

금호강 본류와 지류에서의 휘발성 유기화합물질 농도

김용혜 · 장봉기* · 홍성철** · 이종영***
경북대학교 보건대학원 · 순천향대학교 환경보건학과* ·
경북대학교 의과대학 예방의학교실**

Concentration of Volatile Organic Compounds at Main Stream and Branch Stream of Kumho River

Young-Hae Kim · Bong-Ki Jang* · Sung-Chul Hong** · Jong-Young Lee***

*Graduate School of Public Health, Kyungpook National University
Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University**
*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Kyungpook National University***

Abstract

In this study, we investigated to measured concentration, seasonal characteristics and load quantity of volatile organic compounds(VOCs) for 11 sites in the main stream and 8 sites in the branch stream of Kumho river, during from October 1995 to April 1997.

As a results, the small amount of volatile organic compounds, such as dichloromethane, chloroform, toluene, benzene, trichloroethene, tetrachloroethene, p-xylene and 1,3,5-trimethyl - benzene were detected from the main stream of Kumho river.

Also detected to dichloromethane, chloroform, toluene, benzene, trichloroethene, tetra - chloroethene, ethylbenzene, p-xylene, o-xylene, 1,3,5-trimethylbenzene and 1,2,4-trimethyl - benzene in the branch stream, and dichloromethane, chloroform and toluene were detected to all site of sampling.

And seasonal variation of volatile organic compounds showed higher concentration in the July 1996 as a winter season than January 1997 as a summer season in most places.

Also the load quantity of volatile organic compound at Gangchang site in the last downstream of Kumho river, was in order of chloroform > dichloromethane > toluene > trichloroethene.

I. 서 론

세계보건기구에 의하면 수중에는 약 2000여 가지 이상의 화학물질이 용존하고 있고 이중에는 발

암성 및 돌연변이원성을 일으키는 물질들이 포함되어 있다고 보고된 바 있다. 이중 약 750여종의 물질이 음용수에서 확인이 되며 계속적인 확인작업이 이루어지고 있다.

미량유기오염물질은 대체로 농약류(pesticides),

다핵방향족 탄화수소류(polyaromatic hydrocarbons, PAHs) 및 휘발성 유기화합물류(volatile organic compounds, VOCs)로 대별되는데, 이들 중 일부는 돌연변이성, 기형원성 또는 발암성 물질로 추정되고 있어 국내·외에서는 이들의 규제를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이에 따라 세계보건 기구(WHO)에서는 1944년부터 44개 항목에 대한 수질기준을 정하여 음용수의 수질기준을 운영해 오던 중, 1990년부터 106개 항목에 대한 검토를 완료하였으며^{1,2)}, 미국에서는 1974년 안전음료수법에 22개 항목의 수질기준을 설정하였고, 1986년 법 제정으로 83개 항목에 대한 기준설정 작업이 진행되었다³⁾.

우리 나라에서도 1986년 처음으로 수질기준이 보완되었으며, 1991년까지 29개 항목의 음용수 수질기준이 운용되어 오다가, 1991년 낙동강 폐놀오염사고 이후 수도법의 개정으로 유기인 대신 잔류 농약을 세부적으로 분류하여 diazinon, malathion, parathion, fenitrothion과 trihalomethane이 추가되어 34개 항목으로 늘어났다. 또한 1993년 6월 소위 하이테크 물질로 알려진 유기염소계 휘발성 유기화합물인 1,1,1-trichloroethylene, trichloroethylene, tetra-chloroethylene과 카바메이트계 농약인 carbaryl이 추가되었으며⁴⁾, dichloromethane, benzene, toluene, xylene, ethylbenzene의 휘발성 유기화합물 5종에 대해서 1995년 7월부터 수질기준에 추가되어 현재는 45개 항목으로 과거보다 상당히 강화된 수질기준이 적용되고 있으며, 수돗물의 미량유해물질 함유실태조사를 2002년까지 172종에 대하여 실시하여 먹는물 수질기준을 1998년에 50개, 2002년에 85개로 선진국 수준으로 보완할 계획이다⁵⁾.

이와 같이 1990년대 들어와서 추가된 항목은 대부분 미량유기오염물질들로서, 이들 미량유기오염물질 중의 하나인 휘발성 유기화합물은 용제, 그리스 제거제 및 합성화학물질의 제조원료로 사용되는 벤젠류, 염화벤젠류 등 비교적 휘발성이 큰 유기화학물질의 총칭으로서, 휘발성 유기화합물에 의한 오염은 지표수원, 지하수원, 처리식수 등 공공 식수계 전반에 광범위하며, 오염수준은 $\mu\text{g/l}$ 미만의 낮은 농도이나 자주 보고되고 있다⁶⁾.

이들 휘발성 유기화합물들에 대하여 수행된 국내연구들을 살펴보면, 상수 중의 trihalomethane 생성에 관한 연구⁷⁾, 대구지역 휘발성 유기화학물질(VOCS)오염^{8,9)}, 지하수중 휘발성 유기화학물질(VOCS)에 관한 연구¹⁰⁾, 강릉시 식수계중 휘발성 유기화학물(VOCS)의 분포¹¹⁾와 낙동강 중류지역 휘발성 유기화학물질의 실태에 관한 연구¹²⁾ 등의 연구가 수행되고 있으나, 이들 연구는 대부분 단기간의 조사이거나, trihalomethane 등 단일항목 또는 몇 가지 항목의 조사에 그치고 있는 실정이다. 그러나 실제 수계의 수질특성은 여러 가지 환경인자에 의하여 매우 유동적인 값을 나타내므로, 보다 더 신뢰성이 있는 정확한 조사를 위해서는 장기적이고 종합적인 조사와 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 금호강 본류 11개 지점과 금호강 지류 8개 지점에 대하여 하천조건에서 검출빈도가 높은 11개 휘발성 유기화합물의 실태를 1995년 10월부터 1997년 4월까지 월 1회씩 총 19회 조사하여 금호강의 휘발성 유기화합물에 의한 오염 정도를 정확히 파악하고, 계절적 특성 및 부하량을 조사·분석함으로써 효율적인 환경오염 제어관리를 위한 기초자료를 제시하여 금호강 수계의 수자원 이용에 활용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사대상 지점

금호강 본류의 시료채취지점으로서는 지류와 합류하여 충분히 혼합된 후의 11개 지점, 단포교, 서산교, 도동, 하양교, 청천, 안심교, 아양교, 금호교, 무태교, 팔달교 및 강창교 지점을 선정하였고, 지류가 없는 경우에는 4~5 km 거리를 두고 채취지점을 선정하였으며, 지류의 경우는 금호강 지류를 대표할 수 있는 8개 지류, 남천, 우암천, 올하천, 방촌천, 동화천, 신천, 팔거천, 달서천 지점을 선정하여 1995년 10월부터 1997년 4월까지 월 1회씩 총 19회 조사하였다.

