

한국 지표수에서 수인성 장관계 바이러스에 대한 지표 미생물로서 총 대장균군과 분원성 대장균군

Total Coliforms and Fecal Coliforms as Microbial Indicators of Waterborne Enteric Viruses in Korean Surface Water

이규철* · 이희숙

Gyuchoel Lee* · Heesuk Lee

한국수자원공사 수자원연구원 수돗물분석연구센터

(2006년 8월 29일 논문 접수; 2006년 11월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

In order to investigate whether or not Total Coliforms (T.C.) and Fecal Coliforms (F.C.) are compatible as indicator microorganisms of waterborne enteric viruses, a total of 192 surface water samples from 24 locations in Korea were tested for T.C., F.C., and human enteric viruses from July 2003 to January 2006. Altogether, the number of T.C. in each samples was ranged from $0\sim 5.3 \times 10^4$ colony forming unit(CFU)/100mL, and the number of F.C. ranged from $0\sim 5.0 \times 10^3$ CFU/100mL per sample. Thirty-three percent of the samples tested positive for human enteric viruses after the total culturable virus assay. The results of the statistical analysis showed that T.C. and F.C. had a significant correlation with turbidity and temperature, but the waterborne enteric viruses did not. When compared to the number of T.C. or F.C. per sample, the concentration of waterborne enteric viruses was not found to be correlated. In conclusion, it is suggested that T.C. and F.C. may not be sufficient microbial indicators of waterborne enteric viruses in the samples analyzed in this study. However, further research is needed to find other microbial indicators of waterborne enteric viruses and to develop more advanced and sensitive methods to detect waterborne enteric viruses.

Key words: waterborne enteric viruses, microbial indicators, total coliforms, fecal coliforms

주제어: 수인성 장관계 바이러스, 지표 미생물, 총 대장균군, 분원성 대장균군

1. 서론

하천수와 호소수 등 지표수는 한국의 대표적인 상

수원이다. 2004년 기준에 따르면 한국의 상수도 급수 인구가 약 4천4백만 명이라 한다. 이렇게 지표수가 널리 상수원으로 사용되고 있기 때문에 오염된 지표수가 적절한 정수처리과정을 거치지 않고 공급될 경

*Corresponding author Tel: +82-42-629-2034, Fax: +82-42-629-2079, E-mail: devilsoldier@hanmail.net (Lee, G.C.)

우 국민 보건에 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 그러므로 상수원의 오염을 정기적으로 모니터링 하는 것과 정수처리 시설 및 공정을 철저히 관리하는 것은 매우 중요하다.

병원성 미생물을 많이 포함하는 환자의 분변에 오염된 상수 원수는 인체의 건강에 매우 위협적일 수 있다. 특히 인체에 감염할 수 있는 장관계 바이러스(human enteric viruses)는 감염된 환자의 분변에 1g당 $10^8 \sim 10^{10}$ 입자의 농도로 외부에 배출되므로 심각한 상수원의 오염을 야기할 수 있다(정 등, 2000, 박 등, 2003).

수인성 장관계 바이러스는 주로 사람 또는 동물의 장내에서 증식하는 바이러스로 분변과 함께 체외로 방출되며(Abbaszadegan et al., 1993, Papaventsis et al., 2005), 엔테로바이러스(enteroviruses), 아데노바이러스(adenoviruses), A형 간염바이러스(hepatitis A virus), 레오바이러스(reoviruses), 노로바이러스(noroviruses) 등으로 분류된다(Cukor and Blacklow, 1984). 이러한 수인성 장관계 바이러스는 오염된 물이나 음식, 또는 감염된 사람과의 접촉을 통해 전파되며, 성인보다는 면역체계가 약한 노약자나 어린이들에게 감염되었을 경우 치명적이다(Lawson et al., 1991, Beller et al., 1997). 이러한 이유로 한국 정부는 2003년부터 일 정수량 5만톤급 이상의 정수장에서 사용하는 원수를 대상으로 바이러스에 대한 분포실태 조사를 실시하도록 하였다.

지표 미생물이란 토양이나 수질 등의 오염 정도를 간접적으로 나타낼 수 있는 지표가 되거나, 바이러스를 포함하는 병원성 미생물 등의 존재를 예측할 수 있는 미생물을 일컫는다(Berg, 1978, Rice et al., 1996, 정 등, 2002). 이상적인 지표 미생물은 우선 비병원성이어야 하며, 신속한 검출과 정량이 가능해야 하고, 무엇보다 예측하고자 하는 대상과 밀접한 상관관계를 가지고 있어야 한다(Goyal et al., 1983). 총 대장균군(total coliforms, T.C.)은 *enterobacteriaceae* 과에 속하며, *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, 그리고 *Citrobacter* 등을 포함하고, 37°C에서 유당을 발효시켜 48시간 이내에 기포를 형성하는 세균이다. 분원성 대장균군(fecal coliforms, F.C.)은 44.5°C에서 유당을 발효시키는 세균으로 *Escherichia coli*와 *Klebsiella pneumoniae* 등을 포함한다. 이들은 오래전부터 물의

