

## 수돗물 바이러스 논쟁 :바이러스의 실재와 위험 인식의 구성

성 하 영\*

1997년부터 2002년까지 수돗물의 바이러스 오염 여부에 관한 논쟁이 있었다. 서울대의 K 교수는 학회에서 수돗물을 분석한 결과 질병을 일으키는 바이러스가 검출되었다고 보고했고, 이 내용이 언론을 통해 보도되면서 수돗물의 안정성에 대한 논쟁이 일어났다. 이 논쟁은 바이러스 검출방법론의 신뢰성을 둘러싼 과학적 논쟁과 검출된 바이러스가 위험한지에 대한 위험논쟁이 함께 공존하며 진행되었다.

필자는 정책의 변화를 요구하는 과학적 사실을 둘러싼 논쟁을 분석하기 위해 과학전문가와 정부를 분석의 대상으로 삼고 있으며, 아래의 세 가지를 주장하고 있다. 첫째, 논쟁을 제기한 과학자(K 교수)와 정부(환경부, 서울시)가 바이러스의 확인부터, 승인, 정책 결정에 이르는 전 과정에서 검출방법론에 차이를 보이고 있으며, 이러한 방법의 차이는 민감성과 정확성을 추구하는 과학계와 법적기준을 위한 정량적 가치를 중시하는 정부의 특징이 반영된 것임을 주장한다. 둘째, 과학논쟁에서 K 교수팀이 PCR 방법을 통해 바이러스의 실재(reality)를 확인하면서 과학적 정당성을 확보했음을 보인다. 셋째 바이러스의 검출 방법에서 PCR 방법이 과학적 실재를 결정했지만, 위험의 실재를 규정하는 데에는 한계가 있었음을 지적한다. 마지막으로 본 논문은 논쟁분석을 통해 정책입안을 둘러싼 과학·위험논쟁에서 과학전문가의 역할을 고찰하고 있다.

【주제어】 과학논쟁, 위험, 수돗물바이러스, 전문가, 환경정책, 검출방법

### 1. 서론

\* 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정 박사과정  
전자우편: glory14@snu.ac.kr

정부가 정책을 형성·수립하는 과정은 그 정책이 적용되는 대상의 성격에 따라 달라진다. 즉, 정책 수요자들의 목소리가 크고 정책의 가시성(visibility)이 높을 경우 사소한 사고나 지표의 악화에도 정책적인 대응이 일어날 수 있다. 수질관리 분야는 식수로 이용되는 원수가 오염될 경우 즉각적으로 건강문제가 발생할 수 있기 때문에, 단순한 오염사고나 수질지표의 미묘한 변화에도 언론과 공공의 큰 관심을 받아왔고, 수질정책강화에 대한 사회적 공감대가 비교적 빨리 형성되곤 했다. 예를 들어 상수원수에 대한 1990년 수돗물 파동, 1991년 폐놀사건, 1994년 낙동강·영산강 수질오염 사건 등 대형 수질관련 환경사건은 즉각적인 환경정책 대응을 촉발하는 계기가 되었다. 1999년의 한강법과 2002년의 4대강법 또한 1998년의 가뭄으로 인한 한강 수질지표의 악화에 대한 해결책으로 제시된 것이었다(이정진·정희성, 2003). 1996년 이후에는 세균, 바이러스, 지아디아(Giardia) 등의 미생물 오염 문제가 자주 제기되었다. 이에 수질검사항목에 많은 변화가 일어났는데,<sup>1)</sup> 1993년 서울시 수돗물 일반 세균파동으로 검사항목에 알루미늄이 추가되었고, 1997년~2002년 수돗물에 인체에 해로운 바이러스가 존재하는가에 대한 논쟁이 진행되면서, 2007년 바이러스도 검사항목에 포함되었다.<sup>2)</sup> 이처럼 수계환경정책이 수립되는 데 있어 각종 오염사고는 중요한 기폭제가 되었다.

하지만 정부의 개입이 필요한 환경오염이 발생했다고 해서 곧바로 환경정책이 수립되는 것은 아니다. 1980, 90년대를 거치면서 우리나라의 환경오염은 매우 심각했지만, 정부는 환경정책을 수립하는 데 관심을 쏟기보다 그 문제를 은폐하는 데 더욱 바빴다. 따라서 환경문제는 다른 분야에 비해 정부의 정책이 현실을 뒤따라가지 못한다는 시민의 불만과 전문가들의 비판이 끊임없이 제기되었다. 정부는 환경문제의 심각성을 인식했음에도 불구하고 이에 대한 대응에 미온적인 경우가 많았고, 이러한 정부의 태도에 자극을 줄 수 있는 사회적 계기, 이른바 ‘정책의 창(policy window)’이 필요했다.<sup>3)</sup>

1) 서이중 (2005), 『과학사회논쟁과 한국사회』, p.174 <표>를 참고하라.

2) 환경부 보도자료, 2007. 5. 25.

여기서 전문성을 가진 과학자들은 특정 문제에 대한 지식과 정보를 제공해 줌으로써, 복잡하고 불확실한 사안을 다루는데 어려움을 겪고 있는 정부에게 정책적 대안을 제시하는 '정책의 창' 역할을 수행할 수 있다.

최근에는 전문가들 사이에 과학적 논쟁, 불일치가 있음을 보여주는 연구들이 등장하면서, 과학논쟁이나 정책결정 과정을 다루는 과학사회학 연구에서 '전문가'가 중요한 주제로 다루어지고 있다. 예를 들어, 수돗물 염소화 논쟁은 비용(경제성), 강제성(윤리), 혜택의 분배(형평성) 등을 포함하는 가치판단의 문제이며, 찬반 선택에서 과학적 사실이 어느 한쪽의 선택을 강제하지 않음을 보여준 마틴의 논문(Martin, 1991), 새만금 개발 사업에서 수질오염 논쟁을 둘러싼 과학자들 사이의 입장 차이에 대한 연구(김서용, 2006) 등은 과학적 불확실성에 의한 과학자들 사이의 의견불일치를 잘 보여준다. 또한 화학공학자와 전기공학자들이 위험을 측정하고 평가하는 방법이 달라 서로 다른 방식으로 원자료를 디자인했는데, 전기공학자에 의해 제작된 원자료가 증가하면서 그들의 위험 평가 방법인 '확률적 위험 평가'가 표준으로 확립되었음을 보인 연구(Carlisle, 1997)는 과학적 타당성이 전문가들 내부의 합의가 아닌 과학외적 요인에 의해 결정되어짐을 보여주었다. 하지만 논쟁의 역동성에 대한 연구는 여전히 많지 않은데, 이를 위해서는 어떤 방법과 측정을 해야 하는지를 다루는 과학기술적인 부분과 과학정책, 정치적 논쟁과 같은 과학외적 부분에 대한 종합적인 이해가 필요하다(Brante et al., 1993). 또한 정책의 변화를 요구하는 과학적 사실을 둘러싼 과학논쟁을 다루기 위해서는 논쟁하는 과학전문가와 정책입안자 각각의 입장을 살피고, 그러한 상이한 입장 차이가 나는 이유를 분석할 필요가 있다(Jasanoff, 1987).

이에 본 연구는 1997~2002년 사이에 있었던 '수돗물 바이러스 논쟁'을

3) 정책의 창(window)이란 "특정 정책의 옹호자가 자신의 정책안을 밀어붙일 수 있거나 자신들의 특별한 문제에 대해 주위의 관심을 불러일으킬 수 있는 기회"를 지칭한다. John W. Kingdon (1984), *Agendas, Alternatives, and Public Politics*, Glenview, Illinois; Scott, Foresman and Company, pp. 173-179.

통해 논쟁 그룹인 대학에 있는 과학자들<sup>4)</sup>과 정부(환경부, 서울시)의 특징을 분석하고, 논쟁의 원인을 규명하며, 이를 통해 이 논쟁이 한국 환경정책에서 갖는 의미를 조망해 보고자 한다. 보다 구체적으로 필자는 다음의 세 가지를 주장하려 한다. 첫째, 논쟁을 제기한 과학자(김상종 교수)와 정부가 바이러스의 확인부터, 승인(recognition), 정책 결정에 이르는 전 과정에서 검출 방법론에 차이를 보이고 있으며, 이러한 방법의 차이는 각 논쟁 그룹의 특징이 반영된 것임을 주장한다. 둘째, 과학논쟁에서 김상종 교수팀이 PCR 방법을 통해 바이러스의 실재(reality)를 확인하면서 과학적 정당성을 확보했음을 보이고, 마지막으로 바이러스의 검출 방법에서 PCR 방법이 과학적 실재를 결정했지만, 위험의 실재를 규정하는 데에는 한계가 있었음을 지적한다.

이후 논문은 크게 네 부분으로 나누어진다. 제2장에서는 수돗물 바이러스 논쟁의 과정을 살펴보고, 과학자와 정부 사이의 견해 차이를 소개한다. 제3장은 논쟁의 핵심인 방법론적 차이를 설명하고, 방법론적 차이에 의해 과학적 사실이 어떻게 규명되었는지 보여준다. 제4장은 논쟁의 흐름이 과학적 사실을 규정하는 것에서 위험을 규정하는 것으로 바뀌었음을 주장하고, 마지막으로 제5장은 이 연구 결과가 갖는 과학논쟁과 환경 정책적 함의를 정리한다.

