

## 수돗물과 생물막의 세균분포를 통한 안전성 조사

이동근\*

신라대학교 공과대학 생명공학과

## Safety Investigation of Tap Water and Biofilm by Isolated Bacteria

Dong-Geun Lee\*

Department of Bioscience and Biotechnology, Silla University, Gwaebop-dong, Sasang-Gu, Busan 617-736, Korea

(Received May 3, 2004; Accepted July 27, 2004)

### ABSTRACT

For investigation of the food safety and influence of biofilm on the bacterial quality of tap water, it was detected by selective media, and identified by API kit and MIDI system. Biofilm and effluent showed much more colonies than influent. Although there were many presumptive positive colonies, no pathogenic bacterium detected. However opportunistic pathogens, such as *Pseudomonas aeruginosa* and *Aeromonas* species, and members of family Enterobacteriaceae were detected. Compared to influent, biofilm and effluent showed more diverse bacteria. This study implies that there would be the negative influence of biofilm on the bacterial qualities of tap water.

**Keywords:** selective media, tap water, biofilm, opportunistic pathogen

### I. 서 론

수계에서 생존하는 세균은 생물막(biofilm)을 형성하고 있으며, 특히 빈영양조건(oligotrophic condition)에서는 전체 세균 생물량(biomass)의 90% 이상이 생물막의 형태로 존재하는 것으로 알려졌다.<sup>8)</sup>

소독을 포함한 정수처리를 하여 빈영양상태인 수돗물의 경우에도, 전체 배급수계통 중 관말지점같이 소독제의 농도가 아주 낮은 곳에서 세균수의 증가현상인 세균재생장이 활발한 것으로 보고되었으며,<sup>15)</sup> 이러한 세균 재생장(bacterial regrowth)은 생물막의 형태로 일어나 소독제에 대한 내성이 증가하는 것으로 알려졌다.<sup>2,20)</sup>

이는 생물막이 수돗물에 비하여 영양소가 농축되어 있고, 소독제의 작용을 막는 방어의 역할을 하기 때문인 것으로 알려져 왔다.<sup>19)</sup>

한편 Timothy는 생물오염(biofouling)과 생물부식(biocorrosion) 등의 위해성은 수도관 표면에서 생성되

는 생물막에 의한 것이며, 생물막은 대장균군 등의 지표세균의 생존과 생장에 영향을 미친다고 하였다.<sup>19)</sup> 현재 우리나라에서 수돗물의 세균학적 안전성을 평가하는 지표로서 일반세균과 대장균군이 이용되고 있다. 분변성 오염의 새로운 지표로 분원성 연쇄상구균(fecal streptococcus)을 사용할 수 있으며, 분원성 연쇄상구균과 분원성 대장균군(fecal coliform)의 비율로 분변성 오염의 원인을 찾을 수 있다는 보고도 있었다.<sup>7)</sup>

LeChevallier<sup>11)</sup>와 박<sup>11)</sup>은 수돗물에서 대장균군(coliform bacteria)을 검출하여 분변성 오염에 의한 병원성세균의 존재가능성을 시사하였지만, 수돗물에서 분변성 오염에 의한 병원성세균에 대한 본격적인 검사는 많지 않은 실정이다.

최근에 수돗물을 대상으로 원생동물과<sup>12)</sup> 바이러스에<sup>18)</sup> 대한 연구가 수행되어 왔지만, *Mycobacteria*와 *Legionella* 등의 세균이 새롭게 부각되고 있으며<sup>16)</sup> 생물막 위의 지표세균 등도 여전히 관심을 끌고 있다.<sup>12)</sup>

이에 본 논문에서는 수돗물 배급수 계통의 말단 부위에서 발생하는 생물막에 의한 영향과 수돗물의 세균학적 안전성을 선택배지에서 배양과 세균 동정을 통하여 조사하고자 하였다.

