

한국 수계 환경에서의 바이러스 검출 연구 현황과 관리 방안

정 용 석

경희대학교 문리과대학 생물학과 분자바이러스학연구실

1997년 10월 서울대학교의 김상중 교수는 국내에서는 처음으로 수도권 지역 수돗물에서의 바이러스 검출을 학계에 발표한 바 있다. 대중매체를 통하여 일반 시민들의 수돗물 불신 여론 비등으로 연결된 이 연구결과는 연구 방법론의 신뢰도 및 결과 해석의 합리성 여부를 자치하고라도 근래 높아지고 있는 환경 및 생태 보존 문제와의 관심도와 더불어 그 동안 부재 상태였던 국내 수인성 바이러스에 관련된 공중의 보건과 수계 환경 관리 및 보호 정책 분야에도 적극적인 전문 연구 체제가 개입되어야 한다는 필연적 타당성의 제시로서 매우 중요한 의미를 담고 있다.

1. 바이러스

동물·식물과 진균류, 그리고 원생동물과 박테리아를 포함한 현대 생물 5계와는 별도로 구분짓고 있는 바이러스는 그 개체수와 종류의 다양함에 있어 생물의 모두를 합한 정도에 뒤지지 않는 것으로 알려져 있다. 바이러스는 살아 있는 숙주세포 내에서만 자기복제와 증식이 가능한 '필연적 세포내 기생체'이지만 지구상에 존재하는 모든 생물의 종이 바이러스의 감염 대상임을 고려할 때 우리들 일상의 모든 생활에서 피할 수 없는 생존의 경쟁자이기도 하다. 이들 중 최근 유전공학에의 응용가치로 새롭게 조명되고 있는 식물 바이러스(plant virus)나 박테리아의 바이러스(Bacteriophage)를 제외하고는 직접적으로 사람과 가축 등에 질병을 유발하는 동물 바이러스들이 많이 연구되어 왔다. 감수성 있는 숙주 세포를 만나 침투하여 복제과정을 거친 후, 세포 밖으로 방출된 개개의 바이러스 입자(virion)는 새로운 숙주에 침투할 때까지 복제나 증식을 비롯한 물질대사를 수행하지 않는 상태로 존재한다. 특히 동물 바이러스 중 지질 생체막(lipid envelop)으로 덮인 형태를 위시한 많은 종류가 제한된 시간 내에 새로운 숙주를 찾지 못할 경우에는 자외선, 건조한 대기, 각종 분해효소 등 다양한 물리·화학적 또는 환경적 요인에 의하여 수분 내지 수 시간 이내에 불활성화되는 것이 일반적이다. 그러나 엔테로바이러스를 비롯, 견고한 외각 단백질만으로 유전자를 보호할 수 있도록 진화된 몇몇 바이러스들은 숙주세포를 떠난 뒤에도 토양, 지표수 및 대기 등의 자연환경에서 노출될 수 있는 여러 물리·화학적 손상요인들에 강한 내성을 나타내며 수주에서 수개월

이상을 버티어내기도 한다. 비교적 오랜 기간 자연환경에 방치되어 존재하다 인체에 감염하여 질병을 유발하는 이러한 바이러스들의 상당수는 수인성 바이러스이며 이들은 기존에 감염된 환자의 분변을 통해 방출되어 분변에 오염된 토양이나 지표수 등과 함께 새로운 숙주의 구강경로를 따라 침투, 감염생활사를 반복하는 전형적인 '분변-구강 전파형(fecal-oral transmission)' 감염경로를 나타낸다(Fig 1).

2. 수인성 바이러스

일반적으로 수인성 바이러스란 식수, 생활용수, 수영을 비롯한 일체의 위락용수와 접촉을 통해 감염 및 전파되는 모든 바이러스 종류를 포함하며 1960년대 중반을 기점으로 최근까지 연구되어온 수인성 바이러스들은 소아마비 바이러스(poliovirus), 콕사키바이러스(coxsackievirus), 에코바이러스(echovirus) 등의 장바이러스(enterovirus) 그룹과 A형 간염 바이러스(hepatitis A virus), E형 간염 바이러스(hepatitis E virus), 노워크바이러스(Norwalkvirus), 캘리시바이러스(calicivirus), 로타바이러스(rotavirus), 아데노바이러스(adenovirus), 및 아스트로바이러스(astrovirus) 등의 장관계 바이러스(enteric virus) 그룹으로 나눌 수 있다.

A형 간염 바이러스를 제외한 대부분은 숙주의 장내 세포 및 조직에서의 1차 감염으로 소화계 질환을 유발하고 일부 다량으로 증식된 바이러스들은 혈관계와 신경계를 통한 2차 감염(systemic infection)을 형성하여 무균성 수막염, 호흡기 및 심장 질환을 비롯한 다양한 형태의 질병원이 될 수 있다(Table 1).