금호강 본류 및 지류의 각 채수지점은 Fig. 1.에 나타내었다.

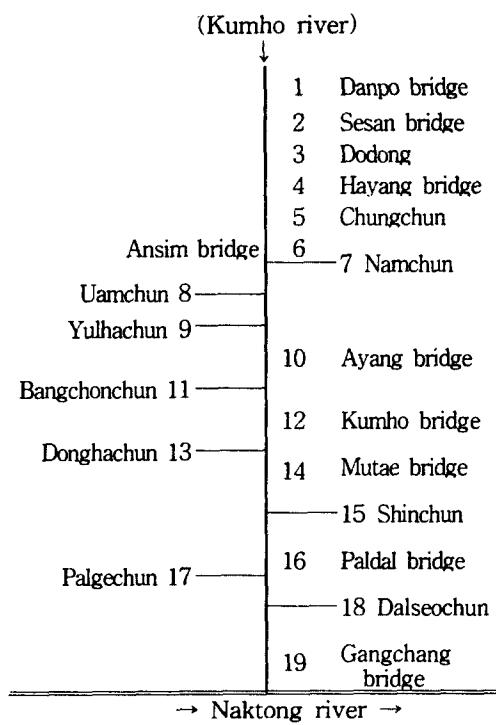


Fig. 1. Location of the sampling sites in the Kumho river.

2. 분석방법

가. 대상물질

분석대상물질로 선정된 휘발성 유기화합물질은 VOCs의 분석을 위해 내장된 Library와 Supelco사 VOCs Mix 표준품을 사용하여 정량 및 정성분석이 가능한 56가지 오염물질로서, 그 가운데 하천 조건에서 검출빈도가 높은 11개 오염물질을 선정하여 중점 분석하였다^{13,14)}.

중점분석한 휘발성 유기화합물의 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다.

나. 시료의 채취

시료의 채취는 미국환경청¹⁵⁾ 추천 시료병을 사용하여, 시료 및 시료병에 공기의 유입을 방지하기 위하여 조심스럽게 벽면을 따라 채수하고 기포를 제거한 후, 테프론을 입힌 격막으로 막고 스크류 마개로 밀봉하여 얼음을 채운 ice jar에 넣어 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다.

다. 기기 및 장비

본 실험에 사용한 gas chromatography(이하 GC라 함) 장치는 Hewlett Packard사(USA)의 Model 5890이며, 검출기로는 Hewlett Packard사

Table 1. Physical and chemical properties of volatile organic compounds

Compounds	Abbreviation	Molecular weight	Specific gravity (20°C)	Melting temp. (°C)	Boiling temp. (°C)	Solubility of water (g/l)
Dichloromethane	DCM	84.94	1.30	-96.8	40.2	20.0
Chloroform	Chl	119.39	1.48	-63.2	61.2	8.0
Benzene	Ben	78.11	0.90	5.5	80.1	0.7
Toluene	Tol	92.13	0.87	-93.0	110.7	0.05
Trichloroethene	TCE	131.38	1.46	-84.8	87.0	0.4
Tetrachloroethene	TeCe	165.85	1.62	-22.5	121.4	0.15
Ethylbenzene	EB	106.16	0.86	-95.0	136.2	0.2
p-Xylene	p-Xyl	106.17	0.87	13~14	139.0	0.2
o-Xylene	o-Xyl	106.17	0.88	-25.0	143~145	0.2
1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-T	120.19	0.86	-44.8	164.0	0.02
1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-T	120.19	0.89	-44.0	168.0	immiscible

Table 2. Condition for P&T and GC/MSD

Condition for purge and trap	Condition for GC/MSD
Purge gas : He (20ml/min) Trap : Tenax/Silicagel/Charcoal Prepulse : 0.40min Preheat : 0.50min Purge : 12min Cooldown : -130°C Desorb preheat : 175°C Desorb : 4.0min at 180°C Inject : 0.70min at 200°C Bake : 12.0min at 225°C	Column : Ultra 2 capillary (crosslinked 50m x 0.2mm x 0.33μm) Detector temp. : 280°C Oven temp. : hold 4 min at 30°C, then to 42°C at 3°C/min, hold 1 min at 42°C then to 80°C at 6°C/min, hold 2 min at 80°C, then to 200°C at 10°C/min Carrier gas : He (1 ml/min)

(USA)의 질량분석기 Model 5970을 사용하였다.

Purge와 trap방식의 전처리는 Tekmar사(USA)의 Model LSC 2000을 사용하였다. P&T 장치의 흡착트랩은 Tenax/Silicagel/Charcoal을 사용하였는바, Table 2.에 실험에 사용한 트랩의 작동조건을 나타내었다. GC칼럼은 Supelco사(USA)의 Ultra 2 capillary column(crosslinked 50m×0.2 mm×0.33 μm)을 사용하였으며, column온도는 초기온도 30°C에서 4분간 유지한 후, 분당 3°C씩 4 2°C까지 올려서 1분간 유지하고, 이 후 분당 6°C 씩 80°C까지 올려서 2분간 유지한 후 분당 10°C씩 200°C까지 올려서 사용하였다.

