

낙동강 하구수의 변이원성에 대한 연구

윤 명 희 · 김 지 혜 · 大津 隆一 · 민 병 윤*

경성대학교 자연과학부 · 九州保健福祉大學 保健科學部 · 江南대학교 토목환경공학부
(2000년 8월 1일 접수)

Mutagenicity of River Water of Nakdong River Estuary in Korea

Myung-Hee Yoon, Ji-Hye Kim, Ryuich Otsu* and Byung-Yoon Min**

Division of Natural Sciences, Kyungsoo University, Pusan 608-736, Korea · Faculty of Health Science, Kyushu University of Health and Welfare, Nobeoka-city, Miyazaki 882-8508, Japan · *Division of Architectural, Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan 630-701, Korea.
(Manuscript received 1 August, 2000)

The mutagenicity of the river water of Nakdong river estuary was determined by Ames test using the blue rayon suspension method. Samples were collected from 10 sites in the estuary once in each season of 1998. The samples collected from the sites where industrial waste water discharge on May were mutagenic, but the other samples were not mutagenic. The sample collected from the site 1 located near the industrial area (Hadan-dong) were highly mutagenic in the TA98 with (+S9) and without (-S9) S9 mix as well as in the TA100 with (+S9) and without (-S9) S9 mix, suggesting that the river water of this site is polluted by direct and indirect mutagens of frame-shift type as well as direct and indirect mutagens of base-replacement type. The positive mutagenicity, although relatively low, was also detected in TA98 with (+S9) and without (-S9) S9 mix in the extract of the site 4 near the industrial area(Jangrim-dong), suggesting that the primary mutation type is frame-shift. The negative mutagenicity from July to December at the sites (1-4) near the industrial area seems to be affected by the low economic growth rate in 1998 in Korea. On the other hand, the negative mutagenicity in all extracts collected from the sites 5-10 near the residential area where living sewage discharge, suggests that the river water was not polluted by mutagens.

Key words: Ames test, mutagenicity, Nakdong river estuary

1. 서 론

최근 복합적인 오염원 특히 돌연변이원 또는 암유발 물질과 같은 오염원에 의한 강물오염이 크게 문제되고 있는데, 이들 변이원성 물질들로서는 금속 제련공장이나 반도체 공장 등에서 배출되는 유기용매 등의 유기화합물이나 농경지나 골프장 등에서 배출되는 농약 등을 들 수 있다. 환경 중의 돌연변이원이나 암유발물질에는 3환 이상의 다환화합물이 많은데, blue rayon은 수용액 중의 이들 화합물들을 강하게 흡착할 수 있는 물질로 알려져 있어, 최근 blue rayon을 이용한 수질오염에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{1,2)} 한편, 변이원성(mutagenicity)을 검출하는 일은 돌연변이원 또는 암의 원인 물질을 알아내는 제 1 단계로서 매우 중요하다. 특히 환경 중의 발암물질을 찾아내어 그 물질에 대하여 인간과 보호대상 동물들이 접촉하지 않도록 대책을 세우는 일은 암 예방이나 동물보호를 위하여 매우 중요한 일이라 할 수 있으며, 변이원성을 검출하는 방법으로 *Salmonella* 균을 이

용하는 Ames법이 가장 광범위하게 이용되고 있다.⁶⁾

낙동강 하구는 각종 철새들의 먹이가 풍부하고 강물의 흐름이 느려서 다수의 삼각주가 발달하고 간석지가 잘 발달된 세계적인 철새도래지로 알려져 왔다. 그러나 구미, 대구, 부산 등의 대도시에서 방류되는 생활폐수와 이들 도시를 중심으로 형성된 공업단지에서 배출되는 산업폐수로 인하여 낙동강의 물은 날이 갈수록 오염되어가고 있으며, 1987년의 낙동강 하구연의 축조로 인하여 조류의 정체현상은 가속화하였다. 따라서 낙동강의 오염은 매우 심각한 문제로 대두되고 있으며, 낙동강 본류와 상류의 하천수에서는 돌연변이원 일으킬 수 있는 변이원성 물질이 검출된 바 있다.^{2,3)}

본 연구에서는 낙동강 하구에 대한 변이원성 물질에 의한 오염 상황을 파악하기 위하여, 낙동강 하구 10개 지점에서 blue rayon법을 이용하여 변이원성물질을 흡착하였으며, *Salmonella* 균을 이용한 Ames test를 이용하여 3환 이상의 다환화합물에 의한 변이원성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역

낙동강 하구 지역의 오염원을 정확히 알기 위하여 조사지역을 10개 지역으로 세분하였다(Fig. 1).