분원성 오염정도를 나타내거나 병원성 미생물의 존재에 대한 지표미생물로서 널리 사용되어져 왔으며, 국내의 경우도 이에 대한 연구가 이루어진 바 있다(정 등, 2002, 이 등, 2006). 그러나 많은 과학자들이 이러한 미생물들이 지표 미생물로서 부적합하다는 보고를 해 왔으며(Hejkal et al., 1981, Stetler, 1984, Santiago-Mercado and Hazen, 1987, Grabow 1996, Harwood et al., 2005), 이를 대체할 수 있는 *enterococci*, bacteriophage, F-specific RNA coliphages, 또는 coliphages 등 다양한 지표 미생물에 대한 연구가 진행되었다(Stetler, 1984, Horman et al., 2004). 그러나 지표 미생물과 대상 미생물과의 관계는 기후, 지리적으로 매우 독특한 특성을 보이므로, 많은 시료와 다양한 지역을 대상으로 한 대대적인 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 2003년 7월부터 2006년 1월까지 한국수자원공사 관할 정수장 중 일 정수량 5만톤급 이상인 26개 정수장에서 사용하는 24지점의 취수원수, 총 192건을 대상으로 총 대장균군 및 분원성 대장균이 수인성 장관계 바이러스의 지표 미생물로서 적합한가에 대하여 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 세포 및 바이러스

바이러스의 검출을 위해 수인성 장관계 바이러스에 감수성이 좋은 원숭이신장세포(Buffalo green monkey kidney cells, BGMK cells; 국립환경과학원 분양)를 사용하였고, 5% fetal bovine serum(FBS, Gibco BRL, 미국)이 함유된 MEM/L-15 배지(Gibco BRL)에서, 온도 $36.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 5% CO_2 조건으로 배양하였다. 세포병변효과에 대한 양성 대조군으로 국립환경과학원에서 분양받은 약독화 폴리오바이러스 3형(poliovirus type 3)을 사용하였다.

2.2. 시료 및 채수

바이러스의 채수는 정수처리에 관한 기준(환경부, 2002)에 명시된 방법에 의거하여, 200L의 원수를 1-MDS 양전하 필터(CUNO, 미국)를 사용하여 채수하였다. 시료 채수시 수압이 $2.11 \times 10^4 \text{Pa}$ 를 넘지 않도록 조절하였으며, 원수의 pH가 8.0 이상일 경우 0.1M HCl로 pH가 6.5~7.5가 되도록 조절한 후 채

수하였고, 최대 유량이 분당 11.4L가 넘지 않도록 조절하였다.

2.3. 바이러스의 탈리 및 농축

바이러스를 탈리하고 농축하기 위해 멸균한 1,000 mL의 1.5% 소고기엑스(beef extract, pH 9.5, 0.375% glycerin, Becton, Dickinson and Company, 미국) 용액을 사용하였다. 소고기엑스 용액에 압력을 가하여 채수한 필터가 들어있는 카트리지 하우징으로 흘러가도록 하였다. 필터가 용액에 완전히 잠기면 압력을 가하지 않고 1분간 방치하여 바이러스가 소고기엑스 용액으로 탈리되도록 하는 과정을 총 2회 반복했다. 농축을 위해 용출액을 교반기를 사용하여 거품이 생기지 않도록 적절한 속도로 섞어 주며 1M HCl 용액을 사용하여 탈리액의 pH를 7.0~7.5 사이로 조정하였다. 탈리액의 부피를 측정하고 다시 pH를 3.5 ± 0.1 로 조정하였다. 탈리액을 실온에서 30분 동안 천천히 교반시킨 후, $2,500 \times g$ 의 속도로 4°C에서 15분 동안 원심분리 하였다. 상층액을 버리고 침전물을 30mL의 0.15M 인산1수소나트륨 용액으로 현탁한 후 pH를 9.0~9.5로 제조정하여 실온에서 10분간 교반하였다. 현탁액을 $4,000 \times g$ 의 속도로 4°C에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 취하여 pH를 7.0~7.5로 맞추어 바이러스를 농축하였다.

2.4. 총배양성바이러스분석법(total culturable virus assay)

환경부의 정수처리에 관한 기준(2002)에 따라 바이러스 접종량을 계산하였고, 이에 해당하는 양의 바이러스 농축액을 T25 세포배양용기(Nalge Nunc, 미국)에 접종하였다. 음성 대조군으로 접종량에 해당되는 만큼의 0.15M 인산나트륨용액을 접종하였으며, 양성 대조군으로 폴리오바이러스 3형, 20 plaque forming units를 접종하였다. 시료는 제1분할시료와 제2분할시료로 나누어 두 차례 접종하였으며, 세포는 계대배양 후 3~4일이 지난 것을 사용하였다. 90분간 접종 후 배지 10mL을 세포배양용기에 넣고 14일간 바이러스성 세포병변효과를 현미경으로 관찰하며 배양하였다. 1차와 2차 배양에서 모두 세포병변효과가 나타난 시료를 양성으로 판정하였고, 2차 배양에서만 세포병변효과가 나타난 경우 음성대조군과 함께 3차

배양을 수행하여 2, 3차에서 모두 세포병변효과가 관찰된 시료를 양성으로 판정하였다. 최종 바이러스의 정량은 미 환경보호청(United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA)에서 제공하는 최적확수(most probable numbers, MPN) 계수 소프트웨어를 이용하였다.