## 2 수돗물 바이러스 논쟁

### 1) 수돗물 바이러스 오염사건의 개요

---

4) 이 논문에서는 수돗물에 바이러스가 존재한다는 문제를 제기한 김상종 교수와 서울대 미생물생태학 실험실 연구원들, 문제가 제기된 후 공동연구를 수행한 몇몇 연구자들을 포함한 논쟁의 핵심그룹(core group)을 대학에 있는 과학자 그룹으로 명명하고 있다.

수돗물 바이러스 논쟁은 1997년 10월, 서울대의 김상중 교수(이후 K 교수)가 서울, 인천, 부산지역 11곳의 수돗물을 분석한 결과, 질병을 일으키는 바이러스가 검출되었다고 한국미생물학회에 보고했고,<sup>5)</sup> 이 내용이 11월 3일과 4일 언론에 보도되면서 발발하였다. 이에 대해 환경부와 서울시는 기존의 염소 소독으로 바이러스를 거의 완벽하게 소독할 수 있다고 주장하며, K 교수의 연구 결과를 문제 삼았다. 이런 가운데 1999년 K 교수는 수돗물의 일부 시료를 다른 전문가와 공동 분석하여 바이러스를 검출했고, 2000년 5월 수돗물에서 무균성 뇌수막염과 급성 장염을 유발하는 엔테로바이러스(enterovirus)와 아데노바이러스(adenovirus)의 존재가 확인되었다고 보고하면서 또 다시 문제를 제기했다. 정부는 더욱 강경하게 논쟁에 대응했고, 2000년 5월 23일 K 교수를 허위사실 유포 등의 혐의로 고발하기도 했다. 이에 환경운동연합·환경과공해연구회 등 15개 환경·시민 단체들은 ‘수돗물 바이러스 공동대책위원회’를 결성하고 정부에 오염실태 공동조사를 요구했다. 이후 환경부에서는 2001년 5월 용역조사를 실시했고 수돗물에서 바이러스가 검출되었음을 인정하며, 2002년 9월 19일 바이러스를 원생생물과 함께 수돗물 수질검사항목에 포함시키겠다고 발표하면서,<sup>6)</sup> 논쟁이 일단락되었다.

## 2) 논쟁의 쟁점

5) 1966년 프랑스의 Coin에 의해 검출되기 시작한 수돗물 바이러스는 그 종류가 100여종에 이르는데, 생활 집단의 사회적, 지역적 특성에 따라 검출되는 바이러스의 종류와 양이 다양하다. K 교수는 1997년 연구에서 수돗물에 장내 바이러스인 엔테로바이러스가 1,000ℓ 당 2~10마리가 검출되었다고 보고했다. 수돗물의 바이러스를 조사할 때에는 미국 환경청에서 제안한 바와 같이 보통 1,500~1,800ℓ의 수돗물을 대상으로 한다. 이는 위해도 평가를 바탕으로 하여 1,000ℓ 이상의 다량의 수돗물에서 바이러스의 오염유무를 조사해야 할 필요성이 대두되었기 때문이다. C. P. Gerba, and J. B. Rose (1995), "Estimating viral disease risk from drinking water", *Comparative Environmental Risk Assessment*, pp. 117-135.

6) "환경부 수돗물 정수처리 기준 도입" (매일경제, 2002-09-19).

수돗물 바이러스 오염사건에 대한 정부의 일관된 입장은 다음과 같았다.<sup>7)</sup> 첫째, K 교수팀의 검사방법이 미국 환경청의 세포배양법이 아니기 때문에 검출된 바이러스의 존재를 인정할 수 없다. 무엇보다도 K 교수팀이 검사방법 및 검사과정을 일체 공개하지 않았으며, 실험실 및 검사 기술진이 미국 환경청으로부터 공인된 적도 없기 때문에 연구결과를 전적으로 신뢰할 수 없다. 둘째, 국내의 정수처리시설 및 과정은 선진국의 정수처리기술 및 공정을 그대로 따르고 있기 때문에 — 즉, 선진국에서 제시하는 바이러스 제거율 99.99%를 달성할 수 있는 정수처리과정을 거치고 있기 때문에 — 원수에 소수로 존재하는 바이러스는 정수처리과정을 통해 충분히 제거되어 수돗물에서 검출될 수 없다. 셋째, 선진국에서도 바이러스는 수질기준에 포함되어 있지 않기 때문에 우리나라도 이것을 포함시킬 특별한 이유가 없다.

이에 대해 K 교수팀은 다음과 같이 반론하였다.<sup>8)</sup> 첫째, K 교수팀의 방법 및 결과가 국제학술지에 게재되고 토론회나 세미나 등을 통해 국내외의 전문가들로부터 검증되었기 때문에, 연구 방법과 내용을 신뢰할 수 있다. 또한 2000년 8월 미국미생물학회는 세포배양법의 문제를 지적하며 미국 환경청에 세포배양법과 유전자검색법을 함께 공정시험법으로 채택하도록 권고한 예가 있다. 둘째로 환경부의 용역조사 결과를 살펴보면, 국내 정수장의 소독능력을 포함한 정수처리과정이 매우 부실하다는 평가를 환경부 스스로가 내리고 있다. 또한 세계보건기구(WHO)는 이미 1979년에 바이러스가 대장균보다 염소에 대한 내성이 강하므로 바이러스도 제거시킬 수 있는 정수처리능력을 갖추도록 각국에 권고했다. 셋째, 아직 많은 선진국에서 바이러스 항목에 대한 명시가 없기는 하지만 전무한 것은 아니다. 미국 수돗물기준에는 바이러스 항목이 포함되어 있다.

이처럼 정부와 K 교수팀은 1) 연구방법의 신뢰성 — 국제적으로 공인된 방법과 국내외 과학학술지와 공동체의 인정을 받은 방법 중 어떤 연구방법

7) 환경부 (2001), 「수돗물바이러스 관련 참고자료」.

8) 김상중 (2001b).

을 신뢰할 것인가?, 2) 정수처리 능력 — 기존의 정수처리과정으로 수돗물에서 바이러스를 완전히 제거할 수 있는가?, 3) 선진국 선례 — 바이러스 항목이 선진국의 수질검사기준에 포함되어 있는가? 에 있어 서로 다른 입장을 내세우며, 위와 같은 주장을 4년 이상 되풀이했다.

### 3. 논쟁의 핵심: 합의 불가능한 검출 방법

실험실에서 바이러스의 발견은 과학적 사실이다. 하지만 이 발견은 여러 가지 도구적, 사회적, 가치적 요소들에 의해 규정된다. 즉 ‘수돗물에 바이러스가 존재하는가?’하는 과학적 문제, ‘어떻게 존재함을 알 수 있는가?’하는 도구적·방법적 문제, ‘바이러스가 있는 물은 오염된 것인가?’하는 가치적 문제까지 다양한 문제가 제기될 수 있다. 이 장에서는 “어떻게” 수돗물에 바이러스가 존재함을 알 수 있는가?, “무엇”이 오염을 규정하는가? 의 문제를 다룰 것이다. 왜냐하면 이 질문을 통해 ‘바이러스가 존재하는가?’의 질문에 답할 수 있고, ‘바이러스가 있는 물은 오염된 것인가?’의 질문으로 나아갈 수 있기 때문이다. 수돗물에서 바이러스 오염 여부를 규정 혹은 결정하는 것은 과학기술, 특히 바이러스 검출방법이다. 따라서 이후에는 검출방법에 대해 자세히 살펴보겠다.

#### 1) 바이러스 검출 방법론

우리나라는 1960년 중반 이후 급격한 공업화에 의해 각종 오염물질이 수질을 오염시켜 문제가 되어 왔다. 특히 수질 오염에서 병원미생물이 차지하는 비중은 점점 커지고 있으며, 그 정도도 심해지고 있는 상황이다. 미국과 유럽을 포함한 선진국에서는 70년대 이후 수계바이러스 검출 방법에 대한

연구가 현대 생명과학의 발전과 맞물려 체계적이고 지속적으로 이루어졌고 (Barwick et al., 1998), 1980년대에는 바이러스 검출 방법론에 대한 연구만 170여 편, 여기에 직간접 연구방법론 및 실태조사의 학술지 발표까지를 포함하면 연구 논문의 수는 20,000편 이상이 된다(정용석, 1998).

