

# 都市下水 및 工場廢水로 汚染된 河川에서 分離한 腸內細菌의 重金屬 耐性에 관한 研究

細菌科

申 正 植 · 朴 聖 培

## A Study on Heavy Metal Resistance of Enterobacteria Isolated from Streams Receiving Municipal and Industrial Wastewater

*Microbiology Division*

Jung Sik Shin · Sung Bae Park

### =Abstract=

This study was performed to investigate the distribution of enterobacteria resistant to heavy metal compounds (Pb(II), Zn(II), Co(II), Te(II), Cr(VI), Cd(II), Hg(II)) in the stream water and sediment receiving municipal and industrial wastewater.

The results were as follows:

1. Similar numbers of total count, coliforms and fecal coliforms were present in stream waters receiving either industrial or municipal wastewater. However, the higher numbers of those bacteria were present in the stream sediment receiving industrial wastewater.

The concentrations of Pb(II), Zn(II), Cr(VI), Cd(II) and Hg(II) were higher in the stream sediment receiving industrial than municipal wastewater.

2. The higher number of heavy metal-resistant bacteria were present in the stream water receiving industrial wastewater.

The percentage of enteric strain isolates survived in  $>10^{-3}M$  concentrations of Pb(II) and Zn(II) was over 97%. Among the enteric strains isolated from the stream receiving municipal wastewater, 25.3% of the river water isolates and 32.9% of the sediment isolates were survived in  $>10^{-3}M$  concentration of Co(II). The percentage of enteric strain survived in  $>10^{-3}M$  concentrations of Cr(VI) was 1.0% and 2.9% for the river water and sediment isolates from the stream receiving municipal wastewater, and 7.8% and 11.7% for those from the stream receiving industrial wastewater. Among the enteric strain isolates from the river water and sediment, none was survived in  $>10^{-3}M$  concentrations of Cd(II) and Hg(II). Only 2 strains (1.1%) of the sediment isolates from the stream receiving industrial wastewater were survived.

Generally the enteric strain isolates showed the highest resistance to Zn(II) and then Pb(II), Co(II), Te(II), Cr(VI), Cd(II) and Hg(II) in decreasing order.

3. Bacteria isolated from the river water and sediment were streaked on Müller Hinton agar containing  $10^{-3}M$  concentrations of 7 heavy metal compounds with various combinations. Among the enteric strains isolated from the stream receiving municipal wastewater, 47.9% of the sediment isolates were survived in the media containing more than 2 heavy metal

compounds. While, the survival ratio was 81.0% and 85.0% from those in the stream receiving industrial wastewater.

## 서론

수질을 오염시키는 유해물질은 여러가지가 있으나 유해 중금속에 의한 환경오염은 사람과 생물등에 먹이연쇄(Food Chain)에 의하여 인체의 축적성 및 증독현상으로 질병을 일으키고 일본에서 발생한 「미나마타병」과 「이따이 이따이」병 이래 중금속 오염도에 대하여 많은 연구와 조사가 이루어지고 있다(菅野三郎, 福井昭三, 1978; 小林純 등, 1970; 小林純 등, 1971). 또한 어류 및 수서생물에 대하여 중금속이 미치는 영향 및 미생물의 억제요인으로 작용하는 유해 중금속에 대한 미생물의 내성균 분포 및 생존능력에 대한 연구도 근래에 많이 보고되고 있다(원경풍, 1978; 임병순, 1980; 이정자, 1981).

미생물중 특히 장내세균에 있어서 특정 중금속에 대한 내성은 세균의 생존을 위한 적응력 및 진화에 의하여 이루어 지며 결과적으로 항균물질인 중금속으로 부터 저항할 수 있게된다. 따라서 하천 및 하수에 대한 중금속 내성균의 분포를 조사함으로써 그 지역 수질의 중금속 오염 정도를 측정할 수 있는 지표군으로 이용할 수 있다고 보고 한바있다(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983). 또한 장내세균의 중금속에 대한 내성은 단일 혹은 2종류이상의 중금속에 대하여 내성을 갖게되며 유전학적으로 다른 균주에 내성을 전달할 수 있다(Davis, J.E., Rowand, R., 1972). 유전학적인 면에서 내성전달은 Resistance factor(R-factor) 요소인 plasmid에 의하여 일어나며 수질에서 장내세균의 생존에 영향을 준다(Hedges, R.W., Baumberg, S., 1973; Smith, H.W., 1974).