2.5. 총 대장균(total coliforms) 분석

적정량을 희석한 원수 100mL를 멸균된 여과장치(Millipore, 미국)를 이용하여 공극 $0.45\mu\text{m}$, 지름 47mm의 멸균된 여과막(Advantec MFS, Inc., 일본)을 통해 여과한 후, 이것을 Difco m Endo agar LES (Becton, Dickinson and company) 배지, $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 조건에서 24 ± 2 시간 배양하였다. 암적색의 금속광택을 띠는 집락(colony)의 수가 20~80 범위에 드는 것을 계수하여 100mL 중 총 대장균군 집락수(CFU/100mL)로 나타내었다.

2.6. 분원성 대장균군(fecal coliforms) 분석

적정량을 희석한 원수 100mL를 총 대장균군에서 사용한 방법과 동일하게 여과한 후, 이것을 Difco m FC agar(Becton, Dickinson and company) 배지, $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 조건에서 24 ± 2 시간 동안 배양하였다. 파란색의 집락수가 20~60 범위에 드는 것을 계수하여 100 mL 중 분원성 대장균군수 단위(CFU/100mL)로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수인성 바이러스와 총 대장균군 및 분원성 대장균군의 검출

수인성 장관계 바이러스는 총 시료 192건 중 63건(32.8%)의 시료에서 검출되었고, 검출범위는 0~240 MPN/100L, 평균 3.18MPN/100L였다. 총대장균군은 $0 \sim 5.3 \times 10^4$ CFU/100mL, 분원성 대장균군은 $0 \sim 5.0 \times 10^3$ CFU/100mL의 범위에서 검출되었다. 수인성 장관계 바이러스의 경우 부산지역의 상수원수를 대상으로한 박 등(2003)에 의해 보고된 검출빈도(61.9%)에 비해 비교적 낮게 검출되었으나, 이는 조사 대상 지역의 차이에서 비롯된 것으로 사료된다. 총 대장균군과 분원성 대장균군의 경우도 기존에 보

고된 연구 결과와 유사하거나 일부 차이가 있는 것으로 나타났다. 한강 수계를 대상으로 한 이 등(2005)의 경우 총 대장균군과 분원성 대장균군의 검출농도가 연도별로 차이가 있었으며(총 대장균군의 2000년 기하평균 3.7×10^3 CFU/mL, 2002년 2.7×10^4 CFU/mL, 2004년 4.7×10^2 CFU/mL; 분원성 대장균군의 2000년 기하평균 3.7×10^2 CFU/mL, 2002년 2.7×10^3 CFU/mL, 2004년 3.7×10^1 CFU/mL), 하수처리 시설의 개선에 따라 연도별로 미생물의 검출량이 크게 감소한다고 보고한 바 있다. 또한 이 등(2006)은 총 대장균군과 분원성 대장균군을 검출하기 위한 방법으로 막여과법과 최적화수법을 비교한 결과 수계의 수질등급이나 조사 시기 및 지점에 따른 일관성이 없다고 보고한 바 있다. 그러므로 연구 결과들 사이에서 보이는 총 대장균군이나 분원성 대장균군의 검출 농도 차이는 조사 지점의 오염정도나 검출방법에 의한 차이로 판단된다(정 등, 2002, 이 등, 2005, 이 등, 2006).

3.2. 환경적요인과의 상관관계

다양한 환경적 요인은 수계에 존재하는 미생물의 존재 여부에 영향을 줄 수 있다. 수온과 탁도는 물에 존재하는 미생물에 많은 영향을 끼치는 환경 요인으로, 이들과 총 대장균군 및 분원성 대장균군, 그리고 수인성 장관계 바이러스와의 관계에 대해 알아보았다. 본 연구에서 검출된 미생물의 양이 최저값과 최고값 사이에 심한 차이를 보였으므로, 일부 낮고 높은 수치의 영향을 줄이고, 수온과 탁도와의 분석을 용이하게 하기 위해 평균값을 분석하였으며, 미생물 분포차는 표준편차로 표현하였다. Fig. 1a에서 보는 바와 같이 총 대장균군이나 분원성 대장균군의 검출량은 수온과 유사한 양상으로 증감함을 관찰할 수 있었다. 특히 수온이 높았던 7~9월의 경우 총 대장균군이 3.03×10^3 CFU/100mL로 비교적 많이 검출되었으며, 분원성 대장균군도 5.09×10^2 CFU/100mL로 수온이 낮을 경우에 비해 비교적 높게 검출되었다(Fig. 1a). 이는 정 등(2002)이 발표한 결과와 유사한 결과로, 총 대장균이나 분원성 대장균군이 높은 수온에 의해 증식을 하게 되어 수온이 낮았을 때보다 높게 검출된 것으로 사료된다. 지표 미생물과 수온 사이에 통계적으로 의미가 있는 상관관계에 있는지를

