

<총설>

## 수돗물의 미생물 관리, 모니터링인가, 처리인가

鄭賢美

국립환경연구원 수질미생물과 환경연구관

### 1. 서론-물과 일상생활과 병원미생물

수돗물은 먹는 물이자 생활용수이다. 식수뿐 아니라, 음식조제나 세척, 세탁, 청소, 양치질, 목욕 등에 사용된다. 수돗물은 우리 생활에서 필수 불가결한 매우 소중한 자산이다. 공기가 언제나 있어 당연히 숨쉬지만 없으면 생명을 잃게되는 것처럼 수돗물이 공급되지 못한다면 생활의 불편을 넘어서 기본 위생을 충족시킬 수가 없게 된다. 따라서 모든 사람에게 수돗물을 공급하는 것은 사회의 기본 명제이다.

수돗물은 깨끗한 물이다. 먹는 물의 요건에 충족되도록 처리되어 공급된다. 먹는 물의 요건에 대하여는 법적으로는 법적 기준을 충족하는 것이고, 일반 사람들의 개념에는 위해성이 없는 안전한 물이다. 이 양자는 과거에 큰 문제가 되지 않았으나, 점점 인구가 많아지고, 오염물질이 증가함에 반하여, 생활수준 향상으로 위생에 대한 수준과 욕구가 증대되면서 그 차이가 발생하는 듯하다. 법적 기준의 도입에는 많은 근거자료(과학적, 기술경제적 가능성)가 확보되어야 하기 때문이다. 특히 분석과학의 발달로 많은 유해 물질을 극미량까지 검출하면서 이에 대한 위해성의 의미의 자리매김에 많은 과학적 지식과 수단이 동원되고 있다. 과학적 사실과 함께 부족한 부분은 사회적 합의로 해결하게 된다.

#### 일상생활과 병원미생물

우리가 생활에서 접하는 병원미생물은 매우 많다. 특히 아이들을 키우는 부모라면 출생 후 연령별로 필요한 예방접종을 챙긴 경험이 있을 것이다. 사람마다 다를 수 있으나, 일년에 한 두 번 이상은 성인들도 배아프고 설사를 한 경험이 있다. 겨울이 되면 감기에 한번 정도 걸릴 것을 예상하듯이 말이다. 여름이면 TV 등 언론을 통하여 세균

성 이질, 콜레라 전염병의 소식을 듣고 비브리오 패혈증이 걱정되어 회를 먹는 것을 자제한다. 전염병이 나타나면 개인위생을 철저히 하도록 권고하는 항목에 외출하고 돌아오면 항상 수돗물에 손을 깨끗이 씻는 것이 포함된다. 이상의 내용은 병원미생물이나 전염병이 우리생활에 항상 가까이 있음을 보여 준다. 인류는 전염병을 퇴치하고자 노력하였지만, 병원미생물은 그 종류는 바뀌어도 번성과 쇠락을 하면서 인류와 함께 질병과 면역력을 주고받으며 공존하여 왔다. 때문에 나라마다 사회보전복지측면에서 법정 전염병을 지정하는 등 그 사회의 질병관리에 우선순위를 두고 관리하고 있다.

#### 물과 병원미생물

물은 서로 연결되어 있다. 가정에서 사용하는 물은 하수를 통하여 자연수로 갔다가 다시 처리되어 먹는 물로 돌아온다(Fig. 1)<sup>1)</sup>. 여러 형태의 물을 통하여 병원균이 사람에게 오염될 수 있으므로 반드시 수돗물이 아니어도 물과 관계되는 질병을 수인성 질병이라고 한다.

수인성 질병을 일으키는 대표적인 병원성 미생물을 Table 1 에 요약하였다. 대부분이 설사, 구토, 복통, 두통 등의 증상을 보이다가 자연적으로 치유되는 가벼운 증상을 일으키나 콜레라, 쉬겔라, 장티푸스 등은 심각한 증세를 일으키고, 일부는 간염이나, 크립토스포리오디시스, 지아디아시스, 재향균인병(레지오넬로시스), septicemia 등 심각한 합병증을 발생시켜 건강한사람에게는 큰 문제가 없어도 면역체계가 약화된 사람에게는 치사까지 이르게 할 수 있다. 수인성 질병의 원인이 되는 주요 미생물은 구분상 직경이 0.5um이하인 바이러스와 0.5~2.0um인 세균, 그리고 2~50um 인 원생동물로 구분한다<sup>2)</sup>. 미생물의 크기는 환경이 노출되었을 때 생존력과 처리과정에서의 처리에

