정하는 것으로 알고 있음. 이 경우, 장폭의 계산은 정수지의 길이(장)에 도류벽 전체 길이만큼을 더하고, 정수지 폭의 경우 도류벽 개수만큼 감소되는 것으로 하여 산정할 수 있다. 이렇게 계산한 장폭비를 이용하여 정수처리기준에서 언급한 환산계수를 적용하시면 될 것으로 사료되며 문헌에 의하면 장폭비가 20:1 정도일 때 가장 효율적인 환산계수 값을 0.61 정도로 보고 그 이상의 비에서 특별한 효과를 나타내지 않았다는 연구결과가 있다.

현재 정수지에서 완전 혼합이 이루어지고 있는 것으로 자체 평가하고 있지만, 기준상에는 장폭비 산정시의 관흐름에 대해서만 환산계수 1을 적용하고 있다. 관 흐름이란 송수관(추가소독능 적용시), 도수관(취수단계에서의 전염소처리 적용시)등의 관에서의 흐름이 있을 경우에 대해서만 적용됩니다. 전염소시설이 있을 경우의 소독능값 계산은 각 지점에서의 불활성화비를 산정하고 그 값을 합산하여 산정하고 있다.

질문14

정수처리공정에서 소독능(CT)을 향상시키기 위해서는 어떤 방법이 있는지?

답변

정수처리공정에서 여과 및 소독공정으로 원하는 만큼의 소독능 값을 달성할 수 없을 경우에 소독능(CT) 향상 방안으로는 염소투입량 증가, 정수지 도류벽 설치, 정수지 수위를 높게 유지하는 방법이 있으며, 특히 탁도 등 정수처리 공정관리를 철저히 하여야 한다. 정수지 이후 공정에서 구조물의 설치나 운영으로 소독능을 향상시킬 수 있고 적용 가능한 방안은 다음과 같다.

(1) 디퓨저(diffuser)의 설치

효과적인 소독제 혼합을 위해서는 정수지 전단에 염소 접촉조를 두거나 혼합장치 등을 설치하는 것이 바람직하지만 시설개선 비용이 많이 소요되므로 웨어 낙차부, 여과수 혼합수로 등 혼합이 잘 이루어지는 지점에 투입지점을 변경하고 디퓨저를 설치함으로써 소독능을 향상시킬 수 있다.

(2) 도류벽의 설치

도류벽 설치의 소독능 향상을 위한 가장 효과적인 방법으로 도류벽은 유입유출부의 속도를 감소시키고 정수지내에 균일하게 유량을 분배하고 단락류 발생을 방지함으로써 정수지의 유효접촉시간을 연장할 수 있다. 정수지에서 소독제와 물의 최대 접촉시간을 갖기 위해 보통 폭과 길이의 비(장폭비)가 1 : 20이 가장 효율적이며 도류벽을 설치함으로써 이 비를 높여 줄 수 있다.

(3) 정수지 수위 관리

적정 소독력을 유지하기 위해선 일정한 접촉시간을 가져야 함에도 불구하고 정수지 수위의 변화폭이 큼으로 인해 실질적인 체류시간의 감소를 가져온다. 국내의 정수지는 수위 변동폭이 매우 커서 소독능 값 계산시에 최소 수위를 적용하고 대부분의 정수장에서는 정수지 시설규모의 일부 정도만 사용하고 있는 실정이므로 유출구의 위치를 상부로 조정하여 정수장 시설규모의 2/3 또는 3/4 정도를 활용하도록 한다.

질문15

최근 소독제로 차아염소산나트륨을 이용하는 정수장이 있는데 어떤 경우에 적용 가능하며, 액체염소와의 차이점은?

답변

일반적으로 차아염소산나트륨은 가성소다용액에 염소를 흡수시켜 제조하며, 유효염소농도는 보통 5~12 % 정도의 담황색 액체이다. 이러한 차아염소산나트륨은 용기에 충전한 것을 탱크로리로 운반하여 저장조에 이송한 후 사용하는 방식과 현장에서 소금을 분해하여 저농도의 안전한 차아염소산나트륨 용액을 생성시켜 주입하는 두 가지 방식이 있으나, 현장제도가 바람직하다. 염소가스와 동일한 소독효과를 갖는 반면 처리수 주입 후 부산물로 형성되는 수산화이온(OH^-)의 영향으로 수중의 알칼리도와 pH를 적절히 유지하고 설비 및 관로 부식을 억제하는 부차적인 효과를 갖는다. 액체염소는 안정성 문제 등 위험성이 있어 다음과 같은 경우에 차아염소산나트륨으로 전환을 고려할 필요가 있다.

