

도시용수의 위생학적 안전성 관리현황 및 향후 과제

김일호*

Management and Future Challenges of Microbiological Hazards in Urban Water

Il Ho Kim*

요약 : 본 연구에서는 미국, 유럽 및 일본 등의 물환경 분야, 특히 도시에서 이용되는 용수를 대상으로 한 위생학적 안전성 관리현황을 검토하였다. 이 검토 결과 및 국내 현황을 토대로, 향후 국내 도시용수의 보다 체계적이고 과학적인 위생학적 안전성 관리 실현을 위해 요구되는 사항들을 제안하였다. 먹는 물, 레크리에이션 용수 및 도시배수 등에서 위생학적 지표로 이용되는 미생물종으로서 총대장균군, 대장균, 분원성 대장균 등과 함께 수도수의 경우, *Cryptosporidium*, *Aeromonas* 군 등도 이용되고 있는 것으로 확인되었다. 이러한 지표 미생물종은 수질의 위생학적 안전성 확보를 위해 지속적이고 체계적으로 검토, 변화되어 오고 있다. 특히, 분변에 의한 물환경 오염을 정확하게 평가 및 추적하기 위해 이용되는 수질오염의 위생학적 지표 미생물종(총대장균군, 대장균, 분원성 대장균)에 있어서의 변화가 현저하였다. 이는 미생물 측정법 향상에 따라 대장균이 보다 쉽게 정량가능하여 총대장균군의 측정의미가 점차 퇴색되어 가고 있는 것도 한 가지 이유일 것이다. 한편, 세균을 대상으로 해온 지금까지의 관리체계와는 달리 바이러스를 대상으로 한 지표 바이러스의 이용에 대해서도 고려해 볼 필요가 있는 것 같다. 이를 고려 시에는 후보 지표 바이러스의 환경조건이나 수처리 시의 거동 등을 보다 명확히 파악하여 수중 병원성 바이러스에 대한 적정 지표로서의 이용가능성 여부를 면밀히 검토해야 할 것이다.

주제어 : 병원성 미생물, 대장균, 바이러스, 지표 미생물

ABSTRACT : This study investigates future challenges for the microbiological safety of urban water by understanding the current situation of microbiological hazards in the area of water environment of USA, Europe, Japan and Korea etc. Generally, indicator microorganisms such as Total Coliform, *E.Coli* and Fecal Coliform are used to evaluate the microbiological safety of drinking water, recreational water and urban drainage. However, the indicator microorganisms have been changed on the basis of the suitability as an indicator predicting the occurrence of pathogenic microorganisms. In particular, the changes in microbiological indicators used for evaluating and tracking accurately water pollution by feces were notable. Additionally, the utilization of total coliform as an indicator for feces contamination has been reduced because of the development of rapid and easy *E.coli* measurement method accompanied by the improvement of microorganism measurement methods. On the other hand, the utilization of indicator virus needs to be investigated due to the increase

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 환경연구실 수석연구원(Senior Researcher, Environment Research Division, Water Resources & Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology)/과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과 부교수 (Associate Professor, Department of Construction Environment Engineering, University of Science & Technology), E-mail: ihkim@kict.re.kr, Tel: 031-9100-649

of viral outbreaks such as Rotavirus outbreak. Suitable indicator viruses should be selected considering their survival in water environment, their occurrence and fate during water treatment etc.

Key Words : pathogen, *E.coli*, virus, indicator microorganism.

I. 서론

대장균(*E.coli*)은 그 자체가 사람의 건강에 유해하지는 않으나, 대장균이 다수 존재하는 경우에는 적리균이나 역리균 등의 수계 감염증의 원인이 되는 병원균이 동시에 존재할 가능성이 있기 때문에 공중위생상 문제가 된다. 이와 같이, 대장균은 병원균 등에 대한 오염지표로 이용되고 있기 때문에 “사람의 건강보호”가 아닌 “생활환경의 보전”에 관한 수질환경기준 항목으로 설정되어 있다. 한편, 지금까지는 수질오염의 미생물 지표로서 총대장균군(Total Coliform)이 거론되어 왔으나, 총대장균군의 지표성에 대한 논란이 계속되어 왔다. 그 이유는 총대장균군으로 대표될 수 있는 병원성 미생물의 범위 그리고 수계 감염증의 유행과 관련되어 있다. 수도수와 같이 안전성을 중시하는 경우에는 총대장균군을 기준항목으로 채용하더라도 안전성이 높아지기 때문에 그다지 문제가 되지 않는다. 그러나, 이를 환경수에 적용하게 되면 분변오염의 지표로 이용되는 총대장균군에는 물이나 토양에 널리 분포하는 *Citrobacter*속이나 *Enterobacter*속 등의 세균군이 포함되기도 하여 실제적인 분변오염의 정도를 정확히 반영해 주지 못하는 등의 문제점이 발생하게 된다.