즉 조사 지점은 하단, 장림 지역의 하천을 지나 무명도에 이르는 4개 지점(1-4지점), 을숙도와 명지 주거단지 사이로부터 신사도에 이르는 2개 지점(5, 6지점) 그리고 녹산의 수문 부근부터 신호지방공단을 거쳐 진우도 남쪽에 이르기까지의 4개 지점(7-10지점)이었으며, 맑은 날을 택하여 계절별로 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 즉 1998년 5월 27-28일, 7월 20일-21일, 10월 8-9일 및 12월 14-15일에 걸쳐 시료를 채취하였다. 그러나 5월 조사시의 제 2와 8지점 및 10월 조사시의 제 1지점의 blue rayon이 분실되어 있었다. 한편, 7월은 장마 시기로서, 15일에는 102.9 mm의 비가 내렸고, 시료채취 전날인 19일과 blue rayon 수거 당일인 21일에는 각각 28 mm와 16 mm의 비가 내려 유량 및 유속이 증가되어 있었다.¹¹⁾

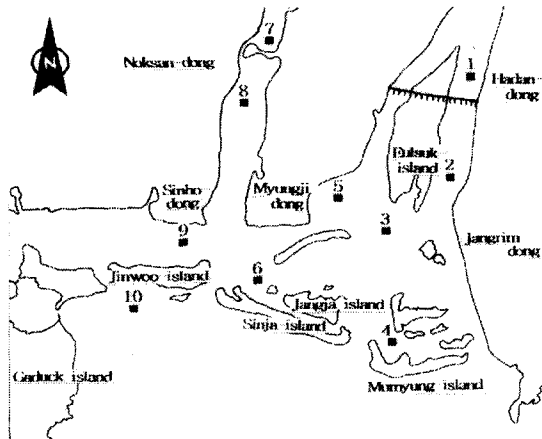


Fig. 1. Location of sampling sites at Nakdong river estuary.

시료 채취 지점 중, 제 1-4지점의 동쪽은 기계, 금속, 페인트, 화학공장 등이 분포되어 있는 사상, 하단, 장림 등의 공업단지와 접해 있으며, 따라서 이들 지점들의 수질은 인근의 공단에서 처리되지 않은 상태로 방류되는 산업폐수의 영향을 상당히 받을 것으로 추측된다. 또한 제 5-6지점 및 제 7-10지점과 인접된 지역은 각각 명지 주거단지와 아직 본격적으로 공단이 조성되지 않은 신호공단으로서, 이들 지점의 수질은 주로 생활 하수 등에 의하여 영향을 받을 것으로 추측된다. 한편 제1과 7지점은 하구언 건설로 인하여 주로 담수로 이루어지며, 중단기적으로 강물의 흐름이 차단되므로 무기 및 유기화합물의 침전으로 인하여 저질(하천 퇴적층)의 오염이 있을 것으로 예상되는 지점이다.

2.2. 실험방법

시료채취는 BR suspension method¹¹⁾에 의하여 각 구역에 blue rayon을 현수시켰다. Blue rayon(BR)은 Funakoshi

제약회사 제품으로, 각 BR은 25 μ mol/g의 copper phthalocyanine 유도체를 포함하며, 0.5g의 BR을 포함하는 6개의 nylon net에는 나무판이 연결되어 있다. 24시간 후, BR을 회수하여 증류수로 세정하였으며, 종이타올을 이용하여 수분을 제거한 후, methanol과 농암모니아수 50:1의 혼합액 80ml로 두 번 용출하였다. 얻어진 추출물은 두 번 혼합하여 건조시켰다. 잔여물은 소량의 methanol로 녹여 변이원성 test를 위하여 시험관에 넣은 후 methanol을 증발시킨 후 0.1ml의 DMSO(dimethyl sulfoxide)에 녹였다.

