

지표수에서의 분변오염지표세균 (대장균군) 검출방법의 비교연구

박지은 · 김선덕* · 조주래** · 김상현*** · 이해진**** · 이영옥†

대구대학교 생명과학과
*대구대학교 화학·응용화학과
**한국수자원공사 국제수돗물센터
***부산대학교 환경공학과
****국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Comparative Studies on Detecting Methods of Fecal Indicators (Coliforms) in Surface Water

Ji-Eun Park · Sun-Deuk Kim* · Ju-Rae Cho** · Sang-Hyun Kim*** · Hae-Jin Lee**** · Young-Ok Lee†

Department of Life Science, Daegu University

*Department of Chemistry/App. Chemistry, Daegu University

**Center of Int. Drinking Water, Korea Water Resources Corporation

***Department Of Environmental Engineering, Pusan National University

****Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received 14 August 2006, Accepted 21 September 2006)

Abstract

For monitoring the fecal pollution at Nak-Dong River, one of the eutrophicated rivers, the differences between total coliforms (TC) and fecal coliforms (FC) using both of membrane filtration (MF)/MPN method, and also fecal streptococcus (FS) by MF-method was investigated. To evaluate the correlation between TC, FC, and FS statistical analyses were performed by using Minitab. And a part of the presumptive TC/FC and background colonies was purified and identified using API 20E kit (Biomereux). As results, most (89%) of presumptive FC by MF was identified as *Escherichia coli* while only 14% (MPN) and 11% (MF) of TC were identified as *E. coli*. Furthermore, FC by MF was correlated significantly with other fecal indicators (TC/FS by MF and FC by MPN), while TC by MPN was not correlated with any other indicators. Thus, the detection of FC by MF-method may be the most reasonable for monitoring the fecal pollution.

keywords : Detection method, *E. coli*, Fecal coliforms, Membrane Filtration (MF), Most Probable Numbers (MPN), Total coliforms, Water quality

1. 서론

환경부는 2002년 7월부터 먹는 물의 분변오염 유무를 확인하기 위해 중전에 검출하던 총 대장균군(Total Coliforms, TC) 외에도 분원성 대장균군(Fecal Coliforms, FC) 혹은 대장균(*Escherichia coli*)을 검출하도록 관계법규를 강화하였다. 그러나 아직도 우리나라의 상수원수로 사용되는 지표수에서는 총대장균군만을 검출하도록 되어 있는데 그 검출방법이 우리나라 수계의 분변오염현황을 제대로 반영하지 못하는 실정이다(이, 1996; 박 등, 2005). 우선 우리의 상수원수가 선진국의 수계보다 더 심하게 부영양화되어 있어 막여과법(membrane filtration method)을 이용해 총대장균군을 검출할 경우, 분변오염을 지시하는 총 대장균군 이외의 세균(background colonies)들이 총대장균군을 검출하는 선택

배지인 Endo-agar에서 과다성장(overgrowth)해 대장균 특유의 급속성광택이 없어지는 위음성(false-negative)현상과, 대장균군과 마찬가지로 유당(lactose)분해능을 가진 세균들이 총대장균군 세균으로 간주되는 위양성(false-positive) 현상이 자주 관찰되었다(Burlingame et al., 1987). 즉 유당(lactose) 분해능이 있고 부영양화된 수계에서 흔히 자라는 *Aeromonas hydrophila*, *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp. 등의 세균들이 많으면 그들이 띠는 급속성 광택으로 인해 총 대장균군으로 간주되어(위양성) 수질을 실제보다 나쁘게 평가하게 되고 그 역으로 위음성현상이 나타나면 검출된 대장균의 수가 실제보다 적으므로 수질을 실제보다 좋은 것으로 오판하게 된다(Alonso et al., 1996; Brenner et al., 1993). 이러한 연유로 선택배지상의 전형적인 총 대장균군 콜로니뿐 아니라 해당 평판배지(plate) 상의 모든 콜로니를 순수 배양하여 동정해보기 전에는 실제하는 총대장균군수 파악이 불가능하다. 그런데 신속정확하게 오염현황을 파악해야하는 실무진들이 대장균을 동정하는데 필요한 다단계

† To whom correspondence should be addressed.
ecolomi@daegu.ac.kr

에 걸친 실험을 일상적으로 수행할 수 없으므로 많은 시간을 요하는 질적인 분석을 대체할 수 있는 유의성있는 결과가 보장되는 신속한 검출방법의 확립이 요구된다. 이러한 막여과법이 갖는 대장균 검출방법상의 문제점은 또 다른 공정시험법인 최적확수 시험법(Most Probable Numbers, MPN)을 도입해도 해결되지 않는다. 왜냐하면 MPN법도 막여과법과 마찬가지로 대장균군의 유당 분해능에 근거해 그 존재유무를 정량하는 방법이기 때문이다.