라. 표준물질

본 실험에 사용한 각 화합물의 표준물질은 Supelco사(Bellefonte, USA)의 Cat No. 4-8804 VOC Kit 제품을 사용하였으며, 검량선 작성용 표준물질의 조제는 먼저 2000 mg/L인 표준물질 ample을 농도가 500 mg/L가 되게 회석한 후, 사용할 때마다 초순수에 일정농도가 되게 조제하여 사용하였다. 초순수는 Millipore사(Bedford, USA)의 Milli-Q system으로 정제한 타이온수(저항 : 18.2 MΩ/cm)를 다시 활성탄 트랩을 통과시킨 다음에 끓인 후, 80~90°C에서 헬륨으로 1시간 purge한 후에 사용하였다.

마. 휘발성 유기화합물의 측정

시료 5ml를 실린지로 취하여 P&T 장치의 U자형 fritted Sparger에 주입하고 Sparger의 밑부분으로부터 비활성 기체인 헬륨을 불어넣어 시료중

의 휘발성 유기성분을 흡착트랩에 모은 후, 트랩의 온도를 높여 이 성분들은 운반기체에 의해 GC에 주입되어 칼럼에서 분리되고 검출기로 확인하였다.

이상에서 얻어진 mass charge를 Library 및 표준물질의 머무름시간(retention time)과 비교하여 휘발성 유기화합물의 정성 및 정량에 이용하였으며, 측정오차 등을 감안하여 검출한계의 10배인 0.01 μg/L 미만은 불검출로 간주하였다.

바. 유량 측정

채수지점에서 유량은 유황(流況)이 일정하고 하상의 상태가 고른 지점을 선정하여 10~20등분한 다음 회전식 유속계(Gaithersburg, USA)로 평균 유속 Vm을 아래 식으로 구하였다.

(가) 수심이 0.4m 미만일 때는 $V_m = V_{0.6}$

(나) 수심이 0.4m 이상일 때는 $V_m = (V_{0.2} + V_{0.8}) \times 1/2$

($V_{0.2}$, $V_{0.6}$, $V_{0.8}$ 은 각각 수면으로부터 전수심의 20%, 60%, 80%인 점의 유속)

유량은 하천을 소구간으로 나누어 각 소구간마다 유속계에 의한 유속과 수심을 측정하여 Velocity-Area Method로 소구간의 각 유량을 구하여 전구간의 총 유량 Q를 아래 식으로 구하였다¹⁶⁾.

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i V_i \quad V_i : \text{소구간의 유속} \\ n : \text{소구간의 수}$$

위 식에 의하여 1997년 4월에 구하여진 유량은 Table 3.과 같다.

Table 3. The amount of water at each sampling sites

(unit : m³/day)

Sampling sites		Amount of water
Main stream	Ansim bridge	103,097
	Kumho bridge	269,198
	Paldal bridge	630,409
	Gangchang bridge	1,069,087
Branch stream	Namchun	108,864
	Uamchun	12,607
	Yulhachun	2,074
	Bangchonchun	24,054
	Palgechun	72,277
	Dalseochun	354,586

III. 결 과

1. 금호강 수계 휘발성 유기화합물의 농도

금호강 본류의 휘발성 유기화합물 농도는 금호강이 대구광역시에 유입하기 전 지점인 단포교, 서산교, 도동, 하양교, 청천 지점과 같은 금호강 상류지역에서는 dichloromethane, chloroform, benzene 및 toluene의 4개 항목의 평균농도가 0.02에서부터 0.51 µg/L까지로 미량 검출되었으며, 그 외 trichloroethene, tetrachloroethene, ethylbenzene, p-xylene, o-xylene, 1,3,5-trimethylbenzene, 1,2,4-trimethylbenzene은 전혀 검출되지 않았다.

아양교에서는 dichloromethane, chloroform, benzene 및 toluene 외에 p-xylene 및 1,3,5-tri-

Table 4. Average concentration for VOCs in the main stream of Kumho river

(unit : µg/L)

Sampling sites	DCM	Chl	Ben	Tol	TCE	TeCe	EB	p-Xyl	o-Xyl	1,3,5-T	1,2,4-T
Danpo bridge	0.08 (ND-0.18)	0.25 (0.12-0.36)	0.07 (ND-0.36)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sesan bridge	0.11 (ND-0.27)	0.35 (0.24-0.44)	0.02 (ND-0.10)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dodong	0.42 (0.11-1.06)	0.16 (ND-0.31)	0.06 (ND-0.29)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hayang bridge	0.33 (0.04-0.73)	0.51 (0.34-0.71)	0.04 (ND-0.21)	0.04 (ND-0.10)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chung-chun	0.39 (ND-0.84)	0.47 (0.37-0.55)	0.05 (ND-0.25)	0.02 (ND-0.08)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ansim bridge	0.48 (ND-1.10)	0.39 (0.23-0.72)	0.39 (ND-3.97)	0.01 (ND-0.04)	ND	ND	0.00 (ND-0.04)	ND	ND	ND	ND
Ayang bridge	0.36 (0.12-0.64)	0.31 (0.17-0.55)	0.35 (ND-3.47)	0.09 (0.04-0.18)	ND	ND	ND	0.04 (ND-0.23)	ND	0.14 (ND-1.38)	ND
Kumho bridge	0.28 (0.04-0.54)	0.12 (ND-0.27)	0.03 (ND-0.20)	0.01 (ND-0.03)	ND	0.23 (ND-2.71)	ND	ND	ND	0.03 (ND-0.34)	ND
Mutae bridge	0.33 (ND-0.84)	0.34 (0.17-0.53)	0.19 (ND-1.96)	0.03 (ND-0.11)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Paldal bridge	0.82 (0.23-1.55)	0.75 (0.52-1.15)	0.21 (ND-2.31)	0.34 (0.15-0.57)	0.02 (ND-0.24)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Gangchang bridge	0.79 (0.21-1.55)	0.74 (0.28-1.50)	0.45 (ND-4.95)	0.14 (0.07-0.25)	0.02 (ND-0.14)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total	0.40 (ND-1.55)	0.40 (ND-1.50)	0.17 (ND-4.95)	0.06 (ND-0.25)	0.00 (ND-0.24)	0.02 (ND-2.71)	0.00 (ND-0.04)	0.00 (ND-0.23)	ND	0.02 (ND-1.38)	ND

() : Range, ND : not detected, Abbreviation : See Table 1.