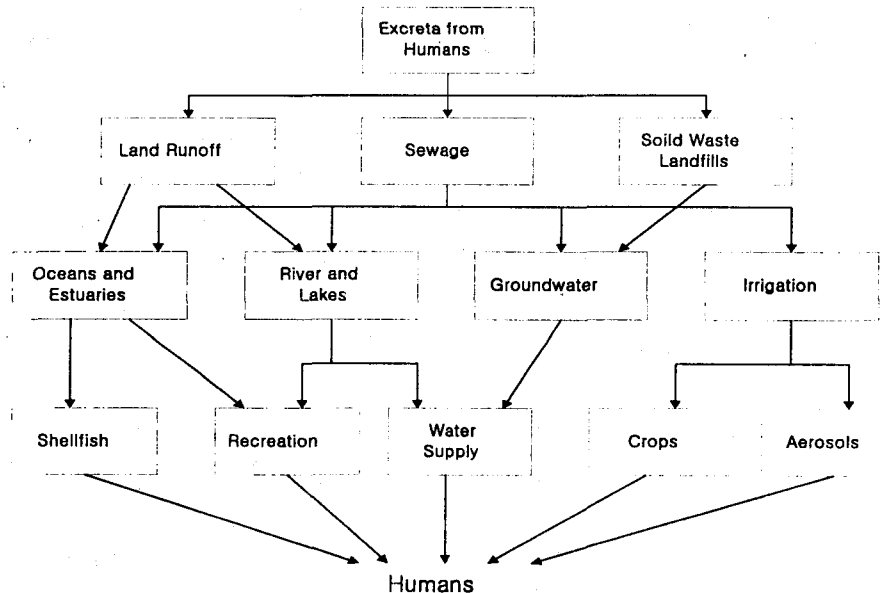


Figure 1. Routes of enteric virus transmission in the environment [adapted from 'Viruses in water'. (1978) Bull. WHO 56:499-508 by J. L. Melnick et. al.]

3. 수인성 바이러스 검출 연구

가장 처음으로 생활환경권내의 감염성 바이러스로서 공중보건문제에 연루되었던 바이러스로는 인체의 신경계에 감염, 근육의 이완성 마비증상을 유발하는 소아마비 바이러스 즉, 폴리오바이러스를 들 수 있다. 1908년 이 바이러스의 최초 발견 이후 오랫동안 신경계 감염성 바이러스로만 알려져 있던 폴리오바이러스는 1930년대 말에 이르러서야 감염 환자의 분변을 통해 방출되는 즉, 장내바이러스로서 인지되었다. 이후 유인원 등을 사용한 실험에서 폴리오바이러스의 수환경을 통한 감염연구가 시작되었고 오늘날에는 여타의 엔테로바이러스 종류를 포함한, 전형적인 분변-구강 전염형 바이러스로 알려져 있다.

Table 1. Diseases Caused by Enteroviruses

Syndrome	Viruses ^a
Neurologic	
Meningitis	Many enteroviruses
Paralysis	Polioviruses 1, 2, 3; enteroviruses 70, 71; cox-sackievirus A7
Chronic meningoencephalitis/ dermatomyositis	Echoviruses, others
Cardiac and muscular	
Myocarditis	Coxsackievirus B; some coxsackievirus A and echovirus
Pleurodynia	Coxsackievirus B
Skin and mucosae	
Herpangina	Coxsackievirus A
Hand-foot-and-mouth disease	Coxsackievirus A9, A16; enterovirus 71; others
Mauclopapular exanthema	Echovirus 9, 16; many other enteroviruses
Respiratory	
Colds	Coxsackievirus A21, A24; echovirus 11, 20; coxsackievirus B; others
Ocular	
Acute hemorrhhic conjunctivitis	Enterovirus 70; coxsackievirus A24
Neonatal	
Carditis, encephalitis, hepatitis	Coxsackievirus B; echovirus 11 and others

^a The commonest causal agents are in bold type.

그 동안 세계보건기구(World Health Organization: WHO)를 중점으로 세계 각국의 지속적인 체계적인 예방백신 사업을 통하여 이제는 우리 나라를 포함, 전 세계적으로도 극히 드문 환자 발생이 보고되고 있을 뿐이다. 그러나 예상하지 못했던 최근의 폴리오 바이러스 검출 동향은 아직 이 바이러스에 대하여 완전히 안심할 수만은 없는 상황에 있음을 제시하고 있다. 1995년 이후 수 차례에 걸쳐 미국에서는 면역억제 상태의 이완성 마비 환자로부터 폴리오의 예방백신으로 사용되어 왔던 생백신 바이러스주를 검출한 바 있다. 이러한 백신바이러스주는 유럽에서도 생활하수 등의 가검물에서 분리되어 왔으며 1997년 국내의 급성 바이러스성 장염 환자의 분변에서도 분리된 바 있다. 이는 곧, 전세계적인 폴리오의 확산을 잠재우기 위해 사용되었고 실제 그 기능을 충실히 수행해주었던 폴리오바이러스의 백신바이러스가 현재 인간의 생활권을 포함한 자연환경에 지속적으로 존재하고 있음을 암시하며 경우에 따라서는 또 다른 형태의 폴리오 아웃브레이크를 유발할 수도 있는 잠재요인이 될 수 있음을 시사하고 있다. 1940년대 말에는 콕사키바이러스와 에코바이러스 등 폴리오바이러스와 유사한 장내바이러스들이 밝혀지고 국내의 경우 상당수 영, 유아기의 장염 및 무균성 수막염 환자들의 분변과 뇌척수액 등에서 분리되어 오고 있다(Table 2). 다만 위 세가지의 엔테로바이러스들로 인한 감염 경로에 반드시 수인성이 포함되리라는 직접적 증거는 극히 소수의 경우만이 확인되고 있다.

Table 2. Summary of enteroviruses isolated in Korea, 1993-1997(KNIH)

Virus	type	Year of Isolation	Specimen used	Host cell line
Echo	3	1994	stool	HEp2-c
	7	1994	stool	HEp2-c
	9	1993	stool	HEp2-c
	30	1997	stool/CSF	HEp2-c, Rd-cdc
	6	1997, 1998	stool, CSF	Rd-cdc
Coxsackie	B1	1996	stool	HEp2-c, Rd-cdc
	B2	1996, 1998	CSF, stool	HEp2-c, Rd-cdc
	B3	1995	stool	HEp2-c
	B5	1997	stool	HEp2-c, Rd-cdc
	B6	1997	stool/CSF	HEp2-c, Rd-cdc
Polio	Sabin II	1997	stool	HEp2-c

Polioviruses were isolated from stool samples and confirmed as vaccine derived sabin typed II by RFLP and RCT(reproductive capacity at different temperature).