- (1) 대지진 발생 가능성이 높은 지역
- (2) 정수장 주변의 인구밀도가 높아 염소가스가 누설되면 큰 피해가 예상되는 경우
- (3) 액체염소 사용에 동반되는 보안관리를 충분히 실시할 수 없는 상황인 경우

차아염소산나트륨은 염소보다 가격이 비싸지만, 염소에 비해 안전하고 최근 재염소시설이나 소규모 무인정수장과 하수처리장에서 사용되고 있는 추세이다. 차아염소산나트륨은 저농도로 안전하고 별도 제해설비가 불필요하며 고압가스안전관리법 대상시설 아니다.

최근에는 혼합산화제(MIOX, Mixed Oxidant)가 일부 정수장, 수영장 등에서 소독을 목적으로 사용이 되고 있는데, 염소소독의 가장 큰 문제점인 염소냄새와 맛의 문제를 해결하고 THM 등 소독부산물의 감소가 가능하다고 알려져 있다. 현재 국내 정수장에서 수돗물 병물제조 공장 등의 소독공정에 도입하고 있다.

질문16

정수장에서 소독제로 자외선을 사용하기 위해서는 어떠한 경우에 적용이 가능한지?

답변

자외선의 소독원리는 주파장이 253.7 nm인 자외선이 박테리아나 바이러스의 핵산에 흡수되어 핵산의 화학변화를 일으킴으로써 핵산의 회복기능이 상실되는데 있다. 자외선에 의한 살균은 DNA에 대한 광산화효과이며 비활성화(Inactivation)라고 한다. 자외선으로 소독 또는 산화시킬 때 일정한 수준의 에너지를 연속적으로 피조사체에 조사하여야 하는데, 조사량이 영향을 미치는 것은 투과력과 온도이다.

(1) 자외선 소독공정 현황

과거 하수처리장에서 주로 염소소독을 사용하였으나 잔류염소에 대한 생태계의 영향 및 소독부산물의 생성으로 인해 염소 대체공정으로 자외선 소독을 적용하는 추세이다. 국내에서 원생동물에 대한 규제가 강화될 경우 기존의 염소소독만으로 한계가 있어 대체소독제로 적용성이 높아지게 될 것이며, 자외선의 적용분야는 다음과 같다.

- 미생물학적으로 양질의 기준을 만족시키기 위한 음용수 소독
- 화장품, 의약품 등의 제조용수 소독
- 수영장, 수족관, 양어장 등의 순환수 및 방류수 소독
- 건물에 있는 바이러스와 박테리아의 확산을 막기 위한 공기 냉각수 소독
- 도시하수, 폐수 및 공업폐수의 소독

자외선 살균이 각광을 받기 시작한 것은 부산물이 발생되지 않기 때문이며, 단점으로는 잔류성이 없다는 점이다.

(2) 음용수 살균

생수공장을 중심으로 자외선 살균기를 사용하였으나 최근 소비수준의 향상으로 아파트와 같은 집단주거시설 및 집단급수시설(식당, 휴양시설, 교육시설 등)에도 사용되고 있다. 가정용 정수기에도 소형 자외선 살균기를 사용하고 있다.

(3) 하폐수

최종 방류되는 하폐수는 미생물을 살균 처리하여 방류하도록 규정되어 있다. 과거에는 염소 등 화학적 처리 방법을 사용하였으나, 부산물의 생태계 교란발생 등으로 자외선과 같은 대체 살균제의 사용을 권장하고 있다.

10.4 정수처리기준 인증

질문17

정수처리기준에 의한 인증 관리 주기는?