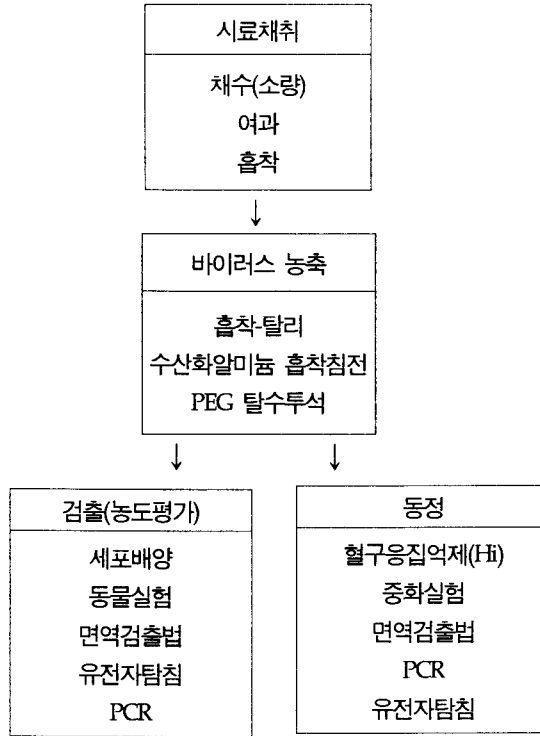
물에 있는 유해한 바이러스를 연구하는 방법은 시료의 채취 → 시료내의 바이러스 농축 → 검출(농도 평가) → 동정의 과정으로 이루어진다(<그림 1>). 바이러스는 물속에서 낮은 농도로 존재하고, 생물체로서 불안정하며, 물속의 미립자나 부유성 물질에 의해 종종 방해받기 때문에 바이러스를 평가, 동정하는 데 어려움이 따른다. 이에 시료 농축, 검출방법에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 1980년대 이후에는 시료를 농축할 때 구멍이 있는 다양한 필터가 사용되었고, 1990년대 후반에는 흡착성 필터를 이용한 바이러스 입자의 농축과 원심분리의 연계,  $Al_2(SO_4)_3$  콜로이드 침전, 동결건조, 다양한 흡착/세척 기술이 분석 대상 시료의 형태에 따라 활용되었다. 바이러스 검출 방법은 초기에 면역형광법을 이용한 세포배양법과 바이러스 핵산을 방사성 또는 비방사성 표지의 cDNA 탐지자(probe)로 혼성화(hybridization) 한 후 직접 검출하는 방법이 사용되었다. 1990년대에는 PCR<sup>10)</sup>에 의한 바이러스 유전자의 증폭과 혼성화방법을 연계하여 기존 방법론의 비교적 낮은 민감도를 적게는 102 배에서 많게는 107 배까지 끌어올리는 역전사 PCR/혼성화 방법론이 널리 소개되면서 유용성을 검증받기도 했다(정용석, 1998).

---

9) 대표적인 필터 종류로 fiterite fiberglass-epoxy filter, 1MDS(Virosorb) filter, Millipore filter AP-20이 있다.

10) PCR(Polymerase Chain Reaction, 중합효소 연쇄 반응)은 1983년 밀리스(Kary Mullis)에 의해 개념—DNA 한 가닥에 두 개의 프라이머(primer)가 붙어 일정부분을 무수히 많이 복제해 내는 것—이 생긴 후, 1985년 기계로 만들어지면서 생물학 연구에 폭발적으로 사용되었다. Paul Rabinow (1996), *Making PCR: A Story of Biotechnology*, Chicago: University of Chicago Press.





<그림 1> 바이러스 분석 과정(정현미, 1999)

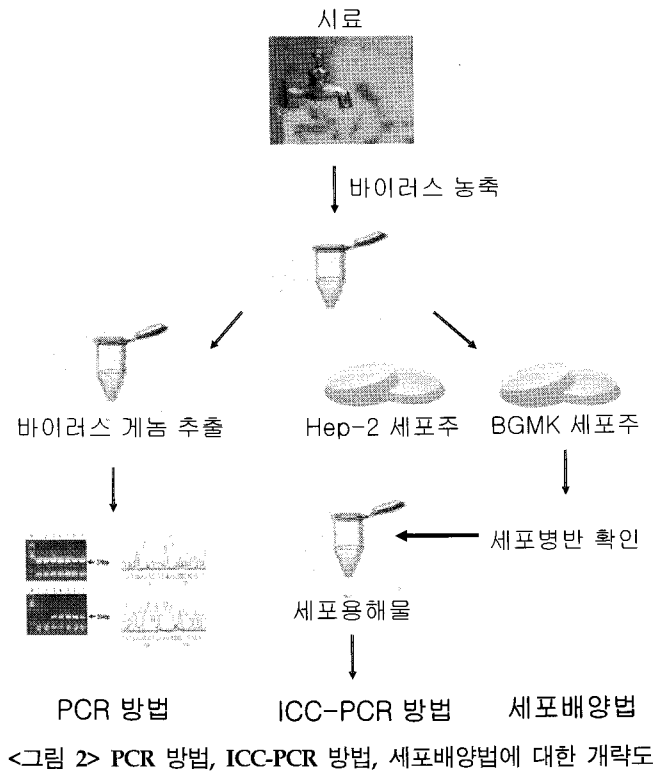
현재 바이러스 검출방법의 세계적인 추세는 미국 환경청에서 표준공정시험법으로 공시한 세포배양법(ICR-TCVA: Information Collection Rule-Total Culturable Virus Assay)이다. 이 방법은 물에서 바이러스를 농축한 후, 농축시료를 BGMK 배양세포주<sup>11)</sup>에 접종하여 14일 정도 경과시켜 세포병반 현상(CPE: cytopathic effect)을 확인하는 것이다. 이때 세포병반이 관찰되면 감염성을 가진 바이러스가 존재하는 것인데, 두 번 정도 계대를 통해 바이러

11) Buffalo Green Monkey Kidney(버펄로원숭이 신장 세포). BGMK 세포는 일차적으로 엔테로바이러스를 분리하는데 주로 사용되는 세포이지만 모든 종류의 엔테로바이러스를 검출할 수 있는 것은 아니고, 다른 바이러스를 검출하기 위해서는 다른 세포주를 사용해야 한다. 「수돗물바이러스정책간담회」(2000).

스의 양성을 확증한다. 이후 MPN(Most Probable Number) 계수법을 사용해 존재하는 바이러스 입자의 수를 확률적으로 산출할 수 있다. 1995년 이후에는 유전자 검색법의 약점을 보완한 Integrated Cell Culture-(RT)-PCR의 유용성에 대한 다양한 평가가 이루어지면서 ICC-(RT)-PCR이 새로운 검출방법론으로 기대를 모으고 있다.<sup>12)</sup> 이 방법은 세포배양법과 시료에서 추출한 바이러스 핵산과 효소를 반응시켜 핵산을 증폭시키는 PCR 방법을 결합시킨 것이다. ICC-PCR 방법은 세포병반 확인을 위한 시간을 단축시켜주고, PCR 방법을 적용함에 따라 검출민감도를 높이고 BGMK 세포주에서 확인하기 힘든 A형 감염 바이러스 및 로타바이러스(rotavirus) 등의 검출 가능성을 높여 주었다(Greening et al., 2002; Reynolds et al., 2001)(<그림 2>).

---

12) 최근의 연구들은 미생물(바이러스 포함)의 검출, 동정에 분자생물학적 방법(PCR)이 유용함을 소개하고 있다. 정현미 (1999), 「바이러스 수질분석과 정도관리: 요건과 전망」, 『지구환경문학』, pp. 55-72; 류승희·박삭기 (2002), 「PCR 방법을 이용한 웅달샘물의 대장균군 및 대장균 검출」, 『한국환경위생학회지』, 제28권, 제2호, pp. 193-202; 오상현·장영진·이화경·정원화·정용석·정현미 (2003), 「분자생물학적기법으로 본 상수원내 총배양성바이러스의 주요 종류와 특성」, 『대한상수수도학회·한국물환경학회 2003 공동 추계학술발표회 논문집』; 박현아·한지선·김창균, 이진용 (2006), 「불량매립지 안정화 지표 개발을 위한 분자생물학적 기술의 적용」, 『대한환경공학회지』, pp. 128-136; Lee, C. H., Lee, S. H., Han, E. and Kim, S. J. (2004), "Kim, Use of Cell Culture-PCR Assay Based on Combination of A549 and BGMK Cell Lines and Molecular Identification as a Tool To Monitor Infectious Adenoviruses and Enteroviruses in River Water", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 11, pp. 6695-6705. ICC-PCR 방법에 대한 최초의 논문은 Pinto, R. M., Gajardo, R., Abad, F. X. and Bosch, A. (1995), "Detection of fastidious infectious enteric viruses in water", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 29, pp. 2636-2638 이다.



## 2) 바이러스 검출 방법의 선호적 선택

정부와 K 교수팀 사이의 논쟁에서 주요 쟁점은 바이러스 검출 방법에 관한 것이었다. 그들은 서로 다른 검출 방법을 사용했기 때문에, 바이러스의 유무 판단에 있어 차이가 났다. 이처럼 양쪽에서 다른 방법을 사용한 것은 그들이 서로의 방법을 신뢰하지 못했기 때문이다. 왜 환경부에서는 미국 환경청에서 공정한 세포배양법만을 바이러스 검출 연구를 위한 표준공정시험 방법으로 인정했으며, 왜 K 교수는 PCR 방법의 추가를 고집했는가? 이후에는 위의 질문에 답하기 위해 두 그룹이 바이러스 검출 방법을 사용한 과정을

살펴보도록 하겠다.