All the viruses were isolated and characterized by WHO guide lines for enterovirus isolation

3-1. 수인성 바이러스 검출 연구의 국제 동향

1940-1945년 사이 뉴욕, 시카고 등 몇몇 도시의 하수를 대상으로 폴리오바이러스 검색을 시도한 바 있는 미국과 유럽을 포함한 선진국들은 '환경바이러스학' 분야의 연구에 이미 50년 이상의 역사를 가지고 있으며 인도를 포함한 일부 준선진 국가들도 최근 들어 매우 활발한 연구활동을 펼치고 있다. 약 50년 전, 폴리오환자의 분변에서 폴리오바이러스를 검출한 이래 현재까지 잠재적으로 환경성 전파 및 감염 양상을 나타내는 바이러스들은 밝혀진 것만 100여종에 달한다.

Table 3. Non-Enteric virus의 종류와 특성

바이러스 종류	형태수	크기(nm)	핵산	관련질병
Hepatitis A(E 72)	1	27	RNA	간염
Adenovirus	41	68-85	DNA	결막염, 설사, 눈병, 호흡기질환, 위장염
Reovirus	3	75-80	RNA	호흡기질환, 위장염
Hepatitis E	1	27-38	RNA	간염
Rotavirus	4	70	RNA	소아위장염, 구토
Norwalkvirus	1	27	RNA	위장염
Astrovirus	4	28	RNA	위장염
Calicivirus	1	30-38	RNA	위장염

이들 중 가장 고전적인 모델케이스는 폴리오바이러스로서 역사만큼이나 가장 풍부한 연구결과와 정보가 축적되어 있다. 이와 달리 실제 수인성 바이러스에 의한 확산 감염의 가장 심각했던 예로는 1955년 12월에서 1956년 1월에 걸친 인도 뉴델리 지방에서 음용수 취수원의 하수오염으로 야기된 E형 간염바이러스에 의한 경우와 1988년 중국 상해에서 부적절하게 조리된 패류 취식으로 인한 A형 간염바이러스 감염을 들 수 있으며 위 두 경우 각각 23만 및 30만 명의 집단 감염을 수반하였음이 보고되었다. 한편 바이러스학과 분자생물학의 발전으로 1980년대 이후 관련학계의 관심대상으로 떠오른 수인성 바이러스의 종류로는 구토를 동반한 성인 장염질환을 유발하는 노워크바이러스, 사람을 숙주로 한 칼리시바이러스, 급성 소아설사질환자에서 분리되는 장내 아데노바이러스 및 아스트로바이러스 등이 위에 언급한 E형 및 A형 간염바이러스 그룹에 더해졌다(Table 3, 4). 이제까지 수돗물, 지하수, 샘물, 주거지역과 인접한 해안, 위탁용수 및 각종 지표수에서의 수인성 바이러스 검출 연구 결과를 발표한 바 있거나 검출 연구를 시도하고 있는 국가들은 스웨덴, 독일, 프랑스를 비롯한 대부분의 유럽국가들과 멕시코, 인도, 중국, 호주 북·중미국가 등 상당수가 있으나(Table 6) 전반적인 분포 실태를 파악하기 위해 비교적 규모 있는 조사연구는 유럽지역의 영국, 네덜란드, 루마니아, 이스라엘과 미주 지역의 캐나다 및 미국 등지로 제한된 편이다(Table 5). 미국의 경우 1960년대 이후 점차 증가하는 물 관련 감염질환 예에서 상당수가 정수처리된 배급수의 하수에 의한 2차 오염 또는 하수로 오염된 원수의 저급화로 인한 바이러스 오염에 의한 것으로 추정

Table 4. Diseases Caused by Human Adenoviruses

Disease	Age	Common serotypes ^a	Major subgenus	Major source
Respiratory infections				
Pharyngitis	Young children	1, 2, 3, 5, 6, 7	B, C	Throat
Acute respiratory disease	Military recruits	3, 4, 7, 14, 21	B, E	Throat
Pneumonia	Young children	1, 2, 3, 4, 5, 7, 21	B, C	Throat
	Military recruits	4, 7	B, E	Throat
Ocular infections				
Pharyngoconjunctival fever	Children	1, 2, 3, 4, 6, 7	B, C, E	Throat, eye
Epidemic keratoconjunctivitis	Any age	8, 19, 37	D	Eye
Genitourinary infections				
Cervicitis, urethritis	Adults	19, 37	D	Genital secretions
Hemorrhagic cystitis	Young children	11, 21	B	Urine
Enteric infections				
Gastroenteritis	Young children	31, 40, 41	A, F	Feces
Infectious in immunocompromised individuals				
Encephalitis, pneumonia,	Any age, including AIDS patients	7, 11, 34, 35	B	Urine, lung ^a
Gastroenteritis	AIDS patients	Many D including 43-47	D	Feces
Generalized	AIDS patients	2, 5	C	Blood

Only the commonly occurring serotypes are listed; those most commonly associated with particular syndromes are in bold type.