변이원성은 S9 mix 존재(+S9) 및 비존재(-S9)하에서 각각 *Salmonella typhimurium* TA98과 TA100⁵⁾을 이용한 Ames test⁶⁾에 의하여 판단하였다. 48시간동안 섭씨 37도로 배양한 후, 복귀 돌연변이를 일으킨 colony의 수를 세었고, 시료의 변이원성은 복귀 돌연변이의 colony의 수가 용량 의존적일 때 양성으로 판단하였다. 직접적인 방법에 의한 대조실험을 위해서는 furylfuramide와 4-nitroquinoline-N-oxide를 이용하였고, 간접적인 방법에 의한 대조 실험을 위해서는 benzo(a)pyrene을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

분실된 시료를 제외한 37개의 시료를 분석한 결과, 5월에 채집한 시료에서만 변이원성이 검출되었고 7월, 10월 및 12월에 채집한 시료에서는 변이원성이 검출되지 않았다. 따라서 5월의 실험결과만을 Table 1과 Fig. 2, 3에 제시하였다. 세포주의 감도는 매 실험 시의 미세 조건에 따라 다르므로 동시에 같은 조건하에서 실험을 하지 않는 한, 복귀돌연변이의 colony의 수로써 실험결과를 비교하기는 어렵다. 그러나 본 연구에서 채취한 모든 시료에 대한 실험 결과, 전반적으로 TA100 세포주의 경우 TA98 세포주에 비해서 복귀 돌연변이를 일으킨 colony의 수가 많아, 비교적 높은 변이원성을 나타냄을 알 수 있었다(Table 1).

Table 1. Mutagenicity of blue rayon extracts collected on May 1998 in Nakdong river estuary for *Salmonella* tester strains TA 98 and TA 100

Site	Dose (μ g/plate)	TA98		TA100	
		(-) S9mix	(+) S9mix	(-) S9mix	(+) S9mix
1	100	248	228	598	698
	50	175	139	345	425
	25	95	104	195	298
	12.5	48	62	195	168
	6.25	29	38	148	148
3	100	36	105	215	204
	50	35	67	186	168
	25	24	35	164	158
	12.5	29	26	153	155
	6.25	35	24	128	146

낙동강 하구수의 변이원성에 대한 연구

4	100	164	149	195	176
	50	86	98	167	158
	25	39	64	168	136
	12.5	26	35	158	138
	6.25	24	28	135	130
5	100	35	86	132	132
	50	31	47	134	126
	25	29	38	125	127
	12.5	35	28	129	126
	6.25	26	21	126	127
6	100	75	35	134	136
	50	48	26	135	132
	25	35	35	126	126
	12.5	26	34	127	127
	6.25	28	32	120	128
7	100	39	28	187	138
	50	34	32	157	128
	25	26	35	153	126
	12.5	31	28	134	125
	6.25	28	26	126	130
9	100	42	29	176	168
	50	35	32	159	149
	25	26	28	136	153
	12.5	27	24	135	135
	6.25	26	30	129	125
10	100	26	29	136	132
	50	34	24	132	126
	25	28	27	132	125
	12.5	29	26	128	125
	6.25	21	20	126	128