중금속에 대한 내성이 있는 장내세균은 항생물질에 대하여도 단일 또는 복합 내성이 있으며 이러한 장내세균은 하수, 하수처리수, 하천수에서 분리되었다고 보고한 바 있다(Grabow, Wok, et al., 1974). 따라서 외국에서는 하수 및 호수에서 항생제 및 중금속에 내성이 있는 장내세균 분포 및 부존밀도에 대한 연구 보고가 많이 있었다(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983; Davis, J.E., Rowand, R., 1972; Hedges, R.W., Baumberg, S., 1973; Smith, D.H., 1967).

한편, 우리나라에서는 항생물질에 대한 약제 내성에 대한 보고는 많으나(박청규, 1977; 박석기 등, 1978; 김기석, 탁연무, 1977) 하수 및 호수의 중금속 오염의

척도가 되는 중금속 내성균에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구의 목적은 주 오염원이 가정하수인 생활지천과 주오염원이 공장하수인 공장지천의 하천수와 저질을 대상으로 장내세균을 분리 동정하여 중금속 농도에 따른 장내세균의 내성균 분포에 대하여 조사하였다.

## 연구 방법

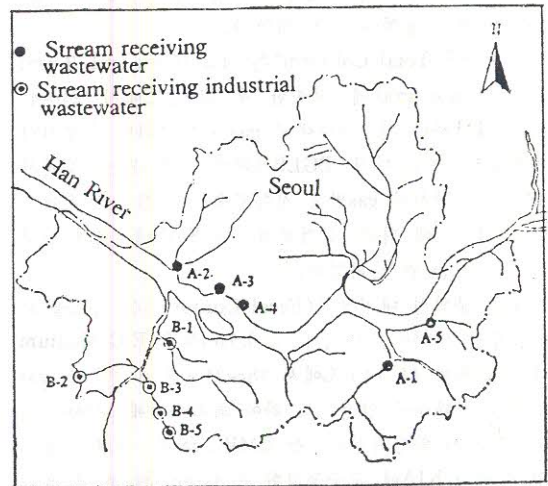
### 1. 조사대상 및 방법

#### 조사대상

서울지역의 주 오염원이 가정하수인 양재천, 불광천, 봉원천, 옥천, 성내천 등 5개지점과 주 오염원이 공장폐수인 도림천, 영등포 기계공단지역, 구로1공단지역, 구로3공단지역, 독산동배수지 등 5개지점의 하천수와 저질을 대상으로 무균병을 이용하여 시료를 채취하여 사용하였다(Fig. 1 참조).

#### 대상 중금속

중금속 내성시험에 사용된 시약은  $ZnCl_2$ ,  $K_2CrO_4$ ,  $K_2TeO_3$ ,  $PbCl_2$ ,  $CdCl_2$ ,  $HgCl_2$ ,  $CoCl_2$ 로 특급시약을



- |                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| A-1 Yangjaechon | B-1 Dorimchon                      |
| A-2 Bulkangchon | B-2 Yongdeungpo Machine Industrial |
| A-3 Bonwonchon  | B-3 Kuro Industrial Complex I      |
| A-4 Ugchon      | B-4 Kuro Industrial Complex III    |
| A-5 Songnaechon | B-5 Dogsan Drainage Pond           |

Fig. 1. Sampling sites

Table 1. Heavy metal compounds used for analysis

Name	Formula	Purity		Metal content	Manufacturer
Zinc chloride	ZnCl <sub>2</sub>	97%	Zn	47.97%	Hayashi Co.
Potassium Tellurite	K <sub>2</sub> TeO <sub>3</sub>	98%	Te	50.28%	Wako Co.
Lead chloride	PbCl <sub>2</sub>	98%	Pb	74.50%	Shinyo Co.
Cadmium chloride	CdCl <sub>2</sub>	99.6%	Cd	61.32%	Baker Co.
Potassium chromate	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	98.5%	Cr	26.78%	Kokusan Co.
Mercury chloride	HgCl <sub>2</sub>	99.5%	Hg	73.88%	Wako Co.
Cobalt chloride	CoCl <sub>2</sub>	95.0%	Co	45.39%	Junsei Co.

사용 하였으며 특성은 Table 1과 같다. 또한 Milipore filter(pore size 0.45 $\mu$ m)로 여과 멸균한 증류수를 이용하여 증급속의 농도를 0.00025M, 0.0005M, 0.001M, 0.002M로 희석하여 실험에 사용 하였다.

### 2. 세균 오염도 조사

세균의 오염도 조사는 Standard method for the examination of water and Wastewater에 준하여 실험 하였다(APHA, AWWA, WPCF, 1976). 즉 일반세균은 Plate상에 ml당 30~300/CFU 정도가 될 수 있도록 단계 희석법으로 시료를 희석하여 멸균 Petridish에 1ml를 분주한 후 Nutrient agar 배지를 가하여 35 $\pm$ 1°C에서 24~48시간 배양한 후 세균집락수를 Colony counter를 이용하여 산정 하였다.

