

萬頃江 主要 支川水의 理化學的 檢査 및 大腸菌群의 分布에 關한 研究

황인담 · 기노석 · 정인호
최문철 · 이재형

전북대학교 의과대학 예방의학교실

A Study on Physiochemical Analysis and Distributions of Coliforms in Major Streams of the Mankyung River

I. D. Hwang · N.S. Ki · I.H. Chong
M.C. Choi · J.H. Lee

*Dept. of Preventive Medicine and Public Health,
College Medicine, Chonbuk National University*

Abstract

This study was performed to investigate present water quality and pollution characteristics of them in the basin area of the Mankyung river near Chonju urban stream.

In order to obtain the pollution characteristics of this investigation, the physio-chemical water analysis as temperature, pH, DO, BOD, Cd, Cu, Pb and Zn, and coliform group and their correlation analysis were determined from March to August 1988.

The main results were summarized as follows;

1. Each chemical constituent detected in three streams has the following variation range as pH(6.7-7.3), DO(1.3-8.9 mg/l), BOD(1.6-162.5 mg/l) and water temperature was dominated by atmospheric temperature.
2. In three streams, concentration range of heavy metal was Cd N.D.-2.8 $\mu\text{g/l}$, Cu 1.1-10.2 $\mu\text{g/l}$, Pb 2.1-13.2 $\mu\text{g/l}$ and Zn 25.6-62.2 $\mu\text{g/l}$, and was shown the order of Zn, Pb, Cu and Cd.
3. In the investigation on the bacteriological pollution in the three streams.
 - 1) The average number of general bacteria contaminated in the Chonju urban stream was 1.7×10^5 numbers/ml, which was higher than 2.6×10^2 numbers/ml, in the Gosan stream and 1.6×10 numbers/ml in the Mankyung river.

- 2) The average number of total coliform, fecal coliform and fecal streptococcus contaminated in the Chonju urban stream which was the highest polluted site than those of the other sampling sites were respectively 2.1×10^5 , 2.1×10^5 and 9.6×10^4 MPN/100ml.
4. Correlation coefficient between GB and TC in the Chonju stream, Gosan stream and Mankyung river was respectively 0.99, 0.96 and 0.99, Correlation coefficient between TC and FC in Chonju stream, Gosan stream and Mankyung river was respectively 0.99, 0.97 and 0.99 and correlation coefficient between FC and TC was respectively 0.99, 0.91 and 0.99. This results mean positively dose relationship between them.
5. The occupied percentage of FC of TC in the Chonju stream, Gosan stream and Mankyung river was respectively 88.1%, 68.4% and 77.9% and the percentage of Tc of TS was respectively 43.5%, 31.6% and 41.4%. These results was considered indicative of pollution derived from domestic wastes which had been contaminated by the feces of inhabitants and domestic animals.

I. 서 론

수질오염은 유기물과 함께 미생물의 오염이 병행하여 발생하는 것이 일반적이며 도시하수에 오염된 수환경에서는 병원균과 함께 공존하는 미생물을 발견하여 동물의 분뇨오염 및 병원균 존재가능성을 확인할 수 있는 지표미생물(indicator microbes)로서 이용하는 것은 보건학적으로 매우 중요하다.¹⁻³⁾

이러한 지표미생물로서 오래전부터 FPI(fecal pollution indicator)로 사용되고 있는 대장균군(total coliforms), 분원성 대장균(fecal coliforms) 및 분원성 연쇄상균(fecal streptococci) 등이 주로 이용되고 있다.^{4,5)} 초기 지표미생물 조사는 병든 동물의 배설물에서 나타나는 분원성 병원균의 배양이나 분리가 어려워 단지 대장균군을 발견하여 간접적인 감염성병원균의 존재 가능성만을 판단하는 지표로써만 이용되어 왔지만, 이에 관한 연구가 계속됨에 따라 오염원의 특성이나⁶⁾ 오염 정도의 파악⁷⁾ 및 폐수처리장의 효율성평가⁸⁾를 위한 지표로도 이용되고 있다.

외국의 경우 지표미생물로서 대장균을 이용한 경우는 Havelaar 등⁹⁾이 폐수의 생물학적 처

리후 염소살균의 효율성을 평가하는 지표로서 박테리오파지와 분원성세균을 이용하였고 Gordon 등¹⁰⁾은 정수처리후 음료수에서 대장균군의 배지를 비교함으로써 개선된 시험방법을 제시하였다. 또한 Jaunego¹⁰⁾는 분뇨의 오염을 판단하는 지표로써 coliphage를 강조하였고 자연수에서 coliphage와 이들의 숙주 그리고 병원성 미생물과의 관계를 설명함으로써 확실한 미생물지표로서의 기준을 제시하고 있으며 대장균군과 분원성 대장균군을 이용한 수질오염 정도 및 오염원특성에 관한 연구도 많은 연구자¹¹⁻¹⁶⁾에 의하여 활발히 진행되어 왔다.

국내에서도 오염원 특성에 따라 구분된 수환경에서 대장균군의 오염도와 분포비 및 대장균군의 상관성을 비교 분석하였고^{6,7)} 식품과 음료수에서 분원성 대장균군에 관한 연구도 보고된 바 있으나¹⁷⁾ 수질오염 지표로서 대장균군을 이용한 연구는 수질보존의 생태학적 측면에서 더욱 강조되어야 한다고 생각된다.

또한 최근의 각종 산업장에서 배출되는 각종 폐하수와 다량의 폐기물로 인하여 수질오염은 생물학적 요인에 의한 것 뿐만 아니라 인위적인 환경조건에 의한 중금속오염도 심화되는 것으로 나타나고 있다. 과거 일본에서 발생한 Minamata 병과 같은 수은중독¹⁸⁾ 및 Itai-itai 병

과 같은 카드뮴중독¹⁹⁾은 막대한 인명피해를 나타낸 대표적인 예로서 중금속에 의한 수질오염에 대해 전세계적인 경각심을 불러 일으킨 바 있다.

최근에는 국내에서도 한강, 금강, 낙동강의 3대강과 특정지역에서 수질의 중금속 오염에 대한 조사가 활발히 진행되고 있으나²⁰⁻²⁴⁾ 만경강 수질에 관한 조사는 김²⁵⁾이 수질과 담수어종의 중금속함량을, 장 등²⁶⁾이 미생물학적 분석을 한 이외에는 미흡한 실정이며, 하천이나 강의 수질에 관한 연구의 대부분이 용존 중금속농도에 관한 조사이거나 이화학적 및 미생물학적 조사로서 좀 더 정확한 수질오염원의 규명이나 오염정도의 파악을 위해서는 중금속 오염정도가 이화학적 및 생물학적 조사와 병행되어 이해되어야만 의미가 있다고 생각된다.

