

페놀오염사건 이후의 낙동강수 오염평가

경북대학교 의과대학 예방의학교실
김두희 · 장봉기 · 홍성철 · 문효정

고신대학 의학부 예방의학교실
이덕희 · 오혜주

=Abstract=

Assessment of the Naktong River Pollution after Phenol Spillage from the Kumi Industrial Estates II, Korea

Doo Hie Kim, Bong Ki Jang, Sung Chul Hong, Hyo Jung Moon

Department of Preventive Medicine & Public Health, College of Medicine, Kyungpook National University

Duck Hee Lee, Hae Ju Oh

Department of Preventive Medicine, Kosin Medical College

The aquatic quality of the Naktong river after two or three months in June, 1991 with phenol spillage from a electrical factory in Kumi was investigated. The samples were collected at six sites of the Naktong river basin and Kachang and Kongsan lakes.

Phenol was not detected from all water samples. Turbidity was very much increased to the down stream in the Naktong river.

The BOD and COD values exceeded the 2nd grade(3mg/l) of the Korean standard quality of Environmental Water Act at the all sampling sites of the Naktong river. Especially, the value of COD at Kaejin (12.5mg/l) was poorly classified as to the 5th grade of water class for the environmental quality standards.

Organophosphorous pesticides such as parathion, malathion, fenitrothion and diazinon were investigated but not detected. Diazinon was only detected at the Ilsŏn bridge(1.42ppb), Okkye stream(6.95ppb), Waekwan bridge(0.32ppb), Gangjung reservoir(0.13ppb), Kaejin (0.05ppb).

Of the carbamates such as carbaryl, isoprocab and cabofuran, the carbofuran was detected all sites except tap water, and Kachang and Kongsan lakes.

The content of heavy metals such as Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Hg were not exceeding for drinking water standards at the all sampling region, but only mercury was detected from Okkye stream(0.018ppb) and Kaejin (0.09ppb). In the regions of Kachang and Kongsan lakes, the content of heavy metals were lower than that of reservoir of Naktong river.

Key words; *Naktong river, water quality, phenol, pesticide, heavy metal*

I. 서 론

구미공단 설치 이전의 낙동강 수질은 하천수질 환경기준 I급수에 해당되었고, 강변 부락민들이 음용수로 사용할 만큼 깨끗하였다. 그러나 현재 대구시의 낙동강 및 다사 수원지의 정수과정으로는 II급수를 정수할 수 있는 정도의 시설에 불과하며(Ehlers와 Steel, 1965; 환경정책기본법, 1991), III급수가 되면 현 시설로는 정수가 불가능하다고 한다. 그러므로 고도 정수시설을 하지 않으려면 적어도 원수의 수질을 II급수 이상으로 유지하지 않으면 안된다.

낙동강과 금호강과의 합류지점에서 약 500m 상류위치에 취수장을 설치한 것은 오염된 금호강수를 피하기 위해서이다. 그리고 현재 취수장에서 약 50km나 떨어진 상류에 위치하고 있는 구미공단은 유독폐수가 없는 전자공단이고 거리가 멀어 충분한 자정작용이 있을 것이라고 생각되어 낙동강 수질에 악영향을 끼치지 않을 것으로 믿었으나 1991년 3월과 4월 2차례에 걸친 폐놀 오염사건은 그와 같은 생각을 뒤엎는 증거가 되었다.

따라서 폐놀의 상수도 오염으로 인한 건강피해 상황조사(김두희 등, 1993)와 더불어 낙동강 수계의 오염도에 대한 재조명은 중요한 의미를 갖는다.

비록 환경처나 대구시 상수도사업소 또는 보건환경연구원에서 낙동강 오염에 대한 경시적 감시를 하고 있으나 약 230만명의 대구시민의 음용수를 공급하는 낙동강 취수장을 중심으로 선산 일선교부터 고령 개진까지의 수질오염상태를 점검해 보기로 하였다.

물론 오염사건 당시에 필요한 수질검사를 하지 못했지만 대구시 상수도사업소에서 조사했던 낙동강 원수중의 폐놀류 함량에 대한 자료를 이용하였다. 이와같은 조사결과 폐놀 뿐만 아니라 주민들의 생활하수와 분뇨 및 농축산 폐수, 유역의 농경지에 뿌려지는 각종 농약, 산업장 폐수로 흘러나오는 각종 유해물질과 유해 중금속 오염에 대해서도 염려하지 않을 수 없다.

따라서 본 연구자들은 우선 생활하수로 인한 오염의 지표가 되는 수소이온농도, 탁도, 생물 화학적 산소요구량 등 몇가지 항목과 폐놀류 등 산업폐수로

인한 유기용제, 납, 카드뮴, 수은, 아연, 철, 구리, 망간 등 중금속류 및 유기인계(4종류) 및 카바메이트계(3종류) 등의 잔류농약성분을 검사하고 그 결과를 문헌적 고찰과 더불어 평가해 보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취 지점 및 방법

수질분석 시료의 채수지점은 그림 1, 2와 같이 낙동강의 본류인 일선교(선산군), 구미시의 생활하수 및 공단폐수(구미 제 1, 2, 3 공단) 합류 후의 낙동대교(왜관읍 석천리), 금호강 합류 직전의 강정취수장(달성군 다사면 죽곡동) 및 금호강 합류 후의 개진(고령군 개진면)의 4개 지점과 두산전자 구미공장이 있는 구미 제 2공업단지의 폐수 최종 방류구(구미시 구포동)와 그 방류수 합류 후인 옥계천(구미시 옥계동)의 2개 지점에서 비교적 평수위를 유지하고 있다고 생각되는 1991년 6월 30일에 채수하였으며, 가창댐과 공산댐의 원수 및 경북대학교의 과대학의 수돗물을 1991년 6월 22일에 채수하였다.

시료는 환경청(1986)의 환경오염공정시험법에 의거하여 각 지점의 대표적 수질이라 여겨지는 곳에서 1.5l 용량의 4개의 플라스틱(poly ethylene)병에 수면으로부터 약 1m 깊이에서 휴대용 펌프를 사용하여 채수하였으며, 중금속 분석용 시료용기에는 시료의 보존을 위해 유해금속 측정용 질산(HNO_3)을 1.000ml에 대하여 10ml 씩을 넣었고, 모든 시료는 0~5 °C로 유지되는 얼음상자에 넣어 실험실로 운반 즉시 전처리를 거쳐 분석하였다.