대장균군(Total Coliform)은 시료 10ml, 1ml, 0.1ml씩을 lactose broth에 접종한 후 35 $\pm$ 1°C에서 24~48시간 배양하여 발효관내에서 gas가 발생하면 추정시험 양성으로 하고 다시 BGLB배지에 옮겨 35 $\pm$ 1°C에서 48시간 배양하여 gas발생 시험관수를 양성으로 확정하여 최확수표에 의해 산정하였으며 EMB에 옮겨 전형적인 집락을 관찰 하였다.

또한 분원성 대장균군(Fecal Coliform)은 시료를 최확수법에 의하여 10ml, 1ml, 0.1ml씩을 E.C Medium에 접종하여 44.5 $\pm$ 1°C에서 18~24시간 배양한 후 gas 발생 시험관수를 양성으로 하여 최확수법에 의하여 산정하였으며 양성시험관수를 EMB agar에 옮겨 전형적인 집락을 KIA에 순수분리한 후 Gram Stain 및 생화학적 시험을 거쳐 분원성 대장균군으로 확정하였다.

### 3. 증급속 오염도 조사

하수중의 증급속 오염도 조사는 환경오염 공정시험법 수질편(환경청, 1986)에 의하여 실험 하였으며 Standard method for the examination of water and waste water (APHA, AWWA, WPCF, 1976) 및 일본 위생 시험법 주해를 참고로 하였다. 증급속 시험에 사용된 Atomic absorption flame spectro photo meter

는 일본 Hitachi(Model 170~30)의 기기를 이용하였다.

### 4. 균주분리 및 동정

증급속 내성검사에 사용된 균주의 분리는 각지점에서 채취한 시료를 Lactose broth, Selenite F broth, Nutrient broth를 이용하여 증균배양한 후 MacConKey agar, SS agar, EMB의 선택배지를 이용하여 전형적인 집락만을 선별하였다. 선별한 집락을 KIA에 순수분리한 후 IMVIC test, gram stain, oxidase test를 거쳐 Bergey's manual(Williams & Wilkins Co., 1974)에 의하여 동정하였다.

### 5. 증급속 내성시험

증급속 내성시험은 한천 평판 희석법(multiple agar dilution method)에 준하여 시험하였다(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983). 즉 평판 희석법에 의하여 배지에 각 증급속 농도가 0.00025M, 0.0005M, 0.001M, 0.002M이 함유 되도록 Müller Hinton agar에 조제하여 사용하였다.

시험균주를 Müller Hinton broth에 3~5시간 배양한 후 Macfarlend No. 0.5표준 비색관(1%BaCl<sub>2</sub> 0.5ml + 1%(0.36N)H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 99.5ml : 10<sup>8</sup>CFU/ml)에 탁도를 맞춘 후 멸균 생리식염수를 이용하여 100배희석하여 Multiple inoculator방법 (Steers, E., et al., 1959) 이용하여 시험용 균액을 각 증급속 농도가 0.00025M, 0.0005M, 0.001M, 0.002M씩 함유된 Müller Hintor agar에 접종하고 37°C에서 24시간 배양하여 시험균이 농도별 함유된 배지에서 성장이 억제되는 최소농도를 시험균의 최소억제농도(Minimum inhibition concentration)로 결정하였다.

## 실험 결과

### 1. 세균 및 증급속 오염도

가정하수가 주요염원인 하천의 5개지점과 공장 폐수가 주요염원인 하천의 5개지점 별로 각각 하천수와 저

**Table 2.** Occurrence of total and fecal coliforms in the stream water and sediment receiving municipal or industrial wastewater