\*Corresponding author : Department of Bioscience and Biotechnology, Silla University  
Tel: 82-51-999-5740, Fax: 82-51-999-5636  
E-mail : ldg@silla.ac.kr

## II. 연구 방법

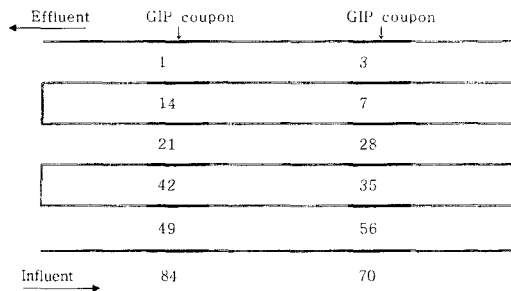
### 1. 시험 재료

#### 1) 생물막 생성용 모형실험계 제작

생물막에 의한 수도물의 세균학적 안전성을 파악하기 위하여, 현재 수도물의 배급수관 재료로 많이 사용되는 아연도강관을 이용하였다. 강관의 규격은 직경 13 mm, 총길이 8.8 m였고, 유입수로는 배급수관 관말의 수도물을 이용하였다. 유량은 생물막 형성을 촉진하면서, 미생물이 부유상태(planktonic state)로 모형실험계내에서 성장할 수 없도록 500~600 ml/min(회석비율 0.43~0.51/min)로 하였다. 생물막 검출을 위하여 아연도강관과 같은 재질의 쿠폰(13 mm×1 mm×75 mm) 12개를 관 내부에 삽입하였고, 총 12주 동안 유입수인 수도물은 한 방향으로 그리고 연속적으로 흘렀다(Fig. 1).

#### 2) 시료채취

유입수인 수도물, 수도관 쿠폰에 형성된 생물막, 그리고 유출수의 세균학적 안전성을 선택배지로서 분석하였다. 시료분석은 1일, 3일, 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주, 7주, 8주, 10주, 12주째 등 총 12회 실시하였다. 멸균된 2 l polypropylene 재질의 시료채취병을 이용하여 유입수와 유출수를 채취하였다. 수도관 쿠폰은 유출부에 인접한 곳에서부터 순차적으로 채취하였다(Fig. 1). 채취한 쿠폰은 분리완충용액 30 ml를 이용하여 가역적으로 흡착한 세균을 탈착시킨 후, 100 ml 분리완충용액에 넣었다. 분리완충용액은 EGTA(ethyleneglycol tetraacetic acid,  $10^{-3}$  M)와 peptone(0.01%)으로 구성하였다. 시약은 모두 Sigma(St. Louis, MO, USA)에



**Fig. 1.** Schematic diagram of the GIP (Galvanized Iron Pipe) model system for biofilm formation. Internal diameter was 13 mm and length was 8.8 m. Flow rate was 500~600 ml/min (dilution rate 0.43~0.51 /min) where planktonic growth was impossible. Galvanized iron coupons were inserted in the point of ↓ and sampled from the point of effluent to influent. Numbers represent sampling days and the position of coupon in GIP model system.

서 구하였다. 쿠폰에서 생물막을 분리하기 위하여 약한 초음파세척 1분(Branson 3210 washing sonicator, Krautkrame Branson Inc., Cincinnati, OH, USA), 냉장 1분, 교반 1분, 냉장 1분 처리를 총 3회 반복하였다.<sup>12)</sup>

### 2. 실험방법

#### 1) 세균 분리

막여과법을 이용하였고 모두 duplicate로 하였다. 유입수와 유출수는 250 ml를 여과하였고, 생물막을 탈착시킨 분리완충용액 5 ml를 여과하였다. 여과한 여과지를 선택배지 위에 두고 37°C에서 24시간 배양한 후 생성된 집락을 계수하고, 48시간째 형성된 집락을 순수 분리하여 계수의 정확성을 검증하였으며 기타 이물질과의 구분이 용이하도록 하였다.