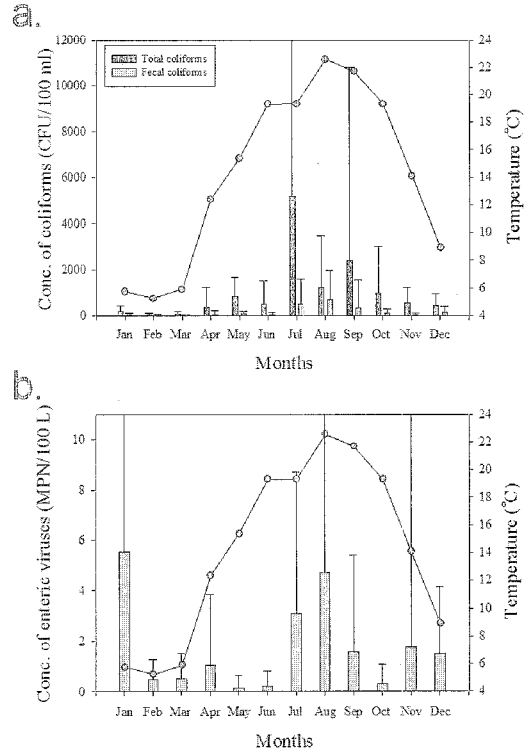


Fig. 1. Effect of temperature on total coliforms, fecal coliforms, and waterborne enteric viruses. a. relationship between concentration of coliforms and temperature (closed circle); b. relationship between concentration of enteric viruses and temperature (closed circle).

알아보기 위해 Pearson 상관분석 및 회귀분석을 SPSS (SPSS version 12.0)를 이용하여 실시하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 총 대장균군과 분원성 대장균군 모두 수온과 양의 상관관계에 있었으며(총 대장균군, $R=0.569$, $p=0.054$; 분원성 대장균군, $R=0.666$, $p=0.018$), 회귀분석에 의한 기여율(R^2) 역시 각각 0.324와 0.444로 두 미생물이 수온과 양의 상관관계에 있음을 알 수 있었다. 수인성 장관계 바이러스와 수온과의 관계를 살펴본 결과, Fig. 1b에서 보는바와 같이 겨울철 온도가 낮았을 경우 바이러스가 많이 검출된 경우를 제외하고 온도와 상관관계가 있는 것처럼 관찰되었으나, 통계적으로는 의미가 없었다($R=0.041$, $R^2=0.002$, $p=0.900$). 이는 한국의 경우 바이러스가 수온이 낮을 경우 많이 검출된다는 점과 수온이 높은 7~9월이 계절상 우기에 해당하므로, 탁도가 증가함에 따라 바이러스가 다량 검출되었던 것

Table 1. Correlation coefficients between microbial indicators and environmental factors or waterborne enteric viruses.

Samples	R	R ²	p value
Temperature vs. T.C.	0.569	0.324	0.054a
Temperature vs. F.C.	0.666	0.444	0.018
Temperature vs. E.V.	0.041	0.002	0.900*
Turbidity vs. T.C.	0.948	0.899	0.000
Turbidity vs. F.C.	0.679	0.462	0.015
Turbidity vs. E.V.	0.170	0.029	0.598*
T.C. vs. E.V.	0.242	0.059	0.448*
F.C. vs. E.V.	0.537	0.289	0.072 ^a

T.C. = total coliforms; F.C. = fecal coliforms; E.V. = enteric viruses; R = Pearson correlation coefficient; R² = multiple correlation coefficient; p value < 0.05 except asterisk and a(although p value is over 0.05 but closed to 0.05)

에 의한 결과라고 판단된다.