일본의 경우, 당초 총대장균군이 수질기준항목으로 설정된 이유는 대장균에 대한 분석방법이 확립되어 있지 않았기 때문이다(金子光美, 2006). 즉, 환경기준 설정 당시, 분변오염을 억제하기 위

한 지표로서 대장균이 선택되었으나, 직접적인 검출이 불가능하였기 때문에 대장균이 갖는 생리활성중 1)유당을 분해하여 산과 가스를 생산하고, 2)호기성 또는 통기혐기성이고, 3)그람음성이고, 4)아포를 생성하지 않고, 5)*Bacillus*균이라는 점들을 감안하여, 이러한 성상을 모두 갖춘 세균군으로서 총대장균군이 채택되어 대장균의 대체지표로 이용되어 왔다. 그러나, 최근에는 분원성 대장균군(Fecal Coliform)이나 대장균을 간편하게 측정할 수 있는 방법이 보급되어 수도수 기준에는 대장균, 수욕장 기준에는 분원성 대장균군 항목이 채용되었다. 근래에 들어, 하수도 분야에서도 이러한 문제점을 극복하기 위해 분변오염의 정도를 보다 정확히 예측가능한, 기존의 총대장균군 항목을 대신할 수 있는 새로운 지표 미생물에 대한 기준 설정을 검토 중에 있다.

II. 연구목적 및 방법

본 논문에서는 국내 도시용수의 위생학적 안전성을 확보하기 위한 향후 과제를 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 미국, 유럽 및 일본 등 선진국에서의 물환경 분야의 병원성 미생물 관리현황을 조사하여, 국내 기준과 비교분석 하였다. 본 연구에서 대상으로 한 도시용수 분야는 크게 수도, 레크리에이션 수역, 그리고 도시배수 등 세 분야이며, 이를 구분하여 미국, 유럽, 일본 및 한국 등 각국의 가이드라인 등을 중심으로 병원성 미생물 관리현황을 조사하였다.

〈표 1〉 일본에서의 먹는 물에 의한 피해사례(山田俊郎·秋葉道光, 2009)

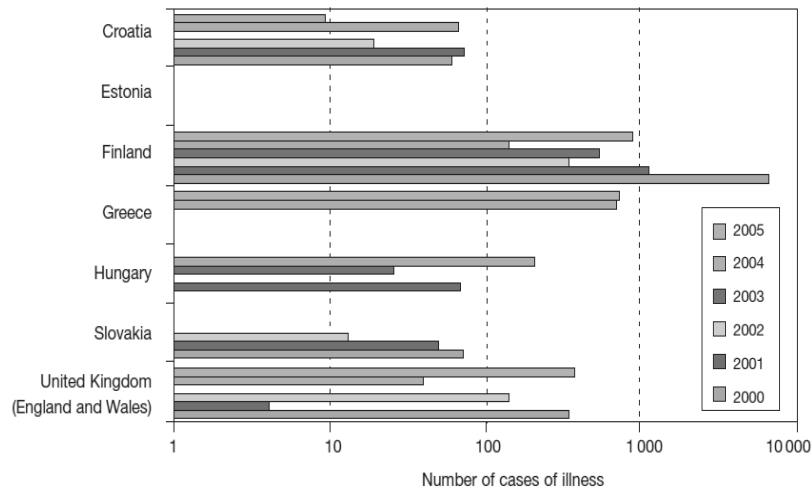
연도	발생건수	피해자수	원인물질
1998	2	824	<i>Yersinia</i> 균, 적리균
1999	3	66(1건: 불명확)	O157, 약품류
2000	2	51	O126, 랩토스피라 세균
2001	3	249	O26, O169, 차아염소산 나트륨
2002	2	39	<i>Campylobacter jejuni</i>
2003	10	754	Norovirus, Rotavirus, <i>Campylobacter jejuni</i> 등
2004	5	217	Norovirus, 병원성 대장균, <i>Campylobacter jejuni</i>
2005	6	627	<i>Campylobacter jejuni</i> , Norovirus, O168 등
2006	3	134	<i>Campylobacter jejuni</i> 등
2007	4	386	병원성 대장균 등