따라서 본 조사에서는 전북지역의 중요한 수자원으로 이용되고 있는 만경강의 오염정도를 파악하기 위하여 주요 지천인 전주천과 고산천의 이화학적 및 중금속조사를 실시하였으며 FPI로 사용되는 대장균군의 분포비와 분포에

대한 상관성을 조사분석함으로써 주요 오염원의 특성을 파악하여 만경강 수질보존에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사지점

채수지점은 환경청의 전국 주요하천 기초조사자료²⁷⁾에 의하여 Table 1에서와 같이 도시하수와 각종 폐수의 배출량 증가에 따라 수질오염 정도가 심각한 수준에 이르고 있는 전주천 2개지점과 수량의 대부분을 생활용수나 농업용수로 사용되고 있는 고산천 2개지점을 선정하고 두개의 유입지천이 합류된 만경강 상류 2 지점을 선택하였다.

선택지점중 전주천과 고산천의 조사지역은 두천간의 수질영향을 받지 않는 지점으로서 합류지점으로부터 400m와 600m정도의 상류지점을 선택하였으며 만경강은 합류지점으로부터 200m와 400m 정도의 하류지점으로 하였다.

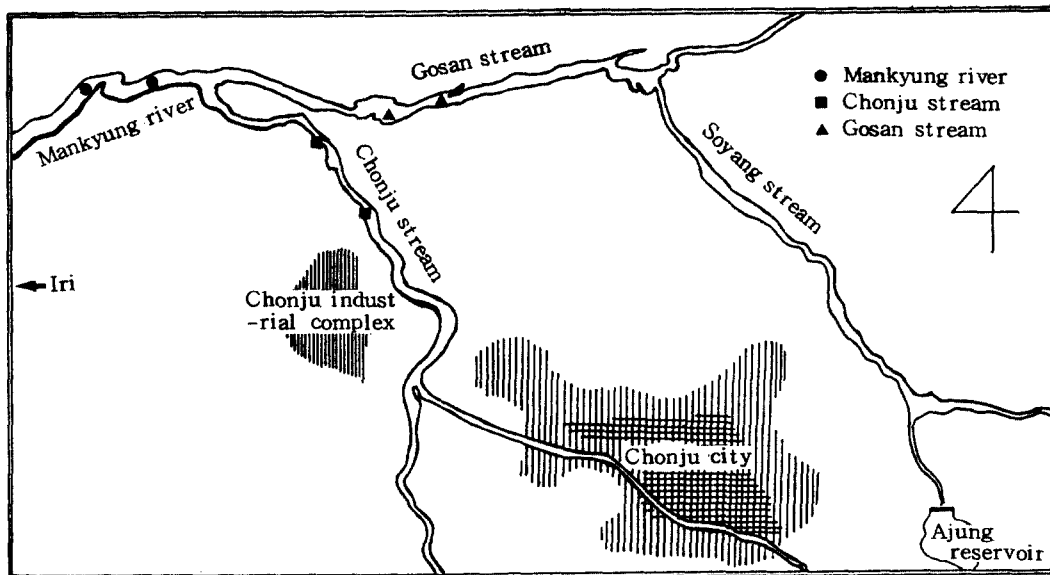


Fig. 1. Sampling sites in Mankyung river

2. 조사기간 및 방법

대장균군의 분석과 이에 대한 상관성을 조사하기 위하여 선정된 각 지점에서 일반 채수방법에 준하여 매주 1회씩 채취하는 것을 원칙으로 1988년 3월부터 8월까지 총 24회를 채수하였으며, 수질의 이화학적 및 중금속 검사는 3월, 5월, 7월 첫째, 세째주에 채수하였다.

채수는 고압증기에 멸균된 300ml polyethylene 병을 이용하여 수중 저질이 혼합되지 않도록 상층수를 취했으며 수질변화를 극소화하기 위하여 얼음상자에 넣어 실험실로 운반한 즉시 실험하였다.

3. 실험방법

1) 이화학적 실험

가) 수온: $1/10^{\circ}\text{C}$ 눈금의 봉상수온 온도계를 사용하여 수심으로부터 수심 $1/3$ (5~20 cm)에서 측정하였다.

나) 수소이온 농도(pH): digital pH meter를 사용하여 측정하였다.

다) 용존산소(DO): 공해공정시험법의 Winkler 법²⁹⁾에 의하여 현장에서 고정하여 실험실에서 측정하였다.

라) 생물학적 산소 요구량(BOD): 공해공정시험법의 직접희석법²⁹⁾에 의하여 측정하였다.

2) 중금속 정량법

시료내 유기물 분해는 질산-황산-과염소산 분해법²⁹⁾에 따라 습식분해시켜 DDTC-Na로 chelate화 하고 MIBK로 유출하였다. 유출된 MIBK는 90°C 열판위에서 휘산시키고 0.1 N 염산용액을 가하여 시료를 5ml로 만들어 측정용 시료로 사용하였고 측정은 원자흡광분광광도계(AAS, IL 551)로 하였으며 측정시 사용된 가스는 airacethylene이었다.

3) 미생물실험

일반세균수(general viable bacterial co-

unt:GB)는 10 단계 희석법으로 희석하여 단계별로 2개의 petri dish에 접종하여 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양하여 계수하였으며 배지는 plate count agar (TGY agar)를 사용하였다. 대장균수군(total coliform group:TC) 시험은 추정시험을 거쳐 BGLB broth에 접종한 후, $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양하였다. 분원성 대장균수군(fecal coliform group:FC)시험은 BGLB broth에서 양상을 나타낸 시험관을 EC medium에 이식하여 $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 수욕탕에서 24시간 배양하였다. 분원성 연쇄상구균수군(fecal streptococcal group:FS)은 azide dextrose broth를 추정시험에, ethyl violet azide broth를 확정시험에 사용하였으며 각각 $35.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양하였다. 이와 같이 실험하여 양성시험관 수를 계수하고 MPN index로 나타냈다.

III. 성 적

1. 이화학적 분석

조사지점의 수질분석결과는 다음과 같다(Table 1).