Table 5. Average concentration for VOCs in the branch stream of Kumho river
(unit : $\mu\text{g}/\text{L}$)

Sampling sites	DCM	Chl	Ben	Tol	TCE	TeCe	EB	p-Xyl	o-Xyl	1,3,5-T	1,2,4-T
Namchun	0.66 (ND-2.99)	0.17 (ND-0.78)	0.02 (ND-0.24)	0.08 (ND-0.31)	ND	0.05 (ND-0.61)	ND	0.03 (ND-0.38)	ND	ND	ND
Uamchun	2.11 (ND-5.82)	0.97 (ND-5.07)	0.28 (ND-2.64)	0.85 (ND-3.08)	ND	ND	0.20 (ND-2.16)	0.51 (ND-4.36)	0.41 (ND-4.80)	0.12 (ND-1.13)	ND
Yulhachun	0.68 (ND-2.83)	0.77 (ND-2.65)	0.01 (ND-0.13)	1.29 (ND-4.29)	0.09 (ND-0.97)	ND	0.06 (ND-0.25)	0.88 (ND-6.51)	0.11 (ND-0.81)	0.36 (ND-1.04)	ND
Bangchon-chun	0.74 (ND-4.67)	0.95 (ND-3.38)	0.41 (ND-2.32)	1.53 (ND-3.72)	0.22 (ND-0.91)	0.13 (ND-0.70)	0.15 (ND-0.49)	0.74 (ND-2.45)	0.32 (ND-1.01)	0.49 (ND-1.59)	0.13 (ND-1.50)
Dongha-chun	0.59 (ND-2.00)	0.72 (ND-3.04)	ND	0.03 (ND-0.09)	0.50 (ND-1.26)	0.19 (ND-0.75)	ND	ND	ND	ND	ND
Sinchun	0.28 (ND-2.20)	0.41 (ND-2.01)	0.65 (ND-2.76)	0.29 (ND-1.90)	ND	0.04 (ND-0.34)	0.03 (ND-0.41)	0.12 (ND-1.46)	0.10 (ND-1.16)	ND	ND
Palgechun	0.30 (ND-2.44)	0.57 (ND-1.61)	ND	1.74 (ND-5.47)	0.78 (0.12-2.02)	0.08 (ND-0.83)	0.01 (ND-0.07)	0.06 (ND-0.41)	ND	0.05 (ND-0.39)	0.04 (ND-0.50)
Dalseo-chun	0.74 (ND-2.84)	0.64 (ND-1.74)	ND	1.00 (ND-3.94)	0.14 (ND-0.79)	ND	0.02 (ND-0.23)	0.13 (ND-0.97)	0.07 (ND-0.54)	0.01 (ND-0.11)	0.04 (ND-0.52)
Total	0.76 (ND-5.82)	0.65 (ND-5.07)	0.17 (ND-2.76)	0.85 (ND-5.47)	0.22 (ND-2.02)	0.06 (ND-0.83)	0.06 (ND-2.16)	0.31 (ND-6.51)	0.13 (ND-4.80)	0.12 (ND-1.59)	0.03 (ND-1.50)

() : Range, ND : not detected, Abbreviation : See Table 1.

methylbenzene이 미량 검출되고 있다. 특히 dichloromethane 및 chloroform의 농도가 가장 높은 지점은 팔달교 지점으로서, 평균농도가 $0.82 \mu\text{g}/\text{L}$ 및 $0.75 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났다.

한편 benzene의 가장 높은 평균농도를 보이는 지점은 강창교 지점으로서 $0.45 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났으며, toluene은 팔달교 지점에서 평균농도가 $0.34 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 가장 높게 나타나고 있다(Table 4).

금호강 지류의 휘발성 유기화합물의 농도를 살펴보면, dichloromethane이 가장 높은 평균농도를 나타내는 지점은 우암천으로 $2.11 \mu\text{g}/\text{L}$ 가 검출되었으며, chloroform이 최고농도를 보이는 지점도 우암천으로 $0.97 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 측정되었다. 또한 benzene이 최고농도를 보이는 지점은 신천으로 $0.65 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났으며, toluene이 최고농도를 보이는 지점은 팔거천으로 $1.74 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났다(Table 5).

2. 휘발성 유기화합물의 계절적 특성

가. Dichloromethane

금호강 본류에서의 dichloromethane에 대한 계절별 특성을 보면, 여름철인 1996년 7월($\text{ND} \sim 0.45 \mu\text{g}/\text{L}$)

보다 겨울철인 1997년 1월($0.18 \sim 1.55 \mu\text{g}/\text{L}$)이 상대적으로 높은 농도를 보이는 뚜렷한 계절적 특성을 나타내고 있다. 또한 계절적으로는 겨울철인 1997년 1월에 가장 높은 농도인 $1.55 \mu\text{g}/\text{L}$ 를 나타내었으며, 봄철의 경우에는 1996년 4월에 비해 1997년 4월의 경우 다소 감소된 농도분포를 보인다(Fig. 2).

나. Chloroform

Chloroform에 대한 금호강 본류의 계절별 특성을 보면, 여름철인 1996년 7월($\text{ND} \sim 0.52 \mu\text{g}/\text{L}$)보다는 겨울철인 1997년 1월($0.18 \sim 1.18 \mu\text{g}/\text{L}$)이 상대적으로 높은 농도로 검출되었다. 그러나 dichloromethane보다는 그 계절적 변화의 폭이 완만하게 나타나고 있으며, 특히 대구지역 유입지점인 안심교 이후에는 계절적 변화의 폭이 크게 둔화되었다. 한편 금호강 본류에서 chloroform의 최고농도를 보이는 지점은 금호강 최하류 지점인 강창교 지점으로, 겨울철인 1997년 1월에 $1.18 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났다(Fig. 3).