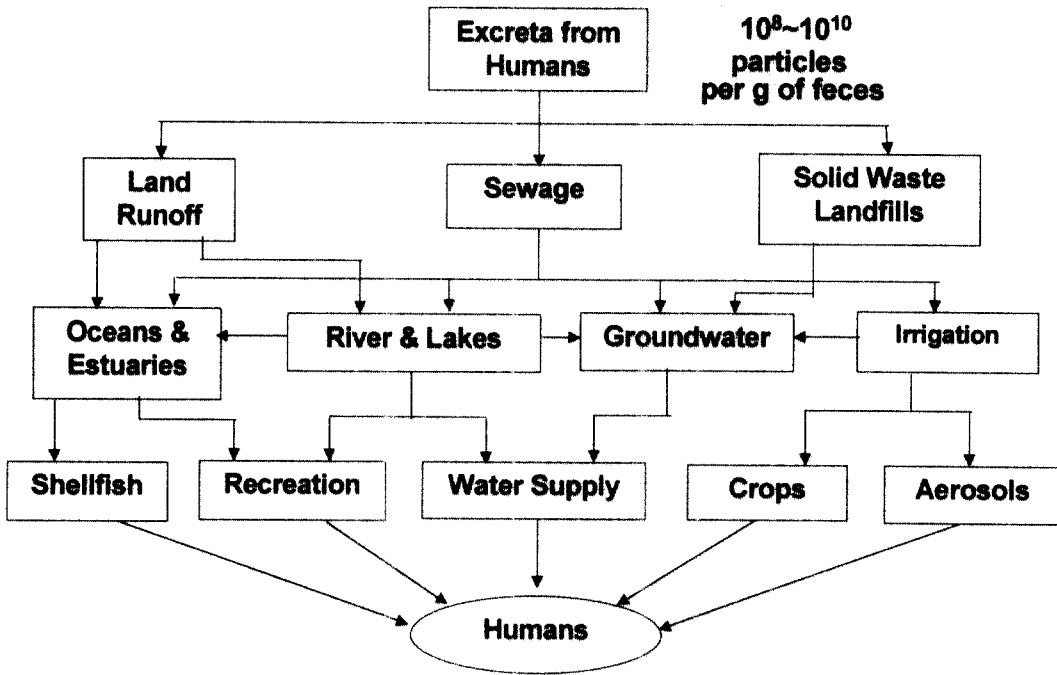


Fig. 1. Routes of enteric virus transmission in the environment  
[adapted from 'Viruses in water'. (1978) Bull. WHO 56:499-508 by J. L. Melnick et. al.]

영향을 미친다. 또한 세균은 일반적으로 최소감염 농도가 높는데 반하여 바이러스나 원생동물은 최소감염농도가 낮아서 낮은 농도로도 감염되어 질병을 유발할 수 있다. 병원성 대장균, 쉬겔라, 간염바이러스 등은 사람이외의 동물을 통하여 감염되지 않으나 살모넬라, 콜레라, 여시니아, 지아디아, 크립토스포리디움 등은 동물도 숙주로 감염되므로 가축이나 야생동물의 분뇨도 오염원이 된다.

## 2. 수돗물 미생물 관리의 두 개의 축 -미생물모니터링과 처리

미생물 모니터링으로 오염을 예측

세계적으로 볼 때 수돗물에 의한 병원미생물 발병이 보고되고<sup>3),4)</sup> 검출되어도<sup>4),5)</sup> 이를 기준으로 도입하여 운영하는 사례는 많지 않은 실정이다. 그 이유는 병원미생물의 모니터링이 대부분의 경우 매우 낮은 농도로 존재하고 분석방법이 표준화되지 못하여 연구 목적이나 기초자료 확보, 역학적 필요성에 의한 특별한 경우를 제외하고는 물 시료

에서 상시 분석이 가능하지 않고 예측을 통한 사전예방에 도움이 되지 않기 때문이다. 이는 미국 정보수집규정(Information Collection Rule)을 통하여 병원미생물을 모니터링 한 미국에서 병원미생물모니터링의 의미에 관한 고찰에서도 자세히 언급되어 있다<sup>6)</sup>.