전주천의 조사기간별 평균치의 범위는 pH 7.0~7.3, DO 1.3~3.5mg/l, BOD 46.6~162.5mg/l로 나타났으며, pH와 BOD는 7월에 가장 높았고 DO는 7월에 가장 낮았다.

고산천의 평균치 범위는 pH 6.8~6.9, DO 6.8~6.9mg/l, BOD 2.1~6.2mg/l로 나타났으며, pH는 3월에 BOD는 7월에 가장 높았으며 DO는 7월에 가장 낮았다.

만경강의 평균치 범위는 pH 7.1~7.2, DO 2.3~4.1mg/l, BOD 33.7~74.7mg/l로 나타났으며 pH와 BOD는 전주천과 같이 7월에 가장 높았으며 DO 역시 7월에 가장 낮았다. 조사지점의 측정항목별 결과는 전주천에서 pH와 BOD가 높았으며 DO는 고산천에서 가장 높게 나타났다.

Table 1. The chemical components of water sampled from 3 streams of the Mankyung River

Sampling site	Month	Temperature(°C)	pH	DO	BOD
Chonju stream	3	8.5(7.2 - 9.6)	7.0(6.7 - 7.1)	3.5(2.5 - 4.7)	46.6(40.1 - 52.4)
	5	23.5(21.5 - 25.6)	7.2(6.9 - 7.3)	1.5(0.5 - 2.1)	61.2(48.5 - 76.3)
	7	27.8(26.5 - 30.1)	7.3(7.0 - 7.4)	1.3(N,D - 2.1)	162.5(74.6 - 246.7)
Gosan stream	3	8.8(7.5 - 9.8)	6.9(6.8 - 7.0)	8.6(7.6 - 10.0)	2.1(1.6 - 2.4)
	5	21.7(20.1 - 23.5)	6.8(6.7 - 7.0)	8.9(7.2 - 10.3)	3.0(2.1 - 4.2)
	7	24.2(22.5 - 26.5)	6.8(6.7 - 7.0)	6.8(5.5 - 8.2)	6.2(4.2 - 7.6)
Mankyung river	3	8.9(7.5 - 9.8)	7.1(7.0 - 7.1)	4.1(2.7 - 5.9)	33.7(28.5 - 41.2)
	5	23.0(21.0 - 25.2)	7.1(6.9 - 7.2)	2.3(1.2 - 3.8)	42.5(31.5 - 56.2)
	7	26.5(24.7 - 28.8)	7.2(7.0 - 7.3)	2.3(0.5 - 3.8)	74.7(41.3 - 92.6)

DO : dissolved oxygen (mg/l)

BOD : biochemical oxygen demand (mg/l)

Table 2. The heavy metal contents of water sampled from 3 streams of the Mankyung river

Sampling site	Month	Cadmium	Copper	Lead	Zinc
Chonju stream	3	0.5(N,D-0.9)*	1.9(1.4 - 2.5)	4.0(2.5 - 6.4)	41.8(23.6 - 65.8)
	5	1.6(N,D-3.3)	3.0(2.5 - 3.6)	4.7(2.5 - 3.6)	53.2(26.5 - 80.5)
	7	1.1(N,D-2.2)	10.2(3.6 - 14.7)	13.2(6.7 - 19.7)	118.1(46.2 - 181.7)
Gosan stream	3	N. D.	1.1(0.5 - 1.6)	2.1(N,D- 3.6)	37.6(23.6 - 54.3)
	5	0.6(N,D- 1.1)	2.2(1.0 - 3.6)	4.6(2.5 - 6.4)	25.6(12.0 - 37.5)
	7	0.3(N,D- 0.5)	4.3(1.6 - 6.7)	6.4(3.6 - 9.8)	42.7(26.5 - 65.8)
Mankyung river	3	0.8(N,D- 2.2)	1.9(1.4 - 2.5)	4.7(2.5 - 7.2)	33.7(18.6 - 48.2)
	6	2.8(1.1 - 4.5)	2.8(2.0 - 0.6)	5.6(3.6 - 7.7)	54.4(16.2 - 101.2)
	7	0.5(N,D- 1.1)	3.7(1.6 - 5.6)	9.1(4.6 - 14.2)	62.2(26.5 - 101.5)

* : range ($\mu\text{g/l}$)

2. 중금속 분석

조사지점의 기간별 중금속 분석결과에 대한 평균치의 범위는 Table 2에서와 같이 전주천에서 카드뮴 0.5~1.6 $\mu\text{g/l}$, 구리 1.9~10.2 $\mu\text{g/l}$, 납 4.0~13.2 $\mu\text{g/l}$ 및 아연 41.8~118.1 $\mu\text{g/l}$ 의 농도를 보였다. 고산천에서는 카드뮴 N. D. ~0.6 $\mu\text{g/l}$, 구리 1.1~4.3 $\mu\text{g/ml}$, 납 2.1~6.4 $\mu\text{g/ml}$ 및 아연 25.6~42.7 $\mu\text{g/l}$ 의 농도를 보였다. 만경강에서는 카드뮴 0.5~2.8 $\mu\text{g/l}$, 구리 1.9~3.7 $\mu\text{g/ml}$, 납 4.7~9.1 $\mu\text{g/l}$

ml 및 아연 33.7~62.2 $\mu\text{g/l}$ 의 농도를 보였다.

모든 조사지점에서의 측정항목별 결과는 구리, 납, 아연은 7월에 전주천에서, 카드뮴은 5월에 만경강에서 가장 높은 농도를 보였다.

3. 대장균군 분석

1) 대장균군 분포

일반세균수 및 대장균군에 대한 실험결과를 Table 3에서와 같이 전주천이 다른 조사지점보다 높게 나타났다.