답변

수도법시행규칙제18조2제3항제2호에 따르면 인증주기는 3년으로 하되, 최초 인증을 받는 경우에는 인증을 받은 날을 기준으로 1년부터 1년6개월까지 기간 내에 병원성 미생물로부터 안전하다는 사후평가를 받을 것을 조건으로 인증함

자세한 내용은 ‘정수처리기준에 의한 인증’편을 참고하면 된다.

질문18

지표수의 영향이 없는 상수원이 병원성미생물로부터의 안전성 확보절차는?

답변

수도법 제28조제1항의 단서조항에 따라 지표수의 영향을 받지 아니하는 지하수를 상수원으로 사용하는 경우로서 해당 상수원이 병원성 미생물로 안전하다는 환경부장관의 인증을 받으면 정수처리기준 준수의무를 대신할 수 있다.

환경부장관의 인증은 한국상하수도협회에서 실시하며 정수처리기준 적용 배제 인증(지하수) 인증 시 확인 항목은 아래와 같다.

- ① 년중 탁도 변동이 0.5~1(0.3) NTU 이내
- ② 년중 수온 변동이 15~20 % 이내
- ③ NO_3^- -N 농도의 년중 변동 추이 확인
- ④ pH, 전기전도도 값의 년중 변동 추이 확인
- ⑤ 대장균군, 분원성대장균군 미 검출
- ⑥ 바이러스 및 지아디아 포난, 크립토스포리디움 난포낭 등의 병원성미생물 미 검출 (단, 시설용량에 따라 대장균군 미검출 확인)

자세한 내용은 ‘정수처리기준 적용 배제 인증 소개’를 참고하면 된다.

참고문헌

1. 강용태, 상하수도공학, 형설출판사, 1998
2. 건설교통부, 수도시설 유지관리매뉴얼, 2001. 6
3. 국립환경과학원, 서울시 상수도연구원, 상수도의 병원성 원생동물, 2010
4. 국립환경연구원, 우리나라 정수장의 정수처리기술기준 제정에 관한 연구, 2002. 3
5. 국립환경연구원, 정수장 소독공정 운영관리 해설서, 2001. 7
6. 국립환경연구원, 정수처리기준 선진화를 위한 개선안 연구, 2010년 12월
7. 김충환외 세라믹 막여과 정수시스템 개발, 한국수자원공사, 2008
8. 김형수, 막여과 Integrity 고려한 막모듈·유닛설계 및 운영기법개발, 한국수자원공사(자문), 2006
9. 대한상하수도학회, 정수처리기준의 보완 및 정수장 관리제도 개선방안 마련을 위한 연구, 2004. 10
10. 박상정, 김종민, 김태승, 정동일, 이목영, 남세희, 윤종호, 정종문, 조은주, 전현숙, 장은숙, 정미은, 국내 5만톤/일이상 대규모 정수장 원수에서 크립토스포리디움 및 지아디아 분포특성, 한국물환경학회지, Vol.26, No.2, 2010a,
11. 박충현외. 최신상수도공학, 동명사, 1997
12. 서울시 상수도연구원, 서울시 고도처리운영 매뉴얼, 2013
13. 서울특별시 상수도사업본부, 수도직 종합과정(상수도 전문교육 교재), 2006
14. 서울특별시 수도기술연구소, 상수도기술실무(유지관리, 정수처리편), 2002
15. 이성우 외, 고도상수처리, 동화기술, 2003
16. 일본수도협회, 수도유지관리지침, 2006. 7
17. 제주특별자치도, 정수처리기준 적용배제 인증정수장 소독시설운영관리지침서, 2013. 7
18. 정현미, 수돗물의 미생물 관리, 모니터링인가, 처리인가, 한국물환경학회지, Vol. 18, 2002
19. 한국상하수도협회, 2003년 지자체 상수도 순회교육 - 정수처리기준 도입에 따른 바이러스 및 병원성 원생동물 관리방안, 2003
20. 한국상하수도협회, 여과지 최적운영관리 매뉴얼, 2005. 12
21. 한국수자원공사 수자원교육원. 수도수질일반과정 교재, 2004
22. 한국수자원공사, 수도시설 운영관리매뉴얼, 1996
23. 한국수자원공사, 정수설비핸드북, 2009.1
24. 한국수자원공사, 정수처리기술총람, 2001.12
25. 허현철, Optimization of Membrane Filtration System using Unified Membrane Fouling Index, 고려대학교, 박사학위논문, 2011
26. 허현철외, 막 파단 및 공극크기에 따른 막 완결성·제거효율 분석, 한국물환경학회지 24, 2008
27. 홍승관, 신규 정수장 막 도입 시 고려사항 막완결성시험, 2008
28. 환경부, 「정수처리기준」해설서 및 소독능계산프로그램 활용, 2002. 8
29. 환경부, 막여과 정수시설의 설치기준, 환경부고시 제2008-198호, 2008
30. 환경부, 상수도시설 유지관리 매뉴얼, 2007. 3
31. 환경부, 상수도시설기준, 2010. 9