Main Pollution Source	Sampling site	Standard plate count		Total coliform		Fecal coliform		
		Stream water	Sediment	Stream water	Sediment	Stream water	Sediment	
		Unit	/ml	/g	MPN/100ml	MPN/100g	MPN/100ml	MPN/100g
Municipal Wastewater(A)	A-1		$7.4 \times 10^5$	$2.6 \times 10^8$	$1.8 \times 10^5$	$2.2 \times 10^9$	$2.4 \times 10^3$	$4.6 \times 10^6$
	A-2		$9.0 \times 10^6$	$1.3 \times 10^7$	$2.3 \times 10^5$	$3.1 \times 10^8$	$4.6 \times 10^3$	$1.1 \times 10^6$
	A-3		$8.0 \times 10^6$	$3.0 \times 10^7$	$3.3 \times 10^5$	$3.6 \times 10^9$	$1.1 \times 10^4$	$4.0 \times 10^6$
	A-4		$4.5 \times 10^5$	$1.3 \times 10^9$	$1.6 \times 10^5$	$1.8 \times 10^9$	$3.6 \times 10^3$	$1.1 \times 10^7$
	A-5		$4.6 \times 10^5$	$3.2 \times 10^7$	$2.4 \times 10^5$	$1.3 \times 10^9$	$2.2 \times 10^3$	$2.2 \times 10^6$
Industrial Wastewater(B)	B-1		$7.5 \times 10^5$	$2.6 \times 10^7$	$3.2 \times 10^5$	$2.3 \times 10^8$	$5.6 \times 10^3$	$2.2 \times 10^6$
	B-2		$4.5 \times 10^6$	$1.4 \times 10^8$	$2.7 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$3.7 \times 10^3$	$9.3 \times 10^4$
	B-3		$1.9 \times 10^6$	$3.9 \times 10^9$	$1.2 \times 10^6$	$2.1 \times 10^6$	$1.8 \times 10^4$	$1.1 \times 10^6$
	B-4		$3.2 \times 10^5$	$2.4 \times 10^8$	$4.9 \times 10^4$	$3.2 \times 10^7$	$4.3 \times 10^2$	$2.3 \times 10^4$
	B-5		$1.8 \times 10^5$	$8.4 \times 10^7$	$2.0 \times 10^5$	$2.2 \times 10^8$	$2.4 \times 10^4$	$2.2 \times 10^6$

**Table 3.** Comparison of heavy metal concentrations in the stream water and sediment receiving municipal of industrial wastewater

(unit: stream water=mg/l, sediment=mg/kg)

Main Pollution source	Sampling site	Pb		Zn		Cr		Cd		Hg	
		Stream water	Sedi-ment	Stream water	Sedi-ment	Stream water	Sedi-ment	Stream water	Sedi-ment	Stream water	Sedi-ment
Municipal wastewater	A-1	0.02	37.7	0.40	59.5	0.02	49.6	nd	2.62	nd	1.76
	A-2	0.02	38.6	0.27	66.1	0.02	53.3	nd	1.75	nd	1.36
	A-3	0.02	29.6	0.17	49.7	0.02	43.6	nd	1.98	nd	2.14
	A-4	0.03	38.4	0.14	67.3	0.03	59.8	0.002	1.67	nd	2.42
	A-5	0.02	19.5	0.36	33.3	0.02	23.3	nd	0.63	nd	0.74
Industrial wastewater	B-1	0.03	21.4	0.28	92.3	0.03	78.2	nd	3.57	nd	1.82
	B-2	0.05	32.9	0.62	67.8	0.02	69.4	nd	1.19	nd	2.14
	B-3	0.04	49.4	0.52	87.4	0.02	66.7	0.002	2.39	nd	2.26
	B-4	0.06	47.6	0.86	69.2	0.42	33.3	0.004	2.46	nd	3.18
	B-5	0.03	62.4	0.54	112.3	0.05	100.4	0.002	3.81	nd	2.19

nd : non-detected

질에서 조사한 일반세균, 대장균군, 분원성 대장균군의 부존 밀도는 Tabel 2와 같다.

일반세균수는 가정하수가 주요오염원인 하천의 하천수와 저질에서  $4.5 \times 10^5 \sim 9.0 \times 10^6$ /ml의 범위와  $1.3 \times 10^7 \sim 1.3 \times 10^9$ g의 범위를 보였으며 공장폐수가 주요오염원인 하천의 하천수와 저질에서는  $1.8 \times 10^5 \sim 4.5 \times 10^6$  ml와  $2.6 \times 10^7 \sim 3.9 \times 10^9$ /g으로 하수보다 저질에서  $10^2 \sim 10^3$ 의 높은 밀도를 보였다. 대장균군 및 분원성 대장균군은 가정하수와 공장폐수로 오염된 하천에서

비슷한 밀도를 보였으나 저질에서는 공장폐수로 오염된 하천에 비해 가정하수로 오염된 하천에서 높은 밀도를 보였다. 가정하수 및 공장폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 중금속 오염도를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

중금속 오염도는 하천수에서는 낮은 농도를 보였으나 저질에서는 높게 나타났다. 가정하수로 오염된 하천수와 저질에 비해 공장폐수로 오염된 하천수와 저질에서 높은 중금속 농도를 보였다. 중금속별로는 Zn이

가장 높은 농도를 보였고 Cr과 Pb의 순서였으며 Cd와 Hg은 하천수에서는 거의 검출되지 않았으며 저질에서는 낮은 농도를 보였다.