지표세균중 총대장균군(total coliform)의 검출용으로 m-Endo 한천배지를, 분원성 연쇄상구균(fecal streptococci) 검출용으로 m-Enterococcus(m-Ent) 한천배지를 이용하였다. 병원성세균중 *Salmonella*의 선택배지로는 bismuth-sulfite(BS) 한천배지를, *Shigella*는 m-Hektoen-Enteric(m-HE) 한천배지를 이용하였다. 모든 선택배지는 BBL이나 Difco에서 구하였다(Sparks, MD, USA).

양성 집락 판정은 공급자의 기준을 따랐다. BS 배지에서는 검은색의 금속 광택이면서 주변에 검은 테가 형성된(halo effect) 집락을, m-HE 배지에서는 녹색 및 청록색(Greenish-Blue)인 집락을, m-Ent 배지에서는 분홍색 혹은 붉은색 또는 적갈색 집락을, m-Endo 배지에서는 금속광택의 검은색 혹은 붉은색 집락을 양성 집락으로 추정하였다.

#### 2) 동정

집락의 동정을 위하여 각 시료채취 시기별로 선택배지에 자란 추정양성을 나타내는 모든 집락과, 추정음성을 나타내는 집락들을 각 종류별로 최소 1개씩을 nutrient agar(Difco, Sparks, MD, USA)에 순수분리하고 농화 배양한 뒤 Gram 염색, Catalase 시험, Cytochrome oxidase 시험을 하였다. m-Ent 선택배지에서 성장한 집락 중 Gram 양성인 것들은 모두 API 20STREPT kit로서 진성인지 확인하였고, 나머지 선택배지에서 성장한 세균은 장내세균과(family Enterobacteriaceae)의 공통점인 Gram 음성간균, Catalase 양성, Oxidase 음성의 집락만을 대상으로 API 20E kit로 동정하였다. API kit(BioMerieux, Marcy l'Etoile, France)로 동정되지 않는 세균은 세포막의 지방산을 FAME(fatty acid methyl ester)으로 전환시켜 동정하는

MIDI(Microbial ID Inc., Newark, DE, USA)로 추가 동정하였다.<sup>12)</sup> 선택배지에서 성장가능한 방선균, 효모 등에 대한 동정은 수행하지 않았다.

### III. 결과 및 토의

#### 1. 추정양성 세균수에 의한 수돗물과 생물막 안전성

수돗물에서 대장균군의 검출로 분변성 오염의 가능성과 병원성세균의 존재 가능성을 보고한 사례가 있었지만<sup>1,11)</sup> 실제로 병원성세균이 수돗물에 존재하는 지를 조사한 예가 국내에서는 전무한 실정으로, 본 보고에서 이에 대한 분석을 시도하였다.

현재 우리나라는 수돗물의 분변성 오염의 지표로 총 대장균군을 사용하고 있다. 본 연구의 총대장균 검출용 m-Endo 배지에서는, 유입수만이 각 250 ml당 1 집락의 농도로 총 2회 검출되었다(Table 1). 반면 생물막과 유출수에서는 m-Endo 배지에서 양성을 보이는 집락이 전혀 검출되지 않아(Tables 2, 3) 안전한 것으로 판명되었다. 실험기간동안 유입수인 수돗물의 잔류염소는 0.3