병원미생물은 대개 사람과 가축의 분변에서 유래하기 때문에 분원성 오염의 지표미생물을 사용하여 상시 분석을 하게 되는데 국내 먹는물 기준에 있는 (총)대장균군이나, 분원성대장균군, 대장균 등이 바로 지표미생물이다. 일례로 총배양성바이러스를 먹는물에서 분석하기 위하여는 약 1500L 이상의 물을 채수하여 1000L에 해당하는 양을 분석하는데 이는 4인 가족이 하루에 사용하는 수돗물의 양(350L x 4)과 비슷한 정도의 많은 량이다. 반면 대장균군은 100ml를 분석하여 검출 여부를 보므로 대장균군의 1만분의 1이하의 매우 낮은 농도로 존재하는 바이러스를 분석하는 것보다 대장균군을 분석하는 것이 더 큰 안전도를 제공할 수 있다. 또한 바이러스는 다량의 시료를 전처리과정을 거쳐야 하기 때문에 분석결과에 대한

Table 1. Characteristics of waterborne pathogens (Source: WHO, 1993)

Pathogen	Health significance	Persistence in water supplies <sup>a</sup>	Resistance to chlorine <sup>b</sup>	Relative infective dose <sup>c</sup>	Important animal reservoir
<b>Bacteria</b>					
<i>Campylobacter jejuni</i> ,	High	Moderate	Low	Moderate	Yes
Pathogenic <i>E.coli</i>	High	Moderate	Low	High	Yes
<i>Salmonella typhi</i>	High	Moderate	Low	High <sup>d</sup>	No
Other salmonellae	High	Long	Low	High	Yes
<i>Shigella spp.</i>	High	Short	Low	Moderate	No
<i>Vibrio cholerae</i>	High	Short	Low	High	No
<i>Yersinia enterocolitica</i>	High	Long	Low	High(?)	Yes
<i>P. aeruginosa</i> <sup>e</sup>	Moderate	May multiply	Moderate	High(?)	No
<i>Aeromonas spp.</i>	Moderate	May multiply	Low	High(?)	No
<b>Viruses</b>					
Adenoviruses	High	?	Moderate	Low	No
Enteroviruses	High	Long	Moderate	Low	No
Hepatitis A	High	?	Moderate	Low	No
non-A, non-B hepatitis viruses,	High	?	?	Low	No
hepatitis E					
Norwalk virus	High	?	?	Low	No
Rotavirus	High	?	?	Moderate	No(?)
Small round viruses	Moderate	?	?	Low(?)	No
<b>Protozoa</b>					
<i>Entamoeba histolytica</i>	High	Moderate	High	Low	No
<i>Giardia intestinalis</i>	High	Moderate	High	Low	Yes
<i>Cryptosporidium parvum</i>	High	Long	High	Low	Yes
<b>Helminths</b>					
<i>Dracunculus medinensis</i>	High	Moderate	Moderate	Low	Yes

? 알려지지 않거나 확실하지 않음

<sup>a</sup> 20℃에서 감염상태의 검출기간: short, 1주간까지; moderate, 1주에서 한달; long, 한달이상

<sup>b</sup> 미생물이 분산된상태에서 표준처리시, resistance moderate, 완전히 죽지 않음; resistance low, 완전히 죽음

<sup>c</sup> 건강한 성인 50%가 감염할 농도: 어떤 바이러스는 1개도 감염농도가 될 수 있다.

<sup>d</sup> 자원자에 의한 실험결과

<sup>e</sup> 주된 감염통로는 피부접촉이나 면역체계가 약하거나 암환자는 음용으로 감염될 수 있다.

표준편차가 더 크므로 분석결과에 대한 신뢰성은 대장균군이 더 높고, 분석비용도 대장균군은 분석 비용이 만원(분석비용 약 3천원-5천원)을 넘지 않아 1회 분석에 100-150만원이 소요되는 바이러스보다 경제적이어서 자주 분석할 수 있어, 100ml에 대장균군이 검출되었을 때 필요한 추가 조치를 취하는 것이 더 실용적이다. 또한 병원미생물이 검출되었을 경우, 정확한 병원미생물 확인이 사례이며 (많은 경우, 질병과 직접 관련된 혈청형 확인),

역학적인 검토를 통하여 유의미한 영향을 참고한다<sup>7)</sup>.