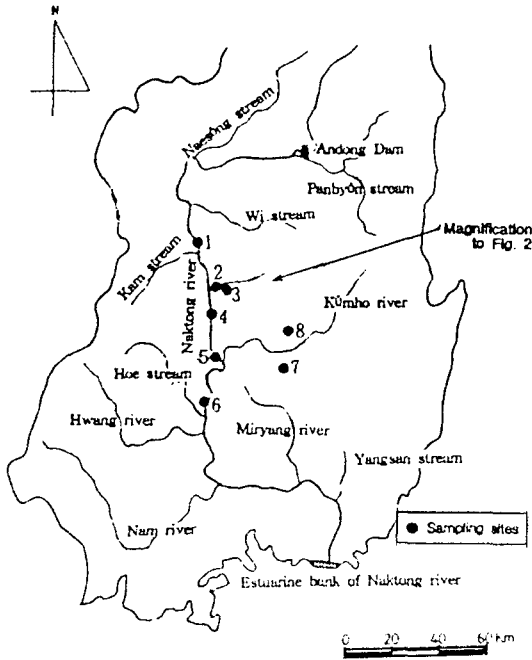
2. 수질 분석 방법

1) 수소이온 농도

표준액(pH 4, 7, 9)으로 사용전에 조정된 Fisher Scientific사의 pH meter(Accumet[®] 925, U.S.A.)로 측정하였다.

2) 탁도

Sargent-Welch turbidimeter(미제)로 10NTU(nephelometric turbidity unit)를 표준으로 정하여



1. IIsòn bridge(Sònsan)
2. Okkye stream
3. Final waste water discharge hole of Kumi Industrial Estates II
4. Waekwan bridge
5. Gangjung reserivoir
6. Kaejin(Koryòng)
7. Kachang lake
8. Kongsan lake

Distance between loci

- 1. - 2. : 10 Km
- 2. - 3. : 0.2Km
- 2. - 4. : 17 Km
- 4. - 5. : 35 Km
- 5. - 6. : 30 Km

Fig. 1. Sampling loci along middle stream of Naktong river

측정하였다.

3) 생물화학적 산소요구량(BOD)

환경청고시 제86-18호(환경청, 1986)의 환경오염공정시험법(수질편)에 따라서 20°C에서 5일간 부란하여 부란 전후의 용존산소량 차이로 정량하였다.

4) 화학적 산소요구량(COD)

환경청고시 제86-18호(환경청, 1986)의 환경오염공정시험법에 따라서 소비된 과망간산칼륨으로부터 산소의 양을 측정하여 정량하였다.

5) 페놀류(phenoles)

음용수 수질분석 방법(보건사회부, 1990)에 따라 분석하였다.

6) 잔류농약성분

일반적으로 시행되고 있는 잔류농약 분석법(이해근 등, 1983; 류홍일 등, 1991)에 따랐다. 즉, 시료 1.5l를 1l 용량의 분액여두(테프론 코크제) 2개에 750ml 씩 옮기고 각각에 디클로로메탄(dichloromethane, 잔류농약분석용) 80ml와 포화

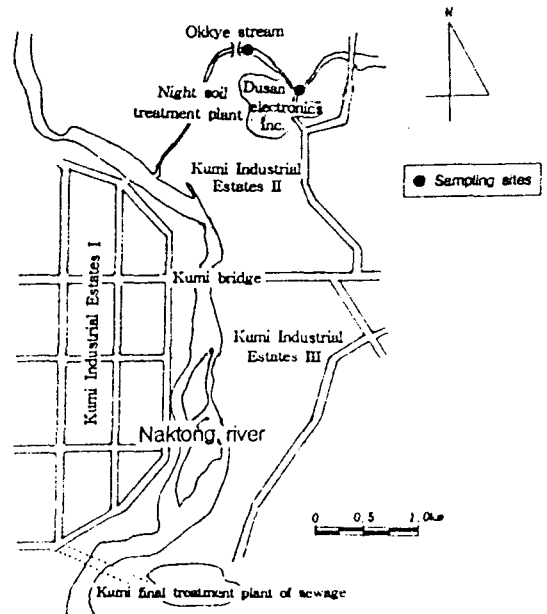


Fig. 2. Distribution of Kumi industrial estates and sampling sites

식염수(NaCl) 30ml를 가하여 2분간 격렬하게 진탕하고 10분간 방치한 다음 디클로로메탄층을 무수 Na₂SO₄가 적당량 담긴 여과지(Whatman No. 2)를 통과시켜 미량이라도 남아 있을 가능성이 있는 수분을 탈수시키면서 추출하였다.

수용액층에 다시 노말 헥산(n-hexane) 80ml를 가하여 상기 조작을 반복하고 두 유기용매층을 합하였다.

이를 35°C에서 건조 직전까지 감압농축기(Yamato Scientific, RE 47)로 농축한 후 약한 질소 가스로 완전히 건조시킨 후 아세톤(acetone, 잔류농약분석용)을 정확히 5ml 넣어 이에 녹여서 시험용액으로 하였다. 또한 회수를 시험을 위하여 각 분석 성분을 일정농도로 넣은 증류수를 위와 같은 방법으로 처리하였다.

이 중 카바메이트(carbamate)계 성분은 시험용액 3ml를 정확히 취하여 아세톤을 휘산시킨 후 아세토 나이트릴(acetonitrile)을 정확히 3ml 넣어 용해 후 시험용액으로 하였다.

각 농약의 분석기기 및 분석조건은 표 1과 같으며 각 농약성분의 표준품 농도는 유기인계인 다이아 지논(diazinon)은 1.0ppm, 파라치온(parathion) 5.08ppm, 말라치온(malathion) 9.0ppm, 페니트

로치온(fenitrothion)이 1.01ppm 이었고, 카바메이트(carbamate)계 잔류농약성분인 카보퓨란(carbofuran)은 10ppm, 카바릴(carbaryl) 13.6ppm, 이소프로카브(isoprocarb)가 10ppm이었으며 이러한 전처리 방법과 기기분석 조건에 따른 회수율은 유기인계 성분이 약 95%, Carbamate계 성분이 약 75%로서 양호한 편이었다.

7) 중금속 성분

시료 일정량을 부유물질여과기(membrane filter: 직경 47mm, pore size 0.45μm, 미국 Whatman 제품)로 여과하여 시험용액으로 하였다.

이를 표준첨가법으로 분석하기 위하여 각 시료에 0.15N-HNO₃용액으로 희석한 0, 1, 3, 5, 10, 20ppb의 7종류의 중금속(Cd, Pb, Zn, Fe, Cu, Mn, Hg) 표준용액을 시료와 동량 첨가하였다.

각 중금속의 측정은 무염광 원자화장치(controlled temperature furnace atomizer: CTF, IL. 655)를 부착한 중수소 바탕보정장치(deuterium background corrector)를 갖춘 원자흡광 분광광도계(IL. 551)로서 표 2와 같은 조건으로 정량하여 ppb(≒ μg/L) 단위로 환산하였다.

Table 1. Analytical condition for residual pesticides

Specification	Organophosphorous	Carbamates
Analytical facilities	Hewlett packard 5890 series II gas chromatograph	HPLC(Waters Model 510)
Detector	NPD(nitrogen phosphorus-detector)	Tunable absorbance UV 254nm detector
Column	OV-17 Glass column(3mm x 1.8m)	μ-Bondapak C ₁₈
Temperature(°C)	Column: 200~250°C(increasing;4°C/min ↑) Injection temp. 230°C Detector temp. 250°C	
Flow rate(ml/min)	Carrier: N ₂ ; 21 Fuel: H ₂ ; 20, Air; 120	1ml/min(Acetonitrile): H ₂ O=6: 4(V/V)
Injection volume	3μl	5μl

III. 결 과

1. 일반수질현황

폐놀은 전 지점에서 모두 검출되지 않았다.