mg/l 이하였으며, 평판배지(plate count agar)로 파악한 일반세균의 농도는 유출수에서  $1.7 \times 10^2 \sim 7.0 \times 10^3$  CFU/ml 범위였고, 생물막에서  $3.5 \times 10^2 \sim 3.7 \times 10^4$  CFU/cm<sup>2</sup> 범위였다.<sup>12)</sup> 유입수의 세균농도(범위  $3.4 \times 10^0 \sim 6.5 \times 10^1$  CFU/ml, 평균  $3.4 \times 10^1$  CFU/ml)에 비해 유출수의 세균농도는 월등히 높았으며, 유출수에서 100 CFU/ml 이상으로 나타나 우리나라의 수돗물 수질기준<sup>12)</sup>을 초과하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 선택배지에서 성장한 세균을 동정하기 위해, 동정을 하기 전에 배지공급자의 매뉴얼에 따라 판정된 양성집락을 추정양성으로 간주하였고, 음성집락을 추정음성으로 간주하였다. 최근에 살아있지만 배양이 불가능한(VBNC, viable but non-culturable) 장내세균을 검출하는 기술이 보고되었고<sup>4)</sup> 분자생물학적 방법을 이용한 사례도 있었다.<sup>3,17)</sup> 하지만 수돗물은 소독처리를 하였으므로 죽은 세균이 포함되어 있을 가능성이 높으므로, 본 보고에서는 생사 여부까지 파악할 수 있는 선택배지를 사용하였고 아직도 선택배지가 널리 사용되고 있다.<sup>3)</sup>

**Table 1.** Distribution of bacteria on each selective media from influent

Generic name	Sum	Selective media							
		m-Endo		m-Ent <sup>a</sup>		m-HE <sup>b</sup>		BS <sup>c</sup>	
		+ <sup>d</sup>	- <sup>e</sup>	+	-	+	-	+	-
<i>Achromobacter</i>	1		1						
<i>Acinetobacter</i>	1								1
<i>Aeromonas</i>	1	1							
<i>Alcaligenes</i>	4		2						2
<i>Bacillus</i>	1			1					
<i>Bordetella</i>	1					1			
<i>Chryseomonas</i>	1								1
<i>Enterobacter</i>	1								1
<i>Hafnia</i>	1								1
<i>Pseudomonas</i>	5					3			2
<i>Staphylococcus</i>	4		2	1					1
<i>Yersinia</i>	1	1							
N.I.G(-) <sup>f</sup>	2								2
N.I.G(+) <sup>g</sup>	1		1						
Total	25								

<sup>a</sup>: m-Enterococcus media.

<sup>b</sup>: m-Hektoen-Enteric media.

<sup>c</sup>: bismuth sulfite media.

<sup>d</sup>: presumptive positive bacteria.

<sup>e</sup>: presumptive negative bacteria.

<sup>f</sup>: Not Identified Gram positive bacteria.

<sup>g</sup>: Not Identified Gram negative bacteria.

추정양성 집락수를 선택배지별로 보면 m-Endo 배지가 2개, m-HE 배지가 35개, BS 배지가 0개, m-Ent 배지가 19개로 나타나 선택배지별로 편차가 심했다 (Tables 1, 2, 3). 이는 Chen 등<sup>5)</sup>과 du Preeze 등<sup>6)</sup>의 보고와 같이 각 선택배지의 독성 차이와 배지에서 성장할 수 있는 세균농도의 차이에 의한 것으로 사료되었다.

시료별로 추정양성 집락수를 비교하면 생물막이 27균주, 유출수가 21균주, 유입수가 8균주였다. 각 시료에서 보이는 총 집락수 대비 추정양성 집락수 검출비율을 보면 생물막에서 15.98%(27/169), 유출수에서

12.65%(21/166), 유입수에서 32.00%(8/25)였다. 검출빈도와 집락의 수로 판단하면, 생물막에 의한 세균학적 수질저하와 유출수에 대한 생물막의 영향을 알 수 있었다.