아울러 최적확수 시험법은 그 실험결과를 통계적인 방법(McCrady table; Oberzill, 1967)에 근거해 산출하므로 그 결과가 명확하지 않을 뿐 아니라 실험방법이 복잡하고 그 결과를 얻는데도 4일 이상이 소요되므로 물의 안전성을 신속하게 점검해야하는 원래의 대장균검출 취지에 맞지 않고 할 수 있다. 따라서 우리나라처럼 오염에 취약한 지표수를 상수원수로 사용하는 나라에서 분변오염 현황을 제대로 파악하려면 무조건적으로 선진국의 시험 공정법을 도입할 것이 아니라 우리 수계환경에 맞고 또 우리의 분변오염 실태를 정확히 파악할 수 있는 대장균 검출 방법을 확립하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 상수원수로 사용되는 낙동강 상·중·하류의 주요 지점에서 최적확수시험법(MPN)과 막여과법(MF)으로 동시에 총 대장균군과 분원성 대장균군을 검출하여 그의 연중 변화를 정량적으로 평가하고 아울러 각 방법으로 검출된 대장균군 중 균주일부를 동정하여 그들 중 실제 대장균(*E. coli*)이 차지하는 비율, 즉 정성평가를 하고 또한 분변오염 지표세균간의 상관성 및 분변오염 지표세균과 이화학적인 환경요인간의 상관성을 조사하고자한다.

2. 연구방법

2.1. 분변오염지표세균의 정량적 정성적 평가

낙동강 상류인 봉화(현동교와 명호), 안동대교, 중류인 낙단대교, 성주대교, 상수원수 취수구역인 강경, 낙동강의 주요오염지류인 진천천, 금호강 합류 후의 사문진교, 고령교, 그리고 하류인 남지교(Fig. 1)에서 2005년 6월, 10월, 2006년 1월에 채수하여 최적확수 시험법과 막여과법으로 동시에 총 대장균군, 분원성 대장균군과 분원성 연쇄상구균을 검출하였다. 최적확수 시험법은 수질오염 공정시험법(환경부, 2004)에 따라 앞의 2단계까지 수행하였으며 그 결과는 최적확수표에 의해 MPN/100 mL 단위로 산출하였다. 막(0.45 μ m, Cellulose Nitrate Filter 13806, Sartorius)여과법의 실험

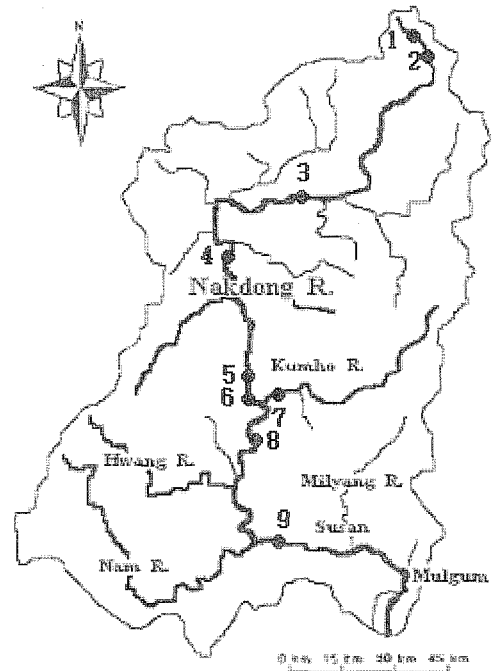


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the Nak-Dong River (1:Bong-hwa at Hyun-Dong Bridge, 2:Bong-Hwa at Myung-ho, 3:Ahn-Dong Bridge, 4:Nak-Dan Bridge, 5:Sung-Ju Bridge, 6:Kang-Jung, 7:Jin-Chun Tributary, 8:Ko-Ryung Bridge, 9:Nam-Ji Bridge).

조건은 Table 1과 같고 총대장균군의 경우, plate당 30~300개, 분원성 대장균군의 경우, plate당 20~60개 정도의 콜로니를 가지는 동일 희석도 plate 5개를 계수하고 그 표준편차를 구해 신뢰구간이 95%이내인 평균값을 결과치, 집락수(colony forming unit=CFU)/100 mL로 산출하였다. 또한 분원성 연쇄상구균 검출법은 아직 우리 수질오염 공정시험법에는 없으므로 ISO(ISO 7899-2, 2001)에 명시된 대로 행하였다.