분원성 오염 지표미생물의 요건은 "오염원이 병원미생물과 동일하고(분변 또는 하수 등), 개체수가 병원미생물보다 많아야 하며(safety margin), 자연계 및 처리과정에서 동일하거나 높은 저항성과 생존율을 지녀야 하고, 환경에서 재성장하지 않아야 하며, 방법이 간단, 경제적이고 빠른 결과를 도출하여야 하며, 다양한 형태의 물에서 적용

가능하여 상호비교가 가능하여야" 한다. 그러나 이러한 조건을 모두 충족시키는 이상적인 것은 없을 지라도 현재 대표적 항목인 대장균군 등은 효과적으로 사용되어 왔다<sup>9)</sup>. 이들 지표미생물은 특정 병원균에 대한 지표가 아니고, **분원오염에 대한 총체적인 지표**이며 특히 처리내성이 크지 않으므로 정수처리에 대한 지표로는 사용하지 않는다. 바이러스나 다른 병원미생물 보다 분석방법이 간단한 지표미생물도 기준화에는 많은 자료의 축적을 필요로 한다. 그 일례가 대장균으로서, 분원성 오염에 가장 정확한 항목이지만 과거에는 대장균 기준을 직접 사용하기 보다 (총)대장균군, 분원성대장균군에 의존하였는데, 분석방법이 지속적으로 발전하고, 자료가 축적됨에 따라 최근 개정된 EU나 뉴질랜드 등은 대장균을 기준으로 제시하고 있다<sup>9),10)</sup>.

치리로 오염 제거

대장균등 지표미생물을 사용하여 원수나 배급수 관에서의 분원성 오염을 관리하는데 반하여 정수장에서 병원성 미생물의 처리에 대한 지표로는 세균성지표미생물인 대장균(군)을 적용하지 않는다<sup>9)</sup>. 그 이유는 바이러스나 원생동물은 세균성 병원균보다 처리에 내성이 강하기 때문이다. 이는 처리수에서 대장균군이 검출되지 않는 것이 처리가 잘 되었다는 필요조건은 되어도 충분조건이 되지 않는다는 의미이다. 반대로 원생동물이나 바이러스를 잘 처리하면 세균성미생물도 처리가 되므로, 정수처리에서는 원생동물과 바이러스가 주요 제거목표가 되며, 지표수를 원수로 하는 경우는 소독에 가장 내성을 지닌 원생동물을, 지하수를 원수로 하는 경우에는 원생동물이 지하토양층에서

여과제거 되므로 바이러스를 처리목표미생물로 간주한다<sup>11)</sup>. 그런데, 전술한 바와 같이 바이러스나 원생동물의 직접 분석에 의한 오염 예측이 실질적이지 못하므로 일상적 관리에서는 실험실과 파일럿 등에서 이들 처리공정에 대한 처리목표미생물의 제거율 자료를 바탕으로 안전도를 추가하여 일정이상의 처리수준과 요건을 만족시키도록 요구하는 것이 처리기준이다<sup>12)</sup>. 지표미생물이 이상적이지 않아도 현실에 성공적으로 사용되어 온 것처럼, 처리기준도 완벽하지 않아도 실질적인 수단으로 미국, 독일 호주, 뉴질랜드 등 선진국을 중심으로 많은 나라에서 사용되고 있다. 이는 실제로 병원성 바이러스나 원생동물이 오염되었을 경우에도 이에 대한 일차적인 대책은 처리로 귀결되기 때문이기도 하다. 기술개발이나 연구가 아니어도 특수한 경우, 즉 역학적 증거가 있거나, 오염우려 상황이 발생하였거나, 시설을 신규 도입하는 등의 경우에는 원인이나 현황파악을 위한 분석이 적절한 대책 마련을 위하여 필요 할 것이다.