III. 수도수에서의 위생학적 안전성 관리현황

일본의 경우, 수도수에 대해서는 대장균 및 일반세균, 수도원수인 하천수나 하수처리 방류수에 대해서는 총대장균군수, 수욕장에 대해서는 분원성 대장균군수가 각각 이용되고 있다. 최근, 미생물 측정법이 향상됨에 따라 대장균을 쉽게 정량할 수 있게 되어 총대장균군의 측정의미가 점차 퇴색되어가고 있다. PCR법에 의한 바이러스 검출이 일반화되고, 바이러스 농측기술도 향상되어 수환경에서의 장관계 바이러스의 존재현황에 대한 정보들 역시 많이 축적되어왔다. 또한, QMRA에 의해 모든 병원성 미생물에 대해서 허용가능한 감염 리스크로서, 연간 10^{-4} /인이 이용되어 왔다(環境省, 2002). 일본에서는 최근에도 병원성 대장균 등 다양한 원인물질에 의한 건강피해사례가 보고되고 있으나(〈표 1〉), 1996년 오고세(越生)에서 발생한 *Cryptosporidium*에 의한 감염사고 이후, 잠정지침을 거쳐 2007년에 정수장 유출지점에서의 탁도 기준치를 0.1도로 설정하였다. 탁도에 의해 *Cryptosporidium* 관리를 시도하고 있다는 점과 그 요구수준이 매우 높다는 점이 특징적이다. 이와 더불어, 2008년에 종속영양세균이 새롭게 수

질관리 목표항목에 추가되는 등 수질기준의 재검토에 대한 관심이 높아지고 있다.

WHO는 음료수와 관련된 중요한 수계 감염성 병원미생물로 세균 12종, 바이러스 8종, 원생동물 7종, 연충류 2종을 선정하였으며(WHO, 2008), 이들을 적절한 처리방법에 의해 제거 및 불활성화하고, 물 섭취에 따른 감염 리스크를 허용치 이하로 저감하도록 하고 있다. 염소처리하는 세균오염의 지표인 대장균의 불활성화를 목적으로 이용되어 왔기 때문에, 염소내성이 높은 바이러스와 원생동물에 대해서는 특별한 대응이 요구된다. 음료수를 매개로 한 병원성 세균에 의한 감염 리스크 저감을 위해서는 음료수에 대해 대장균 또는 분원성 대장균군이 시료 100mL에서 검출되지 않도록 하는 것이 중요하다. 수질평가 결과의 해석에 있어서는, 일부 시료에 대해 대장균이 검출될 경우를 예상하여, 90~99% 이상의 시료에서 불검출이면 양호한 수질로 보고 있다. 또한 *Cryptosporidium*, Rotavirus, *Campylobacter*에 대한 QMRA로부터 10^{-6} 의 DALY(Disability Adjusted Life Year, 장애보정 생존년수)를 달성하기 위해서는 음료수 1L당 각각 6.3×10^{-4} ,



〈그림 1〉 유럽에서의 먹는 물에 의한 수인성 질병 발병건수(ENHIS, 2007)

3.2×10^{-5} , 1.3×10^{-4} 이하로 억제할 필요가 있다 (WHO, 2008). 이들 목표치를 달성할 경우, 각각의 미생물에 의한 연간 감염 리스크는 약 10^{-4} /인 정도가 된다.

〈그림 1〉은 2000년부터 2005년까지 유럽 각국의 수도시설에서 발생한 감염사례를 보여준다. EU는 1998년에 발표한 EU지침(The council of the european union, 1998)에 가맹국이 지켜야 할 음료수 수질기준을 수도수의 미생물 수질기준으로서 대장균, 총대장균군, 장구균, 웰치균(각각 0/100mL) 및 22°C에서의 콜로니수를 제안하였다. 또한, bottled water 등을 대상으로 대장균, 장구균, 총대장균군, 녹농균(각각 0/250mL) 및 22°C와 37°C에서의 콜로니수(각각 100개/mL, 20개/mL)를 제안하고 있으며, 기준항목의 측정빈도는 1일 급수량에 기초하여 측정하도록 제안하고 있다. 가맹국은 기본적으로 상기의 기준을 채용하고 있지만, 항목의 추가나 기준치의 엄격화도 인정되고 있다.