아울러 각 검출방법 및 검출세균의 분변오염 지표세균으로서의 유효성을 점검하기 위해 최적확수시험법과 막여과법으로 분리 배양한 총대장균군과 분원성 대장균군의 추정세균 중 일부(Table 2)와 각 선택배지에서 자라는 총대장균군과 분원성 대장균군의 추정세균 이외의 세균(background colonies)의 일부(Table 4)를 순수 배양하여 oxidase test를 한 후, API 20E kit (BIOMERIEUX, France)로 동정하여 총대장균군과 분원성 대장균군 추정세균으로 간주되어 계수한 세균 중 몇 %가 진정한 의미의 분변오염 지표세균인 대장균(*E. coli*; Edberg et al., 2000)인지를 확인하였다.

Table 1. Condition of membrane filtration method for enumerating of total coliforms (TC), fecal coliforms (FC) and fecal streptococcus (FS)

	Total coliforms (TC)	Fecal coliforms (FC)	Fecal streptococcus (FS)
Incubation temp. (°C)	35 ± 0.5°C	44.5 ± 0.2°C	44.5 ± 0.2°C
Isolation medium	m-Endo Agar LES (Merck)	m-FC Agar (Merck)	m-Enterococcus Agar (Merck)
Incubation time (h)	24	24	48
Incubation equipment	Dried incubator	Water bath	Dried incubator
Presumptive TC/FC	Metallic sheen	Dark blue	Pink to brown

Table 2. The numbers of strains identified by each methods for fecal contamination assessment

	MPN	MF
No. of presumptive TC	35	342
No. of presumptive FC	26	231

2.2. 분변오염지표세균간의 상관성과 이화학적 요인과의 상관성

최적확수시험법과 막여과법으로 검출한 총대장균군과 분원성 대장균군, 그리고 축분에 많이 함유된 것으로 알려진 분원성 연쇄상구균간의 상관성, 더 나아가 이화학적인 환경요인과 분변오염의 지표세균군들 간의 상관성을 Minitab (version 12.1)을 이용하여 분석하였다. 이를 위해 수온, pH, BOD, SS, Chl-a, NH₄-H, NO₃-N, PO₄-P, 총질소(total

nitrogen, TN), 총인(total phosphorus, TP), TOC(total organic carbon) 등을 분변오염 지표세균 검출과 동시에 측정하였는데 측정법은 수질오염공정시험방법(환경부)에 준하고 없는 경우에는 APHA-AWWA-WPCF(1995)에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

총 대장균군과 분원성 대장균군을 두가지 방법(최적확수 시험법과 막여과법)으로 동시에 검출한 결과값의 평균치를 비교해보면, 검출된 분원성 대장균군수가 총 대장균군수에 비해 적었다(Table 5). 이 때 적용한 평균치는 산술평균이 아닌 기하평균인데 이는 지수적으로 변화하는 대장균군의 극대치나 극저치가 평균값에 미치는 영향을 최소화하기 위함이다(정 등, 2001). 분원성 대장균군수가 동일한 방법으

Table 3. Numerical differences of the simultaneous detected presumptive total coliforms (TC) / fecal coliforms (FC) depending on methods (MF and MPN)

Date	Site	MF (CFU/100 mL)		MPN (MPN/100 mL)	
		TC	FC	TC	FC
2005. 6.	Bong-Wha (435 km)	4,300	30	1,600	230
	Gang-Jung (170 km)	1,050	20	200	200
	Jin-Chun tributary	37,500	11,300	1,200	1,700
	Go-Ryung Bridge (150 km)	800	170	800	200
2005. 10.	Bong-Wha at Hyun-Dong (435 km)	1,400	2	130	50
	An-Dong Bridge (350 km)	3,200	80	170	70
	Nak-Dan Bridge (250 km)	10,900	1,330	1,600	33
	Sung-Ju Bridge (180 km)	2,400	330	3,000	800
	Nam-Ji Bridge (84 km)	100	4	170	20
2006. 1.	Bong-Wha at Hyun-Dong (435 km)	270	54	220	70
	Bong-Wha at Myung-Ho (415 km)	40	2	140	9
	An-Dong Bridge (350 km)	20	2	130	4
	Nak-Dan Bridge (250 km)	120	4	170	7
	Sung-Ju Bridge (180 km)	1,800	10	2,400	240
	Gang-Jung (170 km)	1,300	2	ND	ND
	Nam-Ji Bridge (84 km)	120	2	130	13

Table 4. Species-spectra of identified background colonies

Background colonies on m-Endo Agar LES at 35°C (84 Strains)		Background colonies on m-FC Agar at 44.5°C (17 Strains)	
<i>Aeromonas hydrophila</i>	77.4%	<i>Klebsiella</i> sp.	29.4%
<i>Enterobacter</i> sp.	7.1%	<i>E.coli</i>	23.5%
<i>Bordetella/Alcaligenes / Moraxella</i> spp.	3.6%	<i>Pantoea</i> spp.	17.6%
<i>Serratia</i> sp.	3.6%	<i>Enterobacter</i> sp.	11.8%