한국에서의 하수 처리는 대부분 2차 처리만으로 그치므로, 하천수의 수질은 인접지역에서 방류되는 산업폐수, 생활폐수 및 전담이나 골프장에 산포되는 농약의 양에 크게 영향을 받는다. 본 연구 결과에서도 공업지역에 인접한 제 1 및 제 4지점에서 채취한 5월의 시료로부터 현저한 변이원성이 나타났는데(Table 1, Fig. 2, 3), 따라서 이들 지역의 변이원성은 인접 공업지역에서 방출되는 폐수의 영향에 의한 것으로 추정되었다. 즉 5월에 채취한 제 1지점의 시료의 경우, 각각 S9 mix존재 및 비존재 하의 TA98과 TA100 세포주 모두 현저한 용량 의존적 양성 반응을 나타내어(Table 1, Fig. 2), 이들 지점에 대한 변이원성의 돌연변이형은 frame shift형의 직접 및 간접 돌연변이(TA98)와 염기치환형의 직접 및 간접돌연변이(TA100)임을 시사하였다. 특히 이 지점은 막혀 있는 하구언의 독으로 인하여 하수의 순환이 어려운 지역이므로, 이 곳의 지역적인 조건으로 인하여 매우 강한 양성 반응이 나타난 것으로 생각되었다. 제 4지점의 시료의 경우도, TA98은 S9mix존재 및 비존재 하에서 제 1지점에 비하여 약하기는 하지만 양성반응을 나타내어, 이 지점에 대한 변이원성의 돌연변이형은 frame shift형의 직접 및 간접돌연변이임을 시사해주고 있다(Table 1, Fig. 3). 한편 제 3지점의 경우, S9mix 존재 하의 TA98 및 S9mix존재와 비존재 하의 TA100 세포주에서 현저한 용량 의존적 양성반응을 보이지는 않았지만, 제 5-10지점의

경우에 비해서 복귀 돌연변이의 colony의 수가 많은 경향을 보였다(Table 1).

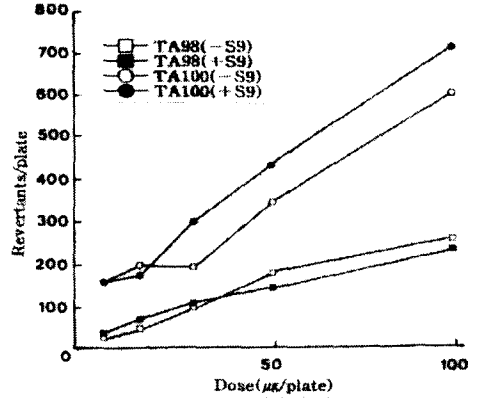


Fig. 2. Mutagenicity of the extracts collected from site 1 on May 1998 for *Salmonella* tester strains TA 98 and TA 100.

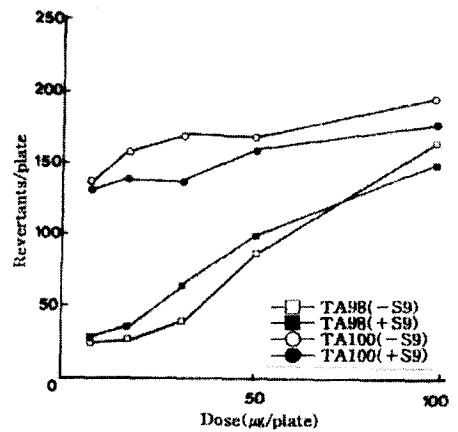


Fig. 3. Mutagenicity of the extracts collected from site 4 on May 1998 for *Salmonella* tester strains TA 98 and TA 100.

이와 같이 공업지역이 인접된 하천에 대한 변이원성 물질에 의한 오염의 예는 많이 알려져 있으며⁷⁻¹⁵⁾, 낙동강의 경우 1994년 8월과 1995년 2월에 공업지역에 인접한 낙동강 본류의 하천수에 대한 frame shift형의 간접변이원성이 보고된 바 있다²⁾. 또한 朴 등³⁾도 1995년 5월부터 1년간 XAD-2 resin법을 이용한 낙동강 하천수의 변이원성 연구에서 5월-9월에 낙동강 중·하류가 직접변이원성 물질에 의하여 오염되어 있음을 밝히고, 그 오염원은 공업지역이 인접한 금호강 및 진천천일 것으로 추측하고 있다.