일반세균수(general viable bacterial count

Table 3. General bacterial count and total coliform group analysed from 3 streams of the Mankyung river by month

Classification	Site	Monthly average						
		Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Average
General bacteria (numbers/ml)	Chonju stream	2.6×10^2	7.0×10^2	1.1×10^3	1.2×10^5	6.0×10^3	9.0×10^5	1.7×10^6
	Gosan stream	1.1×10	2.2×10	4.0×10	1.7×10^2	3.4×10^2	7.0×10^2	2.6×10^2
	Mankyung river	6.0×10	4.0×10^2	8.0×10^2	1.1×10^4	1.1×10^3	8.0×10^4	1.6×10^4
Total coliform group (MPN/100ml)	Chonju stream	3.1×10^2	8.0×10^2	2.0×10^3	1.7×10^6	8.0×10^3	1.1×10^6	2.1×10^5
	Gosan stream	1.2×10	2.6×10	9.0×10^2	7.0×10^2	4.2×10^2	9.0×10^2	3.6×10^2
	Mankyung river	7.0×10	7.0×10^2	9.0×10^2	3.0×10^4	1.7×10^3	2.6×10^5	4.9×10^4
Fecal coliform group (MPN/100ml)	Chonju stream	2.4×10^2	7.0×10^2	2.2×10^3	1.7×10^5	7.0×10^3	1.1×10^6	2.1×10^5
	Gosan stream	$9.0 \times$	1.7×10	6.0×10	5.0×10^2	2.6×10^2	6.3×10^2	2.5×10^2
	Mankyung river	5.0×10	5.0×10^2	7.0×10^2	3.4×10^4	1.3×10^3	2.2×10^5	4.3×10^4
Fecal streptococcal group (MPN/100ml)	Chonju stream	9.0×10	2.7×10^2	1.1×10^3	7.0×10^4	3.4×10^3	5.0×10^5	9.6×10^4
	Gosan stream	< 2	9.0	1.1×10	1.4×10^2	9.0×10	2.1×10^2	7.7×10
	Mankyung river	2.1×10	9.0×10	1.7×10^2	2.1×10^4	8.0×10^2	9.0×10^4	1.9×10^4

; BC)의 조사지점별 평균치는 전주천 1.7×10^5 numbers/ml, 고산천 2.6×10^2 number/ml였고 만경강은 1.6×10^4 numbers/ml로 나타났다.

총대장균군(total coliform group; TC)의 조사지점별 평균오염도는 전주천 2.1×10^5 MPN/100ml, 고산천 3.6×10^2 MPN/100ml였고 만경강이 4.9×10^4 MPN/100ml였다.

총대장균군중 분원성 대장균수(fecal coliform group; FC)의 분포는 전주천이 평균 2.1×10^5 MPN/100ml로 고산천의 2.5×10^5 MPN/100ml나 만경강의 4.3×10^4 MPN/100ml보다 높았으며, 모든 지점에서 TC중의 대부분을 FC가 차지하는 것으로 나타났다.

분원성 연쇄상구균수(fecal streptococcal group; FS)의 분포는 전주천이 평균 9.6×10^4 MPN/100ml로서 가장 높고 만경강이 1.9×10^4 MPN/100ml, 고산천 7.7×10 MPN/100ml의 순으로 나타났다.

2) 대장균군이 상관관계

GB와 TC의 상관정도는 Fig. 2, 3, 4에서와 같이 전주천이 상관계수 $r = 0.99$ ($\log TC = 0.31 + 0.95 \log GB$), 고산천은 상관계

수 $r = 0.96$ ($\log TC = 0.13 + 1.06 \log GB$), 만경강은 상관계수 $r = 0.99$ ($\log TC = -0.31 + 1.17 \log GB$)로 나타나 모든 지점에서 높은 상관관계를 보였다.

TC와 FC를 상관정도는 전주천이 상관계수 $r = 0.97$ ($\log TC = 0.19 + 0.96 \log FC$), 고산천은 상관계수 $r = 0.97$ ($\log TC = 0.23 +$

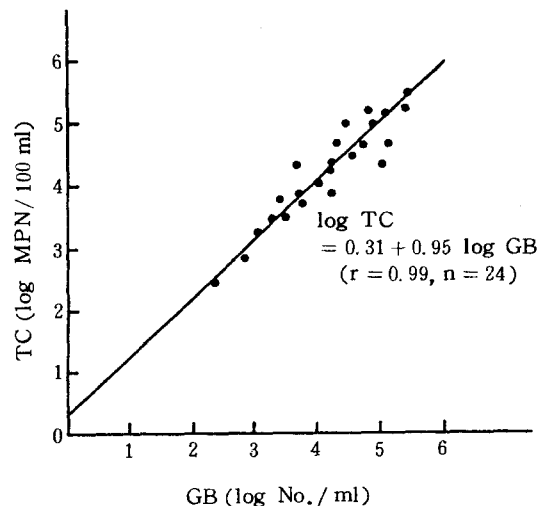


Fig. 2. Correlationship between TC and GB in the Chonju stream.

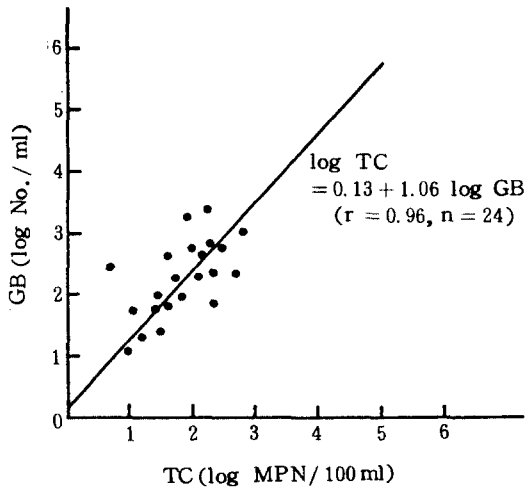


Fig. 3. Correlation between TC and GB in the Gosan stream.

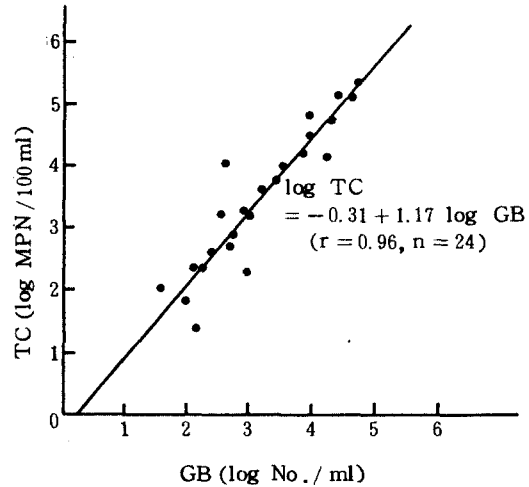


Fig. 4. Correlation between TC and GB in the Mankyung river.

0.97 log FC), 만경강은 상관계수 $r=0.99$ ($\log TC=0.17+0.98 \log FC$)로 나타났으며 TC 중 FC의 비율은 전주천이 평균 88.1%, 고산천 68.4%, 만경강이 77.9%로서 전주천이 가장 높은 비율을 보였다(Table 4, Fig. 5).