K 교수는 미생물생태학을 전공했고, 수계에서의 미생물 군집, 분포에 대한 연구를 주로 수행했다.<sup>13)</sup> K 교수팀은 1995년 연구에서 미생물의 종류를 밝히기 위해 유기탄소나 형광물질을 이용한 분광학 방법을 사용했다.<sup>14)</sup> 1996년에 PCR 방법을 이용한 토양세균 동정 연구가 이뤄지면서, PCR이 주요한 실험 방법으로 등장하게 되었다.<sup>15)</sup> 이후 K 교수는 비배양성 (non-culture) 세균을 주로 연구했다. 배양이 되는 미생물의 경우 세포배양법에 의한 연구가 가능하지만, K 교수는 비배양 미생물에 관심이 많았기 때문에, 배양되지 않는 것을 탐지할 특별한 기술로 PCR 방법을 사용했다.<sup>16)</sup> 기

- 
- 13) 1995년 이후 연구들을 보면 K 교수가 직접 참여한 경우도 있지만 대부분의 연구는 K 교수의 제자, 연구원들에 의해 이루어졌다. 연구원들의 논문 주제의 경우, 개인적 관심사도 중요하지만 실험실(서울대학교, 미생물생태학 실험실) 분위기와 지도교수의 의견이 상당한 부분 반영된다. 따라서 이 글에서는 K 교수 실험실에서 나온 연구 결과들을 가지고 논문의 연구 대상, 실험 방법 등을 분석하고 있다.
- 14) Kim, M. W., Kim, M. H., Cho, J. C. and Kim, S. J. (1995), "Changes of Biological Community by Cyanobacterial Bloom in Daechung Reservoir", *Korean Journal of Limnology*, Vol. 28, pp. 1-9; Park, S. J., Lee, E. J., Lee, D. H., Lee, S. H. and Kim, S. J. (1995), "Spectrofluorometric Assay for Rapid Detection of Total and Fecal Coliforms from Surface Water", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 61, pp. 2027-2029; Jo, Y. G., Lee, D. H., Kim, S. J. (1995), "The Influence of Planktonic Primary Production on the Distribution of Organic Carbon in Lake Soyang", *Korean Journal of Limnology*, Vol. 28, pp. 137-150; Park, S. J., Cho, J. C. and Kim, S. J. (1996), "Microbial succession on biofilms in drinking water distribution pipes", *Korean J. Microbiol.*, Vol. 32, pp. 437-445; Jin, H. Y., Lee, D. H., Zo, Y. G., Kang, C. S. and Kim, S. J. (1996), "Distribution and Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Lake Soyang Sediments", *J. Microbiology*, Vol. 34, pp. 131-136.
- 15) Cho, J. C., Lee, D. H., Cho, Y. C., Cho, J. C. and Kim, S. J. (1996), "Direct Extraction of DNA from Soil for Amplification of 16S rRNA Gene Sequences by Polymerase Chain Reaction", *J. Microbiology*, Vol. 34, pp. 229-235.
- 16) 이에 K 교수는 세균의 경우 형광을 띠는 단백질 탐지자를 사용해 연구했지만, 바이러스의 경우 PCR 방법을 사용했다. Cho, J. C., Kim, M. W., Lee, D. H. and Kim, S. J. (1997), "Response of bacterial communities to changes in composition of extracellular organic carbon from phytoplankton in Daechung Reservoir (Korea)", *Arch. Hydrobiol.*, Vol. 138, pp. 559-576; Cho, J. C. and Kim,

존의 세포배양법은 목적 미생물을 배양증식시킴으로써 감염성 여부를 판정할 수 있다는 장점을 지니고 있지만, 모든 미생물이 배양 가능한 것이 아니며,<sup>17)</sup> 결과의 판정까지 상당히 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있다. 반면 PCR 방법은 적은 양의 핵산만 있어도 쉽게 탐지되고, 결과를 얻는 데도 시간이 많이 걸리지 않는다(<표 1>). 이후 K 교수는 PCR 방법에서 특정한 프라이머(primer)를 만들어 염기서열을 분석하는 방법 뿐 아니라, RFLP(Restriction Fragment Length Polymorphism) 등 PCR 방법을 응용한 다양한 연구들을 수행했다.<sup>18)</sup> 그는 이 방법이 물속에 존재하는 생물체를 진단해 줄 뿐만 아니라 PCR 산물을 바로 염기서열 분석에 사용할 수 있기 때문에 종의 동정에도 유리하다고 설명했다. 이처럼 K 교수는 미생물학의 연구 흐름 속에서 자연스럽게 PCR 방법에 대한 신뢰를 가지게 되었고, 이 방

---

S. J. (1999), "Viable, but non-culturable, state of a green fluorescence protein-tagged environmental isolate of *Salmonella typhi* in ground water and pond water", *FEMS Micro. Lett.*, Vol. 170, pp. 257-264; Cho, J. C. and Kim S. J. (1999), "Green Fluorescent protein-based direct viable count to varyfy a viable but nonculturable state of *Salmonella typhi* in environmental samples," *J. Microbiol. Meth.*, Vol. 36, pp. 227-235; Cho, J. C., Cho, H. B. and Kim, S. J. (1999), "Heavy contamination of a subsurfarce aquifer and a stream by livestock wastewater in a stock farming area, Wonju, Korea", *Environmental Pollution*, Vol. 108, pp. 1-10; Lee, S. H. and Kim, S. J. (1999), "Effective concentration method for applying PCR to detect viruses in water," *Kor. J. Microbiol.*, Vol. 35, pp. 41-46; Cho, J. C. and Kim S. J. (1999), "Evaluation of bacteriological safety in deep confined aquifer", *Kor. J. Microbiol.*, Vol. 36, pp. 47-52.

17) 김여원 · 민병례 · 최영길 (2000), 「지하수 세균 군집의 유전적 다양성」, *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol. 18, pp. 53-31.

18) Lee, C. S., Lee, H., Han, E. and Kim, S. J. (2004), "Use of cell culture-PCR assay based on combination of A549 and BGMK cell lines and molecular identification as a tool to monitor infectious adenoviruses and enteroviruses in river water", *Environ. Microbiol.*, Vol. 70, pp. 6695-6705; Lee, S. H., Lee, C., Lee, K. W., Cho, H. B. and Kim, S. J. (2005), "The simultaneous detection of both enteroviruses and adenoviruses in environmental water samples including tap water with an integrated cell culture-multiplex-nested PCR procedure", *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 98, pp. 1020-1029.

법의 효율성과 민감성을 높이 평가했다.<sup>19)</sup>

서울시와 환경부가 세포배양법을 고집한 이유는 첫째, 이 방법을 통해 바이러스가 감염성을 가지는지 확인할 수 있으며, 세포병반 개수를 세어 정량화함으로써 통계적 비교가 가능하고, 오염여부 판단을 위한 표준을 정할 수 있는 유일한 방법이기 때문이었다. 또한 이런 통계적 수치는 공식연구결과와 해석에서 정책 결정을 위한 기본 자료로서 뿐만 아니라 법적 구속력과도 연결되어, 엄정한 정도 관리를 가능하게 했다(정용석, 2001). 예를 들어 미국의 경우, 원수는 100ℓ당 농도, 정수는 1,000ℓ당 농도를 검사하여 바이러스가 0.001% 이상일 때 법적 구속력을 가지게 된다.

두 번째 이유는 정책적 관성이다. 환경문제가 정책으로 입안될 때 환경문제는 다른 문제에 비해 우선순위가 낮기 때문에, 정부는 과학적 사실을 즉각 받아들이기보다 자체적인 연구를 통해 사실 여부를 확인하고 그것을 정책에 입안할 수 있는지 타당성을 검토한 후에야 정책 입안을 결정하게 된다. 그리고 우리나라 수질 관련 환경정책의 경우, 여러 이해관련자 집단의 다양한 의견들이 상호 조정되는 과정을 통해서, 즉 정치적 과정을 통해서 이루어지기보다 여전히 일방적이고 내부적인 정책과정이 지배적인 경향을 띠고 있기 때문에, 정부는 새로운 기술로 인한 과학적 결과가 나오더라도 그것을 곧바로 수용하기보다 기존의 정책을 고수하며 미온적인 태도를 보이

---

19) 이외에도 미생물의 검출방법을 선택할 때에는 검출의 민감도(sensitivity), 특이성(specificity), 현실적인 검출과정의 수월성, 비용의 경제성이 고려되어야 한다. 검출 민감도에 있어서는 역전사과정에 의한 cDNA 단일나선의 합성에 뒤이은 PCR에 의한 증폭, 그리고 증폭된 PCR 산물을 방사성(혹은 비방사성) 표지에 의해 서던 브랏 혼성화(southern blot hybridization)하는 방법이 가장 뛰어나다. 검출 특이성은 항체를 이용한 면역형광법, 면역전자현미경 등이 PCR/혼성화보다 다소 우위를 점하고 있지만 다수의 시료를 분석해야 하는 경우 검사과정의 경제성이 취약한 약점이 있다. PCR/혼성화 방법은 다른 방법들에 비해 훨씬 수월하며, 경제성도 적합하기 때문에 계속해서 정교한 방법들이 연구되고 있다. 하지만 PCR/혼성화 방법의 경우 바이러스의 생존여부, 혹은 감염성 여부에 관계없이 검출되는 단점이 있기 때문에 감염력 여부의 분석을 반드시 병행해야만 한다(정용석, 1998, pp. 93-95).

게 된다(최연홍, 2001).

이처럼 K 교수와 정부의 바이러스 검출방법의 차이는 연구 관성, 민감성을 중시하는 과학계와 법적 구속력을 위한 표준화, 관리를 위한 신뢰성 있는 수치를 중요하게 여기는 정부의 특징이 반영되어 대립구도를 형성한 것이었다. 또한 K 교수는 바이러스가 존재하느냐 하지 않느냐의 정성적 가치에 무게를 둔 반면, 정부는 바이러스가 어느 정도 존재하느냐와 같은 정량적 가치를 중요하게 생각했기 때문에, 이 논쟁은 과학적 측면에서 단순비교가 어려웠고 사실상 합의가 불가능한 것이었다.