**2. 세균분리 동정을 통한 수돗물과 생물막의 안전성**

Tables 1~3은 선택배지에서 성장한 집락(colony)을 순수배양한 이후에 분리, 동정한 것을 시료와 배지별로 분류한 결과이다. 세균동정을 위하여 분리한 집락수는 총 360균주로, 유입수에서 25균주(Table 1) 수도관 쿠폰의 생물막에서 169균주(Table 2) 유출수에서 166균주

**Table 2.** Distribution of bacteria on each selective media from biofilm

Generic name	Sum	Selective media							
		m-Endo		m-Ent <sup>a</sup>		m-HE <sup>b</sup>		BS <sup>c</sup>	
		+ <sup>d</sup>	- <sup>e</sup>	+	-	+	-	+	-
<i>Achromobacter</i>	1								1
<i>Acidovorans</i>	9		6			2			1
<i>Acinetobacter</i>	35		10						25
<i>Aeromonas</i>	2		2						
<i>Alcaligenes</i>	14		8						6
<i>Bacillus</i>	4			4					
<i>Bordetella</i>	7		1						6
<i>Brevundimonas</i>	1					1			
<i>Burkholderia</i>	14		13						1
<i>Chryseomonas</i>	1					1			
<i>Comamonas</i>	3		1						2
<i>Enterobacter</i>	2								2
<i>Erwinia</i>	2								2
<i>Flavimonas</i>	1								1
<i>Flavobacterium</i>	1								1
<i>Hydrogenophaga</i>	2								2
<i>Kluyvera</i>	3		3						
<i>Moraxella</i>	5		1						4
<i>Neisseria</i>	1					1			
<i>Providencia</i>	1		1						
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1								1
<i>Pseudomonas</i>	25		7			5			13
<i>Sphingobacterium</i>	1								1
<i>Staphylococcus</i>	8			8					
<i>Vibrio</i>	2								2
N.I.G(-) <sup>f</sup>	6					4			2
N.I.G(+) <sup>g</sup>	17		7			1			9
Total	169	0	60	12	0	15	0	0	82

a,b,c,d,e,f,g : See Table 1.

**Table 3.** Distribution of bacteria on each selective media from effluent

Generic name	Sum	Selective media							
		m-Endo		m-Ent <sup>a</sup>		m-HE <sup>b</sup>		BS <sup>c</sup>	
		+ <sup>d</sup>	- <sup>e</sup>	+	-	+	-	+	-
<i>Achromobacter</i>	5		4						1
<i>Acidovorans</i>	6								6
<i>Acinetobacter</i>	3								3
<i>Aeromonas</i>	1								1
<i>Alcaligenes</i>	16		6						10
<i>Bacillus</i>	3			3					
<i>Bordetella</i>	3		1						2
<i>Brevundimonas</i>	6								6
<i>Burkholderia</i>	2								2
<i>Chryseomonas</i>	2								2
<i>Comamonas</i>	3		3						
<i>Enterobacter</i>	2					1			1
<i>Erwinia</i>	1								1
<i>Flavimonas</i>	4		2						2
<i>Flavobacterium</i>	2								2
<i>Hafnia</i>	1								1
<i>Hydrogenophaga</i>	5								5
<i>Kluyvera</i>	2		2						
<i>Micrococcus</i>	1		1						
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1								1
<i>Pseudomonas</i>	24								24
<i>Schwanella</i>	1								1
<i>Sphingobacterium</i>	2					1			1
<i>Staphylococcus</i>	23		13	2					8
<i>Stenotrophomonas</i>	1					1			
<i>Tatumella</i>	2								2
<i>Yersinia</i>	2					2			
N.I.G(-) <sup>f</sup>	35					10			25
N.I.G(+) <sup>g</sup>	7		6			1			
Total	166	0	38	5	0	16	0	0	107

a,b,c,d,e,f,g : See Table 1.