본 연구에서는 탁도와 지표 미생물의 검출 및 바이러스의 검출 관계에 대해서도 알아보았다. 탁도는 콜로이드 입자와 대단히 미세한 입자에 의해 생겨나는 것으로, 본 연구 대상 시료의 탁도 범위는 최저 0.03 NTU부터 최고 58.00NTU였다. 탁도가 높았던 7~9 월 사이 총 대장균군과 분원성 대장균군, 그리고 수인성 장관계 바이러스 모두 탁도와 밀접한 관계가 있음을 관찰할 수 있었으나(Fig. 2), 바이러스의 경우 탁도가 낮은 겨울철에도 많은 양이 검출되어 지표 미생물과는 다른 양상을 보였다(Fig. 2b). 미 환경보호청에 따르면 온대성 기후 지역은 수인성 장관계 바이러스의 검출이 늦여름에서 초가을에 최대치를 나타낸다고 하였다. 그러나 다른 학자들은 수인성 장관계 바이러스의 검출이 지역적 특성에 따라 많은 차이가 생길수도 있으며, 여름보다 겨울철에 바이러스가 많이 검출되는 지역도 있다고 보고한 바 있다(Tani et al., 1991, 박 등, 2003). 이와 유사하게 본 연구에서도 수온이 낮은 겨울철에 바이러스가 많이 검출되었다(Fig. 1b). 이는 수인성 장관계 바이러스의 검출빈도를 분석해 본 경우에도 관찰되었던 양상으로 탁도가 높았을 경우 바이러스의 검출빈도가 높았으나, 온도가 낮은 겨울철에도 역시 바이러스가 높은 빈도로 검출되고 있음을 관찰할 수 있었다(data not shown). 통계적인 상관관계를 알아보기 위해 Pearson 상관분석 및 회귀분석을 실시한 결과(Table 1), 총 대장균군과 분원성 대장균의 경우 탁도와 매우 밀접한 상관

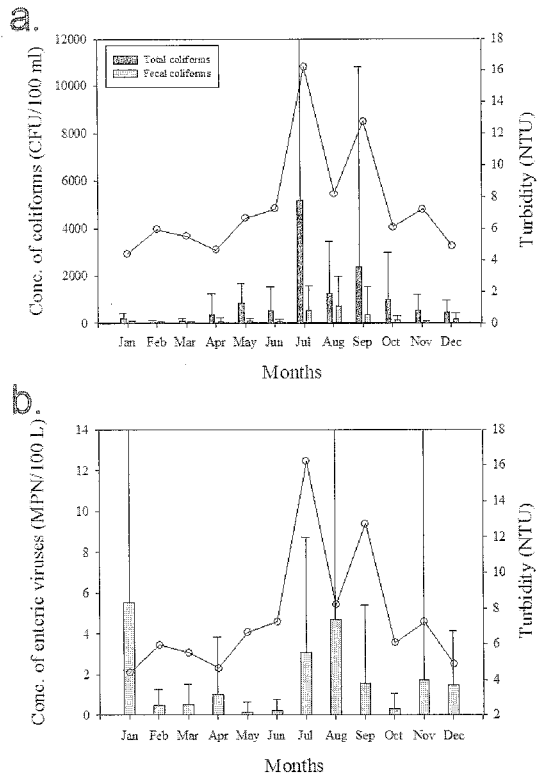


Fig. 2. Effect of turbidity on total coliforms, fecal coliforms, and waterborne enteric viruses. a. relationship between concentration of coliforms and turbidity (open circle); b. relationship between concentration of enteric viruses and turbidity (open circle).

관계를 보였으나(총 대장균군, R=0.948, R²=0.899, p=0.000; 분원성 대장균군, R=0.679, R²=0.462, p=0.015), 수인성 장관계 바이러스의 경우 비교적 약한 양의 상관관계를 보였으며, 통계적으로 의미가 없었다(R=0.170, R²=0.029, p=0.218). 이상의 결과로 총 대장균군과 분원성 대장균군은 탁도와 밀접한 양의 상관관계에 있고, 수인성 장관계 바이러스는 상관관계가 없음을 알 수 있었다.

따라서 총 대장균군과 분원성 대장균군의 경우 수온과 탁도와 양의 상관관계에 있었으나, 바이러스가 이들과 달리 수온과 탁도와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았으므로, 이들이 수인성 장관계 바이러스에 대한 지표 미생물로 사용되기에 부적합하다고 판단되었다.

3.3. 지표 미생물로서의 총 대장균군 및 분원성 대장균군

총 대장균군과 분원성 대장균군의 검출이 수인성 장관계 바이러스의 검출과 직접적인 상관관계에 있는 지 알아본 결과, 수온이 낮았던 11~1월을 제외하고 총 대장균군과 분원성 대장균군 모두 수인성 장관계 바이러스와 유사한 양상으로 검출되고 있는 것으로 관찰되었다(Fig. 3). 상관분석과 회귀분석을 실시한 결과, 총 대장균군은 수인성 장관계 바이러스와 약한 양의 상관관계에 있었으나 통계적으로 의미가 없었고 ($R=0.242$, $R^2=0.059$, $p=0.448$), 분원성 대장균군의 경우 비교적 양의 상관관계에 있었으나 통계적으로 의미가 약했다($R=0.537$, $R^2=0.289$, $p=0.072$). 총 대장균군과 분원성 대장균군 모두 수인성 장관계 바이러스와 통계적으로 의미있는 상관관계가 없었으므로, 이들이 수인성 장관계 바이러스에 대한 지표 미생물로서는 부적합하다고 판단되었다. 다른 연구자들도 총 대장균군, 분원성 대장균군, 분원성 연쇄상구균, bacteriophages, coliphages 등이 수인성 장관계 바이러스 등 분원성 미생물의 오염지표로서 적합한지에 대해 연구하여 왔으나, 이러한 지표 미생물들이 실제로 병원성 미생물의 존재를 간접적으로 나타내는 지에 대해 부정적 연구결과들이 발표되었으며(Stetler, 1984, Gantzer et al., 1998, Griffin et al., 1999, 이, 2002, Skraber et al., 2004), 이에 대해 많은 논란이 있었다(Hejkal et al., 1981, Grabow, 1996). 그러나 분원성 대장균군의 경우 통계적 의미가 비록 약하긴 했지만 수인성 장관계 바이러스의 검출농도와 양의 상관관계($R=0.537$)를 보였으므로(Table 1), 상수 원수에 대한 바이러스 모니터링 시점이나 조사 대상 지역을 판단할 때 현재까지 축적된 분원성 대장균군의 결과를 참고 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