Table 5. Conversion of quantitative results [No. of presumptive total coliforms(TC)/fecal coliforms(FC)] to qualitative results based on the results of identified strains

	MF (CFU/100 mL)			MPN (MPN/100 mL)		
	TC	FC	FC/TC	TC	FC	FC/TC
Quantitative results:						
Geometric mean of presumptive TC/FC	730	28	0.038	402	65	0.16
<i>E. coli</i> / TC or <i>E. coli</i> / FC (%)	11%	89%		14%	27%	
Qualitative results:						
No. of <i>E. coli</i> among the presumptive TC/FC	80	25		56	18	

로 검출한 총대장균군수에서 차지하는 비율은 0.038(막여과법)~0.16(최적확수시험법)으로 막여과법으로 검출할 경우, 총 대장균군과 분원성 대장균군의 수적인 차이가 최적확수 시험법보다 더 컸다. 다양한 수문적인 특성을 가진 한강수계의 여러 지점에서 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군/총대장균군의 비는 0.00-0.40의 범위에서 변화하며 그 비율은 각 지점의 분변오염정도 및 오염 경과 시간에 따라 다르다고 하였다(이 등, 2005).

3.1. 최적확수시험법(MPN)으로 검출된 TC/FC의 결과

2005년 6월에 채수한 시료에서 이 방법으로 해당 수역에서 검출한 총대장균군수는 200~1,600 MPN/100 mL로 조사 수역간의 차이가 불과 8배, 분원성 대장균군의 경우, 200~1,700 MPN/100 mL(8.5배)이었던 반면에 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군의 경우, 20~11,300 CFU/100 mL로 조사 수역간의 차이가 565배에 달하였다. 즉, 최적확수시험법으로 검출한 총대장균군수는 수역의 분변오염 정도를 민감하게 나타내지 못하였다(Table 3).

둘째로 최적확수시험법에 의한 총 대장균군과 분원성 대장균군의 검출결과 산출 시에 모순점이 있었다. 2005년 6월에 이 방법으로 상수원수 수역인 강정(죽곡취수탑)에서 총 대장균군을 검출할 경우, 사용가능한 시료의 최대량이 10 mL이므로 10 mL, 1 mL, 0.1 mL의 시료를 해당배지에 넣고 접종하였으나 결과가 모두 음성이어서 수질오염공정시험법의 최적확수표에 근거해 200 MPN/100 mL 이하로 그 결과를 산출하였다. 또한 분뇨와 생활하수를 병합처리하는 S환경사업소 유출수가 유입되는 진천천에서의 총 대장균군 검출 시, 2-3-1이란 코드(십진회석법에 의한 3단계 회석에서의 양성시험관수)가 얻어졌으나 수질오염공정시험법에 제시된 최적확수표에는 2-3-1이란 코드는 없고 2-3-0이란 코드와 가장 가까워 2-3-0이란 코드에 준해 결과를 산출할 수밖에 없었다(1,200 MPN/100 mL). 그런데 동일한 시료와 방법으로 검출한 분원성 대장균군의 경우, 3-2-1란 코드가 얻어져 1,700 MPN/100 mL로 결과값이 산출되었다. 즉, 진천천에는 총대장균군보다 분원성 대장균군의 개체수가 더 많다는 모순되는 결과가 도출되었다. 이는 최적확수시험법에 의한 총 대장균 검출방법이 낙동강 수계의 특성에 맞지 않음을 시사하는 결과라고 할 수 있다.

3.2. 막 여과법에 의한 총 대장균군

막여과법을 이용한 총대장균군 검출 결과의 대부분이 여타 방법으로 검출한 결과와 어긋났다. 2005년 6월에 강정(죽곡 취수탑)에서 검출한 총 대장균군수(1,050 CFU/100 mL)가 고령교에서 검출한 것(800 CFU/100 mL)보다 많았으나 분원성 대장균군은 강정(20 CFU/100 mL)이 고령(170 CFU/100 mL)보다 훨씬 적게 검출되었다. 2005년 10월에 검출된 총대장균군에 준해 이 때의 분변오염정도를 서열화한다면 낙단대교>안동대교>성주대교>남지교 순이지만 그 서열화를 분원성 대장균군에 준한다면 낙단대교>성주대교>안동대교>남지교 순서로 성주대교 수역과 안동대교의 오염

순위가 바뀐다. 아울러 총대장균군 검출에 의한 분변오염정도는 성주대교(2,400 CFU/100 mL)와 안동대교(3,200 CFU/100 mL)가 거의 비슷하지만 분원성 대장균군 검출에 의한 오염정도는 두 수역, 성주대교(330 CFU/100 mL)와 안동대교 (80 CFU/100 mL)간에 차이가 있다. 또한 2006년 1월에 조사한 총대장균군 검출 결과도 성주대교>봉화(현동)>낙단대교/남지교>봉화(명호면)>안동대교 순서로 성주대교가 가장 오염이 심한 것으로 나타난 반면, 동일한 방법으로 검출된 분원성 대장균군은 봉화(현동)가 가장 심하게 오염되었고 그 다음이 성주대교이고 나머지 수역들의 오염정도는 유사하였다. 즉 2005년 10월의 검출결과와 마찬가지로 총대장균군에 의한 분변오염정도가 분원성 대장균군에 의한 오염정도와 확연히 다르다.