였다(Table 3). 전체 360균주 중 동정할 수 없는 균주가 68균주로 전체의 18.7%였지만 더 이상의 추가동정은 본 연구에서 수행하지 않았다. 환경에서 분리한 균주를 동정키트를 이용하여 동정하는 것은 정확성이 떨어질 수 있어, 분자생물학적 방법 등으로 동정하지만<sup>17)</sup> 최근까지 API kit는 환경분리 균주의 동정용으로 사용되고 있다.<sup>3)</sup>

Table 1은 유입수인 관말의 수돗물에 선택배지를 이용한 결과로 12속군 22건이 검출되었다. 생물막에서는

24속군 146건이 검출되었고 (Table 2) 유출수에서 26속군 124건이 검출되어 (Table 3) 검출된 집락수뿐 아니라 세균의 다양성에서도 유출수와 생물막이 유입수보다 높은 것을 알 수 있었다. 유입수인 수돗물이 모형시험계에서 체류하는 시간은 3분 이내이므로, 모형시험계 내부에서 유입수에 포함된 세균의 성장은 불가능했을 것이다. 따라서 유출수의 높은 집락수 등은 생물막에 의한 결과로 사료되었다.

그리고 유입수에서 검출되지 않던 균종이 생물막과

유출수에서 검출되었는데, 그 이유가 낮은 농도로 유입수에 존재하던 균종이 biofilm에서 증식한 결과인지 우연히 선택배지에서 검출되지 않은 것인지는 알 수 없었다.

추정양성 집락 중 진성으로 판명된 것은 m-Endo 배지뿐이었다. m-Endo 배지에서 성장한 세균들을 API 20E로 동정한 결과, 유입수에서 검출된 2개의 추정 양성집락중 하나는 *Aeromonas sobria*이고 다른 하나는 MIDI에서 *Yersinia pseudotuberculosis*로 동정되었다 (Table 1). Kühn 등은 원수와 수돗물 중 53%의 시료에서 *Aeromonas* 속균을 검출하였고 병원성을 나타내는 *Aeromonas* 속균 일부는 수 개월간 생존하는 것을 확인하였다.<sup>10)</sup> 시드니의 상수도관망에 m-Endo 배지를 사용한 Power 등<sup>14)</sup>의 결과와 비교하면 *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *E. agglomerans*, *Klebsiella oxytoca* 등이 본 연구에서 검출되지 않았으며 *Aeromonas*와 *Yersinia* 속균은 본 연구에서만 검출되었다. 본 연구에서는 추정음성 세균까지 동정하여, 다양한 세균이 검출된 것으로 사료되었다.

Bergey's manual<sup>9)</sup>에서 장내세균과 기회성 병원균으로 분류하는 세균들이 유출수와 생물막에서 많이 검출되었는데, 장내세균에 속하는 세균들의 분포를 보면 유출수와 생물막이 유입수에 비해 다양하였다. 유입수에서 *Enterobacter*, *Hafnia*, *Yersinia* 속균이 각 1건씩 검출되었지만 (Table 1), 생물막에서 *Enterobacter*, *Erwinia*, *Kluyvera*, *Providencia* 속균 등이 총 8건 검출되었으며 (Table 2), 유출수에서 *Enterobacter*, *Erwinia*, *Kluyvera*, *Kluyvera*, *Yersinia* 속균 등이 총 10건 검출되었다 (Table 3).

m-Ent 배지상의 세균들을 API20 STREP kit로 동정한 결과 *Staphylococcus xylosus*가 11건 검출되었고, API kit로 동정이 불가능한 나머지 집락들은 MIDI에서 *Bacillus* sp.가 8건 동정되었다. 일반적으로 API20 STAPH kit로 *Staphylococcus* 동정하는데, 본 연구에서 이 균주의 추가 동정은 수행하지 않았다. 한편 Wiggins 등은 분변성 오염의 원인을 알기 위해 항생제를 첨가한 배지를 사용하였으며 그들은 분변성 연쇄상구균의 경우 분변성 대장균보다 환경에서 생존기간이 길어 분변성 오염의 지표로는 부적합하다고 하였다.<sup>21)</sup>

BS 배지에서 *Salmonella* 속균을 비롯한 병원성 세균은 검출되지 않았으나 *Pseudomonas aeruginosa*, *Chryseomonas luteola*, *Enterobacter sakazakii*, *E. agglomerans* 등 Bergey's manual에서<sup>9)</sup> 기회성 병원균으로 분류되는 균종들이 4종 검출되었다. 이러한 기회성병원균은 모두 추정음성 집락에서 검출되었다.

m-HE 배지에서도 *Shigella*를 비롯한 병원성세균이 검출되지 않았다. 기회성병원균인 *Chryseomonas* 속균이 생물막에서 1건 검출되었으며 (Table 2), 유출수에서 장내세균 2개 속균 (*Enterobacter*, *Yersinia*)이 검출되었다 (Table 3).