물에 매우 낮은 농도로 존재하는 수인성 장관계 바이러스의 경우 검출이 매우 어렵고, 총배양성 바이러스분석법을 이용하는 경우 배양이 가능한 일부 바이러스의 검출에만 국한되기 때문에, 지표 미생물에 대한 연구는 중요하다. 지표 미생물은 병원성 미생물의 존재나 토양이나 수질의 오염 정도를 간접적으로 예측하여 나타낼 수 있는 지표로서 사용되었다(Berg, 1978). 이상적인 지표 미생물이란 다음과 같은 조건

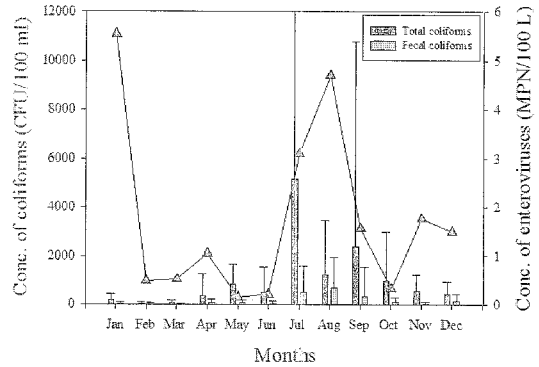


Fig. 3. Relationship between waterborne enteric viruses and total coliforms or fecal coliforms (closed triangle: concentration of waterborne enteric viruses).

을 충족시켜야 한다(Goyal, 1983). 첫째, 지표 미생물이 존재할 때 예측하고자 하는 병원성 미생물이 존재해야 하고, 지표 미생물이 존재하지 않을 경우 병원성 미생물 역시 존재하지 않아야 한다. 둘째, 지표 미생물과 예측하고자 하는 병원성 미생물의 성장 특성은 동일한 환경 조건하에서 유사하여야 한다. 셋째, 지표 미생물과 예측하고자 하는 미생물의 검출되는 양 사이에 일정한 비율이 있어야 하며, 이는 통계적으로 유의하여야 한다. 넷째, 소독제나 환경요인에 의해 영향을 받거나 내성을 갖는 등 특성이 유사하여야 한다. 다섯째, 지표 미생물은 비병원성이어야 하고, 쉽게 정량할 수 있어야 한다. 여섯째, 지표 미생물만을 검출해 낼 수 있는 방법이 있어야 하고, 위양성 반응이 없거나 적은 방법이어야 한다. 현재까지 수인성 장관계 바이러스 등 분원성 미생물의 오염에 대한 지표 미생물로 총 대장균군, 분원성 대장균군, 분원성 연쇄상구균, bacteriophages, coliphages 등이 연구되어 왔으나, 그 결과는 다소 부정적이었다(Glesson and Gray 1997, Harwood et al., 2005). 수인성 장관계 바이러스가 총 대장균군이나 분원성 대장균군보다 주위 환경에 대해 내성이 강하고, 특히 염소 등을 처리하는 정수처리 과정에 대해 내성이 더 강하기 때문이라는 지적이 대표적이었다(Hejkal et al., 1981, Griffin et al., 1999). 한국 수계를 대상으로 한 본 연구 결과에서도 총 대장균군 및 분원성 대장균군이 수인성 장관계 바이러스의 지표 미생물로서 부적합하다는 결론을 얻었다. 최근 분자생물학적 기술이 발달함에 따라 중합효소연쇄반응법(polymerase chain

reaction, PCR), Real-Time PCR, nucleic acid sequence-based amplification(NASBA) 분석, DNA microarray 등 다양한 바이러스 검출법이 보고되었다 (Fuhrman et al., 2005, Haramoto et al., 2005, Rutjes et al., 2005, Rose et al., 2006, Tan et al., 2006). 또한 감염성 있는 바이러스를 선별하여 보다 빠르게 검출하기 위한 integrated cell culture의 개념도 도입되었으며 (Reynolds et al., 1996), 유세포 분류법 (flow cytometry)의 개념도 수인성 바이러스의 검출에 도입이 될 수 있을 것으로 기대된다(정, 2002, Lee et al., 2005). 그러므로 다양한 지표 미생물을 이용하여 수인성 장관계 바이러스의 오염을 예측하기 위한 연구 못지않게, 낮은 농도로 존재하는 수인성 바이러스를 보다 빠르고 민감하면서도 간편하게 검출할 수 있는 방법에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

1. 총 시료 192건 중 63건(32.8%)의 시료에서 수인성 장관계 바이러스가 검출되었으며, 검출범위는 0~240MPN/100L, 평균 3.18MPN/100L였다. 총 대장균군은 0~5.3 × 10⁴CFU/100mL, 분원성 대장균군은 0~5.0 × 10³CFU/100mL의 범위에서 검출되었다.