## 2. 중금속 내성

가정하수와 공장폐수가 주요오염원인 하천의 하천수와 저질에서 세균을 분리 동정하여 중금속에 대한 내성시험을 하기 위해 장내세균을 분리 동정한 결과는 Table 4와 같다. 분리된 균주는 가정하수로 오염된 하천의 하천수에서 99균주, 저질에서 140균주를 분리 하였으며 공장하수로 오염된 하천의 하천수에서 116균주, 저질에서는 180균주를 분리하였다.

분리된 균주는 *E. coli I*, *E. coli II*, *Citrobactor I*, *Citrobactor II*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Klebsiella* 등

7종의 장내세균으로 동정하였다. 동정된 장내세균중 *E. coli I*이 가정하수 및 공장폐수로 오염된 하천수에서 30%정도로서 가장 많았다. 가정하수와 공장폐수로 오염된 하천수에서 분리된 장내세균 535균주 중 중금속 내성균 분포를 MIC  $10^{-3}M$  이상을 기준으로 조사한 결과는 Table 5와 같다.

Pb, Zn, Co, Te, Cr, Cd, Hg의 7개 중금속중 Pb, Zn에 대한 장내세균의 내성율은 가정하수 및 공장폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리한 세균 모두 97%이상으로 비슷한 분포를 나타냈으며 Co는 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 25.3%, 32.9%, 공장폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 70.7%, 73.9%, 로 가정하수로 오염된 하천의 하천수

Table 4. Number of strains for each genus isolated from individual sampling site

Genus	Stream receiving municipal wastewater				Stream receiving industrial wastewater			
	Stream water		Sediment		Stream water		Sediment	
	Number of strains	%	Number of strains	%	Number of strains	%	Number of strains	%
<i>E. coli I</i>	33	33.3	42	30.0	34	29.3	51	28.3
<i>E. coli II</i>	14	14.2	18	12.9	9	7.8	15	8.3
<i>Citrobactor I</i>	8	8.1	21	15.0	17	14.7	31	17.2
<i>Citrobactor II</i>	4	4.0	9	6.4	14	12.0	17	9.5
<i>Proteus</i>	12	12.1	15	10.7	14	12.0	29	16.1
<i>Enterobacter</i>	17	17.2	21	15.0	15	13.0	18	10.0
<i>Klebsiella</i>	11	11.1	14	10.0	13	11.2	19	10.6
Total	99	100	140	100	116	100	180	100

Table 5. Occurrence of enteric bacteria isolated from the stream water and sediment being resistant to more than  $10^{-3}M$  of various heavy metals

(MIC :  $>10^{-3}M$ )

Heavy metal	Stream receiving municipal wastewater				Stream receiving industrial wastewater			
	Stream water		Sediment		Stream water		Sediment	
	Number of strains	%	Number of strains	%	Number of strains	%	Number of strains	%
Pb	96	97.0	137	97.9	113	97.4	175	97.2
Zn	97	98.0	138	98.6	114	98.3	177	98.3
Co	25	25.3	46	32.9	82	70.7	133	73.9
Te	11	11.0	23	16.4	22	19.0	35	19.4
Cr	1	1.0	4	2.9	9	7.8	21	11.7
Cd	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	1.1
Hg	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total No. of isolates tested	99		140		116		180	

**Table 6.** Distribution of single and multiple heavy metal resistance for the enteric strain  
( MIC :  $>10^{-3}M$  )

No. of Heavy metal	Stream receiving municipal wastewater				Stream receiving industrial wastewater			
	Stream water		Sediment		Stream water		Sediment	
	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%
0	2	2.0	1	0.7	1	0.9	0	0.0
1	22	2.0	1	0.7	3	2.6	0	0.0
2	60	60.7	71	50.7	18	15.5	27	15.0
3	33	33.3	61	43.6	77	66.4	121	67.2
4	2	2.0	6	4.3	15	12.9	26	14.5
5	0	0.0	0	0.0	2	1.7	6	3.3
Total	99	100	140	100	116	100	180	100

**Table 7.** Heavy metal resistance patterns of bacteria isolated from various sites  
( MIC :  $>10^{-3}M$  )

Heavy metal combination	Stream receiving municipal wastewater				Stream receiving industrial wastewater			
	Stream water		Sediment		Stream water		Sediment	
	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%	Number of resistant enteric strains	%
Pb. Zn	60	63.1	71	51.5	18	16.1	27	15.0
Pb. Zn Co	23	24.2	42	30.4	67	59.8	105	58.3
Pb. Zn Te	9	9.5	18	13.1	9	8.0	12	6.7
Pb. Zn Cr	1	1.1	1	0.7	1	0.9	2	1.1
Pb. Zn Cd	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	1.1
Pb. Zn Co Te	2	2.1	3	2.2	9	8.0	13	7.3
Pb. Zn Cr Te	0	0.0	2	1.4	2	1.8	4	2.2
Pb. Zn Cr Co	0	0.0	1	0.7	4	3.6	9	5.0
Pb. Zn Cr Co Te	0	0.0	0	0.0	2	1.8	6	3.3
Total	95	100	138	100	112	100	180	100

보다 공장폐수로 오염된 하천의 하천수에서 약 2배의 내성율을 나타냈다.