이와 같은 차이는 대장균과 같이 유당(lactose) 분해능이 있는 *Aeromonas hydrophila* 등과 같은 부영양화된 수계에 흔히 볼 수 있는 분변과 무관한 세균들에 의한 위양성(false-positive) 현상 때문이다. 이 때의 성주대교 수역에는 위양성 현상을 야기하는 세균들이 많이 존재하여 실제보다 수질을 나쁘게 판정하게 된 것으로 생각된다(이, 1996; 박 등, 2005). 이와 더불어 하절기에는 총대장균군을 검출에 이용한 Endo 배지에 총 대장균이외의 세균(background colonies)들이 무성하게 자라 검출 목적세균인 총대장균군을 덮어버려(overgrowth) 총대장균군의 집락이 금속성 광택을 잃어(Burlingame et al., 1987) 검출이 어려웠다. 실제로 이 결과는 부영양화 정도가 심한 낙동강 수계에서 막여과법에 의한 총대장균군의 검출결과로 분변오염 정도를 파악하는데 많은 문제점이 있음을 시사한다.

3.3. 분원성 대장균군

대체적으로 최적확수시험법과 막여과법으로 검출된 분원성 대장균군수에 의해 조사지점의 분변오염 정도를 평가할 때 그 경향이 유사하였으나 경우에 따라서는 특정지점에서 양 방법간에 큰 차이를 나타내기도 하였다. 2005년 6월에 진천천에서 최적확수시험법(1,700 MPN/100 mL)으로 검출한 분원성 대장균군이 막여과법(11,300 CFU/100 mL)보다 훨씬 적게 검출되었으나 동일한 시기에 검출한 여러 조사지점의 분변오염정도를 서열화할 경우, 그 순위는 같았다. 2005년 10월에 조사한 분원성 대장균 검출 결과는 그 일부가 서로 상치하였다. 최적확수시험법 결과에서는 성주대교 수역이 그리고 막여과법 결과에서는 낙단대교 오염이 가장 심하였다. 즉, 두 방법 간의 낙단대교 오염도에 많은 차이가 있었다. 또한 2006년 1월에 양 방법으로 조사한 분원성 대장균군 검출 결과에서도 차이가 있었다. 최적확수시험법 결과에서는 성주대교가 그리고 막여과법 결과에서는 성주대교보다 봉화(현동교)의 분변오염도가 더 심한 것으로 나타났다. 즉 성주대교 오염도에 두 방법 간의 차이가 컸다.

3.4. 최적확수시험법/막여과법으로 검출한 총·분원성 대장균군 추정세균들의 종 조성

Fig. 2와 같이 최적확수시험법에서 양성 판정된 시험관의

균주와 막여과법으로 검출한 총·분원성 대장균군 추정세균들을 순수 배양하여 동정한 결과, 검출하고자하는 세균군(총대장균군, 분원성 대장균군)에 관계없이 최적확수시험법에서는 *Klebsiella* sp.이 총대장균군(43%)과 분원성 대장균군(49%)의 거의 절반을 차지하였다. 이처럼 많은 *Klebsiella* sp.가 총대장균군 양성 시험관 뿐 아니라 44.5±0.2°C에서 분리 배양한 분원성 대장균군 양성시험관(EC 배지)에서도 많이 검출된 것은 이 세균들이 농경지 토양 등 식물이 많은 자연환경에서 빈번하게 검출되며 대장균(*E. coli*)처럼 열저항성이 있다는 타 연구자의 연구결과(Duncan et al., 1972)와 같이 경작지로 사용되는 낙동강 유역에서 유입되었기 때문으로 생각된다. 반면, 분변오염을 가장 잘 지시해주는 대장균(*E. coli*)은 총대장균군 계수를 위해 사용한 BGLB배지 양성시험관의 14%, 분원성 대장균군 계수를 위해 사용하는 EC배지 양성 시험관 중 27%만을 차지하였다. 반면에 막여과법으로 35±0.5°C에서 m-Endo Agar LES배지로 분리 배양한 총대장균군 추정세균 342균주 중 *E. coli*는 11%이고 44.5±0.2°C에서 m-FC Agar배지로 분리 배양한 분원성 대장균군 추정세균 중 대장균(*E. coli*)이 차지하는 비율은 89%로 그 대부분을 차지하였다(Fig. 2). 또한 총대장균군 추정세균 중 가장 많은 비분원성인 *Aeromonas hydrophila*(31%)는 대표적인 위양성(false-positive)세균으로 알려져 있는데(Burlingame et al., 1987) 이들이 분원성 대장균군 추정세균 231균주 중 1균주(0.4%)로 아주 미미한 비율을 차지하였다.