수소이온농도(pH)는 구미 제 2공단 폐수방류구에서 만이 9.49로서 폐수배출 허용기준(5.8~8.6)을 초과하였다.

탁도는 일선교지점에서 2.5NTU이며, 개진지점에서 5.0NTU로서 낙동강 본류에서는 하류로 갈 수록 높아지는 경향을 보였다.

생물화학적 산소요구량(BOD)은 낙동대교(왜관)에서의 2.9mg/l를 제외하고는 모든 지점에서 하천 수질환경 II등급 기준(3mg/l 이하)을 모두 초과하고 있어 대체로 III등급 기준(6mg/l 이하)에 속하고 있었다. 구미 제 2공단 폐수방류구에서의 BOD는 20.7mg/l 로서 가장 높았으나 폐수의 방류수 수질 기준(30mg/l 이하)내 었다.

화학적 산소요구량(COD)은 모든 지점에서 하천 수질환경 II등급 기준(3mg/l 이하)을 모두 초과하였으며, 낙동강 본류의 일선교(선산), 낙동대교(왜관) 및 강정취수장 지점은 대체로 III등급 기준(6mg/l 이하)에 속하였고, 개진(고령)에서는 12.5mg/l로써 V 등급 기준(10mg/l)을 초과한 수역으로 나타나 금

호강 유입에 의한 영향으로 탁도, BOD, COD 모두가 크게 높았다. 구미 제 2공단 폐수방류구에서의 COD는 19.9mg/l로서 폐수종말처리장을 거친 방류수 수질기준인 50mg/l 에는 못 미쳤다(표 3).

2. 잔류농약 성분

가) 유기인계

다이아지논을 제외한 파라치온, 말라치온, 페니트로치온은 모든 지점에서 검출되지 않았으며, 다이아지논은 구미 제 2공단 폐수방류구와 가창댐, 공산댐 원수 및 수돗물에서는 검출되지 않았고 나머지 지점에서는 모두 검출되었다. 즉 일선교에서 1.42ppb, 옥계천 합류점이 6.95ppb로서 비교적 높고, 왜관에서는 0.32ppb로 감소되어 강정취수장 0.13ppb, 개진 0.05ppb로 하류로 갈 수록 낮아졌다.

다이아지논이 구미 제 2공단 폐수방류구에서는 검출되지 않았으나 이 폐수가 흘러 들어가는 옥계천에서 6.95ppb로 가장 높았다(표 4).

나) 카바메이트계

카바릴과 이소프로카브는 전 지점에서 검출되지 않았으며, 카보퓨란은 가창댐, 공산댐 원수 및 수돗물에서는 검출되지 않았으나 나머지 지점에서는 모두 검출되었다. 구미 제 2공단 폐수 방류구에서도 3.33ppb가 검출되었으며, 일선교에서 4.50ppb였으나 왜관에서 2.66ppb, 강정취수장에서 2.65ppb로

Table 2. Analytical condition for heavy metals

Parameters	Cd	Pb	Zn	Fe	Cu	Mn	Hg
Wave length(nm)	228.8	283.3	213.9	248.3	324.7	279.5	253.7
Lamp current(mA)	3	5	3	10	5	5	3
Analysis mode	A-Bkg	A-Bkg	A-Bkg	A-Bkg	A-Bkg	A-Bkg	A-Bkg
Readout mode	P/H	P/H	P/H	P/H	P/H	P/H	P/H
Integration time(sec)	8	4	8	4	4	4	4
Purge gas	Argon	Argon	Argon	Argon	Argon	Argon	Argon
Temperature program(℃/sec)							
Dry	110/50	110/50	110/50	110/50	110/50	110/50	110/50
Ash	225/20	550/30	425/30	900/30	750/30	600/40	275/10
Atomize	1000/10	1800/5	1500/10	2300/5	1800/5	2200/5	750/5

Table 3. Aquatic quality of the Naktong river basin

Sampling sites	Phenol (mg/l)	pH	Turbidity (NTU)	BOD (mg/l)	COD(mg/l)
Ilson bridge (Sonsan)	N.D	7.45	2.5	3.9	4.7
Okkye stream	N.D	7.33	2.5	4.3	6.5
Final discharge hole of Kumi Industrial Estates II	N.D	9.49	15.0	20.7	19.9
Naktong bridge (Waekwan)	N.D	7.55	3.0	2.9	4.3
Gangjung reservoir	N.D	7.82	3.8	3.3	4.5
Kaejin (Koryong)	N.D	7.45	5.0	6.4	12.5
Standard grade II for Environmental Act	-	6.5~8.5	-	3 and less	3 and less
Standard grade III for Environmental Act	-	6.5~8.5	-	6 and less	6 and less

N.D: not detect

Table 4. Contents of organophosphorous pesticides

(unit: ppb ≒ µg/l)

Sampling sites	Diazinon	Parathion	Malathion	Fenitrothion
Ilson bridge	1.42	N.D	N.D	N.D
Okkye stream	6.95	N.D	N.D	N.D
Final discharge hole of Kumi Industrial Estates II	N.D	N.D	N.D	N.D
Naktong bridge	0.32	N.D	N.D	N.D
Gangjung reservoir	0.13	N.D	N.D	N.D
Kaejin	0.05	N.D	N.D	N.D
Kachang lake	N.D	N.D	N.D	N.D
Kongsan lake	N.D	N.D	N.D	N.D
Tap water	N.D	N.D	N.D	N.D
Standard for drinking water	20ppb	60ppb	250ppb	40ppb

N.D: not detect

서 점차 낮아졌으나, 개진에서는 12.34ppb의 높은 함량을 나타내었다(표 5).

3. 중금속류

각 중금속 함량은 거의 모든 채수지점에서 음용수 수질기준에 비하여 1/10~1/100의 낮은 함량을 보

였으나 검출되어서는 안되는 수은이 옥계천에서 0.18ppb, 구미 2공단 폐수방류구에서 0.79ppb, 개진에서 0.09ppb의 극 미량이 검출되었으나 대구 시의 수도 원수 취수지역인 강정 등에서는 검출되지 않았으며, 수질 II등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역인 “가” 지역의 폐수배출 허용기준인 수은 5ppb에

Table 5. Contents of carbamate pesticides

(unit: ppb \approx μ g/l)

Sampling sites	Carbofuran	Carbaryl	Isoprocarb
Ilsön bridge	4.50	N.D	N.D
Okkye stream	2.61	N.D	N.D
Final discharge hole of Kumi Industrial Estates II	3.33	N.D	N.D
Naktong bridge	2.66	N.D	N.D
Gangjung reservoir	2.65	N.D	N.D
Kaejin	12.34	N.D	N.D
Kachang lake	N.D	N.D	N.D
Kongsan lake	N.D	N.D	N.D
Tap water	N.D	N.D	N.D
LD ₅₀ (in rats)	8mg/kg	500-700mg/kg	403-485mg/kg

N.D: not detect

는 훨씬 못 미치는 농도였다.