Te에 대한 내성율은 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 각각 11.0%, 16.4%였으며 공장 폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리한 세균이 각각 19.0%, 19.4%로 가정하수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 세균보다 공장폐수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 세균이 약간 높은 내성율을 보였으며 Cr은 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질이 1.0%, 2.9%, 공장폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질로부터 분리한 세균이 7.8%, 11.7%로 공장하수가 약 5배 높은 내성율을 보였다. 가장 내성율이 낮은 것

은 Cd과 Hg으로 Cd의 경우 가정하수로 오염된 하천의 하천수 및 저질에서 분리된 균주에는 내성율이 없었으나 공장폐수로 오염된 하천의 저질에서 2균주 (1.1%)가 내성균이었으며 Hg은 가정하수와 공장폐수로 오염된 하천의 하천수 및 저질에서 모두 내성균이 없었다. 장내세균의 각 증균속에 대한 내성을 증균속 별로 보면 Zn>Pb>Co>Te>Cr>Hg의 순서였다.

분리된 장내세균중  $10^{-3}M$ 농도 이상을 기준으로 증균속 7종에 대한 단일 또는 복합 내성균을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 7종의 증균속 내성균 분포는 내성이 없는 증균속으로 부터 5종의 증균속 복합내성을 보였다. 가장 내성율이 높은 것은 가정하수로 오염

된 하천에서 분리된 세균균주에서 나타난 2종의 복합내성으로 하천수와 저질분리 세균균주에서 각각 60.7%, 50.7%를 나타냈으며 공장폐수로 오염된 하천에서는 3종의 복합내성을 보인 균주들이 많았으며 하천수와 저질에서 분리된 세균균주가 각각 66.4%, 67.2%의 내성율을 보였다. 가장 내성율이 낮은 것은 5종의 복합내성으로 가정하수로 오염된 하천의 하천수 및 저질에서는 복합내성균이 없었으나 공장폐수로 오염된 하천에서는 하천수에서 분리된 균주중 1.7%, 저질에서 분리된 균주 3.3%를 나타냈다. 전체적인 내성 분포도는 가정하수로 오염된 하천보다 공장폐수로 오염된 하천에서 분리된 균주들이 높은 복합 내성분포를 보였다.

중금속별 단일내성을 제외한 복합내성에 관한 분포를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 가정하수와 공장폐수 중 가장 높은 복합내성의 중금속은 가정하수로 오염된 하천의 경우 Pb, Zn으로 하천수에서 분리한 세균 균주중 63.1%, 저질에서 분리한 세균의 51.5%가 복합내성을 보였으며 공장폐수로 오염된 하천의 경우는 Pb, Zn, Co로서 하천수에서 분리한 세균 균주중 59.8%와 저질에서 분리한 세균균주중 58.3%가 3종의 중금속에 대한 복합내성을 보였다. 가장 낮은 복합내성은 Pb, Zn, Cd으로 가정하수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 균주에는 없었으며 공장폐수로 오염된 하천의 저질에서 2균주(1.1%)가 복합내성을 보였다. 또한 가장 많은 복합내성인 Pb, Zn, Cr, Co, Te 5종의 중금속에 대한 복합내성은 가정하수로 오염된 하천의 하천수 및 저질에서 분리된 균주에는 없었으나 공장폐수로 오염된 하천의 하천수에서 2균주(1.8%) 저질에서 6균주(3.3%)로 나타났다.

## 고 찰

가정하수와 공장폐수로 오염된 하천에 있어서 세균의 부존밀도를 보면 저질이 하천수보다 일반 세균 및 지표 미생물이 10배 이상의 높은 부존밀도를 보였다. 해수 및 해양저질층의 지표 미생물을 조사한 바저질층이 해수보다 10~1,000배 높은 세균 밀도를 보고한 바 있으며(Volterra, L., 1984), 하천수에서도 하수보다 저질이 지표 미생물의 밀도가 높았다고 보고한 바 있다(윤원용, 1986). 조사지점 들에 있어서 일반세균의 밀도는 비슷하였지만 대장균군 및 분원성 대장균군의 밀도는 하천수에서는 공장폐수로 오염된 하천수에서 높은 분포를 보였고 저질에 있어서는 공장폐수보다 가정하수로 오염된 저질에서 높은 분포를 보였다. Hedges 등은 항생제나 중금속은 antimicrobial agent

라고 보고(Hedges, R.W., Baumberg, S., 1973)한 바와 같이 주 오염원이 가정하수인 생활지천보다 주오염원이 공장폐수인 공장지천에서 중금속 오염도가 높으므로(Table 3) 중금속이 미생물억제작용을 하여 공장폐수의 저질에서 낮은 지표 미생물 오염도를 보이지 않았는가 생각한다(Table 2).