다. Toluene

금호강 본류에서 toluene에 대한 계절별 농도분포는 여름철인 1996년 7월($\text{ND} \sim 0.52 \mu\text{g}/\text{L}$)보다는

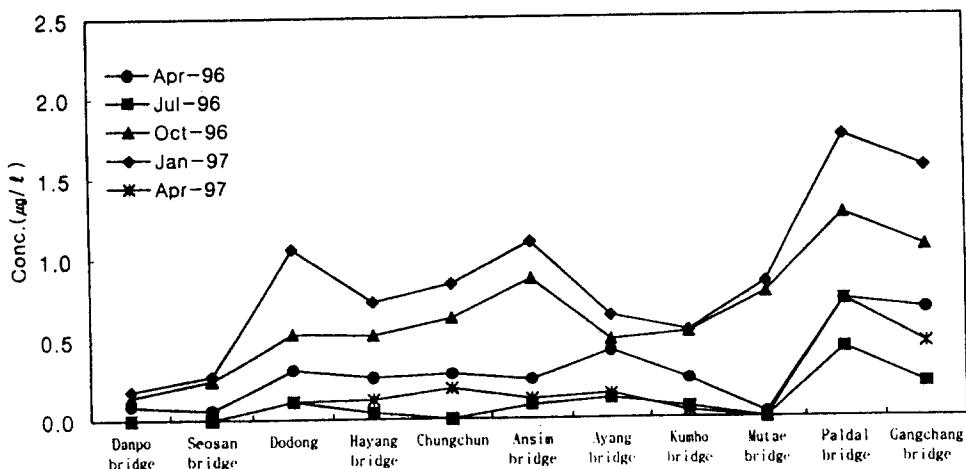


Fig. 2. Seasonal characteristics of dichloromethane in Kumho river.

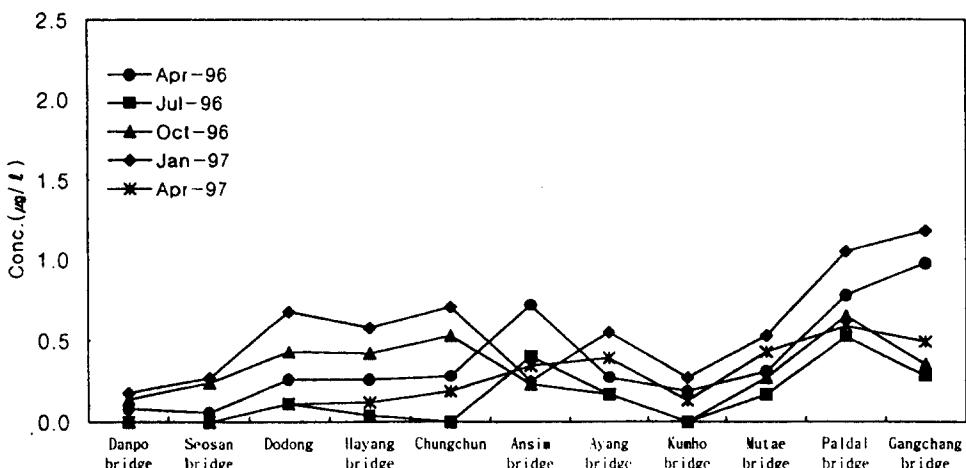


Fig. 3. Seasonal characteristics of chloroform in Kumho river.

겨울철인 1997년 1월($0.18\sim1.18\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$)이 상대적으로 높은 농도로 검출되었다. 그러나 dichloromethane보다는 그 계절적 변화의 폭이 완만하게 나타나고 있으며, 특히 대구지역 유입지점인 안심교 이후에는 계절적 변화의 폭이 크게 둔화되었다. 한편 금호강 본류에서 chloroform의 최고농도를 보이는 지점은 금호강 최하류 지점인 강창교지점으로, 겨울철인 1997년 1월에 $1.18\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났다(Fig. 4).

3. 금호강 지류 휘발성 유기화합물이 금호강 본류에 미치는 영향

금호강 본류와 지류에서 dichloromethane의 부하량이 가장 큰 지점은 강창교 지점(491.78 g/day)으로 나타났으며, 다음으로 팔달교(334.12 g/day), 달서천(262.39 g/day), 남천(71.85 g/day)의 순서로 나타났다. 또한 chloroform의 부하량이 가장 큰 지점도 강창교 지점(523.85 g/day)으로 나타났으며, 팔달교(371.94 g/day), 달서천(226.94 g/day), 팔거천(41.20 g/day)의 순서로 나타났다. Toluene의 부

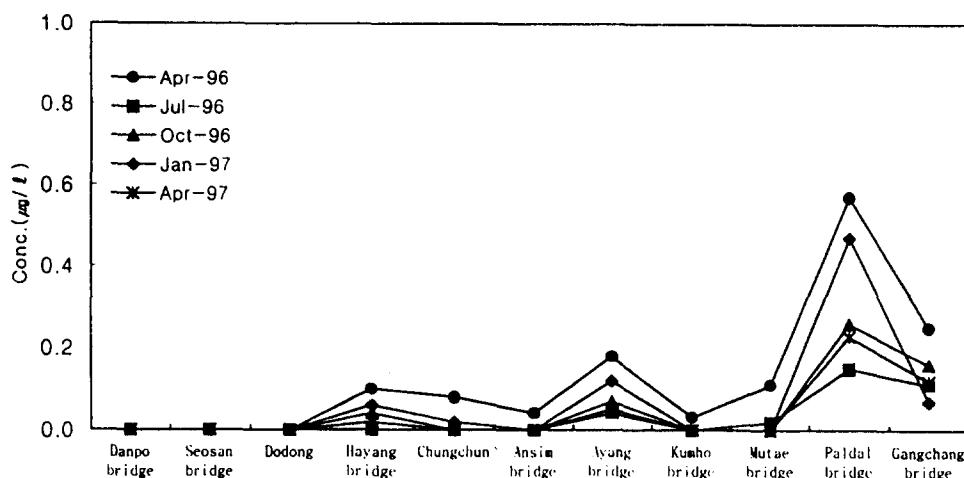


Fig. 4. Seasonal characteristics of toluene in Kumho river.