한편 낙동강 본류 및 중·하류에서 다양한 시기에 변이원성이 검출된 점으로 보아,^{2,3)} 1998년 5월 이외의 시기에도 공업지역과 인접한 제1-4지역에서 변이원성이 검출될 것으로 예상하였으나, 7-12월에는 변이원성이 전혀 검출되지 않음으로써, 7월 이후 낙동강 하구의 수질이 향상되었음이 시사되었다. 하천 수질의 오염상태는 하루 중의 조사 시각 및 강수량 등의 영향을 받을 것으로 생각되지만, BR은 한 장소에 대한 한 시점의 화합물을 흡착하는 것이 아니라 조사 지점을 통과하는 화합물을 24시간에 걸쳐서 계속 흡착하므로, 조사 시각이나 강수량이 본 조사 결과에 크게 영향을 미치지 못했을 것으로 생각되었다. 또한 수질 오염현황을 정확히 판단하기 위해서는 DO, COD 및 TSS등 수질오염의 지표와 변이원성 유발물질의 종류나 농도에 대한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 부산발전연구원의 자료(미발표)에 의하면, 본 연구에서 조사된 낙동강 하구 10개 장소에 대한 COD와 TSS의 평균치는, 비록 TSS치가 10월에 약간 상승했으나, 두 값 모두 5월보다는 7월 이후에 비교적 낮았으며, DO 평균치는 7월에 낮았으나 이후 다시 증가하는 경향을 보여(Table 2), 7월 이후에 이 지역의 수질이 향상되었음을 지지해주고 있다. 더욱이 1990년부터 1998년까지 낙동강 하구인 수질의 DO, COD 및 TSS치의 년평균 농도변화를 비교하면(Table 3), 1994년과 1997년에

Table 2. Seasonal variation of the average value of DO, COD and TSS in the Nakdong river water in 1998*

	May	July	October	December
DO(mg/ℓ)	8.1	6.6	7.8	8.8
COD(mg/ℓ)	4.8	4.4	1.7	3.8
TSS(mg/ℓ)	7.0	6.5	7.2	6.4

* Unpublished data from the Pusan developmental institute.

Table 3. Annual changes of the average value of DO, COD and TSS in the Nakdong river water(Annual report of statistics in Pusan City, 1997)

	90	91	92	93	94	95	97*	98†
DO(mg/ℓ)	8.8	8.6	8.8	9.1	9.3	9.6	10.3	8.04
COD(mg/ℓ)	5.8	6.2	7.2	6.8	11.0	6.9	9.3	3.88
TSS(mg/ℓ)	10.5	9.7	10.3	11.1	19.0	7.9	11.6	8.35

* After the monthly reports on Nakdong river in Pusan City, 1997.

† Unpublished data from the Pusan Developmental Institute.

는 COD 및 TSS치가 증가하여 악화된 수질을 보여주지만 1998년에는 다시 감소하여 수질이 호전되었음을 시사하고 있다.^{17,18)} 한편 낙동강 하구수에서 검출되는 변이원성 유발물질의 종류나 농도에 대한 연구는 극히 드물고, 민 등¹⁶⁾에 의한 연구가 있을 뿐이다. 이들에 의하면 본 조사지와 같은 수역(제 1-10지점)에서 1998년 2월-12월에 걸

쳐 채집한 낙동강물 중 제 1-4지점 및 7, 8지점에서 미량(0.001ppb이하)이나마 물에 녹지 않는 유기염소화합물인 PCB가 주로 1998년 상반기에 검출되었으며(제 1지점 2, 4월; 제 2지점 4, 6, 8, 10월; 제 3지점 2, 6월; 제 4지점 6월; 제 7지점 2월; 제 8지점 6월), 8월 이후에는 하단과 가장 인접한 제 2지점을 제외하고는 어느 지점에서든 PCB가 검출되지 않았다고 보고하고 있어, 1998년 상반기에 비하여 하반기에 낙동강의 수질이 향상되었음이 시사되고 있다.