네덜란드는 EU지침상의 기준 외에, *Aeromonas* 균(1,000 CFU/100mL)을 추가적으로 채용하고

있다. 게다가, 구체적인 농도를 기술하고 있지는 않지만, 장관계 바이러스, *Cryptosporidium*, *Giardia*에 의한 연간 감염 리스크치를 10^{-4} /인으로 억제할 것을 요구하고 있다. 또한, *Legionella*의 경우, 수영장이나 실버타운 등 감염이 유행할 위험성이 높은 장소에서도 모니터링되고 있다. 네덜란드에서는 정수처리공정에 염소가 이용되지 않는다. 이는 염소처리에 의한 건강 리스크 저감에 대한 장점보다도 염소첨가에 의한 이취미 및 Trihalomethane 등 소독부산물에 의한 단점을 중요시하고 있기 때문이며, 염소를 이용하지 않는 대신에 원수수질과 처리법, 급배수 과정에 대해서 각별히 주의하고 있다. 지표수를 원수로 이용하는 경우, 강변여과를 비롯하여 장시간의 저류 및 다단계의 고도처리를 실시하고 있다. 호수나 홍수 등 원수수질에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상황이 발생한 후에는 10L의 검사수량으로 대장균 및 F특이 대장균 파지를 측정해야 한다. 또한, 급배수과정에서의 세균증식과 생물막 형성을 방지하기 위해, 동화성 유기탄소(Assimilable Organic Carbon) 농도를 10µg/L 미만으로 억제하도록 요구하고 있으며, 그 외

〈표 2〉 미국에서의 먹는 물에 대한 피해사례

원인물질	발병건수	피해자수
<i>Giardia</i>	22	2,256
<i>Cryptosporidium</i>	11	408,259
<i>Campylobacter jejuni</i>	5	340
<i>Salmonellae, nontyphoid</i>	3	833
<i>E.coli</i>	9	259
<i>E.coli</i> O157	1	781
<i>Shigella</i>	8	605
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	1	60
Non-01 <i>V.cholerae</i>	1	11
Hepatitis A virus	2	56
Norwalk-like virus	3	2,400
Small, round-structured virus	2	218
Chemical	25	531
불명확	60	15,237

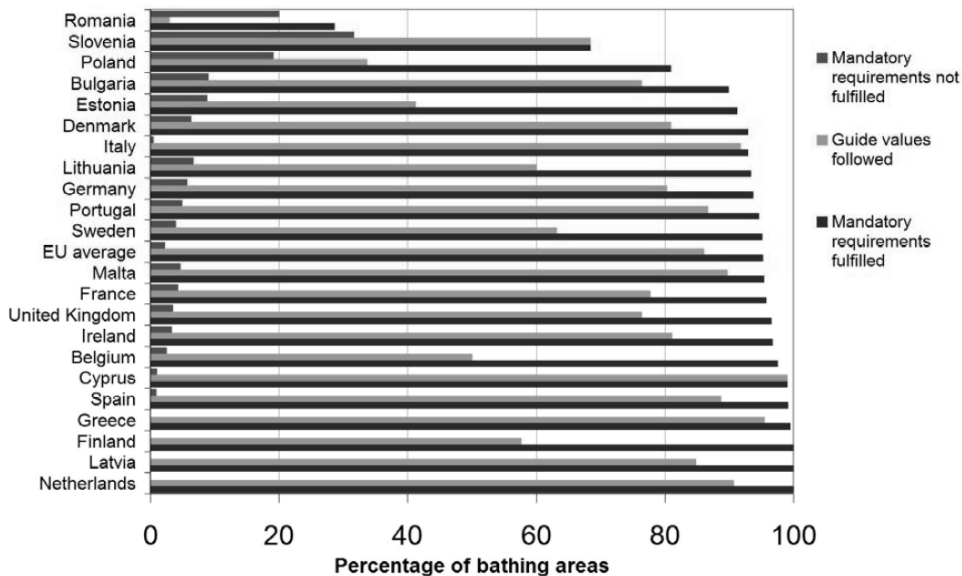
에 관로의 재질 역시도 규정하고 있다. 더불어, 관로 내에 입자가 퇴적되지 않도록 관망에 대한 대책도 이루어지고 있다(Vreeburg et al., 2009).

