

## 낙동강 수계의 섬유 및 화학 산업폐수로부터 발생하는 미량유해화학물질의 모니터링

김만일<sup>1</sup> · 강미아<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과

<sup>2</sup>안동대학교 환경공학과

### Monitoring of Micro Noxious Chemicals Caused by Fiber and Chemistry Industrial Wastewater on the Nakdong River Water System

Man-Il Kim<sup>1</sup> and Meea Kang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

<sup>2</sup>Dept. of Environmental Engineering, Andong National University

다양한 산업의 발달은 우리 인간이 사용해야 하는 수자원으로 여러 가지 형태의 위해성을 함유하는 유해화학물질들의 수적·양적 증가를 초래하였다. 이로 인해 효율적인 수자원의 이용을 위해서는 수자원으로 유입되는 오염원의 사전 처리가 필수적인 것으로 인지도어 국내에서도 수자원으로 유입되는 오염물질에 대해 총량으로 방류업체의 수질을 규제하기 시작했다. 그러나 아직까지도 규명되지 않은 화학물질들이 대다수를 차지하므로 이에 대한 모니터링이 매우 중요한 역할로 자리하고 있다. 본 연구에서는 낙동강 수계로 유입되는 섬유 및 화학 산업폐수를 중심으로 미량유해화학물질을 계측하여 이들이 낙동강 수계에 미치는 위해성을 검토하였다. 대상으로 한 7개 업체로부터의 유입수와 방류수에서 검출되는 VOCs(volatile organic compounds) 중에서는 클로로포름(chloroform)이 가장 높은 빈도로 검출되었으며, 동일한 업체에서도 노출수준이 일정하지 않아 이의 관리에 어려움이 예상된다. 그러나 이들 업체의 방류수가 유입되는 하수처리장에서는 클로로포름의 처리효율이 높아(88% 이상) 낙동강 수계의 영향은 그리 크지 않을 것으로 추정된다. 한편, 섬유/화학 관련 산업체의 유입수와 방류수로부터 노출되는 EU지정우선물질에 대해 조사한 결과, 검출현황에 대한 일정한 경향을 찾을 수 없을 뿐만 아니라 국내자료의 축적도 거의 없는 상태임을 감안하여 지속적인 모니터링을 통해 국가정책에 활용할 수 있는 자료구축을 해 나가야 할 것이다.

**주요어** : 미량오염물질, 산업폐수, 수질모니터링, 낙동강 수계

Industry development caused numerical and quantitative increase of noxious chemical substances that contain risk assessment in water resources. For use of efficient water resources a pre-treatment of contaminant source which is flowed in water resources is recognized in essential process. Therefore, the discharged water quality from discharged company began to control contaminant by total amount of pollutant in domestic. However, to estimate closely chemical substances it is not proved up to now, monitoring is very important. This study achieved a monitoring of micro noxious chemical substance by fiber and chemistry industrial wastewater inflow to examine risk assessment of the water system of Nakdong river. Chloroform was measured highest among volatile organic compounds (VOCs) that the results of water quality of influent and effluent are detected from 7 companies of study area. The other side, because measured value of detected chloroform is indefinite detection level in the same company, it is difficulty in management of water quality. However it may not be much effects of the water system of Nakdong river because these company's effluent is high treatment efficiency of chloroform (more than 88%) in sewage treatment plant. On the other hand, in the investigated results for the European Union specified priority substance that is detected to relationship influent and effluent from fiber/chemistry associated industries, these sub-

\*Corresponding author: wdream@andong.ac.kr

stances were not detected and domestic data was hardly referred. Therefore, data construction of continuous monitoring about this water quality may have to be achieved certainly to utilize as country policy.

**Key words :** micro contaminant, industrial wastewater, water quality monitoring, Nakdong river water system

## 서 언

우리나라의 주요 하천을 중심으로 하는 오염원 조사는 매년 시행되고 있으며, 분석기술의 발달과 유해성평가 결과를 기초로 조사대상이 되는 오염원의 수적 증가도 눈에 띄고 있다. 하천의 수질관리 측면에서는 강화된 방류수 수질기준을 마련하고 있어 규제되고 있는 수질 항목에 있어서는 개선된 사례들이 늘고 있는 한편, 안료/안료 제조시설, 섬유/염색 가공시설 및 가죽 가공시설 등에서는 현행 기준 이하의 방류수 질 결과와는 달리 우려할 만한 수준의 유해화학물질이 검출되기도 하였다(환경부, 2005a, 2005b).