<표 1> 세포배양법과 PCR 방법의 장단점<sup>20)</sup>

	세포배양법	PCR 방법
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정보수집법(ICR)에서 권장하는 표준방식</li> <li>- 감염성 바이러스만을 검출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적은 양의 시료로도 핵산 검출 가능</li> <li>- 분석 시간이 짧음</li> <li>- 경비 절감</li> <li>- 검출된 바이러스의 종류 확인 가능</li> <li>- 방법 정립 후, 일상적 실험 수행이 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 세포병반(CPE)을 보이지 않는 바이러스가 많음</li> <li>- 현재 기술로 배양세포에서 증식시킬 수 없는 바이러스가 많이 존재</li> <li>- 바이러스의 양이 적을 때 CPE를 보일 때까지 긴 시간이 요구</li> <li>- 세포배양은 까다롭고 숙달된 기술이 요구</li> <li>- 경비가 많이 듦</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 살아있는 시료와 죽은 시료 구분 불가능</li> <li>- PCR의 조건이 잘못되거나 시료에 불순물이 포함되어 있으면 시료 검출이 불가능</li> <li>- PCR 기계나 실험실에 따른 오차 가능</li> <li>- 경우에 따라 가짜양성과 가짜음성 결과를 보일 가능성이 있어, 양성 및 음성 표준시료 첨가가 필요</li> </ul>

### 3) 과학적 정당성 확립: 수돗물 바이러스의 실체

20) <표 1>은 Choo and Kim (2006)의 내용을 토대로 정리한 것이다.

K 교수 연구실에서는 1997년부터 서울시 수돗물에서 병원성바이러스가 검출되었다는 연구결과를 발표해 왔다. 그들은 수돗물 바이러스 검출을 위해 미국 환경청이 지정한 세포배양법을 사용했고, 이 방법을 통해 검출되기 힘든 바이러스의 검출과 종류 확인을 위해 PCR 방법을 추가했다. 그러나 환경부와 서울시는 K 교수팀이 PCR 방법만을 사용한 것처럼 사실을 왜곡시켰고, K 교수팀의 결과가 공식적인 방법에 따른 것이 아니라는 방법상의 문제를 제기했다. 하지만 K 교수팀이 세포배양법을 사용해 감염성바이러스를 검출했다는 사실은 공개된 자료에서 여러 차례 확인할 수 있다.<sup>21)</sup>

K 교수팀은 계속되는 방법상의 논란을 종식시키기 위해 1999년 수행한 서울시 수돗물 조사 중 일부 시료를 서울대 의대 L 교수와 임상병리과 K 교수에게 보내어 공동연구를 수행했다. 이때 세 연구 팀 중 L 교수 연구팀에서만 아데노바이러스가 검출되었다. K 교수는 세 연구실에서 모두 세포배양법을 사용했지만, 바이러스를 검출한 L 교수 연구실의 경우 미국 환경청이 지정한 BGMK 세포주 대신 아데노바이러스가 잘 자라는 Hep-2 세포주<sup>22)</sup>를 사용했기 때문에 바이러스가 검출되었다고 판단했다. 이 결과는 환경부가 제안한 세포배양법만을 사용할 때 문제가 생길 수 있음을 보여준 것이다. 공인된 세포배양법으로는 수돗물에 존재하는 150여종의 장 바이러스 중 10여종만이 분석가능하며, 바이러스가 있어도 없다고 오판할 수 있고 그 양에 있어서도 과소평가하는 문제를 발생시킬 수 있다.

정부는 K 교수의 문제제기에 대해 염소 소독을 한 물에서는 바이러스가 나올 수 없다며 바이러스 검출 사실을 부정했다. 국립환경연구원 수질 연구 부장은 “바이러스는 현행 정수처리공정의 염소소독으로 대부분 살균된다”<sup>23)</sup>라는 견해를 신문에 발표했고, 환경부 관계자도 “정수처리에 의해 바이러스

21) Lee, S. H. and Kim S. J. (2002), "Detection of infectious enteroviruses and adenoviruses in tap water in urban areas in Korea", *Water Research*, Vol. 36, pp. 248-256 외 12편의 논문이 있다.

22) 사람의 상피세포.

23) “수돗물 바이러스 검출 파동” (문화일보, 1997-11-11).



의 99.99%가 제거 가능하다”는 반박문을 제출했다.<sup>24)</sup> 이후 서울시와 환경부에서는 단순한 비판을 넘어 수돗물에서 바이러스가 검출되지 않는다는 연구 결과를 얻기 위해 노력했다. 환경부에서는 1997~1998년에 걸쳐 KIST 생명과학연구소의 P 박사팀에, 1999년에는 경희대 지구환경연구소에 2년에 걸친 연구용역을 의뢰했다. 서울시에서는 수도기술연구소에 바이러스 연구 인력을 20명으로 증원하여 연구능력을 강화했고, 2차에 걸친 외부 용역을 진행했다. 이들 과제는 국제적으로 공인된 세포배양법을 사용했기 때문에 K 교수와 다른 결과를 얻었으나, 세포배양법과 PCR 방법을 모두 사용해 분석한 2001년 용역 결과에서는 수돗물에 바이러스가 있음이 확인되면서, 환경부는 소극적인 입장으로 돌아서게 되었다.

정부가 고수한 세포배양법과 K 교수가 주장한 PCR 방법은 각 그룹의 가치가 반영된 합의가 불가능한 방법이였음에도 불구하고, 논쟁이 진행되면서 PCR 방법이 정당화되고 승인되었다. 이는 환경부가 PCR 방법을 통해 세포배양법으로 확인되지 않은 바이러스의 실재를 확인함으로써 이 방법을 인정하지 않을 수 없게 되었기 때문이다. 이를 통해 PCR 방법은 방법론적으로 과학적 정당성을 확보하게 되었다.

#### 4. 과학적 쟁점에서 위험 쟁점으로

이처럼 수돗물 바이러스 논쟁은 실험실에서 이루어진 과학적 발견에 의해 촉발되었으며, 검출방법을 둘러싼 과학적 논쟁과, 이를 승인하고 정당화하는 과정에서 일어난 사회적 합의과정을 포함하고 있다. 하지만 이 논쟁은 바이러스가 존재한다는 과학적 사실의 승인을 넘어 바이러스가 인체에 유해한지를 검증하는 위험 논쟁을 또한 내포하고 있다.

24) 환경부 보도자료, 1997. 11. 5.

### 1) 위험 논쟁: 방법론적 차이에 의한 위험 인식의 차이

K 교수가 조사한 수돗물에 존재하는 바이러스 중 아데노바이러스, 엔테로 바이러스와 같은 장 바이러스는 사람에게 감염되어 질병을 유발하는 수인성 전염병원균이다. 장 바이러스는 아주 적은 양으로도 사람을 감염시킬 수 있으며,<sup>25)</sup> 감염된 사람이나 동물의 분변에 의해 오염된 물이 직간접적으로 음용수에 포함되어 또 다시 질병을 유발하기도 한다. 화학물질과 달리 바이러스에 의한 수인성 질병은 물을 직접 마시거나 직접적인 접촉이 없어도 2차 감염률이 10~90%로 매우 높은 수준인데, 장 바이러스는 증후성 감염을 일으킬 확률이 50% 내외이고, 사망률 또한 최대 0.9%에 이른다. 미국 환경청은 수인성 질병에 감염될 위험성이 높은 사람들이 어린이, 노약자, 임산부, 젖을 먹이는 엄마, 면역이 떨어진 사람, 만성성 질환자 등 인구의 20%에 달한다고 보고했다. 이처럼 수돗물 바이러스는 다른 바이러스에 비해 위해도가 크고 2차 감염률도 매우 높다(Szewzyk et al., 2000).

하지만 논쟁에서 볼 수 있는 것처럼 정부와 과학자가 느끼는 수돗물 바이러스의 위험은 서로 달랐다. K 교수는 수돗물 바이러스의 위험성에 민감한 반면 정부의 입장은 그렇지 않았다. K 교수팀은 연구 결과를 통해, 서울시에서 검출된 장 바이러스의 농도는 미국이 권장하는 수돗물 1,000ℓ에 불검출보다 최고 20배에 달하였으며, 환경부 조사에 의해 검출된 바이러스 농도

25) WHO에서는 이미 1979년에 수돗물 바이러스는 한 입자만 존재해도 예민한 사람을 감염시킬 수 있다며 그 위험성을 경고한 바 있다. 그리고 수돗물 바이러스 위험도 평가 결과, 1,000ℓ 중에 1pfu(plaque forming unit)의 장 바이러스를 함유한 수돗물을 평생 마심으로써 증후성 감염을 일으킬 확률은 10%, 사망률은 0.1%이며, 1% 인구에게 감염을 유발하는 데 필요한 미생물의 양은 병원성 세균인 *Vibrio cholerae*는 1,428 세포, 식중독세균인 *Salmonella typhi*는 263 세포, 급성 장염유발세균인 *Camphylobacter jejuni*는 1.4 세포, 원생동물인 *Giardia lamblia*는 0.5 세포인데 반해 장 바이러스인 rotavirus인 경우는 0.03 viruses로서 다른 바이러스에 비해 아주 적은 양으로도 쉽게 감염을 일으킨다는 보고가 있다. Ornston, N. L., Balows, A., Greenberg, E. P. (2000), *Annual Review of Microbiology:2000*, Annual Reviews.