채수지점별로 그 농도를 비교해 보면 낙동강 본류에서의 농도는 일선교 지점에서 각 중금속 성분함량이 대체로 낮았으며 구미시의 생활하수와 산업폐수가 유입된 후인 낙동대교지점(왜관)에서 다시 높아졌다가 어느 정도의 자정작용을 거친 강정에서는 약간 낮아졌다가 금호강 유입 후인 개진에서는 다시 높아졌다.

가창댐과 공산댐의 수질은 강정취수장에서의 중금속함량보다 대체로 낮게 나타났고, 낙동강물을 원수로 하여 정수과정을 거쳐 공급된 수도물에서의 함량과 비슷하였다(표 6).

IV. 고 찰

대구시에서는 1914년에 가창 수원시설을 착공하여 1918년에 상수도를 처음으로 공급하였으며, 그 후 도시팽창에 따라 산격수원지(현재 폐쇄), 공산수원지, 낙동강수원지, 다사수원지를 신설하여 1990년말 현재 1일 1인당 385l를 공급하고 있다(이일섭, 1991).

그런데 1969년 정부가 구미공업단지 조성을 주도할 때 대구시민들은 상수도 수원의 오염을 우려하여

그 공단조성을 원하지 않았다. 하지만 공해물질 배출업체를 수용하지 않겠다고 하여 전자공단으로 지정, 그 반대여론에 대처하였던 것이다. 한편으로는 성공적인 경제개발계획에 대한 신뢰도 컸다고 보나 그 후 폐수의 방류기준을 무시하는 경향이 고조되고, 그 공단관리를 이전 보다 자유롭게 함으로서 초창기 대구시민의 반대여론이 망각지경에 이르렀다 하겠다.

폐물의 상수도 오염으로 인한 피해는 커다란 사회의 물의를 일으킬 만한 소인이 될 수 있었던 것은 당연하다 하겠다. 최연호와 이서래(1982)는 낙동강 중류수계의 자정능력을 평가하여 상주에서 구미까지는 그런대로 좋으나 왜관에 이르자 약 2배, 대구의 금호강 합류지점 이후부터는 급격히 상실하였으며, 하류로 갈 수록 점차 회복하였다가 남지와 임해진에 이르자 다시 급속히 상실하게 되었지만, 결론적으로 낙동강은 아직 자정능력이 비교적 큰 것으로 보고한 바 있으나 당시의 판단이 미흡했다고 판단되었다. 이처럼 자연정화능력을 믿고 방심하므로써 폐수종말처리가 철저하게 되지 않을 수 있다고도 생각되기 때문이다. 그런데 1991년 3월 16일 오후 2시 대구시 상수도수에서 불쾌한 냄새가 난다는 보고를 받고 동일 오후 5시경부터 대구직할시 상수도 사업본부에서 낙동강 원수에 대한 폐물 검사를 시작하여 3

Table 6. Contents of heavy metal

(unit: ppb \approx $\mu\text{g/l}$)

Sampling sites	Cd	Pb	Zn	Fe	Cu	Mn	Hg
Ilsön bridge	0.22	2.0	17.45	11.81	5.22	4.41	N.D
Okkye stream	0.62	2.8	13.77	13.23	12.10	7.70	0.18
Final discharge hole of Kumi Industrial Estates II	0.58	3.5	21.69	26.14	23.44	8.57	0.79
Naktong bridge	0.50	2.0	17.97	22.83	6.69	5.85	N.D
Gangjung reservoir	0.34	1.7	17.58	24.17	5.54	5.41	N.D
Kaejin	0.68	2.8	18.61	28.66	24.59	8.36	0.09
Kachang lake	0.15	1.4	13.81	4.33	4.71	2.46	N.D
Kongsan lake	0.20	1.5	20.56	4.41	4.46	3.05	N.D
Tap water	0.16	1.3	17.36	8.27	2.36	1.04	N.D
Standard for drinking water	10	100	1,000	300	1,000	300	N.D

N.D: not detect

월 20일 오후 4시까지 4일간 검출하였다.

비록 원수에서의 페놀함량이 0.05ppm 정도이고 정수 후 그의 10분지 1인 0.004ppm의 농도로 별 다른 큰 해가 없다고 하더라도 구미시 공단의 폐수가 약 50km나 하류에 위치한 대구시민의 상수도를 오염시켰다는 것은 또한 다른 오염물질로도 오염될 수 있다는 증거가 되는 것이다.

이 페놀 유출사건은 두산전자측에서는 원료 주입량과 사용량의 차이로 유추하여 3월 13일부터 16일 사이에 30톤 배출되었다고 주장하는 한편 유출시기가 언제부터인지는 명확하지 않다고 하였다. 그런데 4월 23일의 2차 사건시에는 두산전자측이 0.3톤의 페놀이 재유출 되었음을 사전 통보하였으므로 원수의 취수를 일시 중단하고 원수의 페놀농도를 계속 검사하였는데 검출시간 16시간, 최고치 0.096ppm의 결과를 보였다. 이 최고치 결과는 영국 북 Wales(Jarvis 등, 1985)의 0.1ppm과 유사하며 3월 16일의 1차 사건 때보다 약 2배가 높았다. 유출량의 엄청난 차이에도 불구하고 2차 사건의 최고치가 오히려 높았던 것은 여러가지 변수가 작용했으리라 생각된다.

2차 페놀사건시 16시간동안 검출된 페놀농도가 대체적으로 2차곡선을 따르므로 1차 사건도 같은 양상을 보이리라는 가정하에 1차 페놀유출 당시 페

놀이 어느 정도 유출되었는지 또 언제부터 유출되었는지를 알아 보기 위해 당시 뒤늦게 측정하기 시작한 다사 및 낙동강수원지의 자료(대구직할시 상수도 사업본부, 1991)를 이용하여 최고치와 노출시작 시각을 역추정하여 보았다(김두희 등, 1991).

일차오염 당시의 다사수원지와 낙동강수원지의 양상은 유사하였으며, 다사수원지에서는 페놀오염사건이 일어난 후 수질검사를 시작한 시각인 3월 16일 17시부터 17일 05시 사이, 낙동강수원지에서는 16일 23시에서 17일 03시 사이에 페놀치가 0.05ppm으로 최고였으며, 그 후 점차 감소되어 3월 20일 04시부터는 검출되지 않았다(그림 3).

그러나 사건이 발단된 즉시 검사에 임했으나 이때는 이미 정규분포에서의 정점이 지난 시기라고 추정되므로 사건전에 감지하지 못하고 상당한 시간이 흘러갔음을 짐작할 수 있다.