32. 환경부, 정수장 기술진단 매뉴얼, 2008. 12
33. 환경부, 정수처리기준의 보완 및 정수장 관리제도 개선방안 마련을 위한 연구, 2004. 10.
34. AWWA, Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, Manual of Water Supply Practices – M53, AWWA, 2005
35. AWWA, Water Treatment, Plant Design 3rd ed, 1998
36. Clancy, J.L. et al, UV light inactivation of *Cryptosporidium* oocysts, J. of AWWA, 90(9), pp. 92–102, 1998
37. Craun G.F., Brunkard J.M., Yoder J.S., Roberts V.A., Carpenter J., Wade T., Calderon R.L., Roberts J.M., Beach M.J., Roy S.L., Causes of Outbreaks Associated with Drinking Water in the United States from 1971 to 2006, Clinical Microbiology Reviews, Vol. 23, No. 3 : 507–528, 2010
38. Craun G.F., Stephen A. Hubbs, Floyd Frost, Rebecca L. Calderon, Steve H. Via, Waterborne Outbreaks of Cryptosporidiosis, J. AWWA 9, 1998
39. Dugan, N.R., Fox, K.R., Owens, J.H., Miltner, R.J., Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional treatment, J. AWWA, Vol. 92, No. 12 : 64–76, 2000
40. Geo.Clifford White, Handbook of Chlorination, Van Nostrand Reinhold Company, 1982
41. Gordon A. Mcfeters, 수돗물의 미생물학(Drinking Water Microbiology), 대한상하수도학회, 상수도 기술서적 편찬위원회 역, 박중현, 1994. 4
42. Haas CN, Crockett CS, Rose JB, Gerba CP, Fazil AM, Assessing the risk posed by oocysts in drinking water, J.Am. Water Works Assoc., 88(9):131–136, 1996
43. Hargesheimer, E. A., C. M. Lewis, C. M Yentsch, T. Satchwill, and J. L. Mielke, “Pilot Scale Evaluation of Filtration Processes Using Particle Counting, Proceedings of the AWWA 1990 Water Quality Technology Conference, San Diego, Calif., 1991
44. J. M. Laine, K. Glucina, M. Chamant, P. Simonie, Acoustic sensor : a novel technique for low pressure membrane integrity monitoring, Desalination, Vol. 119, 1998
45. Jacangelo, J., N. Patania, J. M. Laine, W. Booe, and J. Mallevialle, W. Low Pressure Membrane Filtration for Particle Removal, AWWA Research Foundation and AWWA, Denver, Colo, 1994
46. Korich, D. G., Mead, J.R., Madore, M.S., Sinclair, N.A. and Sterling, C.R., Effect of ozone, chlorine dioxide, chlorine and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocysts viability, Appl. Env. Microbiol., 56(5), pp. 1423~1428 (1990)
47. Le Chevallier M.W, Norton W.D, and Lee R.G., Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in Surface Water Supplies, Appl. Environ. Microbiol., Vol. 57, No.9: 2610–2616, 1991
48. LeChevallier, M.W., Giovanni, G.D., Clancy, J.L., Bukhari, Z., Bukhari, S., Jeffrey S. Rosen, J.S., Sobrinho, J., Frey, M.M., 2003, Comparison of Method 1623 and Cell Culture–PCR for Detection of *Cryptosporidium* spp. in Source Waters, Appl. Environ. Microbiol., Vol. 69, No. 2, pp. 971–979
49. Lee MokYoung, Cho EunJoo, Lee JinHyo, Han SunHee, Park YongSang, A Survey of *Cryptosporidium* oocysts in Water Supplies during a 10 – year period (2000–2009) in