의 경우 무려 300배 이상이라고 주장했다. 이에 대해 환경부 장관은 “하루에 그냥 마시는 물의 양을 2ℓ라고 했을 때 제일 많이 나온 곳이 한 마리도 아니고 0.6마리가 들어있는 것이다. 그대로 마셨을 때 위험성을 따져 본다면 그렇게 걱정할 수준이 아니다”라고 이야기하며,<sup>26)</sup> 위험성에 대해 낙관적인 태도를 보였다.

각 그룹이 강조한 바이러스 검출 방법은 그들이 위험을 서로 다르게 인식하는 데 영향을 끼쳤다. K 교수는 연구에서 PCR 방법을 통해 바이러스의 존재여부 뿐만 아니라, 바이러스의 종류가 무엇인지 밝히고 있다. 세포배양법은 세포병변이나 동정을 위해 후속작업이 필요하지만 PCR 방법은 별도의 처리 없이 PCR 산물을 가지고 바로 동정 작업을 할 수 있기 때문에, 바이러스의 종류를 밝히는데 훨씬 유리하다. K 교수는 PCR 방법에 의해 인체에 유해한 바이러스가 검출되었음을 강조했는데, 이것은 “바이러스의 존재가 곧 위험을 일으킬 수 있다”는 일반화를 함축한 것이었다. 반면 정부에서는 “PCR 방법은 모든 바이러스를 감지할 수 있으나 이것이 감염성이 있는지는 알 수 없다”고 이야기한 미국 위스콘신대학의 P 교수의 입장을 빌어, K 교수의 주장을 반박했다. 그리고 “미국 환경청에서도 에코바이러스와 콕사키 바이러스를 검사할 수 있는 분석방법은 있지만 표준화되지 않았고, 아데노 바이러스는 현재까지 적용할 수 있는 분석방법 자체가 없다”고 덧붙였다(서이종, 2006, pp. 189-190). 정부는 PCR 방법이 아직 표준화되지 않았기 때문에 분석을 위한 유용한 도구가 될 수 없고, PCR 방법을 통해 바이러스의 존재를 확인하더라도 그 바이러스가 인체에 위험하다는 직접적 결론을 도출하기 힘들다고 본 것이다.

지금까지 바이러스의 실재와 위험의 실재가 검출방법을 통해 규정됨을 보았다. PCR 방법은 바이러스의 실재를 확인함으로써 방법론적 우위를 인정

26) 『환경부자료집』(2001. 3. 20).

받았다. 하지만 PCR 방법을 통한 위험의 실재에 대한 관점은 논쟁 그룹들 간에 차이가 있었다. K 교수는 PCR 방법을 통한 바이러스의 존재가 위험의 실재라고 생각했고, 자신이 강조한 PCR 방법이 바이러스의 실재(과학적 사실)와 바이러스의 위해(위험)를 함께 보여주는 훌륭한 도구임을 주장했다. 하지만 정부는 PCR 방법을 통해 얻은 바이러스의 실재를 인정했음에도 불구하고 위험의 실재에는 동의하지 않았다. 2002년 9월 19일 정부가 PCR 방법의 도입을 고려할 것임을 밝히면서 논쟁은 가시적으로 종결되었지만, 이 종결에서 바이러스의 위험에 대한 합의는 이루어지지 않았다.

## 2) 입증되지 못한 위험

그렇다면 왜 K 교수와 정부는 위험을 다르게 인식하게 되었을까? 위험을 정의하고 인식하는 관점은 다양하다. 위험에 대한 전통적인 시각은 과학기술의 발전에 힘입어 위험요소를 사전에 파악하고 이에 대비할 수 있다는 것이다. 이런 태도는 위험을 객관적이고 중립적인 것으로 인식하기 때문에 위험요소들을 기본적으로 측정가능하고, 계산가능하며, 확률적으로 예측 가능한 것으로 본다(박희제, 2004). 하지만 전통적인 관점의 한계가 지적되면서, 위험인식에 대한 심리학적·문화적·사회학적 관점이 등장하게 되었다. 위험인식에 대한 심리학적 관점은 위험 자체가 객관적일지라도 그 위험에 대한 개인의 반응은 매우 주관적인 것이라고 바라보고(Slovic, 1993), 위험에 대한 정보가 확산되는 사회적 과정에서 위험의 증폭이 일어날 수 있다고 이해한다(Kasperson et al., 1988). 인류학적 관점은 위험의 속성이 위해성 자체의 내재적 성질이 아니라 집단적으로 구성되었다고 보며(Douglas, 2001), 사회학적 관점은 과학과 위험이 구체적인 상황 속에서 과학자와 일반시민들 사이에 끊임없이 구성되고 재구성된다고 파악한다. 이처럼 위험은 다양하게 정의될 수 있기 때문에 위험의 진술을 구성하는 평가 기준에 있어서도 차이가 발생할 수 있다.

논쟁에서 K 교수는 위험에 대한 전통적인 시각을 보여주고 있다. K 교수는 “수돗물에서 검출된 바이러스가 무균성 뇌수막염을 일으키는 바이러스와 일치한다는 사실을 확인했다. 무균성 뇌수막염은 1996년 3~10월까지 경상남도 지역에서 발생해 모두 239명을 감염시킨 질병으로 어린이들에게 고열을 동반한 감기증세를 일으킨다”고 언론에 보고했다. 그는 PCR 방법을 통해 바이러스의 존재를 확인함으로써 과학적 실재를 확인했고, 바이러스의 존재는 곧 위험의 실재를 의미함을 강조했다. 또한 검출방법에 대한 연구를 발전시켜 세포배양법과 PCR 방법을 결합시킨 ICC-PCR 방법이나 RT(Real Time) PCR 방법<sup>27)</sup>을 통해 바이러스의 양, 즉 위험의 정도를 측정할 수 있다고 보았다(Choo and Kim, 2006).

하지만 “검출가능한 과학적 실재가 위험의 실재”라는 논리를 가지고 의학적 위험의 정당성을 주장하기에는 어려움이 있다. 수돗물바이러스 논쟁에서 과학적 논쟁과 위험 논쟁은 동일한 범주가 아니었던 것이다. 건강상의 위험(위해)은 의학, 생물학, 생물통계학, 전염병학(역학), 독성학과 같은 영역들로부터 나온 과학적 증거들을 포함해야 한다(Douglas, 2001). 따라서 K 교수가 의학적 위험을 이야기한다는 것은 그의 전공영역을 넘어선 주장이었으며, 의학·독성학에서 다루는 바이러스의 인체 유해성이나 역학조사와 같은 다른 연계분야에서 제공하는 연구결과 및 데이터 없이 유해한 바이러스의 존재만을 강조하는 것으로는 정부를 설득시키는 데 한계를 지닐 수밖에 없었다.

정부의 입장에서도 과학적 실재를 인정하는 것과 위험의 실재를 인정하는

27) RT(real time)-PCR은 기존의 PCR 방법이 고정된 주기의 증폭이 완료된 후 증폭 산물을 분석했던 방법을 탈피하여 실시간으로 매 주기마다 증폭되는 양을 표시함으로써 정확한 양을 측정할 수 있도록 한 방법이다. 따라서 이 방법은 표준화를 만드는 데 도움을 줄 수 있다. Josefsen, M. H., Jacobsen, N. R. and Hoorfar, J. (2004), "Enrichment Followed by Quantitative PCR both for Rapid Detection and as a Tool for Quantitative Risk Assessment of Food-Borne Thermotolerant *Campylobacters*", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 6, pp. 3588-3592.

것은 다른 차원의 문제였다. 정부에서 수질검사항목에 바이러스를 포함시키기 위해서는 PCR 방법의 방법론적 우수성에 대한 연구 외에도 수계에서 바이러스의 오염상태, 정수처리과정에서 바이러스의 제거율에 대한 조사 등 더 많은 연구가 필요했다. 그리고 바이러스가 발견되었다 하더라도 규제 범위를 정하기 위해서는 양적으로 그 수치가 합리적임을 보일 수 있어야 했다(Douglas, 2001). 수도물의 오염원과 건강 사이에 대한 역학적 관계를 증명하는 것은 환경부·보건복지부·과학기술부 등 부처 간의 협력이 필요한 일 이었고,<sup>28)</sup> 비용과 노동력이 많이 들며, 오랜 시간이 요구되는 어려운 일이었다(Ashbolt, 2004). 따라서 정부의 입장에서 위험에 대한 규정은 바이러스 검출 방법론을 결정하는 과학적 논의보다 훨씬 폭넓은 요소들이 고려되어야 하는 부분이었다.