2. 탁도와 수온과의 상관관계를 살펴본 결과, 총 대장균군과 분원성 대장균군 모두 탁도와 양의 상관관계에 있었으나 수인성 장관계 바이러스는 총 대장균군이나 분원성 대장균군과 달리 탁도나 수온과 상관관계를 보이지 않았다.

3. 총 대장균군 및 분원성 대장균군 검출 농도와 수인성 장관계 바이러스의 검출 농도와 상관관계를 알아본 결과, 총 대장균군은 수인성 장관계 바이러스와 상관관계가 없었으며, 분원성 대장균군은 통계적으로 약한 상관관계가 있었다.

4. 한국 내 지표수 26지점, 192건의 시료를 대상으로 한 연구에서 총 대장균과 분원성 대장균이 수인성 장관계 바이러스에 대한 지표 미생물로서 부적합하다는 결론을 얻었다. 그러나 분원성 대장균군의 경우 상수 원수에 대한 바이러스 모니터링 지점이나 대상 지역을 판단하기 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사 수돗물분석연구센터에서 수행되었으며, 본 연구에 많은 도움을 주신 직원 및 연구원들께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박흥기, 정은영, 이유정, 정종문, 최동훈, 손희중, 권기원, 홍용기 (2003) 부산시 상수원수와 수돗물에서의 수인성 장관계 바이러스 분포조사, *Kor. J. Life Sci.*, **13**(2), pp. 197-205.
2. 이진형 (2002) 수계환경에서 분변성 오염의 지표로 사용되는 미생물들, *Kor. J. Environ. Biol.*, **20**(3), pp. 189-196.
3. 이영옥, 조주래, 김상현, 김선덕, 허성남, 이해진 (2006) 분변오염 지표세균(대장균군) 검출방법의 비교연구. *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집*, pp. 414-419.
4. 이옥재, 조은주, 이은숙, 윤태호, 김세철, 변승현, 류부걸, 최선영, 이목영 (2005) 지표수 중 병원성미생물 분포 및 오염지표 연구, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회*, pp. 461-468.
5. 정용석 (2002) 수인성 바이러스의 검출과 분석법 표준화, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집*, pp. 23-27.
6. 정현미, 구연봉, 조일형, 김평규, 박정환, 최성수, 이덕길, 류재근 (2000) 처리내성 지표 미생물을 이용한 정수장의 병원성미생물처리 효율 평가, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 · 한국수도협회 공동총계학술발표회 논문집*, pp. 135-138.
7. 정현미, 강태구, 이덕길, 엄철민, 윤재용 (2002) 정수장에서의 미생물 처리지표의 선정, *한국물환경학회지*, **18**(1), pp. 35-45.
8. 환경부 (2002) 정수처리에 관한 기준, 환경부 고시 제 2002-106호.
9. Abbaszadegan, M., Huber, M.S., Gerba, C.P. and Pepper, I.L. (1993) Detection of enteroviruses in groundwater with the polymerase chain reaction, *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**(5), pp. 1318-1324.
10. Beller, M., Ellis, A., Lee, S.H., Drebot, M.A., Jenkerson, S.A., Funk, E., Sobsey, M.D., Simmons III, O.D., Monroe, S.S., Ando, T., Noel, J., Petric, M., Middaugh, J.P. and Spika, J.S. (1997) Outbreak of viral gastroenteritis due to a contaminated well: international consequences, *JAMA*, **278**(7), pp. 563-568.
11. Berg, G. (1978) *The indicator system*. In *indicators of Viruses in Water and Food*. pp. 1-13, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, USA.