이와 같은 낙동강 하구 수질 향상에 대한 원인으로서는 조사지점 주변 공장의 폐수 정화시설에 대한 전반적인 개선 또는 주변 지역의 공장 가동율의 저하 등을 들 수 있다. 이와 관련하여 통계청(1995-1999)¹⁹⁾에서 조사된 자료에 의하면, 제조업의 년 평균 가동율은 1995년 81%, 1996년 80.8%, 1997년 79%, 1998년 68.1%, 1999년 76.9%로서, 1998년의 평균 가동율이 매우 낮은 것을 알 수 있으며, 경남지역의 중화학 및 경공업 생산량도 1998년이 1997년에 비하여 9.4%(중화학 7.1%; 경공업 20.5%)나 감소하였음이 알려져 있다²⁰⁾. 즉 1998년의 제조업 가동율과 생산량이 매우 낮은 점으로부터, 동년도 하반기의 낙동강 지역의 향상된 수질은 동년도의 저하된 경제성장률의 영향을 받았으리라고 추측되었다.

한편 제 5-10지점의 시료로부터는 전 조사기간에 걸쳐 변이원성이 검출되지 않은 점으로부터, 주거지역과 인접되었으므로 생활하수가 주 오염원인 이들 수역은 변이원성 물질에 의하여 오염되어 있지 않음을 알 수 있다. Ohtsu 등²⁾에 의한 연구에서도 농업지역에 인접한 서부낙동강 및 주거지역에 인접한 동부낙동강에서는 변이원성 물질이 검출되지 않은 바 있다.

본 연구결과, 1998년 5월에 공업지역에 인접한 낙동강 하구에서 채취한 강물이 변이원성 물질로 오염되어 있음이 밝혀졌다. 한편, 7월부터 12월에 걸쳐서는 변이원성 물질이 검출되지 않는 점으로부터 1998년 하반기부터 낙동강 하구의 수질이 향상되었음이 시사되었으며, 이는 1998년도의 저하된 경제성장률 등의 영향을 받은 것으로 추측되었다. 그러나 한국경제가 회복된 후 경제활동이 활발해지면 다시 변이원성 물질에 의한 오염이 진행될 우려가 있으므로, 앞으로 이 곳에서 검출되는 변이원성 물질의 종류, 방류되는 오염물질의 양 및 인간과 동물에 미치는 영향 등에 관한 지속적인 연구가 있어야 할 것이다.

4. 요 약

낙동강 하구수에서의 변이원성 물질에 의한 오염 상황을 파악하기 위하여 1998년에 각 계절별로 1회씩 총 4회에 걸쳐 낙동강 하구 10개 지점에서 blue rayon법을 이용한 Ames test를 실시하여, 3환 이상의 다환화합물에 의한 변이원성을 조사하였다. 이 중 5월에 공업지역 부근인 제 1지점(하단동 부근)과 제 4지점(장림동 부근)에서 채취된 시료에서 현저한 변이원성이 관찰되었는데, 제 1지점의 시료에서는 S9 mix존제 및 비존제 하의 TA98, TA100 세포주 모두 현저한 용량 의존적 양성반응을 나타내어, 이 지점은 frame shift형의 직접 및 간접

돌연변이형 원인 물질과 염기치환형 직접 및 간접돌연변이형 원인 물질에 의하여 오염되어 있음이 밝혀졌다. 또한 제 4지점의 시료에서는 S9 mix존제 및 비존제 하에서 TA98세포주가 양성반응을 나타내어, 이 지점에 대한 변이원성의 돌연변이형은 frame shift형의 직접 및 간접돌연변이임을 시사해주고 있다. 그러나 7월 이후에는 변이원성이 관찰되지 않았는데, 이는 1998년의 경제성장률의 저하에 기인된 것으로 생각되었다. 한편, 주거지역에 인접한 제 5-10지역의 시료에서는 전 조사기간에 걸쳐 변이원성이 관찰되지 않았는데, 이는 주된 오염원이 생활하수인 이들 지역의 강물이 변이원성 물질에 의해 오염되어 있지 않았음을 시사해주고 있다.