3. 국내 바이러스 검출에 대한 접근

전국조사에서 총배양성 바이러스 검출

국내 정수장을 대상으로 만 4년 간 전국 64개 정수장 267개 시료를 대상으로 수행한 바이러스 분포조사 결과(Table 2), 10만 톤급 이상 정수장 처리수와 급수에서는 검출되지 않았으나 10만 톤급 미만의 중소규모 정수장에서는 1500-1800L를 여과하여 분석하였을 때 중소규모정수장의 10%에서 바이러스가 검출되었고 검출시료의 중간값은 0.2MPN/100L 였다. 정수장 규모에 상관없이 전체 정수장 시료로 보면 처리수는 6.0%, 급수는

Table 2. The numbers of water treatment plants(WTP) and samples where total culturable viruses tested

survey	WTPs		Source	No.Samples	
	No.	Scale		Finished	Tap Water
1st	6	L	8	8	8
2nd	20	L	18	20	40
3rd	40	M,S	43	43	43
additional	6	M,S	12	12	12
Total	64*		81	83	103

3.9%의 검출률을 나타내었다. 원수에서는 시료 200-300L를 여과하여 분석하였을 때 대형정수장의 42%(시료수의 41%), 중소형정수장의 35% (시료수의 42%)에서 바이러스를 검출하였고 검출된 원수 시료의 중간값은 대형정수장은 4.0MPN/100L, 중소형정수장은 12.0 MPN/100L 였다<sup>13-16)</sup>.

#### 수돗물바이러스의 한 측면 - 엔테릭바이러스의 국내역학

큰 틀에서 볼 때 수돗물 바이러스는 두 가지 측면에서 접근이 된다. 먼저 수돗물바이러스라고 분류할 수 있는 엔테릭바이러스가 국내 질병 역학에 차지하는 영향에 대한 판단이다. 이는 국내 보건 당국의 질병 관리의 우선 순위 내에서 검토될 것이다. 논리적으로 볼 때 수돗물이 엔테릭바이러스에 의한 국내역학 비중의 일부분을 차지 할 것이기 때문이다. 물과 식품을 완전히 분리하기 어려운 점이 있으나 일반적인 과학적인 자료들은 물보다 식품, 농수산물 등을 주된 감염경로로 파악하고 있다<sup>17)</sup>. 국내에서는 일반적인 엔테릭바이러스 역학자료조차 부족한 실정에 있다<sup>15)</sup>. 국립보건원 역학조사과에서 발행하는 역학조사사제집은 역학원인미생물 조사는 세균 위주이고 바이러스 분석이 일상적이지 않은 것으로 나타나 있고, 이는 외국도 크게 다르지 않다. 그럼에도 원인조사의 또 다른 축인 감염경로를 보면 원인병원균과 상관없이 식품이 주요 원인이고, 물이 원인인 경우에도 수돗물이 감염경로를 보고된 경우는 나타나지 않아 공식적으로 국내 전염병 역학사례에서 수돗물이 기여하는 바가 통계로 나타나지 않고 있다<sup>18)</sup>. 수돗물 미생물의 역학적 패턴은 집단사고로 나타나는 역학수준과 개별적으로 산재하는 endemic level(고유의 수준)의 두 가지 관점에서 이론적으로 접근을 하는데<sup>11)</sup>, 고유의 수준 파악을 위해서는 지역의 수인성 질병에 대한 지속적인 통계관리가 필요할 것이다.

#### 수돗물바이러스의 또 다른 측면-수돗물 수질관리

다음은 수돗물 수질관리의 위치에서 보는 엔테릭바이러스에 대한 판단과 대책이다. 질병관리의 우선순위가 엔테릭바이러스의 위해성 평가 및 판단을 떠나 공공의 다수에게 물을 공급하는 정수장에서의 병원성미생물 검출은 수돗물 관리상에 문제점이 있음을 의미하므로 사전예방의 원칙하에

조속히 개선해야 한다는 당위성이 있다. 국내 정수장 설립 이래 가장 획기적인 "수돗물 수질강화 대책"의 틀은 두 번째 관점에서 마련되었고, 장기와 단기대책으로 구분하고 원수, 정수, 급수의 상수도의 시스템별로 구분하여 체계적인 틀을 갖추고자 하였다. 자세한 내용은 대책자료에 있으며<sup>19)</sup> 가장 직접적인 방안으로 다음 두 가지를 설명하고자 한다.