아울러 각 선택배지에서 자라는 총·분원성 대장균군 추정세균 이외의 세균(background colonies)의 일부를 동정한

결과에서도 *A. hydrophila*가 주종(77.4%)을 이루고 있다(Table 4). 즉, m-Endo agar LES 배지에서 자라는 세균의 많은 수가 *A. hydrophila*임을 알 수 있는데 oxidase 양성균인 *A. hydrophila*는 *E. coli*와 같은 중온성 세균으로서 수온이 높은 여름철에 왕성하게 번식하며 그 개체수밀도가 부영화정도와 비례한다고 보고되었다(Hazen et al., 1978; Rippey et al., 1980). 이 결과는 낙동강뿐 아니라 하절기의 수온이 30°C를 육박하는 우리나라의 많은 수계에서 총대장균군을 사용한 분변오염의 현황과약이 이들로 인해 상당한 차질을 빚을 가능성을 시사하는 것이기도 하다.

이 동정 결과를 각 방법으로 검출한 총·분원성 대장균군 추정세균들을 계수한 결과와 연계시켜 환산하면 총대장균군수가 분원성 대장균수보다 많지만 그들 중 실제 대장균(*E. coli*)수에는 큰 차이가 없었다(Table 5).

3.5. 분변오염 지표세균과 이화학적 요인과의 상관성

우리나라에서 수계의 분변오염도 측정에 가장 많이 사용하는 최적확수시험법으로 검출한 총 대장균군(TC-MPN)은 여타의 분변오염 지표세균군들과 전혀 상관성을 나타내지 않는 반면, 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군(FC)은 여타의 분변오염지표세균군들과 가장 좋은 상관성을 보였다(Table 6). 최적확수법으로 검출된 총 대장균군이 여타의 분변오염지표세균군들과 전혀 상관성이 없다는 것은 현재 우리나라처럼 총대장균군, 특히 최적확수법으로 검출된 총대장균군수를 토대로 분변오염의 현황을 파악하는데 무리가 있음을 뜻한다. 아울러 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군(FC)은 가축분뇨에 많은 것으로 알려진 분원성 연쇄

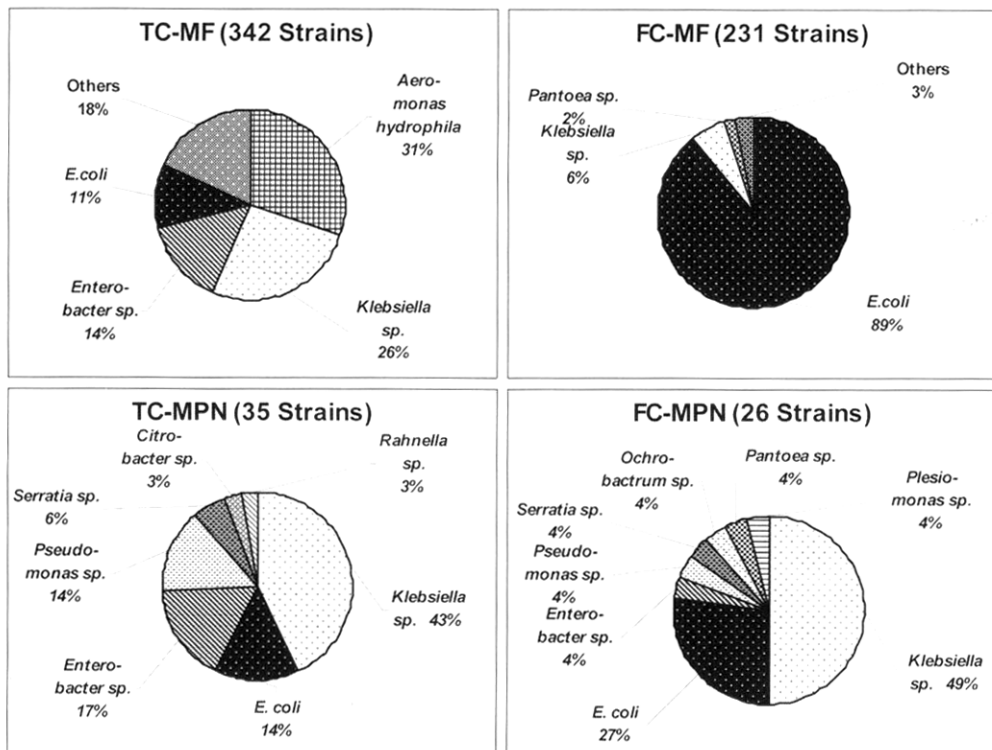


Fig. 2. Species-spectra of TC/FC isolated by membrane filtration method (upper) and those of TC/FC positive strains by MPN (bottom).