Table 5. 각국 음용수의 바이러스 조사 예

국명	조사지역수 또는 시설수	바이러스 분리 지역수 또는 시설수	양성반응	인용문헌
캐나다	7 (정수장)	5		Payment 외, 1985
영국	229 (검체)	89		Tyler, 1983
이스라엘	20 (부락)	3		Guttman-Bass와 Fattal, 1985
네덜란드	8 (정수장)	0		Van Olphan외, 1984
미국	54 (지역)	0		Akin, 1984
루마니아	8 (소도시)	4		Nester 외, 1978

하고 환경청의 주관하에 지난 1997년 8월부터 1999년 1월까지 18개월에 걸쳐 '지표수 처리법'과 '정보수집법(Information Collection Rule)'에 따라 10만 이상의 주민을 대상으로 하는 전국의 정수장을 중심으로 상수원수와 처리수에서의 바이러스 분포 실태 조사 연구를 수행하였다. 1999년 3월과 10월 사이에는 위 조사 연구 결과의 검증 단계를 거쳐 1999년 5월부터 12월에 걸쳐 단계적으로 연구 결과의 발표를 계획하고 있다. 미국 연방 안전 식수 규정(National Safe Drinking Water Act, 1996)은 정수처리효율에 대한 지침(Guidance Manual for Compliance With the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources, USEPA, 1991)에 의거, 정수처리과정 동안 99.99% 이상의 바이러스 제거 효율을 명시하고 있으며 위 연구조사 결과에 따라 특정 상수원에서 리터당 1개 이상의 장관계 바이러스 입자가 검출될 경우 처리수에 대한 정기 모니터링을 규정할 것으로 밝히고 있다. 한편 미국 연방 안전 식수 규정에 의거, 1998년 미국 환경청은 음용수의 오염물질 후보목록(Drinking Water Contaminant List, USEPA Notices)을 게시한 바 있으며 이 목록에는 아데노바이러스, 칼리시바이러스 및 장바이러스 중 콕사키바이러스와 에코바이러스가 포함되어 있어 위 기간 중 수행한 지하수에서의 바이러스 분포 조사 연구와 함께 심도 있는 음용수의 바이러스 오염 조절 정책을 준비하고 있는 것으로 보여진다.

Table 6. 음용수에서의 장바이러스 검출 사례

검출 바이러스	양성	정수처리	검출지역 및 년도
Polio etc	43/553	소독처리	프랑스 1960-62
Reo, Entero	2/25	완전처리	프랑스 1961-63
Coxsackie A	2/65	완전처리	루마니아 1962-71
Coxsackie AB, Echo	9/64	완전처리	러시아 1968-71
Reo, Eco, Polio	7/64	불검출	메사추세츠 1969-71
Polio	1/1	완전처리	미시간 1970
Reo, Entero	2/NR	완전처리	남아프리카 1971
Polio	1/7	완전처리	메사추세츠 1972-73
Polio	2/33	완전처리	Coata Rica 1974-75
Polio, Coxsackie A	8/220	완전처리	루마니아 1977-82
Polio	3/?	완전처리	미국 1972
Echo	1/10	소독처리	플로리다 1975
Polio	4/12	완전처리	버지니아 1975
Polio	(6.7%)	소독처리	캐나다 1975-76
Polio	1/42	완전처리	버지니아 1976
Polio, Echo	12/18	소독처리	이스라엘 1978
Coxsackie B, Rota	13/31	완전처리	멕시코 1978
Polio	31/31	완전처리	캐나다 1978-79
Reo	3/10	불검출	스페인 1980
Adeno, Rota	6/32	불검출	오스트레일리아 1979-80
Coxsackie B, Adeno	7/7	미발표	중국 1982
Polio, Coxsackie B, Echo	90/553	소독처리	영국 1979-82
Coxsackie	1/1	여과	캘리포니아 1980
HAV, Coxsackie B	3/6	소독처리	텍사스 1980
Polio	11/155	완전처리	캐나다 1983
Enterovirus, Rota	1/4	소독처리	독일 1982
Polio	6/17	소독처리	영국 1983-84
HAV	4/6	불검출	메릴랜드 1981
Rota, Polio	11/54	완전처리	멕시코 1982-83
Rota	6/20	완전처리	콜롬비아 1986
Rota	2/5	완전처리	볼리비아 1986

* 완전처리: 응집, 침전, 여과, 소독을 거친 경우로서 우리나라 대부분의 정수장이 해당됨

(자료: Gordon A. McFeters ed., Drinking Water Microbiology, Springer-verlag, 1990, p.387)

한편 1966년 Coin 등에 의해 음용수에서는 최초로 바이러스를 검출해낸 바 있는 프랑스에서는 상시 수질 검사를 위한 항목에는 포함시키고 있지 않으나 상수원수 10 리터 당 감염성 바이러스 입자가 검출되지 않을 것을 규정하고 있으며 1991년부터 시행된 독일의 음용수 관리법에서도 미생물 수질 검사 항목에 병원성 장바이러스를 포함시킨 바 있다.

3-2. 수인성 바이러스 검출 연구의 국내 현황

그 동안 국내에서는 식수를 비롯한 각종 수자원 및 수계환경의 수인성 바이러스 오염에 대한 실태조사, 검색연구, 처리방법, 및 허용기준을 포함한 전반에서 적극적 연구 활동이 부재하였다. 국립보건원에서는 1993년 이후 5년간 환자의 검체로부터 장바이러스를 분리 동정하여 국내 장바이러스에 의한 감염 분포를 조사 연구한 바 있으며 노윅 바이러스나 로타바이러스 등에 의한 대규모 감염 사건은 아직까지는 보고된 사례가 없으나 체계적 조사 또한 실시되지 못해온 것이 사실이다. 이에 반해 A형 및 E형 간염바이러스에 의한 수인성 감염은 드물게나마 검출사례가 보고되고 있으며 특히 A형 간염바이러스의 경우 1998년 늦봄과 초여름에 걸쳐 경기, 강원 인접지역에서 청소년과 20세를 전후한 젊은 청년층에서 확산 감염을 일으킨 바 있다. 이 A형 간염의 확산감염은 3-5개월 이후 수도권 북부지역에서 나타난 높은 빈도의 환자 발생과 연관 지을 경우 환자의 분변에 오염된 강물 등의 지표수를 매개로 한 수인성 전파 가능성을 제시한다. 이와 같은 시점에서 1997년부터 시작되어온 학계, 중앙 정부 및 지방 자치 정부 등에서 음용수에서의 바이러스 분포 실태에 깊은 관심을 가지고 전문적인 접근을 시도하고 있다는 점은 향후 과학적인 정책 수립의 기반 조성에 중요한 첫걸음이며 그간의 검출 연구 현황은 다음과 같이 정리된다.