#### 정수처리기술규정의 도입 - 원수모니터링과 정수처리의 조화

수질강화대책 중 가장 특기할 내용은 미생물관리를 위한 정수처리기술규정의 도입에 있다. 그간에 국내 정수장의 처리를 강화하고 체계적으로 관리할 필요성에 대하여서는 국내 정수장 소독능 연구나 정수장 진단 연구 등을 통하여 제시된 바 있고<sup>20)</sup>, 일부 시범적으로 시행되어 왔으나, 바이러스 검출을 계기로 기존의 수질기준과는 개념이 다른 새로운 형태인 처리기준이 전면적으로 도입된 것이다. 정수처리기술규정(안)은 바이러스로 시작하였지만 바이러스를 넘어서는 대책이다. 즉 국내 정수장의 거의 대부분이 지표수를 사용하기 때문에 현안이 되었던 바이러스 뿐 아니라 처리가 더욱 어려운 원생동물도 대상에 포함하여 단계적(일차 바이러스, 2차 원생동물제거를 목표)으로 처리요건을 강화하도록 하였다<sup>21)</sup>. 또한 국내 원수수준에 대한 자료가 충분하지 않음을 감안하여 향후 일정 기간동안 5만톤급 이상 정수장의 원수에서 바이러스와 원생동물을 주기적으로 모니터링하도록 하였다. 향후 5년 내에 모니터링 결과가 축적되면, 국내 정수장 처리기준의 효용성에 대한 검토가 가능하며, 개별 정수장은 원수의 오염정도에 따라 오염이 낮은 지역은 여유를 두고 오염이 높은 지역은 강화하는 등 처리수준의 합리적으로 조정이 가능하게 될 것이다. 또한 처리수준의 강화에 한계가 있는 정도의 오염이라면 고도처리시설을 도입하거나 취수원을 조정하는 등의 근원적인 대책도 검토할 수 있을 것이다.

#### 대장균군 기준개선 - 쉽고도 어려운 병원성 오염 모니터링

정수처리가 강화되어 완전히 처리가 되어도 급수과정을 거쳐 수요자가 물을 공급받기 때문에 급수과정에서 오염을 고려하여 수도전의 잔류염소

를 유지하고 대장균군 모니터링을 실시한다. 기생성인 바이러스나 원생동물은 세균처럼 관망에서 재성장하지 못하므로 외부 유입이 주로 문제가 된다. 대장균군의 검출은 외부오염과 재성장 가능성을 동시에 나타내고, 검출량에 의한 민감도가 바이러스의 1만 배이며(바이러스 1000L vs 신규 대장균군 100mL), 분석기간이 짧고, 분석주기나 빈도가 높기 때문에 관망에서의 분원성오염 모니터링에 가장 효과적인 현실적인 지표 미생물이다. 그런데 현행 대장균군 모니터링이 실질적인 관리에 도움을 주지 못하여 7개 광역시와의 공동연구를 통해 대장균군 기준과 시험법을 개선하였는데<sup>2)</sup> 수돗물 관망관리에 다음과 같이 기여할 수 있을 것이다. 첫째, 대장균군 기준에 확률의 개념을 도입(분원성오염이 아닌 미생물이 검출되는 특성을 고려하여 월5%까지 검출을 허용)함으로써 합리화하는 대신 대장균군이 검출될 경우에는 항상 원인을 파악하고 소독강화 등의 대응조치를 취하도록 하여 단기적으로는 문제지점을 파악하고 교정할 수 있도록 함과 동시에 장기적으로는 대장균군 검출상황이 수치로 자료화함으로써 관망의 관리의 개선 정도를 파악할 수 있을 것이다. 둘째로는 시험기간을 단축하고 다변화하여 신속한 검출과 상황에 맞는 대응이 가능하고 셋째, 분석량을 50mL에서 100mL로 2배 강화하고 대장균이나 분원성대장균을 추가 분석하도록 하여 분원성 오염을 더욱 정확하게 판단할 수 있을 것이며, 넷째, 분석을 연속 흐름 속에서 수행함으로써 큰 분석 부하 없이 효율적으로 관리를 할 수 있을 것이다.