FC와 FS의 상관정도는 전주천이 상관계수 $r=0.99$ ($\log FC=0.4+0.98 \log FS$), 고산천은 상관계수 $r=0.91$ ($\log FC=0.5+0.89 \log FS$), 만경강은 상관계수 $r=0.99$ ($\log FC=0.6+0.94 \log FS$)로 분석되었고 FC중 FS의 비율은 전주천이 평균 43.5%, 고산천

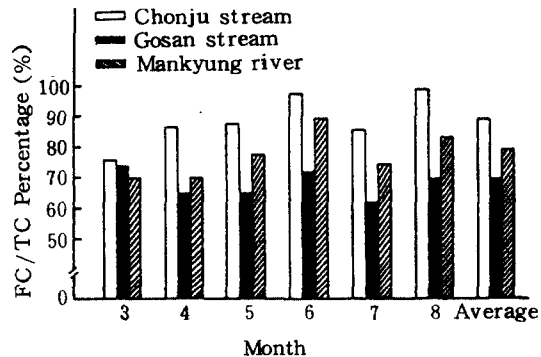


Fig. 5. Monthly variation of the FC/TC percentage in the 3 streams.

Table 4. TC/FC ratio and FC/TC percentage in the 3 stream

Site	TC/FC Ratio						
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Average
Chonju stream	1.3 (74.4)*	1.1 (87.5)	1.1 (88.0)	1.0 (100.0)	1.1 (87.5)	1.1 (100.0)	1.1 (88.1)
Gosan stream	1.3 (75.0)	1.5 (65.3)	1.5 (66.7)	1.4 (71.4)	1.6 (61.9)	1.4 (70.0)	1.5 (68.0)
Mankyung river	1.4 (71.4)	1.2 (71.4)	1.3 (77.8)	1.1 (88.2)	1.5 (76.4)	1.2 (82.3)	1.3 (77.9)

* : FC/TC percentage

Table 5. FC/FS Percentage in the 3 streams

Site	FC/FS ratio						
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Average
Chonju stream	2.6 (37.5)	3.2 (38.6)	2.0 (50.0)	2.4 (41.2)	2.0 (48.6)	2.2 (45.5)	2.2 (43.5)
Gosan stream	4.5 (22.2)	1.9 (52.9)	5.5 (18.3)	3.6 (28.0)	2.9 (34.6)	3.0 (33.3)	3.1 (31.6)
Mankyung river	2.4 (42.0)	5.6 (18.0)	4.1 (24.3)	1.6 (61.8)	1.6 (61.5)	2.4 (40.9)	3.0 (41.4)

: FS/FC percentage

31.6%, 만경강이 41.4%인 것으로 나타났다(Table 5, Fig. 6).

IV. 고찰

1. 수질의 이화학적 특성

수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 생물학적 산소요구량(BOD)에 영향을 미치는 배출원은 가정, 상업시설, 공공기관 등에서 배출되는 도시하수와 식품가공, 제지, 화학약품, 염색, 섬유 등의 제조업체에서 배출되는 공장폐수이며, 카드뮴, 구리, 납, 아연의 중금속 오염에 영향을 미치는 배출원은 도시하수 보다는 도금, 인쇄, 의약, 도료, 제련 및 제조업에서 배출되는 폐수에 기인된다.³⁰⁾

조사기간 중의 수온은 조사지역의 수심이 낮고 유량이 적어 외기온에 따라 좌우되고 있었으며 pH 측정치는 6.7~7.3의 범위로서 변동 범위가 1.0 이내로 우리나라 환경보전법상의 공업용수 기준치인 pH 6.0~8.5를 벗어나지 않았다. 이는 1984년 장²⁶⁾ 등이 조사한 만경강 pH 6.6~6.8, 1983년 홍²¹⁾ 등이 보고한 한강 pH 7.2~7.6, 1982년 강³¹⁾이 조사한 금호강 pH 6.2~7.2, 1981년 류³²⁾이 조사한 영산강 pH 6.9~7.6과 유사한 성적을 보였으며 pH의 규제기준으로는 대부분 양호한 것으로 나타났다.

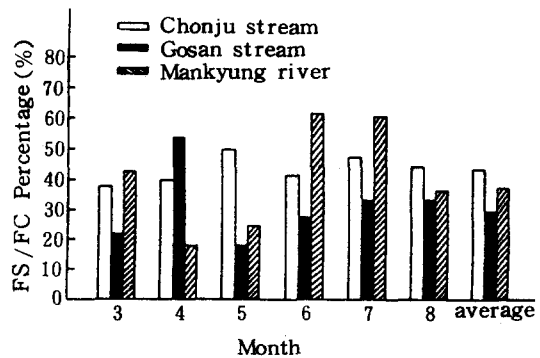


Fig. 6. Monthly variation of the FC/TC percentage in the 3 streams.

용존산소 농도는 물의 온도, 기압 및 오염물질의 양에 영향을 받으나 보통 1기압 20℃의 표준상태에서 9.0 mg/l의 포화농도를 보이며 4 mg/l 이하에서는 담수어가 생존하기 어렵다.³⁰⁾

조사기간 중의 용존산소는 하수의 유입이 없는 고산천이 6.8~8.6 mg/l로 자연환경 보전 기준치인 7.5 mg/l에 미치고 있으나 전주천의 경우에는 5~7월 사이에 1.3~1.5 mg/l로 생활환경보전 기준치인 2 mg/l에도 미치지 못해 농업용수 뿐만 아니라 공업용수로서도 부적합한 상태였다. 이는 1984년 홍³³⁾ 등이 보고한 안양천 용존산소 1.0~1.8 mg/l와 비슷한 수준으로 각종 유기성 하수 및 폐수에 의해 오염되었음을 알 수 있었으며 조사

기간 중 5~7월에 나타난 극심한 갈수기 현상으로 더욱 악화되었을 것으로 생각된다.