□학계

서울대학교 김상종 교수팀은 먹는물을 포함한 국내 수환경에서 바이러스 검출을 처음으로 시도하였다. 연구 방법론의 적정성과 연구 결과 해석의 타당성에 다소의 불협화음도 없지 않았으나 잠재적인 관련 문제를 제기하고 공론화함으로써 국내에서도 이 분야의 전문적 연구 타당성을 지적했다는 점에서 중요한 역할을 담당한 바 있다. 김교수팀은 중합효소연쇄반응(polymerase chain reaction: PCR)에 의한 바이러스 유전자 증폭 검출 방법으로 한강물을 검사하여 장바이러스, 아데노바이러스 및 A형 간염 바이러스의 유전자를 검출하였고 이 결과를 바탕으로 한강물 1 리터 당 10²-10⁴ 정도의 바이러스 입자가 존재할 가능성이 있음을 발표하였다(제37회 한국미생물학회 춘계학술대회 초록집 ME16, 1997). 이후 1997년 9-10월 사이 수도권의 상수원 및 서울시 가정 수도전의 수돗물에서, 그리고 1997년 10월과 1998년 7월 사이에 서울의 수돗물 및 부산의 수돗물에서 바이러스 조사를 실시하고 그 결과 팔당 및 잠실수중보 상수원수에서는 1000 리터 당 100 개의 바이러스 입자, 서울시와 부산시 가정수도전 수돗물에서는 1000 리터 당 1-10 개의 바이러스 입자가 검출되었으며 검출된 바이러스의 종류는 에코바이러스 type4, 콕사키바이러스 type B5, B4, A9 및 아데노바이러스 type 40, 41 등이라고 발표하였다(한국미생물학회 춘계학술대회, 1997; 수돗물 신뢰제고를 위한 정책토론회, 1999).

□환경부

1997년 환경부 산하 국립환경 연구원에서는 3년의 기간으로 전국 먹는물에서의 바이러스분포 실태 연구 조사 사업을 기획하여 그해 12월 생명공학연구소 박순희 박사팀과 1차년 연구 용역(1997년 12월 - 1998년 11월)을 체결하였다(Table 7). 정부 당국 차원에서는 처음으로 시도된 이 조사 연구에서는 서울, 부산, 광주, 대전 및 경기, 경남 등의 전국 주요 정수장 6곳을 선정하여 상수원수, 정수 및 가정급수에 대한 바이러스 분포 실태 표본 모니터링을 실시하고 미국 환경청에서 시행하는 정보수집법(ICR)을 근간으로 한 바이러스 검사 방법론을 도입, 시험하는 한편 유전자 증폭과 염기서열정보에 의한 유전자 감식법과 바이러스의 정확한 동정을 위해 조직세포배양법을 병행하였다. 이후 국립환경연구원은 1998년 12월 경희대학교 지구환경연구소와 함께 2차년(1998년 12월 - 1999년 11월) 조사 연구의 범위를 확대하여 전국의 10만톤 이상 급수 용량을 갖춘 주요 20개 정수장을 선정, 상수원수, 정수 및 가정급수에 대한 바이러스 분포 실태 확대 모니터링을 수행 중에 있으며 분리된 바이러스의 동정을 위한 조직세포배양, 유전자 감식법 등을 포함한 바이러스 분석의 정도관리 및 검사방법의 표준화를 꾀하고 있다. 1999년 12월부터 2000년 11월까지로 계획되어 있는 3차년 조사 연구의 범위는 더욱 확장되어 전국 10만톤급 이하의 중소규모 정수장들을 대상으로 상수원수와 정수에서의 바이러스 분포 실태를 모니터링하게 되며 3개년 동안의 연구 결과와 외국의 바이러스 관리 방안 및 동향 분석 자료를 바탕으로 바이러스 분석의 정도 관리 및 표준화를 정착시키고 궁극적으로 기준, 검사방법 및 검사시기, 검사결과 해석과 처리방법 등 원수와 정수장에서의 종합적인 바이러스 관리 방안의 제시를 목표로 하고 있다.

□지방자치정부

현재 지방자치정부의 수준에서 종합적인 바이러스 분포 실태 조사 연구를 수행중인 곳은 서울특별시와 부산광역시 2곳이며 부산시의 경우 부산대학교의 장경립 교수팀이 1998년부터 2000년까지 3개년 계획으로 진행 중이며 서울시의 경우 서울시 수도기술연구소가 주관하여 1998년 12월부터 2000년 6월까지 총 18개월을 조사 연구 기간으로 기획하였다. 서울시 연구 사업은 연세대학교의 환경공해연구소와 강원대학교 의대의 협동 연구 형태로 진행 중이며 상수원수 6곳, 서울시내 정수장 10개소 및 가정급수 10곳을 선정하여 계절별 모니터링까지를 꾀하고 있다. 서울시의 조사 연구는 바이러스 분포 실태 조사분야와 이로 인한 위해성 평가분야, 그리고 궁극적인 제어대책분야로 나누어 진행하고 있으며 위해성 평가분야에서는 바이러스 감염에 의한 위험성의 확인(microbial hazard identification), 노출평가(exposure assessment)와 영향평가(effect assessment), 위해성 평가 및 결정(risk characterization) 단계를 거쳐 위해도의 관리(risk management)를 모색하고 이러한 연구 결과를 바탕으로 최종적 제어대책을 마련하고자 하는 데 연구 목표를 설정하고 있다. 한편 서울시 수도기술연구소에서는 1999년부터 학계와 시민대표 및 관계 공무원으로 구성된 서울특별시 상수도 미생물 자문위원회를 발족하여 연구의 수월성을 제고하고 향후 제어대책 및 정책 설정에 대한 의견 수렴을 시

도하고 있다.