본 연구에서 느린 유속을 이용한 모형실험계를 이용하여 생물막이 수질에 미치는 영향을 파악할 수 있었고, 선택배지를 이용하여 수돗물과 생물막의 안전성에 대한 평가를 수행하였다. *Salmonella* 선택배지를 제외한 모든 시료에서 양성으로 추정되는 세균의 성장이 확인되었으나, 동정 결과 진성은 없어 선택배지를 환경시료에 적용한 경우에 있어서 동정이 반드시 필요함을 알 수 있었다. 한편 분변성 오염의 지표인 장내세균들과 기회성병원균이 검출되었다. 현재 수돗물의 분변성 오염의 지표로 사용되는 대장균군의 검출은, 총대장균군 검사용 배지인 m-Endo 배지보다 *Salmonella*와 *Shigella* 선택배지인 BS 배지와 m-HE 배지에서 더 많이 검출되었지만 특이성은 낮아 실효성은 떨어지는 것을 알 수 있었다 (Tables 1~3).

#### IV. 결 론

생물막이 수돗물의 세균학적 수질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 병원성세균과 지표성세균 선택배지 4 종류를 이용하여 모형실험계의 유입수와 유출수 그리고 생물막을 분석한 결과,

1. 같은 시료량을 이용한 유입수에서 12속균 22건이 검출된데 비해, 유출수에서 26속균 124건이 검출되었다. 그리고 생물막에서 24속균 146건이 검출되어 유입수에 비해 유출수와 생물막이 다양하고 많은 수의 집락이 선택배지 위에서 성장하는 것을 알 수 있으며, 생물막에 의한 수돗물의 세균학적 오염현상을 확인할 수 있었다.

2. 검출된 세균의 속군별 분포를 보면, 장내세균에 속하는 것이 7속균 (*Enterobacter*, *Yersinia*, *Providencia*, *Tatumella*, *Erwinia*, *Kluyvera*, *Hafnia*) 10건, 역시 장내에서 서식하며 기회성병원균인 *Aeromonas* 속균 2건, *Chryseomonas* 속균 1건, 그리고 토양이나 담수, 해수 등 자연계에 널리 분포하며 종에 따라 병원성을 가지는 *Pseudomonas* 속균, *Acinetobacter* 속균, *Sphingomonas* 속균 등이 검출되었다.