〈표 2〉는 1991년부터 2000년 사이에 미국 수도시설에서의 발병건수를 보여준다. 미국의 수도수질기준은 준수해야 할 수준(Maximum Contaminant Level, MCL)과 더불어 목표로 해야 할 수준(Maximum Contaminant Level Goal, MCLG)을 정하고 있다는 점이 특징적이다(US EPA, 2010). *Giardia* 및 바이러스의 경우, 음료수중으로부터 불검출이 MCLG로 설정되어 있으며, 특별한 처리에 의한 99.9% 제거 및 불활성화를 MCL로 요구하고 있다. 또한, *Legionella*에 대해서는 *Giardia* 및 바이러스가 충분히 제거 및 불활성화 되면 위협적이지 않다고 판단, 별도의 기준치는 설정하고 있지 않다. 게다가 총대장균군의 경우 불검출이 요구되고 있지만, 총 샘플수의 5% 미만으로 검출되는 것은 용인하고 있다.

남아프리카의 경우도 샘플의 일부에 대해서 대

장균 검출이 용인되고 있다. 음료수의 미생물 기준으로 대장균 또는 분원성 대장균군이 이용되며, 양자 모두 검사수량 100mL에서 검출되지 않는 것을 기준으로 설정하고 있는 점은 타 국가들과 동일하다. 그럼에도 불구하고 총 샘플수 중, 대장균에 대해서는 1%에서 1/100mL, 분원성 대장균군에 대해서는 4%에서 1/100mL을, 1%에서 10/100mL의 검출치가 나오는 것을 허용하고 있다(Department of Water Affairs and Forestry of South Africa, 2005).

뉴질랜드에서는 수도원수 중의 *Cryptosporidium* Oocyst 농도에 의거하여 제거 및 불활성화율을 규정하고 있다. 여기서 고농도일수록 요구되는 제거율은 높아진다. 예를 들면, 10L당 10Oocyst 이상의 고농도로 *Cryptosporidium*이 존재하는 원수에 대해서는 5log의 제거 및 불활성화가 요구된다. 또한, 심각한 건강리스크를 초래하지 않는 최대 농도(Maximum Acceptable Value, MAV)로서 100L당 1Oocyst 미만이 설정되어 있다. 더욱이,



〈그림 2〉 유럽 해안지역 수욕장의 수질기준 달성현황(European Commission, 2007)

탁도에 의거한 *Cryptosporidium* 제거 및 불활성화도 모니터링하고 있다.

IV. 도시용수의 위생학적 안전성 관리

1. 레크리에이션 수역에서의 위생학적 안전성 고찰

미국에서는 Clean Water Act상의 Swimmable을 목표로 수역을 관리해왔다. 목표로 하는 지표생물과 수질기준의 설정은 각 주가 정하고 있으나, US EPA는 유기물, 질소, 인뿐만 아니라 위생학적 지표 미생물에 대해서도 수역 평가, Total Maximum Daily Load(TMDL), National Pollutant Discharge Elimination System(NPDES) 및 비점오염원에의 대책을 수립하도록 각 주에 요구하고 있다. TMDL은 일일 최대 허용 부하량 제도로 수역의 기준달성을 위해 필요한 부하량을 추정하고, 그 목표달성을 위해 부하배출원을 파악하여 하수처리장 등의 점오염원 부하량 할당과 함께 비점오

염원도 그 부하량을 할당하는 제도이다. 수계 감염 미생물 기준을 달성하기 위해서는 점오염원에 대한 대응만으로는 그 달성이 곤란한 유역이 있을 수 있기 때문에, 비점오염원의 대응도 필요할 것으로 판단된다. 또한, US EPA는 2000년에 제정한 The Beaches Environmental Assessment and Coastal Health(BEACH)법에서 레크리에이션용 해안의 수질기준을 초과한 경우, 해안을 폐쇄하도록 각 주에 요청하고 있다. 그 결과, 2008년에는 3,740개소의 해안의 약 30%에 대해 레크리에이션 금지경고가 발령되었으며, 더욱이 US EPA는 2007년부터 적절한 Criteria를 책정하기 위해 정량적 Risk Assessment 및 지표생물의 개발을 2012년까지 수행할 예정이다(US EPA, 2009).