본 조사 성적의 Table 3과 같이 가정하수와 공장폐수로 오염된 하천에 있어서 중금속 오염도는 하천수가 저질보다 매우 낮은 오염도를 보였으며 특히 Cd, Hg은 하천수에서는 거의 검출되지 않았으며 저질에서도 낮은 농도를 보였다. 도시하수에서 중금속  $10^{-3}$ M농도 이상에서 세균 내성율을 조사한 바 Pb97.7%, Zn88.8%, Co83.7%, Te5.6~11.6%가 내성균이었다고 보고한 바 있다(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983). 본 조사에서 Table 5와 같이 Pb, Zn은 97% 이상의 내성율을 나타냈으며 Co는 가정하수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 세균 25.3% 공장폐수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 세균균주의 70.7%가 Te는 가정하수로 오염된 천의 하천수에서 분리한 세균균주가 11.0%, 공장하수로 오염된 하천의 하천수에서 분리한 세균균주의 19.0%가 내성을 보여 거의 일치한 결과를 보이고 있다.

또한 하수에서 고농도의 금속이온이 존재시에는 그 관련 금속에 대한 내성균이 많이 존재하며 하수의 금속 오염 지표가 될 수 있다고 보고한 바 있다(Houba, C., Remacle, J., 1980). 본 조사 성적에서 Cr, Co에 대한 내성균은 주 오염원이 가정하수보다 공장폐수에서 2~3배 높은 내성균 분포율을 나타내어 공장폐수 등의 미비한 처리에 의한 오염의 영향을 받아 내성균의 분포율이 높은 것으로 생각된다.

내성의 강도에 있어서 Hg은 0.0005M 이하의 MIC를 보여 내성균은 검출되지 않았으나 도시하수에서 4.1%의 내성균이 분리되었다고 보고(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983) 한 바 한국에서도 Hg에 대한 내성균 존재 여부를 배제할 수 없다고 생각한다.

중금속 내성균은 항생제 내성균과 같이 복합 중금속 내성을 가지고 있다고 보고 (Smith, H.W., 1971)한 바 있으며 항생제 및 중금속에 대한 복합 내성균이 공업 또는 농업하수에서 많이 분리 검출되었다고 발표한 바 있다. 중금속 내성은 복합내성을 가지고 있으며 PbCo, ZnCO, ZnPb, Pb Zn Co에서 내성균이 74%로 높은 분포를 보였다고 보고한 바 있다(Mietz, J.A., Sjogren, R.E., 1983). 본 조사에서도 Table 6, 7과 같이 가정하수로 오염된 하천의 경우 Pb, Zn에 대하여 하천수에서 분리한 세균균주의 63.1%, 저질에서 분리한 세균

균주의 51.5%, 공장폐수로 오염된 하천의 경우 Pb, Zn, Co에 대하여 하천수에서 분리한 세균 59.8%, 저질에서 분리한 세균균주의 58.3%가 복합내성을 보여 비슷한 결과를 보였다.

## 요 약

가정하수와 공장폐수로 오염된 하천의 하천수 및 저질에서 장내세균 535균주를 분리 동정하여 증균속 Pb, Zn, Co, Te, Cr, Cd, Hg에 대한 증균속 내성균 분포를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지표미생물(대장균군, 분변성대장균군) 오염도는 하천수에서는 비슷한 오염도를 보였으나, 저질에서는 공장폐수에 비해 가정하수로 오염된 하천에서 높은 오염도를 보였다, 또한 증균속 오염도는 가정하수보다 공장폐수로 오염된 하천의 저질에서 높은 오염 분포를 보였다.