12. Cukor, G. and Blacklow, N.R. (1984) Human viral gastroenteritis, *Microbiol. Rev.*, **48**(2), pp. 157-179.
13. Fuhrman, J.A., Liang, X. and Noble, R.T. (2005) Rapid detection of enteroviruses in small volumes of natural waters by real-time quantitative reverse transcriptase PCR, *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**(8), pp. 4523-4530.
14. Gantzer, C., Maul, A., Audic, J.M. and Schwartzbrod, L. (1998) Detection of infectious enteroviruses, enterovirus genomes, somatic coliphages, and *Bacteroides fragilis* phages in treated wastewater, *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**(11), pp. 4307-4312.
15. Glesson, C. and Gray, N. (1997) *The coliform index and waterborne disease*. 1st Ed, p. 194, E & FN spon, London.
16. Goyal, S.M. (1983) *Indicators of viruses*. In *Viral pollution of the environment*. pp. 211-230, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA.
17. Grabow, W.O.K. (1996) Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control, *Water SA*, **22**(2), pp. 193-202.
18. Griffin, D.W., Gibson III, C.J., Lipp, E.K. Riley, K., Paul III, J.H. and Rose, J.B. (1999) Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida keys, *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**(9), pp. 4118-4125.
19. Haramoto, E., Katayama, H., Oguma, K. and Ohgaki, S. (2005) Application of cation-coated filter method to detection of noroviruses, enteroviruses, adenoviruses, and torque teno viruses in the Tamagawa River in Japan, *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**(5), pp. 2403-2411.
20. Harwood, V.J., Levine, A.D., Scott, T.M., Chivukula, V., Lukasik, J., Farrah, S.R. and Rose, J.B. (2005) Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection, *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**(6), pp. 3163-3170.
21. Hejkal, T.W., Wellings, F.M., Lewis, A.L. and LaRock, P.A. (1981) Distribution of viruses associated with particles in wastewater, *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**(3), pp. 628-634.
22. Horman, A., Rimhanen-Finne, R., Maunula, L., von Bonsdorff, C., Torvela, N., Heikinheimo, A. and Hanninen, M. (2004) *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., noroviruses, and indicator organisms in surface water in southwestern Finland, 200-2001, *Appl. Environ. Microbiol.*, **70**(1), pp. 87-95.
23. Lawson, H.W., Braun, M.M., Glass, R.I., Stine, S.E., Monroe, S.S., Atrash, H.K., Lee, L.E. and Engleider, S.J. (1991) Waterborne outbreak of Norwalk virus gastroenteritis at a southwest US resort: role of geological formations in contamination of well water, *Lancet*, **337**(8751), pp. 1200-1204.
24. Lee, G.C., Lee, D.G., Choi, S.M., Yoo, J.H., Park, S.H., Choi, J.H., Min, W.S., Cho, O.H., Lee, C.H. and Shin, W.S. (2005) Use of time-saving flow cytometry for rapid determination of resistance of human cytomegalovirus to ganciclovir, *J. Clin. Microbiol.*, **43**(10), pp. 5003-5008.
25. Papaventsis, D., Siafakas, N., Markoulatos, P., Papageorgiou, G.T., Kourtis, C., Chatzichristou, E., Economou, C. and Levidiotou, S. (2005) Membrane adsorption with direct cell culture combined with reverse transcription-PCR as a fast method for identifying enteroviruses from sewage, *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**(1), pp. 72-79.
26. Reynolds, K.A., Gerba, C.P. and Pepper, I.L. (1996) Detection of infectious enteroviruses by an integrated cell culture-PCR procedure, *Appl. Environ. Microbiol.*, **62**(4), pp. 1424-1427.
27. Rice, E.W., Fox, K.R., Miltner, R.J., Lytle, D.A. and Johnson, C.A. (1996) Evaluating plant performance with endospores, *J. Am. Water Works Assoc.*, **88**(9), pp. 122-130.
28. Rose, M.A., Dhar, A.K., Brooks, H.A., Zecchini, F. and Gersberg, R.M. (2006) Quantitation of hepatitis A virus and enterovirus levels in the lagoon canals and Lido beach of Venice, Italy, using real-time RT-PCR, *Water Res.*, **40**(12), pp. 2387-2396.
29. Rutjes, S.A., Italiaander, R., van den Berg, H.H., Lodder, W.J. and de Roda Husman, A.M. (2005) Isolation and detection of enterovirus RNA from large-volume water samples by using the NucliSens miniMAG system and real-time nucleic acid sequence-based amplification, *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**(7), pp. 3734-3740.
30. Santiago-Mercado, J. and Hazen, T.C. (1987) Comparison of four membrane filter methods for fecal coliform enumeration in tropical waters, *Appl. Environ. Microbiol.*, **53**(12), pp. 2922-2928.
31. Skraber, S., Gassilloud, B. and Gantzer, C. (2004) Comparison of coliforms and coliphages as tools for assessment of viral contamination in river water, *Appl. Environ. Microbiol.*, **70**(6), pp. 3644-3649.
32. Stedler, R.E. (1984) Coliphages as indicators of enteroviruses, *Appl. Environ. Microbiol.*, **48**(3), pp. 668-670.
33. Tan, E.L., Chow, V.T., Kumarasinghe, G., Lin, R.T., Mackay, I.M., Sloots, T.P. and Poh, C.L. (2006) Specific detection of enterovirus 71 directly from clinical specimens using real-time RT-PCR hybridization probe assay, *Mol. Cell. Probes*, **20**(2), pp. 135-140.
34. Tani, N., Shinamoto, K., Ichimura, K., Nishii, Y., Tomita, S. and Oda, Y. (1992) Enteric virus levels in river water, *Water Res.*, **26**(1), pp. 45-48.