〈그림 2〉는 2006년 유럽 각국의 해수욕장의 수질규제치 및 가이드라인치의 달성율을 보여주며, 전체 96%의 해수욕장이 수질규제치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. EU에서는 1976년에 제정된 Bathing Water Directive가 2006년 EU Directive로

개정되어, 각국에서 이에 대한 대응이 진행 중이다. 구체적으로는 Enterovirus와 총대장균군수의 지표 미생물 폐지, 분원성 대장균군에서 대장균으로의 변경, 육수와 해수를 구분한 기준설정, 달성해야 할 최소 수질기준의 설정에 의한 리스크의 저감, 시민에의 수욕 위험성 경고, 오염원 평가에 의한 종합적 수질관리 등을 실시하도록 정해져 있다.¹⁾ EU에서는 최근 20년간 수욕장의 수질이 상당히 개선되었으며, 육수에서의 개선이 현저한 것으로 알려졌다(European Commission, 2007).

일본의 경우, 환경기준으로 설정되어 있는 지표는 총대장균군이며, 2007년도에는 하천, 호소, 해역에서의 기준 부적합 지점비율이 각각 68.2%, 27.3%, 2.8%로 나타났으며(環境省, 2008), 최근 20년간 특히 하천, 호소 등에서의 기준 달성율은 거의 향상되고 있지 않다. 한편, 지표미생물인 총대장균군수가 토양유래 미생물도 포함하기 때문에 위생학적인 판단자료로 이용하기 어려운 것으로 알려져, 최근에는 수역에서의 지표미생물의 재검토와 기준달성에 대해서 논의가 시작되고 있다. 일본의 수욕장의 경우는 분원성 대장균군수, COD, 유분, 투시도를 모두 만족하는지를 기준으로 적합여부를 판정하게 된다. 현재 수질 AA, A, B, C를 만족하는 지점은 각각 64%, 18%, 17%, 0.6%으로 모든 지점에서 만족하고 있지만, 수욕장을 개장하기 전에 수질조사가 행해지므로 개장기간 중의 만족도는 명확하지 않다.

2. 도시배수에서의 위생학적 안전성 고찰

미국에서는 주에 따라 수계 감염미생물에 관한 배출기준이 다르지만, 많은 주에서는 환경기준으

로 정해져 있는 대장균, 분원성 대장균 등의 지표 미생물이 수역에서의 회석을 고려하지 않고도 만족할 수 있는 수준으로 규제하는 경우가 많다(土屋悦輝 외, 1998). 이 때문에 소독에 대해서는 이전부터 엄격한 기준에 대응할 수 있었으며, 또한 방류지역의 생태계에 영향을 미치지 않는 소독방법이 요구되어 UV, 오존, MBR 등의 기술이 도입되어 왔다.

일본의 경우, 수질오탁방지법에서 전국 일률적으로 총대장균군수 3,000개/cm³를 배수기준으로 설정하고 있으며, 따라서, 대부분의 하수처리장에서는 방류수에 총대장균군수가 잔류하지 않을 정도의 염소소독을 행하고 있다. 염소를 주입함으로써 처리수 중의 총대장균군수는 감소하지만, 장관계 바이러스 등은 염소내성이 높기 때문에, 방류지점이 수도수원, 레크리에이션 이용, 양식장 등과 같은 주요 수역인 경우에는 그 삭감수준에 대한 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 하천, 호소, 해역의 수계 감염 미생물의 존재에 기여하는 주요 오염원으로서 우천 시 합류식 하수도 월류수(CSOs)가 최근 주목받고 있는데, 이는 CSOs가 우천 시 합류식 토구로부터 소독처리되지 않은 채 수역으로 방류되고 있기 때문이다. 현재, 정부주도로 합류식 하수도 대책이 진행되고 있으나, 우천 시 월류수 중 병원성 미생물 대책의 기본은 월류빈도를 절반 이하로 하는 것이다. 이러한 합류식 토구에서의 소독과 하수처리장에서의 우천시 하수처리는 향후 수계 감염미생물 대책으로 큰 역할을 담당하게 될 것으로 생각된다.