### 3) 논쟁에서의 전문가

최근 과학학 연구들을 통해 과학자들이 생산하는 지식이 반드시 참이 아니라는 관점이 널리 받아들여지고 있음에도 불구하고, 정책을 입안하는 데 있어 과학자들의 충고가 여전히 그리고 더욱 중요하게 취급되는 이유는 무엇일까? 콜린스(Harry Collins)와 에반스(Robert Evans)는 SEE(Studies of Expertise and Experience)라는 분석틀(이론)을 사용해 전문가, 전문성에 대해 새로운 관점을 제시하고 있다(Collins and Evans, 2002). 그들은 전문성을 비(no) 전문성, 상호작용적(interactional) 전문성, 기여적(contributory) 전문

---

28) 2004년 5월 제주도에서 집단감염 사고가 나자 질병관리본부는 역학조사를 실시 하면서 환경부에 오염원의 규명을 의뢰했다. 이때 환경부는 사고의 원인이 지하수의 노로바이러스 오염이라는 것을 밝혔다. 하지만 이후에도 수계 바이러스 조사나 수질검사항목에 대한 부처 간의 조정과 협력은 거의 이루어지지 않았다. 질병관리본부는 7년 동안 바이러스성 장염 원인을 조사했는데, 로타바이러스(69.6%)와 노로바이러스(18.9%)가 전체 89%를 차지했음에도 불구하고 환경부에서는 2006~2007년 바이러스 오염에 대한 조사에서 이 두 종류의 바이러스를 제외시켰다. “수도물 바이러스 오염 여전히 불안” (한겨레신문, 2007-03-05).

성의 세 유형으로 분류하고 있다. 이들의 분류를 받아들이면, K 교수는 특정 분야에 전문지식을 가진 기여적 전문성을 가진 것이다. 하지만 이 전문성은 바이러스의 존재를 규명하는 과학적 논쟁에서는 유효했지만, 위험을 규명하는 위험논쟁에서는 불충분한 것이었다. 위험 논쟁에서는 생물학적 전문성 외 의학, 역학, 독성학, 통계학 등 다른 분야의 기여적 전문성을 가진 전문가가 필요했던 것이다.

한편 논쟁에서 위험을 다룰 때, 위험에 대한 인식은 과학적 요소 외 사회적, 문화적 요소에 의해 영향을 받는다. 즉, 과학적으로 규정된 위험이라 할 지라도 이 위험은 정치에 의해 '포착되어' 사회문제로 정의되는 한에서만 중요해진다(노진철, 2004). 따라서 K 교수는 자신의 연구 결과를 처음부터 언론에 공포해 사회적 여론을 환기시켰고, 여러 가지 세미나나 토론회, 대중매체를 통해 이런 사실들을 적극 발표했다. 이에 논쟁이 시작될 때 과학자, 언론, 환경부와 지방자치단체(서울시), 환경단체, 시민 등 다양한 행위자들이 이 논쟁에 참여했다. 특히 K 교수와 공동 연구를 한 과학자들과 환경과공해 연구회와 같은 환경단체는 핵심집단(core set)<sup>29)</sup>을 이루었다.

하지만 시간이 흐르면서 논쟁은 정부 대 K 교수의 이분법적 논쟁으로 좁혀졌다. 이때 환경단체와 시민의 목소리는, K 교수에 의해 부분적으로 전달될 뿐 논쟁과정을 통해 직접 제시되지는 않았다. 시민들은 반복되는 오염사고와 안전성 논란을 겪으며 수돗물을 점차 불신했고, 수돗물을 식음하는 것이 특별한 질병은 아니더라도 건강에 악영향을 끼칠 가능성이 높다고 생각했다. 이처럼 시민들의 수돗물 위험에 대한 인식은 과학적인 평가에 의한 실제 위험보다 컸다(장재연 외, 2001). 하지만 논쟁이 검출방법론의 문제로 흘러가면서 논쟁의 행위자였던 시민은 논쟁의 진위판단을 과학자와 정부에

29) 논쟁에 중요하게 관여하는 6~12명 정도의 소수의 과학자로 구성된 집단을 말한다. 핵심 집단과 그렇지 않은 과학자 간의 구분은 '유관한 경험'의 여부에 따라 비공식적으로 이루어진다. 핵심 집단이라는 개념이 중요한 이유는 그것이 '전문성'은 인정하면서도 과학자를 고정적이고 동질적인 전문가 집단으로 볼 필요가 없게 만들기 때문이다.

게 전담시켰고, 논쟁과정에 적극적으로 참여하지 않았다. 시민들은 수돗물의 위험을 민감하게 인식했음에도 불구하고, 방법상의 문제가 지나치게 전문적이었기 때문에 논쟁에 깊이 관심을 가지기 어려웠던 것이다. 콜린스와 에반스는 일반인들과 소통하거나 정책을 입안하는 데 있어서, 전문지식을 가진 기여적 전문성 못지않게 이들과 소통 가능한 상호작용적 전문성이 중요하다고 설명했다. 하지만 K 교수는 논쟁에서 여론의 중요성을 알고 있었음에도 불구하고, 시민들과의 소통에 적극적으로 나서지 않았다.<sup>30)</sup> 이처럼 위험 논쟁에서 핵심 그룹이 축소되면서, K 교수는 정부에게 자신의 의견을 관철하는 데 힘을 잃게 되었다.

## 5. 결론: 논쟁과 논쟁연구의 시사점

수돗물 바이러스 논쟁의 내용과 성격에서 발견되는 몇 가지 특징은 기존의 과학논쟁에서 충분히 다루어지지 않은 것으로, 논쟁연구를 새롭게 이해하는 데 기여할 수 있다. 첫째, 지금까지 과학논쟁에서 위험은 과학기술이 가진 내재적 속성으로 파악되어 주로 과학기술의 불확실성과 관련되어 연구되어 왔지만, 이 글에서 분석 대상이 된 바이러스 검출방법은 위험을 규정짓는 도구 역할을 한다. 필자는 과학적 논쟁에서 승리한 PCR 방법이 위험을 규정짓는 데에는 한계를 지녔음을 보여주었다. 둘째, 본 연구는 사람 행위자 중심의 논쟁분석에서 벗어나 검출방법과 같은 사물대상(actant)을 다룸으로써 논쟁의 대상을 확대시켰다. 마지막으로 이 연구는 과학논쟁이 전문가에 의해 촉발되고, 사회적 합의과정을 거쳐 승인됨을 보여줌으로써 정책 결정 과정에서 과학 전문가의 역할을 재고하고 성찰하였다. 현대사회에서 과학기술이 고도로 발전하고 전문화되면서 정책을 입안하는 데 있어 과학기

---

30) (환경연합 전 사무총장) 김혜정 인터뷰.



술의 역할이 점점 커지고, 과학이 의사결정 과정에서 정당성과 합리성을 보증하는 근거가 됨에 따라 전문가에 대한 정부와 사회의 의존성도 더욱 커졌다. 하지만 최근 과학사회학에서 위험에 대한 논쟁분석은 오히려 문화적, 대중적 측면에 편향된 경향이 있기 때문에, 본 연구는 전문가의 중요성을 다시금 강조했다는 점에서 의의가 있다.

수돗물 바이러스 논쟁처럼 정부와 과학자가 방법론을 둘러싸고 오랜 기간 논쟁을 끌어온 것은 분명한 문제로 지적될 수 있다. 과학기술이 발전함에 따라 새로운 위험 요소, 새로운 오염사실들은 계속 밝혀질 것이고,<sup>31)</sup> 이러한 과학적 연구 결과들은 계속적으로 정책의 변화를 요구할 것이기 때문이다. 또한 환경문제의 원인을 과학적으로 분석해 적절한 해결방안을 제시한다 하더라도 실제 정책으로 현실화될 수 있는 것은 단지 일부분에 불과하다. 따라서 과학전문가는 과학적 사실이 정책으로 옮겨가는 절차적 수단에 대해 주의를 기울려야 한다(노진철, 1995). 수돗물 바이러스 논쟁에서 보이듯이 K 교수는 자신의 전문지식을 통해 수돗물의 바이러스 오염과 같은 환경적 이슈를 제기하고, 바이러스를 수질검사항목에 추가하기 위해 정부와 끈질기게 논쟁했다. 하지만 정책입안을 위한 논쟁에서, 전문가는 전문분야의 과학적 방법론만을 강조하는 기여적 전문성을 넘어, 다른 분야의 전문성을 가진 학자들과 협력하고 대중과 소통하여 논쟁 그룹의 힘(역량)을 강화하는 상호작용적 전문성을 갖출 필요가 있다.

31) 2001년 3월 WHO의 보고에 의하면 연간 300만 명 이상의 사람들이 수인성 질병에 의해 죽어가고 있고 새로운 병원균들이 계속 출몰하고 있는데, 이런 병원균들은 보통 새로운 것이 아니라 과거 검출방법이 효과적이지 못해 동정되지 못했기 때문이다. Purohit, H. J. and Atya Kapley, A. (2002), "PCR as an emerging option in the microbial quality control of drinking water", *TRENDS in Biotechnology*, Vol. 20, No. 8, pp. 325-326.