Table 6. Correlation between fecal indicators

Parameter		TC-MF	FC-MF	FS-MF	TC-MPN	FC-MPN
TC-MF	R	1	0.936**	-0.183	0.239	0.791**
	p-value	0	0	0.497	0.391	0
	N	16	16	16	15	15
FC-MF	R			0.370*	0.099	0.779**
	p-value			0.010	0.725	0.001
	N			47	15	15
FS-MF	R				-0.356	-0.110
	p-value				0.193	0.696
	N				15	15
TC-MPN	R					0.438
	p-value					0.102
	N					15

**p<0.01, *p<0.05, TC=Total coliforms; FC=Fecal coliforms; FS=Fecal Streptococcus; MF=membrane filtration method; MPN=Most Probable Numbers

상구균(FS)과도 높은 상관성을 나타냈다. 이화학적인 환경 요인과 분변오염 지표세균간의 상관성을 보면(Table 7), 막여과법으로 검출한 총대장균군과 최적확수법으로 검출한 분원성 대장균군이 전기전도도(EC), 엽록소-a(Chl-a)양, NH₄-H, NO₃-N, PO₄-P 등의 영양염류와 유의성 있는 양의 상관성을, 그리고 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군도 전기전도도와 엽록소-a와 높은 상관성을 나타냈다. 이는 분변오염 지표세균군이 수계의 부영양화영향을 받음을 뜻하며 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군이 여타 지표세균에 비해 그 영향을 덜 받는다고 할 수 있다.

4. 결론

낙동강 상·중·하류의 오염정도가 다른 지점에서 분변오염지표세균인 총대장균군과 분원성 대장균군을 최적확수시험법(MPN)과 막여과법(MF)으로 동시에 검출하여 그 결과를 비교하였다. 최적확수시험법과 막여과법으로 검출된 총·분원성 대장균군은 수계의 수질등급이나 조사 시기 및 지점에 따른 일관성은 없었으나 막여과법에 의한 분원성 대장균군이 총대장균군에 비해 분변오염정도가 각기 다른 조사지점에서 검출된 개체수의 변화가 크므로 분변오염 정도에 보다 민감하게 반영한다고 할 수 있었다. 또한 막여과법에 의해 계수된 분원성 대장균군 콜로니가 대장균(*E. coli*)일 확률도 가장 높았다(89%). 아울러 막여과법으로 검출한 분원성 대장균군(FC)은 여타의 분변오염 지표세균군들과 가장 좋은 상관성을 보였으며 이화학적인 환경요인 중, 전기전도도(EC)와 엽록소-a와 높은 상관성을 나타낸 반면, 막여과법으로 검출한 총대장균군과 최적확수법으로 검출한 분원성 대장균군은 전기전도도, 엽록소-a(Chl-a)양, NH₄-H, NO₃-N, PO₄-P 등 더 많은 환경인자들의 영향을 받았다. 따라서 농경지 등 유역의 토지 이용도가 높고 상수원수로 사용되는 낙동강 수계에서는 총대장균군보다는 분원성 대장균군을 검출하여 분변오염실태를 파악하는 것이 더 적절하다는 결과이다.

사 사

본 연구는 낙동강 물환경 연구소의 2005년도 환경기초조사 연구사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박지은, 이영옥, 총대장균군 측정시 나타나는 위양성 및 위음성의 문제점과 해결방안, 제 13회 물의 날 기념 심포지움, 강원지역환경기술개발센터 주최, pp. 27-37 (2005).
- 이목영, 조은주, 최선영, 총대장균군 및 분원성 대장균군 측정방법 비교, 제 13회 물의 날 기념 심포지움, 강원지역환경기술개발센터 주최, pp. 41-48 (2005).
- 이영옥, 지표수에서 대장균검출에 관한 비교연구, 한국육수학회지, 29, pp. 313-321 (1996).
- 장현정, 이용옥, 상수원 수질관리를 위한 분변오염 지표세균에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 29(1), pp. 19-27 (2003).
- 정현미, 박상정, 정원화, 권오상, 박준수, 오덕화, 오상현, 대장균군의 하천 및 호소 수질 환경기준 적용성에 관한 연구, 국립환경연구원보, 23, pp. 315-328 (2001).
- 환경부, 수질오염공정시험방법, 환경부고시 제2004-188호 (2004).
- Alonso, J. L., Amoros, I. and Alonso, M., Differential Susceptibility of Aeromonads and Coliforms to Cefsulodin, *Appl. Environ. Microbiol.*, 62, pp. 1885-1888 (1996).
- APHA-AWWA-WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. APHA. N. Y. (1995).
- Brenner, K. P., Rankin, C. C., Roybal, Y. R., Stelma, G. N., Scarpino, P. V. and Dupour, A. P., New Medium for the Simultaneous Detection of Total Coliforms and Escherichia coli in Water, *Appl. Environ. Microbiol.*, 59, pp. 3534-3544 (1993).
- Burlingame, G. A., McElhane, J., Bennett, M. and Pipes, W. O., Bacterial Interference with Coliform Colony Sheen Production on Membrane Filters, *Appl. Environ. Microbiol.*, 47, pp. 56-60 (1987).
- Duncan, D. W. and Razzell, W. E., Klebsiella Biotypes among