1) Bathing Water Directive, <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/water/water-quality/bathing/> (Department for Environment Food and Rural Affairs)

〈표 3〉 국가별 미생물 항목 규제현황

구분	미국	유럽	일본	한국
수도수	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Cryptosporidium</i>(MCL: 99% 제거 및 불활성화, MCLG: 불검출) · <i>Legionella</i>(기준치 없음) · <i>Giardia/Virus</i>(MCL: 99.9% 제거 및 불활성화, MCLG: 불검출) · 총대장균군(불검출이나 총 샘플수의 5% 미만에서의 검출은 용인) 	<ul style="list-style-type: none"> · 총대장균군, 대장균, 장구균(100mL에서 불검출) · 22℃에서의 콜로니(비정상적 변화가 없을 것) 	<ul style="list-style-type: none"> · 〈수질기준항목〉 일반세균(1mL에서 100 이하) · 대장균(불검출) · 〈수질관리목표 설정항목〉 · 중속영양세균(1mL에서 2,000 이하(잠정)) 	<ul style="list-style-type: none"> · 총대장균군(100mL에서 불검출) · 대장균(100mL에서 불검출) · 분원성대장균(100mL에서 불검출) · 일반세균(1mL에서 100 이하)
레크리에이션 수역	· 대장균, 장구균	· 대장균, 장구균	· 분원성 대장균	· 총대장균군
	농도에 따라 수역등급 분류			
도시배수	· 총대장균군, 분원성 대장균	-	· 총대장균군	· 총대장균군
	방류수역에 따라 허용농도 다름			

V. 국내 관리현황과의 비교 분석

우리나라의 경우, 1978년 수질환경기준 제정 시부터 환경기준 설정에 대한 기초자료 및 과학적 근거가 부족한 상태에서 일본의 기준을 인용해 왔다. 그러나, 2003년에 수질환경기준 선진화 추진방안을 통해, 생태계를 고려한 종합적이고 합리적인 수질환경 기준을 마련하고자 하는 노력이 있었다. 이와 같은 노력들을 토대로, 2009년 7월에 개정된 환경정책기본법에는 총대장균군과 더불어 분원성 대장균이 하천 및 호소수질환경기준에 추가되어, 2010년부터 시행되어 왔다. 공공하수처리시설의 방류수 수질기준에는 총대장균군이 규제항목으로 설정되어 있다. 2011년 12월 31일까지 적용되는 공공하수처리시설의 방류수 수질기준의 경우, 하수처리용량에 관계없이 총대장균군수가 3,000개/mL 이하였던 반면, 2012년 1월 1일부터는 1일 하수처리용량이 500m³ 이상인 공공하수처리시설(1지역)에 대해서는 1,000개

/mL 이하의 기준이 적용되고 있다. 그러나, 현재에도 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」에서 정하는 청정지역, 「수도법」에서 정하는 상수원보호구역 및 상수원보호구역의 경계로부터 상류로 유하거리 10km 이내의 지역 등에 대해서는 1,000개/mL 이하의 총대장균군 기준이 적용되고 있다. 반면, 미국의 경우는 총대장균군과 함께 분원성 대장균을 관리항목에 포함시키고 있으며, 일본은 현재 총대장균군이 관리대상이지만, 서두에서 기술한 바와 같이 대장균으로 변경하는 안에 대해 검토 중에 있다. 국내에서도 총대장균군의 지표 미생물로서의 적합성에 대한 체계적인 검토가 필요한 시점이라고 할 수 있다.

한편, 우리나라의 먹는 물 수질기준에는 일반세균 외에 총대장균군, 분원성 대장균 및 대장균이 모두 기준항목으로 설정되어 있어, 일반세균과 대장균만을 기준으로 정하고 있는 일본과 대조적이다. 그러나, 대장균류 및 세균을 중심으로 관리하는 우리나라 및 일본과는 다르게 미국, 유

럽의 경우는 원충류 또는 장구균 등 특정 미생물에 대한 항목이 설정되어 있다. 이는 레크리에이션 수역의 경우도 동일하다. 특히 장구균은 사람과 동물의 장과 비노 생식계통에 살면서 노인과 면역력 저하자 등에게 요로감염을 유발하는 세균으로 알려져 있다. 이와 같은 특정 미생물을 대상으로 한 오염실태 및 감염사례 등의 조사를 통해 물의 위생학적 안전성을 한층 더 강화시켜 나갈 필요도 있을 것으로 사료된다.