생물학적 산소요구량(BOD)은 수질오염 판정의 가장 일반적인 지표로서 분해성 유기물질의 오염정도를 알 수 있으며 일반적으로 농도가 10 mg/l 이상이면 악취가 발생한다.³⁰⁾ 조사기간 중의 BOD는 고산천이 2.1~6.2 mg/l로 농공업용수 규제치인 6.0 mg/l에 적합하였으나 장²⁶⁾ 등이 조사한 고산천 상류의 0.8~2.6 mg/l 보다 높게 나타난 것은 조사지역이 하류로서 유속이 완만하고 군소도시를 경유하며 오염부하량이 증가된 것으로 생각된다. 또한 극심했던 6월의 갈수기에 의한 영향과 수온의 급증으로 전주천의 7월 BOD농도는 162.5 mg/l, 만경강 74.7 mg/l로 3월에 조사된 전주천 46.4 mg/l, 만경강 33.7 mg/l보다 높은 오염상태를 나타냈으며 이는 1982년 강³¹⁾이 조사한 금호강의 28.8~122.4 mg/l와 비슷한 성적을 보였으나 1984년 장²⁶⁾ 등이 조사한 전주천의 36.5 mg/l 보다 높은 값을 보여 만경강 수질오염 현상은 악화되고 있는 것으로 나타났다.

카드뮴은 납, 구리 및 아연 등의 중금속과 유사한 화학적 성질을 지니고 있어 자연상태에서도 높은 상관성을 갖고 함께 존재하고 있는 유해중금속으로 수중 농도는 일반적으로 불검출 - 0.5 µg/l 정도이나 폐수에 의한 오염이 심한 경우에는 10 µg/l 이상 증가하는 경우도 있다.³²⁾ 조사기간 중의 카드뮴 농도는 폐수의 영향을 받는 전주천이 0.5~1.6 µg/l, 만경강이 0.5~2.8 µg/l로 자연환경보전 기준치인 10 µg/l 보다는 낮았으나 고산천의 불검출 - 0.6 µg/l 보다는 높게 나타났으며 김²⁵⁾이 조사한 만경강 불검출 - 0.5 µg/l 와도 큰 성적차이를 나타냈다. 이러한 성적차이는 김²⁵⁾의 조사시기가 우수기인 9월로서 용존 중금속량이 유량의 증가로 인하여 희석된 것이 주된 요인이겠으나, Mathis³⁴⁾의 보고에서와 같

이 하천의 하류로 갈수록 오염물질의 부하량 증가로 인하여 상류보다 중금속 농도가 높아진다는 결과와도 일치하고 있다.

구리는 동, 식물 조직에 있어서 철대사와 플루의 세포형성에 관여하는 필수 미량 금속으로 밝혀져 있으나 수중에 용존되어 있는 구리는 수온을 제외한 다른 중금속들에 비해 수중생물에 대한 독성이 강한 것으로 알려져 있다.³³⁾ 구리의 수중농도는 일반적으로 5 µg/l 이하로서²⁵⁾ 본 조사에서도 갈수기 때의 전주천을 제외하고는 대체로 5 µg/l 이하의 농도를 보였으며 1977년 이³⁶⁾ 등이 조사한 전국 음료수 및 지표수의 구리 평균농도는 7.6 µg/l 보다 약간 낮은 성적을 보여 만경강 수질의 구리에 의한 오염정도는 낮은 것으로 나타났다.

납은 인간에게 알려진 가장 오래된 중금속의 하나로 폐수를 통하여 수계에 배출되고 생물체 내에서 조혈기능의 장애를 일으키는 유해중금속으로 알려져 있으며 일반적으로 오염되지 않은 하천수의 납 농도는 3 µg/l 이하이나 공장이나 광산 폐수의 유입이 심한 지역에서는 500 µg/l 이상의 농도를 보이기도 한다.³⁴⁾ 조사기간 중의 납 농도는 전지역에서 2.1~13.2 µg/l로 김²⁵⁾이 조사한 만경강 2.5~10.3 µg/l의 범위와 유사하였고, 음료수 규제농도인 100 µg/l에 비하여 현저히 낮아 만경강 수질의 중금속 오염은 유기물 오염정도에 비하면 낮다고 할 수 있다.

아연은 필수 미량금속으로 체내 여러 효소의 구성원소 및 조효소로 작용하며 과량섭취에 의한 독성은 다른 중금속에 비해 적은 금속으로 알려져 있으며 오염되지 않은 하천수의 일반적인 함량은 0.5~15 µg/l 정도이다.²⁵⁾ 조사기간 중의 아연 농도는 갈수기인 7월에 전 지역에서 42.7~118.1 µg/l의 범위로 나타나 김²⁵⁾이 조사한 만경강 상류의 14.2~37.3 µg/l 보다는 높았으며 유량에 의한 농도차가 큰 것으로 나타났으나 김³⁷⁾ 등이 조사한 공장폐수의 영

향을 받는 금호강의 21.0~942.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 보다는 현저히 낮았다. 이와 같이 공장폐수의 직접적인 영향을 받는 중금속 농도는 전 조사지역에서 우리나라 환경보전 수질기준 이내에 부합하였으나 이화학적 검사에서 나타난 것과 같이 도시하수에 의한 유기물질의 오염정도는 환경보전 수질기준치를 초과하고 있었고 조사기간 중의 갈수기와 우수기에 따른 농도차이가 크게 나타났다.

2. 대장균군의 특성

대장균군은 크게 *Escherichia coli* (*E. coli*), *intermediate and aerobacter aerogenes* (IAA) 및 *intermediate aerogens cloaca* (IAC)로 분류되며 35 °C에서 48시간 이내에 lactose를 발효시키는 세균들로서, 특히 *E. coli*는 동물의 배설물에서 발견되므로 fecal pollution indicator로 사용된다.^{5,8,14)} 또한 미생물은 지수적으로 증식하기 때문에 미생물간의 상관정도를 나타내기 위해서는 일반적으로 상용로그를 사용하기 때문에⁸⁻¹⁰⁾ 본 조사에서도 log 상관을 이용하여 조사결과에 대한 특성을 고찰하였다.

조사기간 중 일반세균수(GB)와 총대장균군(TC)은 모든 조사지점에서 높은 상관성을 보여 여러 연구자^{6-14,14)}의 보고와 일치하고 있으며 TC의 개체군 밀도는 모든 조사지점에서 3월에 가장 낮은 12~310 MPN/100 ml의 범위로서 상수원수 2급 기준치에 적합하였으나 8월에는 $9.0 \times 10^2 \sim 1.1 \times 10^6$ MPN/100 ml의 범위를 보여 생활환경 기준을 벗어나고 있었으며 1982년에 보고된 전국 하천수질조사²⁷⁾에 의한 만경강 대장균수 3.6×10^6 MPN/100 ml와는 비슷한 수준이었다. 이와같이 TC의 밀도가 조사시기에 따라 높은 성적차이를 보이는 것은 Cooke⁴⁾의 보고에서와 같이 TC의 증식은 수중 온도에 가장 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다.