하량 크기는 달서천(354.59 g/day), 팔달교(144.99 g/day), 강창교(128.29 g/day), 팔거천(125.76 g/day)의 순으로 나타났다(Table 6).

한편 금호강 본류의 최하류 지점인 강창교 지점에 나타나는 휘발성 유기화합물의 항목별 부하량을 Fig. 5에 나타내었으며, Fig. 6에는 강창교 지점에 영향을 미치는 팔달교, 팔거천, 달서천을 대상으로 총휘발성 유기화합물 부하량의 분포를 그림으로 나타내었다.

강창교 지점의 휘발성 유기화합물에 대한 부하량의 크기는 chloroform이 45%로 가장 높고, dichloromethane(42%), toluene(11%) trichloroethene(2%)의 순으로 나타났으며 chloroform과 dichloromethane의 부하량이 각각 40% 이상을 차지하고 있다(Fig. 5). 또한 강창교 지점에 미치는 총휘발성 유기화합물의 부하량은 금호강 본류인 팔달교 지점이 43%로 나타났고, 지류인 달서천과 팔거천이 각각 45%와 12%로 나타났다(Fig. 6).

Table 6. Load quantities of VOCs in each sampling sites

(unit : g/day)

	Sampling sites	Dichloromethane	Chloroform	Toluene	Trichloroethene	Tetrachloroethene
Main stream	Ansim bridge	12.37	35.05	0	0	0
	Kumho bridge	10.77	34.99	0	0	0
	Paldal bridge	334.12	371.94	144.99	12.61	0
	Gangchang bridge	491.78	523.85	128.29	21.38	0
Branch stream	Namchun	71.85	18.51	8.71	0	0
	Uamchun	26.60	12.23	10.72	0	0
	Yulhachun	1.41	1.60	2.68	0	0
	Bangchonchun	17.80	22.85	36.80	0	0
	Palgechun	21.68	41.20	125.76	56.38	5.78
	Dalseochun	262.39	226.94	354.59	49.64	0

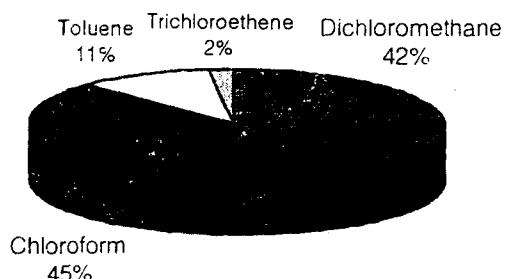


Fig. 5. Load quantity of VOCs in Gangchang bridge.

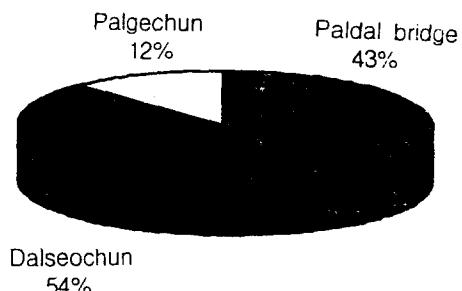


Fig. 6. Load quantity of total VOCS in Gangchang bridge.

IV. 고 칠

어떤 지역의 유기물 오염실태를 정확히 파악하기 위해서는 수질이 여러 가지 환경인자에 의하여 유동적이기 때문에 장기적이고 종합적인 조사가 진행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 금호강 본류 11개 지점과 지류 8개 지점에 대하여 1995년 10월부터 1997년 4월까지 11개 항목의 휘발성 유기화합물에 대해 월 1회씩 총 19회 분석한 자료를 각각 금호강 본류 및 지류를 구분하여 정리한 바, 금호강 본류의 휘발성 유기화합물은 검출빈도가 높은 dichloromethane의 경우 최고 농도를 보인 팔달교 지점에서 $0.23\sim1.55\text{ }\mu\text{g/L}$ 으로 나타나 먹는 물 수질기준 $20\text{ }\mu\text{g/L}$ 보다는 현저히 낮게 나타나고 있으며, chloroform의 경우 역시 최고 농도를 보인 팔달교 지점에서 $0.52\sim1.15\text{ }\mu\text{g/L}$ 의 검출농도를

나타내어 먹는 물 수질기준(chloroform을 포함한 total trihalomethane, $100\text{ }\mu\text{g/L}$)에 비하면 매우 낮은 농도를 나타내어, 인체의 위해성을 고려해 볼 때 아직은 미미한 실정이다.

또한 toluene의 경우에도 금호강 본류의 최대검출농도를 나타내는 지점은 팔달교 지점으로서 $0.15\sim0.57\text{ }\mu\text{g/L}$ 의 범위를 나타내고 있는데, 이는 먹는 물 수질기준 $700\text{ }\mu\text{g/L}$ 에 비하면 역시 매우 낮은 농도이며, 기타 휘발성 유기화합물들의 경우 역시 먹는 물 수질기준에 비하면 매우 낮은 수준으로 나타나고 있다. 또한 금호강 각 지류의 경우 역시 본류보다는 다소 높은 농도의 휘발성 유기화합물이 검출되고 있으나, 이를 역시 먹는 물 수질기준에 비하면 매우 낮은 수준으로 나타나고 있는 실정이다.