#### 참고문헌

1. 박성주 : 상수도 급수계통에서의 세균 재생장 및 생물

- 막 형성에 관한 연구. 박사학위논문. 서울대학교 대학원 미생물학과, 1993.
2. 박성주 : 수도관에서의 생물막 형성 및 제어. 미생물과 산업, **21**, 148-155, 1995.
  3. Abdelgadir, W. S., Hamad, S. H., Møller, P. L. and Jakobsen, M. : Characterisation of the dominant microbiota of Sudanese fermented milk Rob. *International Dairy Journal*, **11**, 63-70, 2001.
  4. Baudart, J., Coallier, J., Laurent, P. and Michèle, P. : Rapid and Sensitive Enumeration of Viable Diluted Cells of Members of the Family Enterobacteriaceae in Freshwater and Drinking Water. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 5057-5063, 2002.
  5. Chen, H., Fraser, A. D. E. and Yamazaki, H. : Evaluation of the toxicity of salmonella selective media for shortening the enrichment period. *International Journal of Food Microbiology*, **18**, 151-159, 1993.
  6. du Preez, M., Kfir, R. and Coubrough, P. : Investigation of injury of coliforms after chlorination. *Water Science and Technology*, **31**, 115-118, 1995.
  7. Greenberg, A. E., Clesceri, L. S. and Eaton, A. D. (ed.) : Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 1992.
  8. Keinänen, M. M., Korhonen, L. K., Lehtola, M. J., Miettinen, I. T., Martikainen, P. J., Vartiainen, T. and Suutari, M. H. : The microbial community structure of drinking water biofilms can be affected by phosphorus availability. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 434-439, 2002.
  9. Krieg N. R. and Holt, J. G. (ed) : *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore, 1984.
  10. Kühn, I., Allestam, G., Huys, G., Janssen, P., Kersters, K., Krovacek, K. and Stenstrom, T. : Diversity, Persistence, and Virulence of Aeromonas Strains Isolated from Drinking Water Distribution Systems in Sweden. *Applied and Environmental Microbiology* **63**, 2708-2715, 1997.
  11. LeChevallier, M. W., Welch, N. J. and Smith, D. B. : Full-scale Study of Factors Related to Coliform Regrowth in Drinking Water. *Applied and Environmental Microbiology*, **62**, 2201-2211, 1992.
  12. Lee, D. G. and Kim, S. J. : Bacterial species in biofilm cultivated from the end of the Seoul water distribution system. *Journal of Applied Microbiology*, **95**, 317-324, 2003.
  13. Nichols, R. A. B., Campbell, B. M. and Smith, H. V. : Identification of *Cryptosporidium* spp. oocysts in United Kingdom noncarbonated natural mineral waters and drinking waters by using a modified nested PCR-restriction fragment length polymorphism assay. *Applied and Environmental Microbiology*, **69**, 4183-4189, 2003.
  14. Power, K. N. and Nagy, L. A. : Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system. *Water Research*, **33**, 741-750, 1999.
  15. Reasoner, D. J., Blannon, J. C., Geldreich, E. E. and Barnick, J. : Nonphotosynthetic pigmented bacteria in a potable water treatment and distribution system. *Applied and Environmental Microbiology*, **55**, 912-921, 1999.
  16. Schwartz, T., Hoffmann, S. and Obst, U. : Formation of natural biofilms during chlorine dioxide and u.v. disinfection in a public drinking water distribution system. *Journal of Applied Microbiology*, **95**, 591-601, 2003.
  17. Scott, T. M., Rose, J. B., Jenkins, T. M., Farrah, S. R. and Lukasik, J. : Microbial Source Tracking: Current Methodology and Future Directions. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 5796-5803, 2002.
  18. Thurston-Enriquez, J. A., Haas, C. N., Jacangelo, J. and Gerba, C. P. : Chlorine inactivation of Adenovirus type 40 and feline Calicivirus. *Applied and Environmental Microbiology*, **69**, 3979-3985, 2003.
  19. Timothy, E. F. : The microbial ecology of water distribution and outfall systems, In Timothy E. Ford (ed.), *Aquatic Microbiology*, Blackwell Scientific Publication, Boston. 455-482. 1993.
  20. Van der Wende, E. and Characklis, W. G. : Biofilms in potable water distribution systems, In G. A. McFeters (ed.), *Drinking water microbiology*. Springer-Verlag, New York. 249-268. 1990.
  21. Wiggins, B. A., Andrews, R. W., Conway, R. A., Corr, C. L., Dobratz, E. J., Dougherty, D. P., Eppard, J. R., Knupp, S. R., Limjoco, M. C., Mettenburg, J. M., Rinehardt, J. M., Sonsino, J., Torrijos, R. L. and Zimmerman, M. E. : Use of Antibiotic Resistance Analysis To Identify Nonpoint Sources of Fecal Pollution. *Applied and Environmental Microbiology*, **65**, 3483-3486, 1999.