총대장균군(TC)과 분원성 대장균군(FC)의 분포비는 자연계에서 증식하는 비분원성 대장균군(non-fecal coliform group)과 FC를 비교할 수 있고, FC의 오염을 나타내는 지표로서 수중 대장균군의 오염도에 대해 보다 정밀한 오염원 자료를 제공하는 중요성이 있다.^{10,18)} 조사기간 중 전주천에서 TC중 FC가 차지하는 평균비율은 88.1%로 고산천 68.4%, 만경강 77.9%보다 높게 나타났으며 월별 변화에서는 기온이 높아질수록 FC가 차지하는 비율이 높아지고 있는데 이는 FC의 증식에 최적온도가 44.5 °C로서¹⁶⁾ 온도가 높을수록 호조건이 되기 때문이며 갈수기에 유량의 감소로 인한 오염부하량의 증가에 따른 영향도를 것으로 생각한다. 특히 전주천의 6월과 8월에는 FC의 분포가 100%를 보였으며 이는 1983년 심²⁴⁾ 등이 조사한 중량천의 FC분포비 95%, 김⁷⁾이 조사한 도시하천의 평균 분포비 59%보다 현저히 높은 분포비로서 갈수기때에 전주천은 인간과 가축의 분뇨에 의한 FC의 오염이 심한 것으로 나타났다.

TC와 FC의 상관관계 역시 전주천 0.99, 고산천 0.97, 만경강 0.99로서 매우 높은 상관을 보였으며 김⁷⁾이 조사한 도시하천에서의 상관성 0.97, 지천 0.95 및 호수 0.80보다 높은 상관으로 평가되었다. 이에 대하여 Hufham¹⁴⁾은 일반적으로 오염이 심한 지역일수록 TC와 FC의 상관은 매우 높고 청정 지역일수록 상관성이 낮다는 결과에 비교할 때 본 조사지역의 오염정도는 매우 높다고 판단되며, 특히 전주천의 상관성이 매우 높아 하류지역인 만경강에 직접적인 영향을 초래하고 있는 것으로 생각된다.

분원성 연쇄상구균(FS)은 인간의 위장이나 온혈동물, 특히 닭의 분뇨에 많이 존재하고 있으므로 FS는 *S. fecalis*, *S. fecalis subsp. liquefaiens*, *S. fedalis subsp. zymogenes*, *S. fe-cium*, 및 *S. equinus*를 포함하고 있다.¹⁹⁾ 이

리한 FS의 분석은 수질의 세균학적 정보를 제공하고 있으나 본 연구에서는 분뇨에 의한 오염원을 추정하는데 목적이 있으므로 FC 중 FS의 비율을 분석하고 상관성을 조사하였다. 조사 기간 중 전주천에서 FC 중 FS가 차지하는 평균비율은 43.5%(FC/FS:2.2)로 고산천 31.6%(FC/FS:3.1) 만경강 41.4%(FC/FS:3.0)보다 높게 나타났으며 월별 분포비는 전주천이 37.5~50.0%범위로서 5월에 가장 높았고, 고산천은 18.3~52.9%로 4월에 만경강은 18.0~61.8%로 6월에 가장 높은 분포비를 보였다.

일반적으로 FC/FS비가 4.1 이상이면 오염의 주요 원인은 사람의 분뇨를 포함한 가정하수가 근원이고 0.7 이하일 경우에는 가축의 분뇨에 의한 오염이 대부분을 차지하며 0.7~4.4의 범위일 경우에는 가축과 사람의 분뇨가 혼합된 하수가 오염의 주원인인 것으로 판정한다.¹⁸⁾ 따라서 본 조사에서 나타난 오염은 가축의 분뇨와 혼합된 가정하수가 수질오염의 근원인 것으로 판단할 수 있다. FC와 FS의 상관관계 역시 전주천 0.99, 고산천 0.91, 만경강 0.99로서 매우 높은 상관을 보였으며, 이는 김등¹⁹⁾이 조사한 축산 폐수처리 시설의 방류수에서 나타난 상관계수 0.7보다 높은 값으로 만경강을 포함한 유입 지천의 오염은 사람이나 가축의 분뇨에 의한 오염이 큰 것으로 판정되었다.

V. 결 론

전북지역의 중요한 수자원으로 이용되고 있는 만경강 상류 및 그 유입지천 수역을 대상으로 1988년 3월부터 8월까지 6개월 동안 이화학적 및 중금속 검사를 실시하였으며, 대장균군의 오염도 및 분포비를 조사하고 이들의 상관성을 분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 수질의 수온은 대기온에 좌우되고 있으며 pH는 평균 6.7~7.3으로 중성의 액성이었다. DO는 전주천 1.3~3.5 mg/l, 고산천 6.8~8.9 mg/l, 만경강 2.3~4.1 mg/l의 범위였으며, BOD는 전주천 46.6~162.5 mg/l, 고산천 1.6~7.6 mg/l, 만경강 33.7~74.7 mg/l의 범위로 전주천의 오염이 가장 심한 상태였다.

2. 중금속 평균함량은 전 조사수역에서 카드뮴 불검출 -2.8 µg/l, 구리 1.1~10.2 µg/l, 납 2.1~13.2 µg/l 및 아연 25.6~62.2 µg/l로 나타났다.

3. 조사수역에서의 세균학적 평균오염도는 일반세균수가 전주천 1.7×10^4 /ml로서 고산천의 2.6×10^2 /ml와 만경강의 1.6×10^4 /ml보다 높았다. total coliform은 전주천에서 2.1×10^5 MPN/100ml로서 고산천의 3.6×10^2 MPN/100ml와 만경강 4.9×10^4 MPN/100ml보다 높았다. fecal coliform은 전주천에서 2.1×10^5 MPN/100ml로서 고산천의 2.5×10^2 MPN/100ml와 만경강 4.3×10^4 MPN/100ml보다 높았다. fecal streptococcus는 전주천에서 9.6×10^4 MPN/100ml, 고산천 7.7×10^4 MPN/100ml, 만경강 1.9×10^4 MPN/100ml로 지역간의 차이가 컸다.