□ 참고 문헌 □

1차 문헌: 자료집 및 신문

- 국립환경연구원 (2000), 『수돗물 바이러스 오염사건과 관련한 전문가 토론회 회의록』 .
- 그린체밀리운동연합·소비자문제를연구하는시민의모임·환경과공해연구회·환경운동연합 (2001), 「수돗물의 바이러스 검출 결과에 대한 성명서」 .
- 대한의사협회 (2001), 「수돗물 바이러스 안전한가?」, 『대한의사협회주관 공청회 자료집』 .
- 새천년민주당 환경노동위원회 (2001), 「제222회 환경부 질의서」 .
- 서울특별시 상수도사업본부장 (2001), 「“수돗물 바이러스 안전한가?” 공청회에 대한 서울시 의견」 .
- 이규만 (2002), 「수돗물 바이러스에서 세포배양법에 관한 의견」, 『수돗물바이러스 정책간담회』, 2002. 4. 9.
- 이태관·김상중 (2002), 「환경부 수돗물 바이러스 정책의 개선을 위한 제안」, 『수돗물바이러스 정책간담회』, 2002. 4. 9.
- 최승일 (2002), 「수돗물 바이러스 문제 해결을 위한 제안」, 『시민환경포럼발표문』, 2002. 4. 11.
- 한국미생물학회 (1999), 『환경 바이러스 위원회 보고서』 .
- 한나라당 환경노동위원회 (2001), 『수돗물 바이러스 자료집』 .
- 환경부 (2001), 「수돗물 바이러스 관련 참고자료」, 『환경부자료집』 .
- 환경부 (2001), 「수돗물 수질관리 강화 종합대책 추진현황」. 『환경부자료집』 .
- 환경부 (2001), 「환경부 장관의 수돗물 바이러스 국회답변에 대하여」, 『환경부자료집』, 2001. 3. 20.

환경부 보도자료 (1997. 11. 5); (1998. 6. 15); (2006. 6); (2007. 5. 25).  
환경부령 제210호 (2006. 6. 29).

김상중 (2001a). 「국민 속이는 수돗물 정책」, 『중앙일보』, 2001-06-13, 중앙일보사.

김상중 (2001b), 「환경부의 수돗물 바이러스 검출 발표와 관련한 서울대 미생물생태학 연구실의 견해」, 『중앙일보』, 2001-05-02, 중앙일보사.

양정대 (2001), 「수돗물 바이러스 논쟁 2라운드」, 『한국일보』, 2001-05-06, 현대문화신문사.

유재근 (1997), 「수돗물 바이러스 검출 파동」, 『문화일보』, 1997-11-11, 현대문화신문사.

조홍섭 (2007), 「수돗물 ‘바이러스 오염’ 여전히 불안」, 『한겨레신문』, 2007-03-05, 한겨레신문사.

황대진 (2002), 「환경부 수돗물 정수처리 기준 도입」, 『매일경제』, 2002-09-19, 매일경제신문사.

## 2차 문헌: 연구문헌

김서용 (2006), 「환경갈등에서 과학기술적 사실의 사회적 구성과 해석: 새만금개발사업에서 수질오염논쟁 분석」, *ECO*, 제10권, 1호, pp. 105-158.

노진철 (1995), 「환경문제에 대한 정책자문의 적용」, 『한국행정학보』, Vol. 29, pp. 915-933.

노진철 (2004), 「위험사회학: 위험과 사회의 관계에 대한 사회이론화」, 『경제와 사회』, Vol. 63, pp. 98-123.

박희제 (2004), 「위험인식의 다면성과 위험갈등: 위험인식에 대한 사회

- 과학적 이해가 위험정보소통체계에 주는 함의」, *ECO*, 통권6호, pp. 8-40.
- 서이중 (2005), 『과학사회논쟁과 한국사회』, 집문당.
- 소병천 (2003), 「물관리기본법의 제정 필요성과 그 방향 및 내용」, 『환경법연구』, Vol. 25, No. 2, pp. 1-29.
- 오상현·장영진·이화경·정원화·정용석·정현미 (2003), 「분자생물학적기법으로 본 상수원내 총배양성바이러스의 주요 종류와 특성」, 『대한상하수도학회·한국물환경학회 2003 공동 추계학술발표회 논문집』.
- 이정진·정희성 (2003), 「한국 환경정책의 발달동인: 정책의 창문은 어떻게 열렸는가?」, 『환경정책연구』, 제2권, 제1호, pp. 1-29.
- 장재연·윤제용·조수남·김소연 (2001), 「서울시민의 수돗물인식에 영향을 미치는 주요 요인 분석」, 『상수도학회지』, Vol. 15, No. 5, pp. 365-378.
- 정용석 (1998), 「수인성 바이러스의 수계환경 내 분포실태 및 검색방법론」, 『지구환경논문집』, 제9권, pp. 88-95.
- 정용석 (2001), 「수돗물바이러스 오염과 검출시험법의 과학적 의미」, 『생물산업』, 제14권, 2호, pp. 17-23.
- 정준금 (2002), 「1990년대 이후 한국의 환경정책연구 동향 분석」, 『한국 사회와 행정 연구』, 제12권, 4호, pp. 77-95.
- 정현미 (1999), 「바이러스 수질분석과 정도관리: 요건과 전망」, 『지구환경문학』, 제10권, pp. 55-72.
- 최연홍 (2001), 「환경전문가 집단의 환경정책 인식에 대한 연구」, 『환경정책』, 제9권, 제1호, pp. 6-17.
- Ashbolt, N. J. (2004), "Risk analysis of drinking water microbial contamination versus disinfection by-products(DBPs)", *Toxicology*, Vol. 198, pp. 255-262.

- Barwick, R. S., Levy, D. A., Craun, G. F., Beach, M. J. and Calderon, R. L. (1998), *Surveillance for waterborne-disease outbreaks-United States, 1997-1998* (CDC. MMWR 47(SS-5)), pp. 1-34.
- Brante, T., Fuller, S. and Lynch, W. (1993), *Controversial Science: from content to contention*, State University of New York Press.
- Carlisle, R. P. (1997), "Probabilistic risk assessment in nuclear reactors: engineering success, public relations failure", *Technology and Culture*, Vol. 38, No. 4, pp. 920-941.
- Choo, Y. J. and Kim, S. J. (2006), "Detection of Human Adenoviruses and Enteroviruses in Korean Oysters Using Cell Culture, Integrated Cell Culture-PCR, and Direct PCR", *The Journal of Microbiology*, pp. 162-170.
- Collins, H. M. and Evans, R. (2002), "The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience", *Social Studies of Science*, Vol. 32, pp. 235-296.
- Douglas C. B. (2001), "Scientific Models of Human Health Risk Analysis in Legal and Policy Decisions", *Law and Contemporary Problem*, pp. 63-81.
- Greening, G. E., Hewitt, J. and Lewis, G. D. (2002), "Evaluation of integrated cell culture-PCR for virological analysis of environmental sample", *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 9, pp. 745-750
- Jasanoff, Shelia (1987), "Contested boundaries in Policy-relevant science", *Social Studies of Science*, Vol. 17, pp. 195-230.
- Jasanoff, Sheila (1997), *The Fifth Branch: Science Advisers as Policymakers*, Harvard University Press.
- Josefsen, M. H., Jacobsen, N. R. and Hoorfar, J. (2004), "Enrichment Followed by Quantitative PCR both for Rapid Detection and as

- a Tool for Quantitative Risk Assessment of Food-Borne Thermotolerant Campylobacters", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 6, pp. 3588-3592.
- Krimsky, Sheldon and Golding, Dominic (1992), *Social theories of risk*, London: Westport, Connecticut.
- Lee, C. H., Lee, S. H., Han, E. and Kim, S. J. (2004), "Kim, Use of Cell Culture-PCR Assay Based on Combination of A549 and BGMK Cell Lines and Molecular Identification as a Tool To Monitor Infectious Adenoviruses and Enteroviruses in River Water", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 11, pp. 6695-6705.
- Lupton, Deborah (1999), *Risk and sociocultural theory: new directions and perspectives*, Cambridge University Press.
- Martin, B. (1991), *Scientific Knowledge in Controversy: The Social Dynamics of the Fluoridation Debate*, Albany: State University of New York Press.
- Parascandola, Mark (2002), "Uncertain Science and a Failure of Trust", *Isis*, pp. 559-584.
- Reynolds, K. A., Gerba, C. P., Abbaszadegan, M. and Pepper, L. L. (2001), "ICC/PCR detection of enteroviruses and hepatitis A virus in environmental samples", *Can. J. Microbiol.*, Vol. 47, pp. 153-157.
- Szewzyk, U., Szewzyk, R., Manz, W. and Schleifer, K. H. (2000), "Microbiological Safety of Drinking Water", *Annu. Rev. Microbiol.*, Vol. 54, pp. 81-103.

## **Controversy over Viruses Found in Tap Water:**

### **Construction of Virus Reality and Risk Perception**

Sung, Ha-Young

#### **ABSTRACT**

There was the debate about potentiality if tap water had been contaminated by viruses from 1997 to 2002. As professor Kim of Seoul National University in South Korea presented a report at a conference, this debate was started. When this report was released to the public through the media, the controversy broke out over the safety of tap water. The main argument of this debate is that the method used in assessing the water quality is problematic. This paper is going to insist on three points: first of all, I will argue that scientists and the Ministry of environment are different in all process like the definition and the recognition of viruses and the policy decision about virus control. And these discrepancies are reflected by each group's characters. Next, Kim's assay technique, PCR (Polymerase Chain Reaction) method, attained a scientific justification through detecting the reality of the virus. Finally, I will indicate that PCR among virus detection methods had a limit in deciding the reality of danger, even though the method determined the scientific reality.

Key terms:

scientific controversy, risk, tap water viruses, expert, environmental policy, detecting methods