그런데 2차오염 당시의 다사수원지의 페놀 검출성적을 보면 대체적인 정규분포 모양을 하고 있고 4월 23일 10시부터 검출(0.045ppm)되기 시작하여 같은날 13시 40분에 최고치(0.096ppm)를 기록하고 4월 24일 02시부터는 검출되지 않았다(그림 4).

이와같이 2차오염시 수질검사는 미리 오염통보를 받은 후 검사를 시행하였으므로 비교적 정확한 결과로 생각된다. 따라서 이 자료를 근거로 1차오염 당

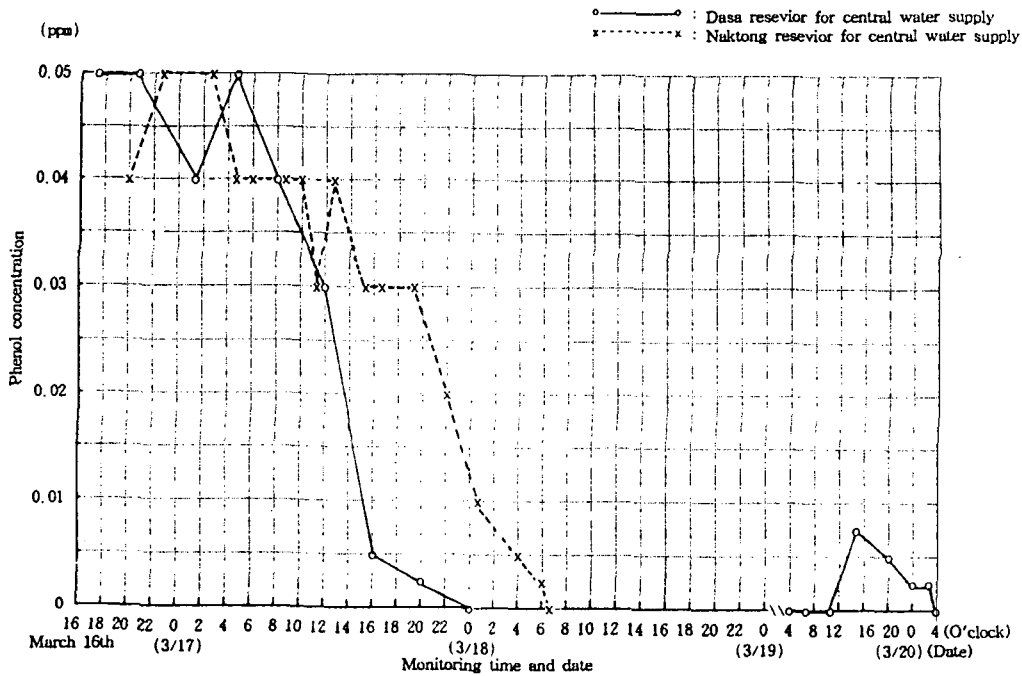


Fig. 3. Phenol concentration of Dasa and Naktong resevoir for central water supply at first spillage from Kumi industrial zone

시의 정도를 추산할 수 있다. 1차오염의 최고치와 오염시작시간을 통계학적으로 추정해 보면 다음과 같다.

먼저 2차오염의 경우(그림 4)를 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 2차 그래프($F(x) = -0.00404 \times 2 + 0.04046 \times -0.01461$)로 그려보면 그림 5와 같다. 추정치는 검출되기 시작한 시간부터 검출되지 않을 때까지 약 10시간이 소요되며 최고치 0.087ppm, 총 적분치는 0.53ppm을 보이고 있다. 그러나 실측치는 검출시간 16시간, 최고치 0.096ppm으로 추정치와 차이를 보이고 있는데, 이는 추정치의 경우 실측치를 2차그래프로 도식화함으로써 얻은 수치이기 때문이다. 이 최고치 결과는 영국 북 Wales(Jarvis 등, 1985)의 0.1ppm과 유사하며 3월 16일의 1차 사건 때보다 약 2배가 높았다. 유출량의 엄청난 차이(30톤: 0.3톤)에도 불구하고 2차 사건의 최고치가 오히려 높은 것으로 보아 1차 사건과 2차 사건을 동일한 2차곡선으로 가정하고 식을 도출해내었으나 1차 사고시 실제 페놀유출 양상

이 2차 페놀유출과 전혀 달랐을 가능성도 있다.

1차오염의 경우는 그림 3에서 다사수원지의 검사치를 모두 이용하여 그래프를 그렸을 때 60시간의 노출시간(노출시작 3월15일 11시경), 최고치 0.051ppm(3월 16일 17시경), 총 적분치 2.03ppm으로 2차사고에 비해 약 4배의 값을 보인다(그림 6).

꼭 이 페놀과 같은 특수 화학물질의 영향이 아니라도, 이미 환경청(1985)은 낙동강유역 환경보전 종합계획사업의 종합보고에서 1984년 9월부터 1985년 5월 사이에 실시한 낙동강 본류의 수질은 1982년의 최연호와 이서래의 결과보다 심각함을 알려주었다. 안동댐에서 구미지점까지 BOD가 2.1-3.9mg/l 이하로 비교적 양호한 수질을 유지하다가 왜관지점에서는 구미시의 도시하수 및 공단폐수 유입으로 다소 악화되고 다시 금호강수 유입 직전까지는 점차 회복되는 경향이었으나, 금호강 합류이후 현풍지점에서는 최저수질을 나타내어 BOD 11.9mg/l, DO 5.5mg/l로 하천수질 환경기준 V등급 이하로 떨어지고, 부산 근교 물금에 이르기까지 서

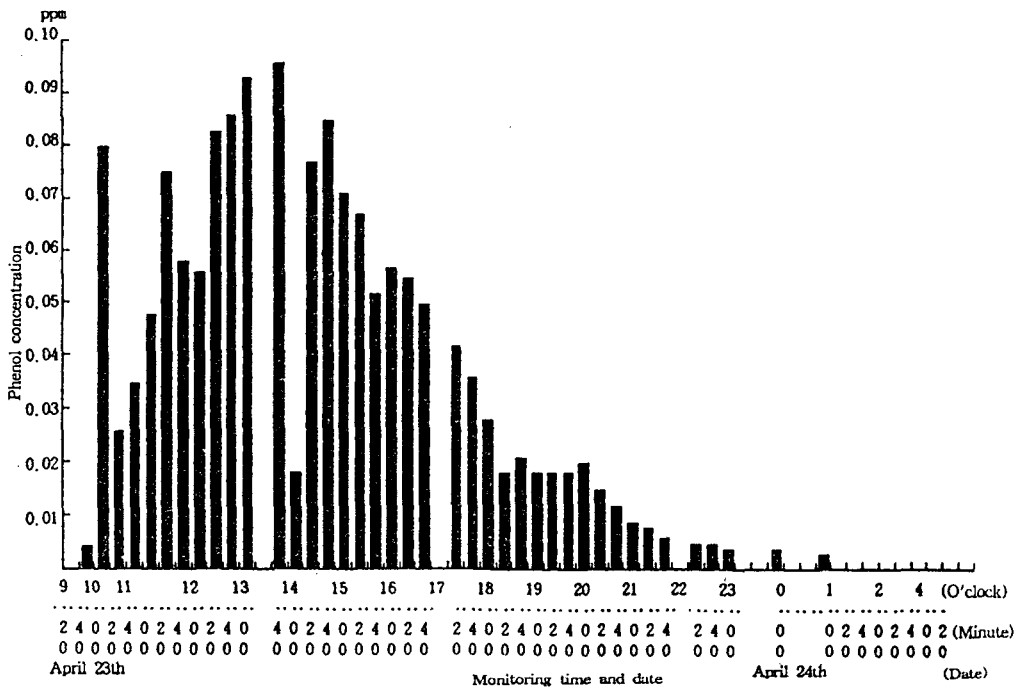


Fig. 4. Phenol concentration of Dasa resevoir for central water supply at second spillage from Kumi industrial zone