- Seoul, SouthKorea, Korean J.Parasitol.,Vol.48,No.3:219-224, 2010
50. Lewis, C.M., and D.H. Manz, 1991, Light-Scatter Particle Counting: Improving Filtered-Water Quality, Journal Environmental Engineering, 117(2), 1991
 51. McGraw-Hill, Water Treatment Membrane Process, 1996
 52. Melzer, T.H., and T.R. Meyers, The Bubble Point in Membrane Characterization, Bull. Parental Drug Assn., 25(4), 1971
 53. Nichols G., Rachel Chalmers, Iain Lake, Will Sopwith, Martyn Regan, Paul Hunter, Pippa Grenfell, Flo Harrison, Chris Lane, Cryptosporidiosis: Areport on the surveillance and epidemiology of Cryptosporidium infection in England and Wales, Drinking Water Directorate Contant Number DWI 70/2/201, 2006
 54. RegliS, RoseJB, HaasCN, GerbaCP, Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water, J.Am, WaterWorksAssoc., 83:76-84, 1991
 55. Susumu Kawamura, Intergrated Design and Operation of Water Treatment Facilities 2nd ed, John Wiley & Son, Inc., 2000
 56. U.S. Environmental Protection Agency, Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirement for Public Water, 1st Ed., AWWA, Denver, pp.141~152, 1991
 57. USBR, Microfiltration and Ultrafiltration, Treatment Tech. Fact. Sheets, United States Bureau of Reclamation, 2010
 58. USEPA, 2005, Occurrence and Exposure Assessment for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule. Office of Water (4606-M) EPA 815-R-06-002 December 2005
 59. USEPA, California Department of Health Services Sanitary Engineering Branch, Kenneth DKerri, Water Treatment Plant Operation,1996
 60. USEPA, Long Term Enhanced Surface Water Treatment Rule, Tool Box Guidance Manual, 2003.
 61. USEPA, Membrane Filtration Guidance Manual, USEPA, 2005
 62. USEPA,Method1623: Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtra tion/IMS/FA,EPA821-R-97-023,12, 1999
 63. USEPA, National Primary Drinking Water Regulations; Surface Water Treatment Rule, 141.70~141.80, 1989
 64. USEPA, Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program, 1998.
 65. USEPA, 강화지표수처리법의 탁도관리규정(Turbidity Guidance Manual), 2002
 66. Water Treatment, Principles and Practices of Water Supply Operations, AWWA, 2nd Ed, 1996
 67. WHO 한무영 번역, WHO 음용수 수질 가이드라인(Guidelines for Drinking-water Quality), 대한상하수도학회 수도연구회, 1999. 12
 68. WHO, Guidelines for Drinking Water Quality Vol. 2. Health criteria and other

- supporting information., 2 Edition. 56-58, 1996
69. (財)水道技術研究センター：膜ろ過浄水施設維持管理マニュアル, 2005
- 70.金子光美, 2002, Emerging Pathogenic Protozoa in Water and Its Risk Assessment, *용수폐수*, Vol. 44, NO. 4, pp. 8-13
71. 武本 剛 외 3명：浄水場膜損傷検知に向けた漏出感度向上制御方式の提案, *環境システム計測制御學會(EICA)誌*, Vol.11, No.2/3, 2006
72. 志村有通, 竹馬大介, 森田重光, 平田強, 鹽素のCryptosporidium parvumオーシスト不活化効果とその濃度依存性, *日本水道協會雜誌*, 70(1), pp.26~33(2001)
73. 清水讓 외：膜損傷の検知：第56回全國水道研究發表會, 2005
74. http://blog.naver.com/kgs_safety/10162731485 (한국가스안전공사블로그)

발행인	국립환경과학원장		
발행일	2013년 12월		
제 작	국립환경과학원	박수정, 정원화, 정현미, 권오상	
	한국상하수도협회	박덕준, 박형순, 방수진, 황철호	
집 필	이목영, 이성우, 허방련		

정수처리기준 해설서