#### 4. 맺는말

수돗물은 모든 사람에게 필요한 귀중한 자원이며 위생적인 생활의 중심이다. 안전한 물을 공급받는 것은 시민의 기본 권리이고 국내 상수도 보급률도 도시지역은 높지만 아직도 농촌지역의 보급률은 충분하지 않은 것이 현실이다. 수돗물은 그 나라의 사회경제적인 여건과 함께 하는 사회의 생활수준, 인식, 과학적 기반, 전반적인 환경위생 여건, 그리고 문화의 종합체이다. 바이러스로 인한 수인성 질병은 식품위생, 위생문화습관, 기후환경 등과 관계가 있으며, 한 국가에서 질병을 관리하는 우선순위에서 자리 매김한다. 따라서 통합적이고 총체적인 접근이 필요하며, 주변환경과 동시에

바라볼 때야 비로소 제대로 자리매김 할 수 있다. 이러한 점에서 수돗물 바이러스는 일종의 우리 사회를 볼 수 있는 창이었다고 생각한다.

산업의 발달과 생활수준의 향상으로 수돗물 수질관리에서 새로운 위해물질은 계속 출현할 것이고 이러한 사안을 접근하고 해결하는데 있어 바람직한 모델을 정립해 나가는 것이 매우 중요하다. 수돗물 수질 관리에서 바이러스는 국내에 큰 관심을 불러일으켜, 한편으로는 수돗물 불신을 심화시키는데 일조 한 면도 있으나, 다른 한편으로는 전향적이고 획기적인 대책이 수립되어 수돗물 관리에 많은 발전의 계기가 되었다. 이러한 계기에 중지를 모아 체계를 제대로 잡아 나가도록 하는 것이 무엇보다 중요할 것이다.

#### 참고문헌

1. Melnick et al, (1978) Viruses in Water, Bull. WHO 56,pp.499-508.
2. WHO (1993) Guidelines for Drinking Water Quality 2nd ed. Vol.1. Recommendations.
3. CDC (1984) Water Related Disease Outbreaks, Annual Summary. Center for Disease Control, Public Health Service
4. 정현미, 임연택 (1999) 먹는물에서의 바이러스 분석과 정도관리, 국립환경연구원
5. Gerba., C.P. and Rose, J.B.(1990) Viruses in source water and drinking water In Drinking Water Microbiology (ed. McFeter, G.A.) Spring-Verlag
6. Allen, M.J., Clancy, J.L. and Rice, E.W.(2000) The plain, hard truth about pathogen monitoring, JAWWA 92, pp.64-76
7. DETR and DEH (1998) Cryptosporidium in Water Supplies. Third Report of the Group of Experts to Department of the Environment, Transport and the Regions and Department of Health. UK
8. WHO (1996) Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd ed. Vol.1 Recommendation
9. EC commission (1998) Council Directive on the quality of water intended for human consumption, 98/83/EC

10. Ministry of Health (2000) Drinking Water Standards for New Zealand 2000
11. Bruce, A.M. and Regli, S.(1998) Use of microbial risk assessment in setting U.S.drinking water standards, International Journal of Food Microbiology
12. USEPA (1989) Part 141 National Primary Drinking Water Regulations Subpart H-Filtration and Disinfection, 54 FR27527
13. 한국과학기술연구원, 한국생명공학연구소 (1997) 먹는물수원에서의 바이러스 분포실태 조사연구(I), 국립환경연구원
14. 경희대학교, 국립보건원 (1998) 먹는물 수원에서 바이러스 분포실태 조사연구(II), 국립환경연구원
15. 경희대학교, 국립보건원 (2000) 중소규모 정수장의 바이러스 전국분포조사, 국립환경연구원
16. 경희대학교, 국립보건원 (2000) 수돗물 바이러스 오염우려지역의 정밀조사연구, 국립환경연구원
17. Moyer, N.P (1995) Microbial risks from sources other than water, WQTC Conference
18. 국립보건원 (1999, 2000) 중앙역학조사반 역학조사사례집
19. 환경부, 2001, 수돗물 수질관리강화대책
20. 윤재용, 변석종, 조순행 (2001) 국내정수장 소독공정 설계 및 운전 특성 파악. 물환경학회지 17, pp.417-428
21. 국립환경연구원 (2002) 정수처리기술기준제정에 관한 연구, 먹는물 미생물 관리제도 강화를 위한 용역사업결과 설명회자료집
22. 국립환경연구원 (2002) 먹는물의 수질강화를 위한 대장균 및 총대장균군의 기준 및 분석방법 연구