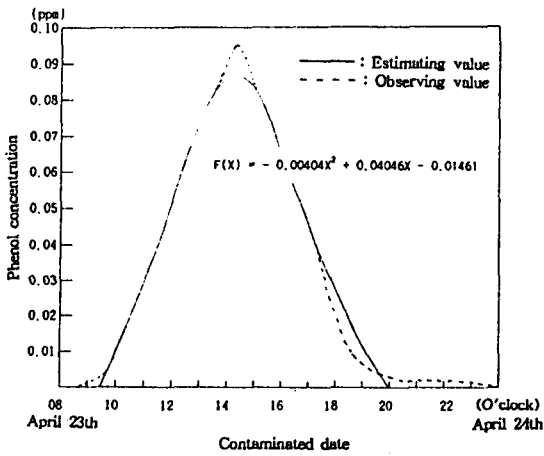


Fig. 5. Estimation graph in case of at second spillage (Fig. 4)

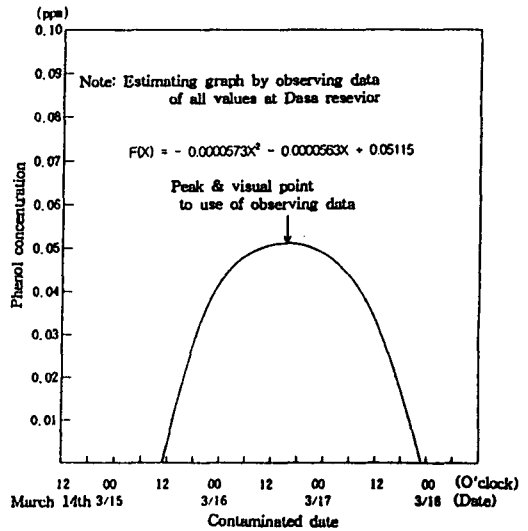


Fig. 6. Estimation graph in case of at first spillage (Fig. 3)

서히 회복되었다가 또 다시 상승, 10.8mg/l에 달하고 있다. 만약 대책이 없을 경우 현풍에서 1991년에 31.3mg/l, 2001년에는 46.9mg/l로 상승할 것이라고 추산한 바 있다.

이와같이 BOD 값만 보더라도 금호강 합류 직전의 달성(강정취수장 부근)지점은 1989년 2.4mg/l를 유지, 하천수질 환경기준(환경정책기본법, 1991) II급(BOD 3mg/l이하)을 유지하고 있다(환경처, 1990)고 하였으나 환경청(1985)의 1984년 9월부터 1985년 5월까지의 결과 평균 3.9mg/l로 이미 III급수(BOD 6mg/l 이하)로 전락하였다고 볼 수 있다. 환경청(1989), 환경처(1990)에서 지점별, 수질오염 지표별로 측정된 자료중 본 조사와 시기가 같다고 생각되는 6월의 성적을 보면 달성(강정취수장)지점은 1988에 BOD가 5.5mg/l 였으나 1989년에는 1.3mg/l로 감소되었으나 고령과 현풍은 11.2-18.4mg/l로서 이미 환경기준 V급수(10mg/l)이상으로 떨어졌다.

그런데 본 조사결과는 BOD가 선산 일선교지점 3.9mg/l, 낙동강대교(왜관)지점 2.9mg/l, 강정(취수장)지점 3.3mg/l, 고령 개진지점 6.4mg/l로 구미시의 제 2공단 하수방류구의 BOD 20.7mg/l나 되는 폐수의 유입에도 불구하고 위에서 설명한 1985년의 환경청의 보고보다 양호한 결과를 보였으나 왜관만이 2.9mg/l로 다소 미달이나 모두 III급수에 해당되고 있으므로 개선되어 가는 결과라고 단정하기에는 아직 이르다 하겠다. 그리고 COD는 모든 지점에서 환경기준 III급수로 전락되어 있었다. 만약 이때가 갈수기였었다면 BOD, COD가 모두 더욱 고농도로 나타났을 것이다.

이일섭(1991)의 보고에 의하면 대구시의 최대 취수원인 낙동강 다사취수장에서부터 안동댐까지 175km이고 발원지인 태백까지는 335km의 장대한 강으로 산업발달과 인구증가에 따라 낙동강상류의 공단증가(구미 333개 업체, 김천 9개 업체)와 하수종말처리의 미비 등으로 각종 오염물질 배출량이 늘어나고 있으며, 오염물질의 질도 점차 악화되고 있고 현재의 정수시설은 II급수를 정수하는데 알맞게 되어있기 때문에(Ehlers와 Steel, 1965), 고도정수 처리의 필요성을 강력히 주장하고 있다. 그리고 이외의 오염원으로 왜관, 성주, 안동에 새로이 공업단

지를 조성할 것이라는 정부의 발표가 있을 뿐 아니라, 당장 구미에 제 2, 3공단이 이미 조성되어 있어 대구시의 상수도 급수원은 초비상 상태라 아닐 수 없다.

이러한 대책은 이미 환경청(1985)에서 여러가지 방법을 건의한 바 있거니와 가정하수처리 2개의 직할시, 1개 읍(거창)에 대하여 38개의 하수종말처리장 설치를 건의한 바 있으며, 기술적 측면으로는 ① 처리기술의 개발, ② 공장내 처리시설의 설치, ③ 공장폐수의 공동처리, ④ 도시하수와 공장폐수의 혼합처리, ⑤ 읍·면 소재 계획공단의 폐수종말처리장 건설 등을 우선순위까지 결정 건의한 바 있다. 특히 대구직할시의 상수도 취수장의 수질보호를 위해 그 상류지역인 김천시에 1개소(1985-90사이), 구미시에 1개소(1982-1986, 1993-1994, 2001), 안동시에 1개소(1987-2001)씩의 하수종말처리장을 설치하여 활성오니법으로 처리할 것을 건의하였다.