Table 7. 먹는물에서의 바이러스 분포실태 조사연구 3개년 계획(국립환경연구원)

연구수행 연도	연도별 개발목표	연구내용
1차년도 (1997-1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상수원수, 정수 및 가정급수의 바이러스 분포상태 표본 모니터링 2. 바이러스 검사방법개발 3. 상수원수 및 정수장에서 바이러스대책 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상수원수, 정수 및 가정급수의 바이러스 분포상태 표본모니터링 -전국 6개 주요 정수장 2. 바이러스 검사방법개발 -enterovirus 등 주요수인성 바이러스 포함 -유전자 감식법 및 조직세포배양법 -다량의 시료농축 및 정제법 -정성 및 정량화(Quantal) 방법 3. 상수원수관리시 바이러스대책 -외국의 사례문헌조사 및 대책제시
2차년도 (1998-1999)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상수원수, 정수 및 가정급수의 바이러스 분포 상태 확대 모니터링 2. 검출된 바이러스의 Typing을 통한 종 동정 3. 바이러스 분석의 정도 관리 및 검사방법의 표준화 4. 상수원수 및 정수장에서 바이러스관리동향 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상수원수, 정수 및 가정급수의 바이러스 분포상태 확대모니터링 -10만톤이상 급수하는 전국 주요 20개 정수장포함 2. 검출된 바이러스의 Typing을 통한 종 동정 -enterovirus 등 주요수인성 바이러스 포함 -유전자 감식법 및 중화법 3. 바이러스 분석의 정도관리 및 검사방법의 표준화 4. 상수원수 및 정수장의 바이러스관리동향 -외국사례문헌조사를 통한 관리동향 및 전망
3차년도 (1999-2000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 중소규모정수장의수원, 정수에서의 바이러스 분포 2. 검출된 바이러스의 Typing을 통한 종 동정 3. 바이러스 분석의 정도 관리 및 검사방법의 표준화 4. 중소규모 정수장에서의 바이러스 관리방안제시 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 중소규모정수장의 수원, 정수에서의 바이러스 분포 -10만톤급이하 정수장 대상 2. 검출된 바이러스의 Typing을 통한 종 동정 -enterovirus 등 주요수인성 바이러스 포함 -유전자 감식법 및 중화법 3. 바이러스 분석의 정도관리 및 검사방법의 표준화 4. 원수 및 정수장에서의 바이러스 관리방안 제시 -기준, 검사방법, 검사시기(주기), 검사자료의 해석, 처리방법 등 종합적 관리방안 제시

4. 바이러스 관리 방안

앞에서 언급한 바와 같이 바이러스란 제한된 특정 공간이나 영역에 한시적으로 존재하는 비생물적 인자가 아니며 지구상에서 살아 숨쉬는 모든 생물체들은 각 바이러스 종류마다 고유의 감염대상 숙주가 되어 바이러스 개체 증식의 장소를 제공할 수밖에 없다. 따라서 바이러스는 시기를 막론하고 우리가 접하는 어느 곳에서든지 존재할 수 있음을 인정하는 것이 모든 조사와 연구, 그리고 관리를 위한 정책적 접근의 출발점이 되어야 한다. 다시 말해서 지구상에 존재하는 바이러스들을 우리의 생활과 완벽하게 격리하는 것은 불가능하며 본질적으로 우리가 추구할 수 있는 한계는 매일 마시고 접하는 먹는물이나 생활용수 및 위락용수 등에 잠재할 수 있는 인체 감염 가능한 바이러스의 위해도를 성취 가능한 최소 수준으로 끌어내려 “관리”하는 일이다. 미국 환경청의 지표수처리법(Surface Water Treatment Rule)에서 고시하고 있는 바와 같이 달성하고자 하는 최대허용목표농도(Maximum Contaminant Level Goals)를 “0”으로 잡고 한편으로는 현재의 기술력으로 달성 가능하다고 판단되는 최대허용농도(Maximum Contaminant Level)를 책정하여 정수 단계에서의 바이러스 제거효율을 99.99% 이상으로 제시한 것은 이와 같은 바이러스의 생태학적 특성과 맥을 같이하고 있다. 따라서 먹는물을 포함한 환경바이러스의 체계적이고 효율적 관리를 위한 정책적 접근은 검출 연구를 포함한 여러 관련 분야의 유기적 협동에 의해서만 가능해지며 특히 각 나라마다 다를 수밖에 없는 지리적 특성 및 주민생활 특성과 같은 사회적 특성을 고려하되 여하한 형태의 비합리적 변칙을 배제하고 문제 해결의 접근을 위한 원론적 골격은 지켜져야 한다.

4-1. 바이러스 감염 위해의 인식

우리보다 앞서 수환경 바이러스 문제를 다루었거나 다루고 있는 다른 나라들의 선례와 지난 1년 반 동안의 경험을 통해 현재 우리가 당면한 먹는물 바이러스의 합리적 관리를 위한 체계적 방안의 첫째는 노출 가능한 잠재적 위해의 정확한 인식으로 출발한다. 미국이나 영국을 비롯한 몇몇 국가를 제외하고는 우리를 포함한 대부분의 국가들에서는 연간 수환경 미생물에 의한 감염 질환의 발생빈도와 지역사회의 생활특성을 연관 지은 역학자료의 축적이 지극히 빈약하며 설명 있다 하더라도 일부 지역에만 편중되어 있다. 미국과 프랑스의 경우는 바이러스 검출의 정량적 기준을 나름대로 설정해놓은 경우 이외에도 유럽연합 이사회의 지침(EEC, 1980)이나 세계보건기구를 비롯한 여러 곳의 포괄적 개념에서 볼 수 있는 것처럼 “필요하다고 인정되는 경우”의 판단이 가능하기 위해서는 각 행정 관할 구역 별로 감염 증상, 원인 미생물, 감염 경로, 전파 경로 등을 포함한 수환경 미생물 감염에 의한 정기적인 역학 조사 자료가 축적되어야 하고 이러한 자료들은 중앙에서 집중 관리, 분석되어 노출 가능한 잠재적 위해 여부를 정기적으로 점검할 수 있어야 한다.