2. 내성균 분포는 가정하수로 오염된 하천보다 증균속 오염도가 높은 공장 폐수로 오염된 하천에서 높고, 증균속  $10^{-3}$ M농도 이상에서 생존하는 내성균수는 Pb, Zn에 대하여서는 전체적으로 97% 이상이 었으며 Co에 대하여서는 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리한 세균균주의 25.3%와 32.9%이었으며 공장폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리한 세균균주의 70.7%, 73.9%이었다. Cr에 대한 내성균수는 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리한 세균의 1.0%, 2.9% 공장 폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리된 세균균주의 7.8%, 11.7%가 내성을 보였으며 Cd, Hg은 가정하수로 오염된 하천수에서는 분리되지 않았으나 공장폐수로 오염된 하천의 저질에서 분리한 세균중 2균주(1.1%)만이 Cd에 대하여 내성균이었다.

3. 증균속  $10^{-3}$ M농도 이상에서 3종이상의 증균속에 대한 복합 내성균은 가정하수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리된 세균균주의 35.3%, 47.9% 공장 폐수로 오염된 하천의 하천수와 저질에서 분리된 세균균주의 81.0%, 85.0%이었다.

이상의 결과로 보아 증균속 오염이 증대될수록 장내세균의 내성이 또한 증대되므로 그 내성과 병리학적인 조사 연구가 보다 많이 이루어지고 이에 대한 대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 김기석, 탁연무, 대구 신천으로부터 분리된 약제 내

- 성 대장균군의 전달성 내성에 관하여, 대한수의학회지, 17, 73 (1977).
2. 박석기의 3인, 건강인에서 분리된 장내세균의 약제내성 및 전달성에 관하여, 서울시 보건연구소보 14, 79-84 (1978).
  3. 박청규, 소에서 분리한 *E. Coli*의 항생물질 및 전달성 내성인자의 분포, 대한수의학회지, 17, 5 (1977).
  4. 원경풍, 태화강 하구를 중심으로 한 유기수는 및 카드뮴의 오염 실내에 관한 조사 연구, 보건장학회보 논문집, 6, 9-13 (1978).
  5. 이정자, 담수어류종의 증균속함량 조사, 서울대학교 보건대학원 석사 논문 (1981).
  6. 일본약학회편, 위생시험법 주해, 금원출판사, (1980).
  7. 임병순, 금강유역의 담수어중 증균속 함량 연구, 고려대학교 대학원 석사논문 (1980).
  8. 윤원용, 하천 수질에 미치는 분뇨 오염에 관한 연구, 성균관대학교 대학원 박사논문 (1986).
  9. 환경청, 환경 오염 공정 시험법 수질편 (1986).
  10. APHA, Standard method for the examination of water and wastewater 14th. Ed., Washington D.C. (1976).
  11. Bergey's manual of determination bacteriology, The Williams & Wilkins Co., Baltimore (1974).
  12. Davis, J.E., Rowand, R., Transmissible multiple drug resistance in enterobacteriaceae, Science, 176, 158 (1972).
  13. Grabow, W.OK., Prozesky, O.W., Smith, L.S., Review paper drug resistant coliform cell for review of water quality standard, Water Res., 8, 1-9 (1974).
  14. Hedges, R.W., Baumberg, S., Resistant to arsenic compounds conferred by a plasmid transmissible between strains of *E. Coli*, J. Bact., 115, 459-460 (1973).
  15. Houba, C., Remacle, J., Antibiotic-resistance Coliform in fresh and salt water, Microb. *E. Coli*, 6, 55 (1980).
  16. Mietz, J.A., Sjogren, R.E., Incidence of plasmid-linked antibiotic-heavy metal resistant entrics in water sediment from agricultural and harbor sites, Water, Air and Soil, 70, 147-159 (1983).
  17. Smith, D.H., R-factor mediate resistance to mercury, nickel, and cobalt, Science, 156, 1114-



1116 (1967).

18. Smith, H.W., Incidence of R<sup>+</sup> *E. Coli* in coastal bathing water of Britain, *Nature Lond*, 234, 155-156 (1971).
19. Smith, H.W., Thermo sensitive transfer factor in chloramphenicol-resistant strains of *Salmonella typhi*, *Lacet II*, 181-182 (1974).
20. Steers, E., Fold, F.I., Graves BS, An inocula replicating apparatus for routine testing of bacterial susceptibility to antibiotics, *Antibiot, Chemother*, 6, 307 (1959).
21. Volterra, L., Environmental fecal pollution and concentration power of the calm chamelea gallina, *Water, Air and Soli Pollution*, 21, 415-424 (1984).
22. 菅野三郎, 福井昭三, 環境公害学, 廣山書店(株) (1978).
23. 小林純, 孫井孔, 村本茂樹, 中會進, カドミウム汚染地区住民のし尿中に含まれる重金属について, *日衛誌*, 25, 80 (1970).
24. 小林, 純林本茂樹, 原一進, 中烏進: カドミウム汚染地区住民のし尿中に含まれる重金属について (第二報), *日衛誌*, 26, 144 (1971).