이번 두산전자에서의 폐놀폐수 소각처리법은 매우 효과적인 방법을 채택하였다고 판단되나 폐놀원액 공급관의 연결부 파열로 유출된 것이 폐수처리장으로 흘러들어갈 수 있도록 설계되어있지 않은 것이 사건의 발단이라고 보아야 할 것 같다. 더구나 소각 시설 2기 중 1기가 고장이라며 매일 약 9톤씩이나 흘러나오는 폐수(폐놀함량 약 3%)를 드럼통에 담아 적재해 두었다고 하나 소각로 옆에 가로 세로 각각 약 30cm 정도의 배출구를 공단 공동하수구와 직결되도록 설치해(김두희 등, 1991) 두고 있는 것은 그들의 말대로 오해의 소지를 안고 있으며, 이곳 구미 제 2공단의 폐수 공동처리시설이 아직 되어있지 않고 있는 실정이다.

한편 일반적으로 많이 사용되고 있는 농약 중 유기인계(다이아지논, 말라치온-생산중단됨, 파라치온, 페니트로치온)와 카바메이트계(카보퓨란, 카바릴, 이소프로카브)를 검사해 보았다. 그런데 유기인계인 다이아지논과 카바메이트계인 카보퓨란을 제외하고 검출되지 않았다.

유기염소계는 1950년대까지만 하더라도 그 긴 잔류효과 기간을 이용한 잔류분무법으로 말라리아와 기타 곤충매개 전염병을 퇴치하는데 크게 기여한 바 있으나 1960년대에 이르러서 그 잔류효과가 건강에 새로운 문제를 야기시킨다는 것이 증명(Woodwell

등, 1967; Rand와 Petrocelli, 1985)되자 일부 품목의 생산을 금지시키기에 이르렀다. 즉 그 중 대표라 할 수 있는 DDT는 수중에는 기준미달로 잔류되어 있으나 그 수중에 서식하는 생물의 먹이사슬에 따라 생체내의 잔류량이 수만배로 증가한다는 것이 입증되었다(Woodwell 등, 1967). 그 뿐 아니고 그 잔류량에 의하여 모든 생물에 독적으로 작용하며 종류에 따라서는 발암물질도 될 수 있다는 것이 증명되었다(Odum, 1971). 그런데 유기인계 또한 이 유기염소계와 유사한 해독을 가지고 있으나 다만 잔류효과가 보다 짧다(대체적으로 3주 이내에 불과)는 장점이 있어 유기염소계의 대체품으로 널리 이용되고 있는 것이다.

본 조사에서 다이아진이 선산 일선교에서 1.42ppb, 옥계천에서 6.95ppb로 검출되고, 구미 제2공단 폐수방류구에서는 검출되지 않은 것으로 미루어 보아 아마도 인근 농지에 살포된 것이 원인인 것으로 짐작된다. 또한 하류로 갈 수록 그 농도가 점차 낮아져 잔류효과가 낮은 것 같다. 그러나 1992년부터 시행중인 음용수 수질기준 20ppb보다는 모두 훨씬 낮은 농도였으나 사람의 건강 보호수역의 하천수 수질환경기준인 「유기인: 검출되어서는 안됨」이라는 항목에는 의미상 기준초과 되는 것으로 법령 정비의 필요성이 대두되고 있다.

카보퓨란은 전 지점에서 검출되고 있어 상당한 문제점을 던져주고 있다. 그리고 개진에서는 일선교보다 약 2.5배, 강정취수장의 2.65ppb 보다 4배나 높게 검출되었다. 이러한 현상은 아마 그 살포지역이 보다 광범위하다는 것을 의미한다. 그러나 아직 수질 환경기준을 마련하지 못하고 있으나, Nicholson(1967)은 음료수중 14종의 농약 잔류허용한계를 추정하여 발표하였는데 유기염소계 중 엘드린, 헵타크롤, 린덴은 각각 1.0, 18, 56ppb로, 유기인계와 카바메이트 혼합물은 100ppb로 규제할 것을 권장하였다. Hassan과 Faust(1974)는 실제로 음료수중에서 검출되는 농약들의 잔류농도는 2ppm 이하이며 1인당 하루 소비량을 2.2리 추정시 인간에게 어떤 급성 생리적 장애를 유발하기에는 너무 낮은 농도라 주장하고 있으나 일반적으로 유기인계보다 독성이 강하다고 알려져 있는 것이다.

그리고 각종 중금속 중 카드뮴, 납, 아연, 철, 구

리, 망간, 수은 등의 함량을 관찰해 보았으나 모두 음용수기준 이하이나 상류에서 하류로 갈 수록 높게 검출되었다. 그리고 수돗물이 원수보다 다소 감소는 되었으나 현 정수과정으로는 흡족하게 제거할 수 없다는 것으로 판단됨으로 절대로 소홀해서는 아니 되겠다는 것을 시사해 준다. 특히 수은은 구미의 옥계천과 제2공단 폐수방류구에서 각각 0.18ppb, 0.79ppb가 검출되었으나 왜관, 강정에서는 검출되지 않았다. 그러나 고령의 개진에서 0.09ppb로 검출되었는데 이는 금호강 유입과 수은계 농약 등과 관련이 있지 않나 규명해 볼만한 일이라 생각한다. 분석기기 및 방법에 따라 다를 수는 있지만 환경오염공정시험법 상 수은의 경우 2ppb이하는 불검출된 것으로 간주할 수는 있지만, 이러한 중금속이 미량이라고 안심할 수 있는 것도 아니다. 김두희 등(1988)은 1987년 3월에 낙동강에서 포획한 붕어의 조직중 중금속 함량조사를 하여, 납이 뼈에서는 그들의 수환경보다 771-2,856배, 근육에서 170-516배, 지느러미에서 484-1,770배가 검출되고, 카드뮴은 각각 188-564배, 62-169배, 122-360배가 검출, 아연도 각각 633-1,327배, 247-389배, 509-983배가 검출되었다고 보고하였다.

물론 수환경에서의 함량은 모두 현재의 기준 미달이지만 그들의 수환경 농도와 비례하여 하류로 갈 수록 조직중 함량도 높았으며, 또한 붕어의 연령증가에 따라 증가하였다고 하였다. 그리고 송동헌과 정운태(1988)는 낙동강 수중 수은함량이 평균 0.279ppb이며, 6종류의 담수어(124 마리)의 평균함량이 0.196ppm으로 담수어와 물 간의 수은함량비는 773:1이라고 하였다. 특히 메기(*Parasilurus asotus*)가 0.314ppm으로 붕어(*Carssias auratus*)의 0.123ppm보다 높으며, 그 함량은 상류에서 하류로 갈 수록 높다고 하였다.

정병걸 등(1988)은 금호강 하상 니토중 Cd, Pb의 값이 높은 것은 자연상태의 토양중 함유되어 있는 양이라기보다 외부에 의한 것으로 추정하고, 특히 대구의 3공단 유출수에서의 값이 상당히 높다고 하였다.