4-2. 바이러스 분포 실태 조사

이 자료를 바탕으로 관련 전문가의 합리적이고 객관적인 기준에 의해 “필요하다고 인정되는 경우”라면 그 후속 단계로서 특정 지역에 대한 바이러스 분포 실태를 파악하는 것이 두 번째라 할 수 있다. 자연환경에서의 바이러스 생태연구는 검출시기와 장소를 포함한 시료의 적절한 선택, 검색방법의 합리성과 신뢰도, 그리고 검출된 바이러스의 성상이 역학 자료의 분석결과와 연결하여 인과관계가 설정될 수 있는지, 만일 그렇다면 바이러스 검출의 정량적 결과 등이 과연 공중보건에 어느 만큼의 위해 인자로서 작용할 것인지에 대한 구체적이고도 객관적 검증이 동반되어야 한다. 특히, 이와 같은 환경 시료의 연구 결과가 향후 수질 관리 및 보호 정책의 기준 설정에 어떠한 형식으로든 반영될 수 있다는 점을 고려할 때, 보다 체계적이며 신중한 연구 계획의 수립과 수행의 당위성이 절실히 된다. 그러나 수환경에서의 바이러스 분포 실태를 파악하는 작업은 상당한 고비용이 요구되며 정확한 판단에 이르기까지의 연구 기간 또한 짧지 않다는 점에서 노출 가능한 잠재적 위해의 판단 사이에 상당한 시간적 공백이 문제로 대두된다. 따라서 바이러스 분포 실태의 파악은 기존에 축적된 분원성 대장균 등의 수질 미생물 관리 자료 등을 바탕으로 바이러스 오염의 가능성이 높은 지역 중 적정수를 선정하고 계절별 최소한의 정기 모니터링을 수행함으로써 정기적 역학 조사 자료와 연계하여 분석, 바이러스 분포 실태의 정밀 조사 수행 이전의 집단 감염 사고와 대책 마련을 위한 원인규명 연구 사이의 공백을 최소화할 수 있을 것이라 생각된다. 바이러스 분포 실태 조사에서 고려되어야 할 또 다른 문제점은 현실적으로 100여종에 달하는 수인성 바이러스의 모든 종류를 검색해낸다는 것은 기술적으로 불가능하다는 것이다. 분원성 대장균을 속주로 하는 박테리아의 바이러스, 즉 박테리오파지(bacteriophage)를 검색하여 장관계 바이러스 존재 여부의 지표(indicator)로 이용하고자 했던 연구는 이 문제 해결의 대체 방안을 모색하려는 시도였으나 박테리아가 검출되지 않는 상태로까지 처리된 물에서도 장관 바이러스가 검출되고 있음이 밝혀져 아직까지는 지표로서의 효용성을 인정받지 못하고 있다. 그러나 미국 환경청에서 사용하는 총감염성바이러스배양법(Total Culturable Virus Assay)에서도 정작 장관바이러스 정도만 검출이 용이할 뿐 그 외 많은 장관계 바이러스들은 정확한 인지가 어려워 실질적으로는 존재 가능한 모든 바이러스에 대한 지표로서의 역할 한계도 인정된다. 따라서 이 문제에 대한 현실적 접근은 조사 지역의 지역적, 사회적 특성, 기존의 연구에서 얻어진 검출 빈도 및 감염시의 위해 수준을 고려하여 바이러스의 검색 대상을 합리적인 수준으로 제한, 바이러스의 종류에 따라 조직세포 배양법과 유전자감식법 등을 효과적으로 적용하는 것이 바람직하다.

4-3. 바이러스 오염의 제어 및 관리

정기적인 역학 조사와 바이러스 분포 실태 모니터링 자료를 기반으로 노출 가능한 잠재적 위해도가 분석되면 마지막 단계로는 우리와 인접한 수환경 바이러스들을 관리 및 제어할 수 있는 대책 마련이 따라야 한다. 관리방안의 궁극적 목표는 우리의 수도꼭지 물에서 여하한 종류의 감염성 바이러스 입자도 검출되지 않도록 하는 것이겠으나 이 목표의 성취는 간단하지 않다. 우선 상수원수의 수준에서 바이러스 분포 실태 조사 결과에 따라 탁도, 전도도, 대장균군의 농도와 같은 관련 수질 인자들의 평가와 연계하여 바이러스 검출 빈도가 높은 지역의 환경 및 수생 생태학적 정밀 조사를 수행함으로써 오염원의 파악이 필요하다. 일례로 일반 주거지역 및 위락 시설들과 매우 근접할 수 밖에 없는 상황에서 생활 하수 및 오·폐수 등의 합리적 처리나 유입 통제가 거의 불가능한 국내 상수원의 대부분은 무엇보다도 처리되지 않은 하수가 주요 오염원으로 작용할 수밖에 없으며 Figure 2.에서는 적절한 하수의 처리가 바이러스의 효율적 관리에 얼마만큼 중요한지 잘 나타내주고 있다.