이러한 농도분포를 나타내는 휘발성 유기화합물에 대한 금호강 본류에서의 각 측정지점별 특성을 살펴보면, 우선 금호강이 대구광역시에 유입하기 전 지점인 단포교, 서산교, 도동, 하양교, 청천지점과 같은 금호강 상류지역에서는 dichloromethane, chloroform, benzene 및 toluene의 4개 항목 만이 검출되었으며, 아양교에서는 이를 항목의 p-xylene 및 1,3,5-trimethylbenzene이 추가로 검출되고 있다. 이는 금호강의 지류 가운데 공업용수와 생활하수 등으로 일부 오염된 우암천, 울하천 등의 하천수가 금호강에 유입되면서, 본류의 유량에 의한 회석 및 하상조건에서 완전히 제거되지 못하고 잔존함에 따른 현상으로 보여진다. 특히 방촌천에서는 계절적 차이는 있지만 전체 분석 대상항목이 최소한 3회 이상 검출되고 있어, 방촌천 합류 후 지점에서는 이를 항목의 검출가능성을 갖고 있다. 그러나 방촌천 합류 후 지점인 금호교의 경우, dichloromethane, chloroform, benzene, toluene, trichloroethene, 1,3,5-trimethylbenzene은 현저히 감소하고 있으며, tetrachloroethene, ethylbenzene, xylene은 완전히 제거되고 있다. 이러한 결과는 방촌천이 합류한 후 금호교 지점의 지형적 특성에 따른 현상으로 설명되는데, 이 지점은 다른 지점과는 달리 유속이 완만하고 하상폭이 넓은 하상조건을 형성하고 있어 쉽게 휘발성 유기화합물들이 제거됨에 따른 현상으로 판단된다.

한편, 금호교 이후 동화천이 유입되고 또한 대구시내를 남북으로 관통하여 흐르는 신천이 합류한 후, 무태교의 수질은 금호교에 비하여 전체적으로 약간 악화되고 있으나, tetrachloroethene이나 1,3,5-trimethylbenzene의 경우는 무태교에서 검출되지 않고 있다. 그러나 각종 생활배수를 처리하는 신천하수처리장 처리수와 3공단의 공단배수가 합류된 후인 팔달교 지점에서는 오염도가 다소 증가된다.

따라서 휘발성 유기화합물의 농도는 팔달교 지점이 무태교 지점에 비해 상당히 증가하고 있으며, 무태교 지점에서는 검출되지 않는 trichloroethene 역시 계절에 따라 다소의 차이는 있으나 검출되고 있다.

특히 생활하수와 달서천하수처리장 처리수 및 공단배수가 합유된 팔거천과 달서천의 휘발성 유기화합물 농도는 다른 지점에 비하여 다소 높게 나타나고 있다. 그러나 금호강의 최하류지점으로서 낙동강과 합류되기 전 지점인 강창교 지점의 경우, benzene을 제외한 나머지 항목의 경우 팔달교 지점보다 낮은 농도를 나타내고 있다. 그러나 정¹²⁾은 1995년 1월과 2월 사이 총 29회의 측정을 통하여 tetrachloroethene이 평균 0.01 µg/L, ethylbenzene이 평균 0.01 µg/L, p-xylene이 0.05 µg/L의 농도로 검출되었다고 보고하고 있어, 본 연구의 결과와 다소 차이를 나타내고 있다. 즉 강창교 지점에서 이들 항목의 검출은 전혀 없었으며, 또한 다른 휘발성 유기화합물의 검출농도도 정¹²⁾의 측정결과보다 크게 낮게 나타났다. 이러한 결과는 1995년 봄 이후 강우의 증가와 신천 및 달서천 하수처리장의 확장가동 등으로 인하여 금호강의 수질이 크게 개선됨에 따른 현상으로 보여진다. 항목별 휘발성 유기화합물의 계절적 특성을 보면 우선 dichloromethane의 경우, 여름철보다 겨울철이 상대적으로 높은 농도를 보이는 뚜렷한 계절적 특성을 나타내고 있는데, 이는 여름철에 우수에 의한 희석과 대기 중으로의 휘발 등에 의하여 농도가 감소하는데 비해 겨울철에는 이러한 요인이 상대적으로 적게 미침에 따른 현상으로 판단된다. 또한 금호강 유역에서 dichloromethane의 최고 농도를 보이는 지점은 팔달교 지점으로서 3공단 배

수 및 팔거천의 영향을 받고 있음에 따른 현상으로 보이며, 계절적으로는 겨울철인 1997년 1월에 가장 높은 농도를 보이고 있다.

한편 하류로 갈수록 계절에 무관하게 전반적으로 dichloromethane의 농도는 증가하고 있으며, 1996년 4월에 비해 1997년 4월의 경우 다소 감소된 농도를 보이는데, 이는 1996년에 비해 1997년의 경우 강우의 증가와 더불어 각종 하·폐수 처리장의 확장가동 등으로 인하여 금호강의 수질이 개선됨에 따른 현상으로 판단된다.

Chloroform은 dichloromethane과 유사한, 즉 여름철보다는 겨울철이 상대적으로 높은 농도를 보이는 계절적 특성을 보인다. 그러나 dichloromethane 보다는 그 계절적 특성이 약하게 나타나고 있으며, 특히 대구지역 유입 후에는 계절적 특성이 크게 둔화되는데 이는 chloroform의 오염원이 특정 오염원이 아닌 여러 가지 경로에 의하여 오염이 가능하기 때문으로 판단된다.

한편 금호강 본류에서 chloroform의 최고 농도를 보이는 지점은 강창교 지점으로 나타나, dichloromethane과는 달리 공단밀집지역인 팔거천의 영향뿐만 아니라 하수처리장에서 배출되는 처리배수에 의해 직접적인 영향을 받는 달서천의 영향도 크게 받고 있음을 암시하고 있다. 또한 toluene은 금호강 상류지역인 단포교, 서산교, 도동 지점에서는 전혀 검출되지 않고 있으며, 다른 지역에서도 대체로 낮은 농도분포를 보이고 있다. 또한 계절에 따라 약간의 차이는 있으나 대구지역 유입전에는 매우 낮게 나타나고 있으며, 계절에 따른 변화폭도 미미한 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 toluene의 오염원이 고무산업, 폐인트산업, 도장용 용제 또는 의약품산업 등의 하·폐수에 기인함을 고려할 때, 이러한 공장이 상류에는 거의 없기 때문에 금호강 본류에는 이들 계열의 산업폐수의 영향은 나타나지 못함에 따른 현상으로 판단된다. 그러나 팔달교 지점에서는 상대적으로 높은 농도를 보이는데, 이는 dichloromethane과 같이 신천 하수처리장의 처리수와 각종 공장들이 밀집해 있는 제 3공단지역에서 배출되는 하·폐수의 영향을 일부 받고 있음에 따른 현상으로 보인다. 그리고 기타 휘발성 유기화합물들은 dichlo-

romethane, chloroform, toluene 보다는 검출빈도가 낮지만, 팔달교 및 강창교 지점에서 부분적으로 검출되고 있어, 이들 금호강 하류지역의 공단지역에서 배출되는 하·폐수에 의해 영향을 받고 있음을 무시할 수는 없다.