이상 여러가지 자료를 고찰해 볼 때 본 조사 당시에는 다행스럽게도 폐놀은 검출되지 않았지만 BOD, COD만 보더라도 낙동강 취수장 부근의 수질환경기

준이 III급의 안팎을 오르내리고 있음이 확실하며, 검출되어서는 안 될 유기인계, 카보퓨란, 수은 등이 검출되고 있어 앞으로의 또 다른 사태가 예상되므로 지금 곧 상수도의 고도정수처리계획과 그 설치의 필요성이 요구된다.

결 론

폐놀사건 후 낙동강 본류의 4개 지점(일선교, 낙동대교, 강정취수장, 개진)과 그 지류인 구미 제 2공단 최종 폐수방류구 및 이 폐수가 혼입된 옥계천, 대조군으로서 가창댐과 공산댐의 원수 및 수돗물을 1991년 6월에 점검해 보았다.

수소이온 농도는 구미 제 2공단 폐수방류구에서 9.49로서 폐수배출 허용기준인 5.8~8.6의 범위를 초과한 것을 제외하고는 모두 하천 수질환경기준(6.5-8.5) 이내였다.

탁도는 일선교지점에서 2.5NTU이며 개진지점에서 5.0NTU로서 낙동강 본류에서는 하류로 갈 수록 높아지는 경향을 보였다.

생물화학적 산소요구량은 왜관에서의 2.9mg/l를 제외하고는 모든 지점에서 하천 수질환경 II등급 기준(3mg/l 이하)을 초과하고 있어 대체로 III등급 기준(6mg/l이하)에 속하고 있었다. 구미 제 2공단 폐수방류구에서의 BOD는 20.7mg/l로써 폐수종말처리장의 방류수 기준인 30mg/l 이하였다.

화학적 산소요구량은 모든 지점에서 BOD와 같이 하천 수질환경 II등급 기준인 3mg/l 이하를 모두 초과하였으며 낙동강 본류의 일선교(선산), 왜관 및 강정취수장 지점은 대체로 III등급 기준(6mg/l)에 속하였으며, 개진(고령)에서는 12.5mg/l로써 V등급 기준인 10mg/l를 초과한 수역으로 나타났다. 구미 제 2공단 폐수방류구에서의 COD는 19.9mg/l로서 폐수종말처리장을 거친 방류수 수질기준인 50mg/l에는 못 미쳤다.

폐놀류와 유기인계 잔류농약성분중 파라치온(parathion), 말라치온(malathion), 페니트로치온(fenitrothion) 및 카바메이트(carbamate)계 잔류농약성분 중 카바릴(carbaryl)과 이소프로카브(isoprocarb)는 전 지점의 시료에서 모두 검출되지

않았다.

다이아지논은 낙동강 상류인 일선교에서 1.42ppb 이던 것이 옥계천 합류점에서 6.95ppb로서 보다 높고 왜관에서는 0.32ppb로 감소되어 강정취수장 0.13ppb, 개진 0.05ppb로 하류로 갈 수록 낮아졌다.

카보퓨란(carbofuran)은 가창댐, 공산댐 원수 및 수돗물을 제외한 전 지점에서 검출되었다.

카드뮴, 납, 아연, 철, 구리, 망간, 수은 함량은 거의 모든 채수지점에서 음용수 수질기준에 비하여 1/10~1/100의 낮은 함량을 보였으며 수은은 옥계천에서 0.18ppb, 구미 2공단 폐수방류구에서 0.79ppb, 개진에서 0.09ppb의 극 미량 검출되었다. 낙동강 본류에서의 농도는 일선교 지점에서 각 중금속 함량이 대체로 낮았으나 구미시의 생활하수와 산업폐수가 유입된 후인 왜관에서 다시 높아졌다가 강정취수장에서는 약간 낮아졌으나 개진에서는 다시 높아졌다.

참 고 문 헌

- 김두희, 김용구, 장봉기, 낙동강 본류에 서식하는 붕어에서의 납, 카드뮴과 아연의 함량, 예방의학회지 1988; 21(2): 307-319
- 김두희, 이성국, 천병렬, 장봉기, 이덕희, 홍성철, 문효정, 대구시 상수도 폐놀오염에 대한 역학조사, 대구직할시, 1991.
- 김두희, 이성국, 천병렬, 이덕희, 장봉기, 홍성철, 상수도 폐놀오염으로 인한 노출-비노출 지역주민의 호소증상 비교, 예방의학회지 1993; 26(2): 202-209
- 대구직할시 상수도 사업본부, 낙동강 폐놀함량 측정치, 1991
- 류홍일, 이해근, 전성환, 농약잔류분석방법, 동화기술, 서울, 1991
- 보건사회부, 음용수의 검사방법, 보건사회부령 제 841호, 1990
- 손동현, 정윤태, 낙동강 유역의 수질 및 담수어중 총수은 함량에 관한 연구, 수질보전, 1988; 4(2): 41-48
- 이일섭, 대구직할시 상수도 고도처리 계획, 제4회 한.일 공동환경 심포지움 자료집, 1991. 7.

8. 쪽 25-38

- 이해근, 이영득, 박영선, 진용화. 주요하천수에 대한 농약잔류 실태조사. *한국환경농학회지* 1983 ; 2(2): 83-89
- 정병걸, 김병수, 이향교, 신현수. 금호강 저질층에 함유된 중금속의 분포와 오염원과의 상관성 검토. *경북보건환경연구원보* 1988; 1(1): 101-109
- 최언호, 이서래. 낙동강 중류수계의 자정능력 평가. *한국환경농학회지* 1982; 1(1): 39-47
- 환경정책기본법. 시행령 제 2조-별표 1. 대통령령 제 13303호, 1991. 2. 2.
- 환경청. 낙동강유역 환경보전 종합계획사업 종합보고서. 현대엔지니어링주식회사, 1985. 11, 쪽 9-58, 314-426
- 환경청. 환경오염 공정시험법(수질편). 환경청고시 제 86-18호, 1986. 12. 22.
- 환경청. 한국환경연감. 제 2호, 1989.
- 환경청. 한국환경연감. 제 3호, 1990.
- Ehlers VM, Steel EW. *Municipal and rural sanitation. 6th ed., McGraw-Hill Book Co., N. Y., 1965, pp. 38-52*
- Hassan MG, Faust SD. *Removal of organic pesticides from water to improve quality. In Pesticides in Soil and Water. Soil Sci Soc Amer Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1974, p. 413*
- Jarvis SN, Straube RC, Williams ALJ, Bartlett CLR. *Illness associated with contamination of drinking water supplies with phenol. Bri Med J* 1985; 290: 1800-1802
- Nicholson HP. *Pesticide pollution control. Science* 1967; 108: 871
- Odum EP. *Fundamentals of ecology. 3th ed., WB Saunders Co., Philadelphia, 1971, pp. 37-85*
- Rand GM, Petrocelli SR. *Fundamentals of aquatic toxicology. Hemisphere Publ Co., Washington, 1985, pp. 348-349*
- Woodwell GM, Wurster CF, Isaacson PA. *DDT residues in an east coast estuary; A case of biological concentration of a persistent insecticide. Science* 1967; 156: 821-824