VI. 결론

수질환경기준의 제정 과정과 기준항목에 있어서 국가간의 차이는 있으나, 1978년에 수질환경기준이 제정된 이래, 기준치 초과에 대한 감시와 수질관리에 대한 대응을 의무화하는 근거로 이용되어와, 우리나라 수질환경의 향상에 큰 역할을 달성해 왔다는 것은 자명한 사실이다. 미국, 일본과 같은 선진국에서는 사회적으로 또는 물 이용상, *Cryptosporidium* 등에 의한 감염 등 병원성 미생물에 의한 인체 피해에 대해 관심과 우려가 점점 높아지고 있다. 이에 따라, 과거 수십 년간 세계적으로 위생학적 수질관리지표나 체계가 크게 변해온 나라들이 많다. 그 중에서도 특히 용수의 안전성 확보를 위해 수질오염의 위생학적 지표로 이용되는 미생물종의 변경이 가장 현저하며, 또한, 각 국별로 이용되는 지표미생물에 있어서 약간씩 차이가 있다는 사실이 확인되었다. 이는 결국 어떤 미생물이 분변 오염의 지표로서 적절한지에 대해 아직 명확하게 규명되어 있지 않기 때문일 것이다. 실제로 분석상의 문제나 환경중에서의 거동문제 등의 이유 때문에 분변오염 지표로써 가장 적합한 미생물을 선정하기는 쉽지 않다. 따라서, 향후에도 도시용수의 용도에 관계

없이 분변오염을 정확하게 평가 및 추적하는 방법에 대해 지속적이고 세밀한 검토가 필요할 것이다.

한편, 지금까지는 용수의 위생학적 안전성을 평가하는 데 있어서 총대장균군 등 세균류에 속하는 지표 미생물에만 의존해 왔으나, 이러한 지표 세균류가 병원성 바이러스에 대한 지표로서도 이용가능한지에 대해서는 검토되고 있지 않다. 항생제 등의 과다사용, 다양한 화학물질의 수계 배출 등에 의해 이들에 내성을 갖는 다양한 종류의 세균 및 바이러스 등이 발생할 수 있음을 감안하면, 세균을 대상으로 한 지표 미생물과 바이러스를 대상으로 한 지표 미생물을 별개로 관리해야 하는 상황도 배제할 수는 없을 것이다.

참고문헌

- 金子光美, 2006, “水の安全性と病原微生物—その歴史と現状, そして未来”, 『モダンメディア』, 52(3): 20~27.
- 山田俊郎・秋葉道宏, 2009, “水による健康被害の實態”, 『水と技術』, No. 1: 26~31.
- 土屋悦輝・中室克彦・酒井康行, 1998, 『水のリスクマネジメント実務指針』, サイエンスフォーラム.
- 環境省, 2002, 『水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針等に関する質疑回答集』.
- _____, 2008, 『平成19年度公共用水域水質測定結果』, <http://www.env.go.jp/water/suiiki/h19/full.pdf>.
- Department of Water Affairs and Forestry of South Africa, 2005, “Drinking Water Quality Management Guide for Water Services Authorities.”
- ENHIS, 2007, “Outbreaks of Waterborne Diseases.”
- European Commission, 2007, “Bathing Water Quality”, http://ec.europa.eu/environment/water/water-bathing/report_2008.html
- The Council of the European Union, 1998, COUNCIL

- DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the Quality of Water Intended for Human Consumption.*
- US EPA, 2009, *US EPA National Summary: 2008 Swimming Season Update*, <http://www.epa.gov/waterscience/beaches/seasons /2008/national.html>.
- US EPA, 2010, *US EPA Drinking Water Contaminants*, <http://www.epa.gov/safewater /contaminants/index.html>.
- Vreeburg, J. H. G., Blokker, E. J. M., Horst, P., and van Dijk, J. C., 2009, "Velocity-based Self-cleaning Residential Drinking Water Distribution Systems", *Water Science and Technology*, 9(6), 635~641.
- WHO, 2008, "Guidelines for Drinking-water Quality", 3rd ed., Vol. 1 *Recommendations*, <http://www.defra.gov.uk/ environment/quality/water/ water-quality /bathing/>(Department for Environment Food and Rural Affairs)
- 원 고 접 수 일 : 2012년 9월 13일
 1차심사완료일 : 2012년 10월 10일
 2차심사완료일 : 2012년 11월 20일
 최종원고채택일 : 2012년 11월 27일