금호강 본류에 미치는 금호강 지류의 휘발성 유기화합물의 영향을 살펴보면, 금호강 지류 우암천의 경우 휘발성 유기화합물의 측정농도는 남천보다 크게 나타나고 있으나 유량이 상대적으로 적어 실제 금호강 본류에 미치는 부하량은 적게 나타나고 있다. 특히 율하천의 경우도 휘발성 유기화합물의 검출농도는 상대적으로 높게 나타나고 있으나 유량이 매우 적어 실제 금호강 본류에는 큰 영향을 미치지 못하는 부하량으로 나타나고 있으며, 금호강 본류의 최하류 지점인 강창교 지점의 경우에는 달서천과 팔달교 지점이 팔거천에 비해 휘발성 유기화합물의 부하량이 상대적으로 크게 나타나 영향을 많이 미칠을 알 수 있다.

이러한 부하량의 측정결과는 정¹²⁾이 1994년 1월에 측정한 결과보다는 전체적으로 크게 낮게 나타나고 있는데 이는 측정계절의 차이에 크게 기인하고 있기 때문으로 보인다. 또한 민 등¹⁷⁾은 휘발성 유기화합물의 제거능 특성을 연구하면서, tetra-chloroethene, trichloroethene, toluene, benzene이 하수처리장 조건에서 제거가 유리함을 입증하였는 바, 본 연구의 결과가 정¹²⁾의 결과와 비교할 때 이를 항목의 부하량이 크게 낮아져, 각종 하·폐수 처리시설의 가동으로 인하여 금호강 수질이 크게 개선되고 있음을 뒷받침하고 있다.

V. 결 론

금호강 본류 11개 지점과 금호강 지류 8개 지점에 대하여 1995년 10월부터 1997년 4월까지 월 1회씩 총 19회 측정한 휘발성 유기화합물의 농도와 계절적 특성 및 부하량을 조사하였다.

금호강 본류에서는 dichloromethane, chloroform, toluene, benzene, trichloroethene, tetra-chloroethene, p-xylene 및 1,3,5-trimethylbenzene의 8개 항목이 검출되었으며, 특히 dichlo-

romethane, chloroform, benzene의 3항목은 본류 전 지점에서 검출되었다.

금호강 지류에서는 dichloromethane, chloroform, toluene, benzene, trichloroethene, tetra-chloroethene, ethylbenzene, p-xylene, o-xylene, 1,3,5-trimethylbenzene 및 1,2,4-trimethylbenzene의 11개 항목이 검출되었으며, dichloromethane, chloroform, toluene의 3항목은 지류 전 지점에서 검출되었다.

계절별로는 여름철인 1996년 7월보다 겨울철인 1997년 1월이 높은 농도를 나타내었으며, 금호강의 최하류인 강창교 지점의 휘발성 유기화합물 부하량의 크기는 chloroform > dichloromethane > toluene > trichloroethene의 순으로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 금호간 본류와 지류에서의 휘발성 유기화합물들은 일부 성분들만 검출되고 있으며 그 농도도 먹는 물 수질기준보다 현저히 낮은 수준이지만 독성이 큰 물질들이므로 지속적인 모니터링을 통해 부산 경남지역 상수원 보호에 만전을 기하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. World Health Organization : Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1. Recommendation, WHO, Geneva, 47-77, 1984.
2. World Health Organization : Guidelines for drinking-water quality, Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information, WHO, Geneva, 63-246, 1993.
3. Munro NB, Travis CC : Drinking Water Standard. Environ. Sci. & Tech., 21(8), 768-769, 1986.
4. 보건사회부 : 음용수 수질관리 지침서. 1993.
5. 환경부 : 환경백서, 1996.
6. Callahan M, et al : Water-related environmental fate of 129 priority pollutant, EPA-440/479-029 a,b U.S. EPA, Washington D.C., 1979.
7. 권숙표, 정용, 조희제 : 상수증 Trihalome-

- thane생성에 관한 연구, 수도, 31, 11-18, 1984.
8. 이선영, 박성갑 : 대구지역 휘발성 유기화학 물질(VOCs) 오염, 한국수질보전학회지, 7(3), 145-151, 1991.
 9. 이상학, 배준웅, 전치완, 정혜영, 한종환, 최상섭 : Purge & Trap-GC/MS에 의한 금호강 수계의 휘발성 유기물 분석, 대한환경과학회지, 10, 57-68, 1996.
 10. 이관희, 이창균, 류우석, 김은숙 : 지하수 중 휘발성 유기화학물질(VOCs)에 관한 연구(천안지역을 중심으로), 충남도보건환경연구원보, 6, 121-132, 1995.
 11. 이주광, 이승목, 윤이용 : 강릉시 식수계중 휘발성 유기화합물(VOCs)의 분포, 한국수질보전학회지, 12(3), 237-243, 1996.
 12. 정철수 : 낙동강 종류지역 휘발성 유기화합물 질의 실태에 관한 연구, 석사학위논문, 영남대학교 환경대학원, 1996.
 13. 환경부 : 유해화학물질편람, 동화기술, 서울, 1991.
 14. 환경부 : 미량유기화학물질 분석지침, 환경부 상관 67406-15('94.5.31)호, 1994.
 15. US Environmental Protection Agency : Risk assessment, management and communication of drinking water contamination, EPA, 1990.
 16. 환경부 : 환경오염공정시험법(수질분야), 동화기술, 서울, 1996.
 17. 민경섭, 홍성희, 정철수, 이철희 : 휘발성 유기화합물의 제거능에 관한 연구, 1997.