Table 7. Correlation between fecal indicators and physico-chemical parameters

		TC-MF	FC-MF	FS-MF	TC-MPN	FC-MPN
Temp (°C)	R	0.384	0.321*	0.199	0.098	0.498
	p-value	0.142	0.024	0.180	0.728	0.059
	N	16	49	47	15	15
EC (μ S/cm)	R	0.815**	0.847**	-0.437	0.361	0.745**
	p-value	0	0	0.103	0.187	0.001
	N	15	15	15	15	15
pH	R	0.445	0.164	-0.278	-0.158	0.305
	p-value	0.084	0.318	0.092	0.574	0.269
	N	16	39	38	15	15
BOD ₅ (mg/L)	R	0.187	-0.083	0.160	0.532	0.086
	p-value	0.506	0.854	0.444	0.050	0.770
	N	15	26	25	14	14
Chl-a (μ g/L)	R	0.939**	0.565**	0.119	0.100	0.815**
	p-value	0	0.004	0.588	0.724	0
	N	16	24	23	15	15
NH ₄ -N (mg/L)	R	0.862**	0.249	0.015	-0.040	0.631**
	p-value	0	0.085	0.922	0.887	0.012
	N	16	49	47	15	15
NO ₃ -N (mg/L)	R	0.827**	0.098	-0.164	0.041	0.590*
	p-value	0	0.503	0.270	0.886	0.021
	N	16	49	47	15	15
T-N (mg/L)	R	-0.195	0.014	-0.227	0.007	-0.397
	p-value	0.470	0.932	0.170	0.979	0.143
	N	16	39	38	15	15
PO ₄ -P (mg/L)	R	0.923**	-0.029	-0.153	0.070	0.793**
	p-value	0	0.841	0.303	0.850	0
	N	16	49	47	15	15
T-P (mg/L)	R	0.382	0.105	-0.264	0.128	0.157
	p-value	0.144	0.525	0.109	0.648	0.577
	N	16	39	38	15	15
SS (mg/L)	R	-0.055	-0.020	-0.002	-0.187	-0.151
	p-value	0.840	0.900	0.990	0.505	0.592
	N	16	43	42	15	15
TOC (mg/L)	R	-0.341	-0.401	0.195	-0.296	-0.400
	p-value	0.213	0.123	0.469	0.304	0.156
	N	15	16	16	14	14

**p<0.01, *p<0.05, TC=Total coliforms; FC=Fecal coliforms; FS=Fecal streptococcus; MF=Membrane filtration method; MPN=Most probable numbers

Coliforms Isolated from Forest Environments and Farm Produce, *Appl. Microbiol.*, **24**, pp. 933-938 (1972).

Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J. and Allen, M. J., *Escherichia coli*: the Best Biological Drinking Water Indicator for Public Health Protection, *J. Appl. Microbiol.*, **88**, pp. 106-116 (2000).

Hazen, T. C., Fliermans, C. B., Hirsch, R. P. and Esch, G. W., Prevalence and Distribution of *Aeromonas hydrophila* in the United States, *Appl. Environ. Microbiol.*, **36**, pp. 731-738 (1978).

ISO 7899-2, International standard, Water quality - Detection and Enumeration of fecal streptococci - part 2: method by membrane filtration 1. ed. ISO(the International Organization for Standardization), Switzerland (2001).

ISO 9308, International standard, Water quality - Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive *Escherichia coli*, 1. ed. ISO, Switzerland (1990).

Lavoie, M. C., Identification of Strains Isolated as Total and Fecal Coliforms and Comparison of Both Groups as

- Indicators of Fecal Pollution in Tropical Climates, *Can. J. Microbiol.*, **29**, pp. 689-693 (1983).
- Oberzill, W., *Mikrobiologische Analytik*. Verlag Hans Carl, Nürnberg, pp. 519 (1967).
- Rippey, S. R. and Cabelli, V. J., Occurrence of *Aeromonas hydrophila* in Limnetic Environments: Relationship of the Organism to Trophic State, *Microb. Ecol.*, **6**, pp. 45-54 (1980).