감사의 글

본 논문은 1998년도 부산발전연구원의 “낙동강 하구 칠새도래지 조사 및 복원계획 수립”을 위한 연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과에 일부로서 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) Hayatsu, H., 1992, Cellulose bearing covalently phthalocyanine trisulphonate as an adsorbent selective for polycyclic compound and its use in studies of environmental mutagens and carcinogens, J. Chromatog, 597, 37~56.
- 2) Otsu, R., K. Horikawa and B. Y. Min, 1998, Mutagenicity of river water in Korea, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 60, 615~619.
- 3) 朴永圭, 李哲熙, 李淳和, 河紀成, 金洙賢, 鄭然孫, 韓相國, 內海英雄, 1997, 韓國洛東江水系における變異原性の流域 季節變動とその負荷原因の解析, 水環境學會誌, 20, 763~767.
- 4) 부산지방기상청, 1999, 요소별기상통계표, 부산지방('98.01.01-12.31).
- 5) Watanabe, M., M. Jr. Ishidate and T. Nohmi, 1989, A sensitive method for the detection of mutagenic nitroarenes: Construction of nitroreductase overproducing derivatives of *Salmonella typhimurium* strains TA98 and TA100, Mut. Res., 216, 211~220.
- 6) Ames, B. N., J. McCann and E. Yamazaki, 1975, Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella/mammalian-microsome* mutagenicity test, Mut. Res., 31, 347~364.
- 7) Van Hoof, F. and J. Verheyden, 1981, Mutagenic activity in the River Meuse in Belgium, Sci. Total Environ., 20(1), 15~22.
- 8) Pawlaczyk Szpilowa, M., H. Sztajer and T. Traczewska, 1985, Bioindication of mutagenic and carcinogenic pollutants in waters of the Olawa River, Acta. Microbiol. Pol., 34(3-4), 287~292.
- 9) Vargas, V. M., V. E. Motta and J. A. Henriques, 1993, Mutagenic activity detected by the Ames test in river water under the influence of petrochemical industries, Mutant. Res., 319(1), 31~45.
- 10) Filipic, M., 1995, Mutagenicity and toxicity of water extracts from the Sora river area, Mutant. Res., 342(1-2), 1~8.
- 11) Rehana, Z., A. Malik and M. Ahmad, 1995, Mutagenic activity of the Ganges water with special reference to the pesticide pollution in the river between Kachla to Kannauj(U. P.), India, Mutant. Res., 343(2-3), 137~144.
- 12) Rehana, Z., A. Malik and M. Ahmad, 1996, Genotoxicity of the Ganges water at Narora(U. P.), India, Mutant. Res., 367(4), 187~193.
- 13) Nukaya, H., J. Yamashita, K. Tsuji, Y. Terao, T. Ohe, H. Sawanishi, T. Katsuhara, K. Kiyokawa, M. Tezuka, A. Oguri, T. Sugimura and K. Wakabayashi, 1997, Isolation and chemical structural determination of aromatic amine mutagen in water from the Nishitakase in Kyoto, Chem. Res. Toxicol., 10(10), 1061~1066.
- 14) Grover, I. S. and S. Kaur, 1999, Genotoxicity of wastewater samples from sewage and industrial effluent detected by the *Allium* root anaphase aberration and micronucleus assays, Mutant. Res., 426(2), 183~188.
- 15) Jiang, Y. G., Z. D. Yu, G. Z. Liu, R. Z. Chen and G. Y. Peng, 1999, Genotoxicity of water samples from the scenic Lijiang river in the Guilin area, China, evaluated by *Tradescantia* bioassays, Mutant. Res., 462(2), 137~141.
- 16) 민병윤, 脇本忠明, 김상석, 위성옥, 박용화, 박강택, 김병철, 1999, 낙동강하구 칠새도래지 조사 및 복원계획 수립, 부산광역시.
- 17) 부산광역시, 1997, 통계연보.
- 18) 부산광역시, 1997, 낙동강 조사월보.
- 19) 통계청, 1995-1999, 제조업 생산능력 및 가동률 조사, 경제통계국 산업동향과.
- 20) 경남통계사무소, 1999, 98년 12월 중 경남지역 산업활동동향, 통계조사과.