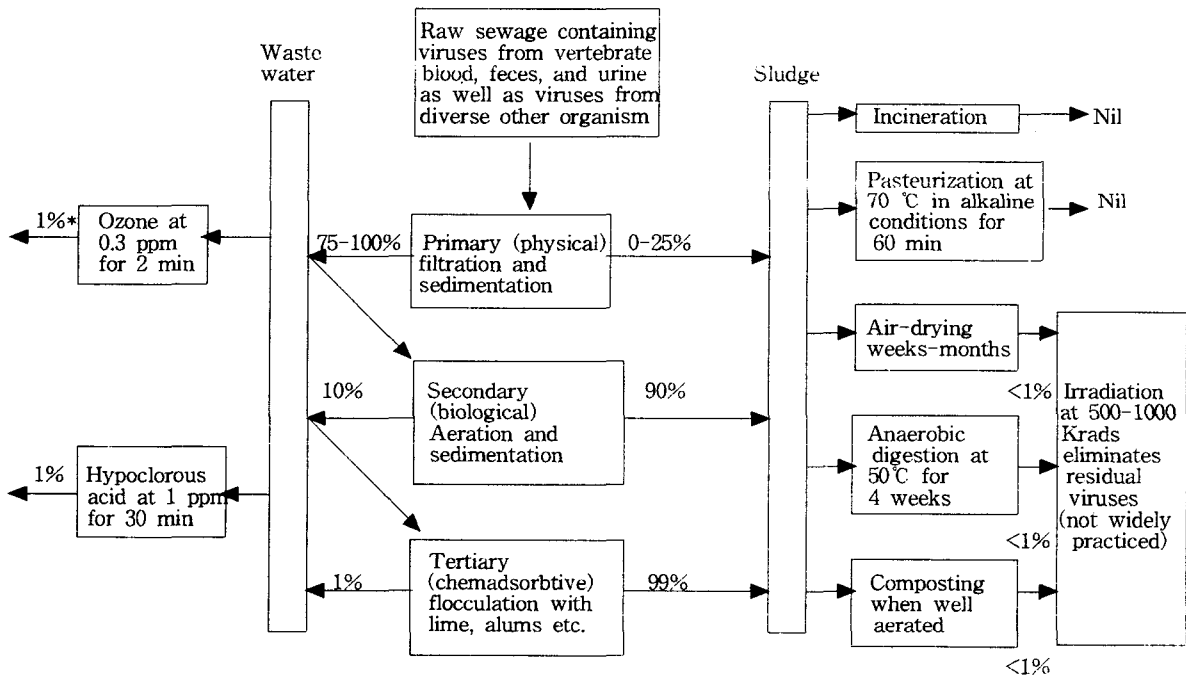


Figure 2. Flow Chart showing efficiency of virus removal at different stages in sewage treatment. * Percentages show for infectious viruses transferred to next phase. (Ref. Viruses and the Environment, J. I. Cooper, 2nd edit. 1995)

오염원이 밝혀지면 지역주민을 대상으로 객관적 사실에 의거한 적극적 홍보를 실시하고 주민들의 기본권을 침범하지 않는 범위내에서 행정적 계도까지도 고려되어야 한다. 한편 정수 단계에서는 정수처리 공정에 따른 바이러스 입자의 감소 여부를 규명하고 소독제의 접촉시간, 농도를 비롯한 물리·화학적 효능 평가를 통해 원수에서 넘겨진 바이러스를 최소화하는데 필요한 소독 능을 확보해야 하며 대체 응집제 및 오존이나 이산화염소 및 자외선조사와 같은 대체 소독제의 이용 가능성을 검토하여 정수 처리 단계의 최적화를 위해 지속적인 연구개발이 요구된다. 상수원수의 수질 관리와 정수 기술의 최적화 이외의 오염원 관리에 제외될 수 없는 부분은 노후 관거를 통한 배급수 계통에서의 이차오염이다. 현재 국내 수도관 총연장 111,515 km 중 매설된 지 10년 이상 지난 노후관은 전체의 46%가 넘는 51,962 km 에 달하며 이로 인한 수도물 유송과정의 누수율은 14.8%로 추정된다. 더욱이 전체 발생 하수의 처리율이 50%를 겨우 상회하는 취약점 등을 고려할 때 배급수 계통에서의 이차오염 가능성은 먹는물 바이러스의 효과적 제어에 어려움을 더하고 있다. 다행히 정부에서는 지난 1997년부터 2001년까지 4조원에 가까운 예산을 들여 노후관 교체 및 노후 취정수 시설의 보수를 추진하고 있어 괄목할 만한 개선이 기대된다.

이상과 같이, 역학 조사 자료를 기반으로 한 노출 가능한 잠재적 위해도의 인식, 바이러스 분포 실태의 파악, 바이러스 오염원의 추적, 정수공정에서의 바이러스 제거 효율, 그리고 이차오염의 가능성 등을 바탕으로 정기적 모니터링의 시기와 범위를 포함, 우리의 실정과 특성에 적합한 수질 기준을 마련해야 할 것이다. 기실, 바이러스 감염을 포함한 모든 위해성의 관리는 평가된 위해성에 더하여 분석방법의 한계와 처리기술 및 그에 따른 비용 그리고 효율적 관리를 위한 규제의 사회적, 경제적 효과 등을 모두 고려하여 법적 한계인 최대오염수준을 결정함으로써 이루어진다. 이러한 과정 중, 분야별 전문가 소위원회를 구성하고 관계 전문가의 지속적인 의견 수렴과 함께 우리 실정에 맞는 바이러스 검사 방법의 개발 및 표준화 작업등은 필수적으로 이루어져야 할 부분이다. 한편, 이상에서 언급되지 못한 연간 1,134 톤(97년 기준)의 먹는 샘물 시장과 전국 인구의 5.4%인 250 만명이 이용하고 있는 12,510개소의 간이상수도 시설 등도 바이러스 감염 위해로부터 벗어날 수 없다는 사실도 간과될 수는 없다.