4. TC와 FS의 상관성은 전주천과 만경강이 $r=0.99$, 고산천은 $r=0.91$ 로 나타났으며 FC 중 FS의 분포율은 전주천이 43.5%, 고산천 31.6% 및 만경강 41.4%로 나타나 전주천을 중심으로 만경강 상류 유역의 오염원은 대부분이 사람과 가축의 분뇨를 포함한 가정하수인 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. Gunther, F.C., Leland, J.M. and James, M.M.: Waterborne disease outbreaks in the United States. J. of Amer. Water

- Works Assoc., 68(8), 420, 1976.
2. Gunther, F.C. and Robert, A.G.: Outbreaks of waterborne disease in the United States. *J. of Amer. Water Works Assoc.*, 71, 218, 1979.
 3. Ralph, R.: Water pollution microbiology: The coliform count as a measure of water quality. Prentice-Hall Inc., Englewood, pp. 82-97, 1972.
 4. Cooke, M.D.: Antibiotic resistance in coliform and fecal coliform bacteria from natural waters and effluents. *Newzealand J. Marine and Freshwater Res.*, 10, 391, 1976.
 5. Feachem, R.: An improved role for fecal streptococci ratios in the differentiation between human and non-human pollution sources. *Water Res.*, 9, 689, 1975.
 6. 김동문, 송준상, 이문호, 이수태 : 수질오염에 따른 지표미생물 분포비에 관한 조사연구, *국립환경소보*, 3 : 143~148, 1981
 7. 김화순 : 수질중 대장균군의 분포비와 그 기준검토에 관한 연구, *서울대학교 보건대학원 석사학위논문*, 1987
 8. Havelaar, A.H., Nieuwsted, Th.J.: Bacteriophages and fecal bacteria as indicators of chlorination efficiency of biologically treated wastewater. *J. WPCF*, 57(11), 1084-1088, 1985.
 9. Gordon, A., McFeters.: Injured coliforms in drinking water. *App. and Env. Micro.*, 51(1), 1-5, 1986.
 10. Juan, J.B.: Coliphages as indicator of fecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganism. *Water Res.*, 21(12), 1473-1480, 1987.
 11. Martha, C.: Survival and enumeration of the fecal indicators *Bifidobacterium adolescentis* and *Escherichia coli* in a tropical rain forest watershed. *App. and Env. Micro.*, 50(2), 468-476, 1985.
 12. Watkins, W.D. and Cabeli, V.J.: Effect of fecal pollution on vibrio parahaemolyticus densities in an estuarine environment. *App. and Env. Micro.*, 49(5), 1307-1313, 1985.
 13. Bagley, S.T. and Seidler, R.J.: Significance of fecal coliform positive Klebsiella. *App. and Env. Micro.*, 33, 1141, 1977.
 14. Hufham, J.B.: Evaluating the membrane fecal coliform test by using *Escherichia coli* as the indicator organisms. *Applied Microbio.*, 27(4), 771-776, 1976.
 15. ORSANCO Water Users Committee : Total coliform: fecal coliform ratio for evaluation of raw water bacterial quality. *J. Water Poll. Contr. Fed.*, 43(4), 630-640, 1971.
 16. Bonde, G.J.: Bacterial indication of water polluton. In Droop, M.R. & Jannasch, H.W. (eds.), *Advances in aquatic microbiology*. Academic Press, New York, p. 213, 1977
 17. 이성관, 정문식, 이용욱 : 빙과류의 위생학적 고찰, *공중보건잡지*, 9 : 318~325, 1972
 18. Hammond, P.B. and Beiles, R.P.: Casarett and Doull's Toxicology. 2nd ed., Macmillan Publishing Co., Ned York, pp. 421-435, 1980.
 19. Clarkson, T.W.: Disease associated with exposure to metal: Cadmium. 11th ed., *Appleton-Century-Crofts*, New York. pp. 667-669, 1980.
 20. 최상, 정태화, 정희상 : 한강의 영양염류

- 및 주요 이온유의 년변화와 그 수질적 고찰, 한국해양학회지, 3(1), 26~38, 1968
21. 홍순우, 하영철, 안태석, 이건형 : 남북한 강의 수질과 미생물군의 동태에 관하여, 환경보존협회, 4, 15~25, 1983
 22. 최연호, 이서래 : 낙동강 중류 수계의 수질조사 연구, Korean J. Environ. Agric., 1(1), 10~25, 1982
 23. 최신석, 박종성 : 금강하류 수역의 수질오염과 보호어류 및 특산어류 조사, 자연보존연구 보고서, 1, 241~256, 1979
 24. 심웅기, 이기철, 한상욱, 김종택, 신상철 : 중량천유역 수질환경 조사연구, 국립환경연구원보, 6, 155~178, 1984
 25. 김남송 : 만경강 담수어중 중금속 함량에 관한 연구, 예방의학회지, 21, 121~131, 1988
 26. 장광엽, 박분국 : 만경강 수질의 미생물학적 분석, 환경생물, 2(2), 54~65, 1984
 27. 이홍근, 조광명, 이용욱, 이영환, 권숙표 : 전국 주요하천 기초조사, 국립환경연구원보, 4, 227~237, 1982
 28. APHA, AWWA, WPCF: Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed., pp. 876-913, 1985.
 29. 환경청 : 환경오염공정시험법, 환경청, 서울, pp, 539~541, 1983
 30. Murdoch, W.W.: Environment resources, pollution and society. 2nd ed., Sinauer Associates Inc. Publishers, Aaunderland, pp. 251-270, 1975.
 31. 강희양 : 금호강의 수질오염에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 8(2), 1~11, 1982
 32. 류일광, 이치영, 김병환, 강영식 : 영산강의 수질오염에 관한 연구, 광주보전논문집, 6, 21~36, 1981
 33. 홍사욱, 박찬보 : 안양천의 수질과 용존중금속의 분포에 관한 조사연구, 한국육수학회지, 17(1), 33~40, 1984
 34. Morre, J.W. and Ramamoorthy, S.: Heavy metals in natural waters. Springer-Verlag Inc., New York, pp. 44-45, 1984.
 35. Mathis, B.J. and Cummings, I.T.: Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. J. WPCF., 45, 1573-1579, 1973.
 36. 이종훈, 정동균, 김관식, 이효재, 정태영 : 음료수 및 지표수의 수종 성분, 대한구강생물학회지, 2(2), 7~25, 1978
 37. 김두희, 송현달, 금호강유역의 수질, 토양 및 무우의 중금속 함량, 경북대학교 산업개발연구소 연구보고, 12, 131~144, 1984