그러므로 본 연구에서는 섬유/염색 가공 및 화학 시설을 세분화 하여 선정한 7개 사업체의 유입수와 방류수의 수질을 미량유해화학물질을 중심으로 모니터링 하고, 이들이 유입되는 3개 하수처리장의 유입수와 방류수의 수질도 함께 모니터링 하여 이들로부터 낙동강 수

계로 노출되는 미량유해화학물질의 위해성 정도를 검토하고자 하였다. 모니터링 항목으로는 국내에서 규제하고 있는 VOCs 뿐 아니라 EU에서 권장하는 우선 유해물질 중에서 휘발성 화학물질을 선정하였으며(EC, 2001), 산업체별 특정유해 화학물질의 종류와 오염도를 중점 조사하여 이에 대한 타당한 근거 자료를 축적함으로써 낙동강 수계 관리를 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

## 문헌조사

### 위해성(발암성) 조사

유럽연합에서 수질정책에 관련한 주요 오염물질의 발암성에 대한 문헌조사 (EC, 2001)를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 국내 노동부의 산업안전보건자료(노동부, 2004)에 기초하여 산업안전보건법, 미국 산업안전보건청(OSHA), 미국 국립독성계획단(NTP) 및 국제 발암성연구소(IARC)에서 평가한 내용을 기초로 정리하였으

**Table 1.** Specified main pollutant regulations by European Union.

Name of priority substance	OSHA	IARC	Name of priority substance	OSHA	IARC
Alachlor	NO**	NO	Mercury and its compounds*	NO**	NO
Anthracene	NO**	not applicable	Naphthalene*	NO**	YES
Atrazine	NO	NO	Nichel and its compounds*	NO**	YES
Benzene	YES**	YES	Nonylphenols*	NO**	YES
Brominated diphenylethers	not applicable	not applicable	(4-(para)-nonylphenol	NO	NO
Cadium and its compounds	YES	YES	Octylphenols	NO	NO
C <sub>10-13</sub> -Chloroalkanes	NO	NO	(Para-tert-octylphenol)	NO	NO
Chlorofenvinphos	NO	NO	Pentachlorobenzene	NO	NO
Chloropyrifos	NO	NO	Pentachlorophenol*	NO**	YES
1,2-Dichloroethane*	NO**	YES	Polyaromatic hydrocarbone	not applicable	not applicable
Dichloromethane*	YES	YES	(Benzo(a)pyrene)*	NO**	YES
Di(2-Ethylhexyl)phthalate*	YES**	YES	(Benzo(b)fluorathene)	NO**	YES
Diuron*	YES**	YES	(Benzo(g,h,i)perylene)	NO**	NO
Endosulfane	NO	NO	(Benzo(k)fluoranthene)	NO**	YES
(Alpha-endosulfane)	NO	NO	Indeno(1,2,3-ed)pyrene	NO**	YES
Fluorathene	NO**	YES	Simazine	NO	NO
Hexachlorobenzene	NO**	YES	Tributyltin compounds	not applicable	not applicable
Hexachlorobutadiene*	NO	YES	(Tributyltin cation)*	NO	NO
Hexachlorocyclohexane*	NO**	YES	Trichlorobenzenes	not applicable	not applicable
Gamma-(lindane)*	NO**	YES	(1,2,4-Trichlorobenzene)	NO	NO

\*Control by Industrial Safety and Health Act regulation in domestic.

\*\*Main Regulation (Regulation as carcinogen by drinking water treatment regulation of proposal No. 65 in California State).

며, “발암성이 있다”라고 평가한 결과는 “YES”로 나타내었고, “발암성이 없다”라고 평가한 결과는 “NO”로 나타내었다. 여러 물질들 중에서 벤젠(benzene), 헥사클로로부타디엔(hexachlorobutadiene), 클로로포름(chloroform)은 국내 산업안전보건법에 의해 발암성이 있는 물질로 추정하는 A2로 규정하고 있다. 벤젠과 디클로로메탄(dichloromethane)은 OSHA, NTP, IARC에서도 모두 발암성 물질로 규정하고 있다. 헥사클로로부타디엔은 이들 세 기관에서는 발암성 물질로 규정하고 있지 않으나 국내에서는 유럽연합과 마찬가지로 발암성물질로 분류하여 관리하고 있다. 클로로포름의 경우는 OSHP에서는 발암성 물질로 규정하지 않은 한편, NTP와 IARC에서와 마찬가지로 국내 산업안전보건법에서도 발암물질로 규정하고 있다(USEPA, 1999; 노동부, 2004; Nelson, 1978). 그러므로 다른 독성 결과를 나타내는 이러한 물질들에 대한 독성 연구가 지속적으로 이루어질 것이라고 이와 더불어 이용하는 관련업체에서도 이에 관심을 갖고 활용 가능한 대체물질들을 꾸준히 찾아야 할 것으로 사료된다.

**주요 오염물질 제어를 위한 관련 규제법**

오염물질로부터 노출되었을 때의 위해도를 발암성 중심으로 하여, 이를 규제하고 있는 우리나라의 산업안전보건법, 유해화학물질관리법, 위험물안전관리법 중에서 산업안전보건법의 규정과 미국의 산업보건청(OSHA)의 규정, 국제 발암성연구소(IARC)의 규정을 비교·조사하였다. 국내의 수질보전법-특정수질유해화학물질로 추가될 가능성이 높은 항목인 클로로포름의 경우를 살펴보면, 국내의 산업안전보건법에는 발암성물질로 추정되는 A2로 규정하고 있으나, OSHA에서는 발암성이 없는 것으로 규정하고 있는 반면에 NTP와 IARC에서는 발암성 물질로 규정하고 있다. 그러므로 클로로포름에 대한 규제에 관해서도 우리나라는 2005년 5월에 이 물질을 특정수질유해화학물질로 지정할 입법예고를 하였으나 미국의 OSHA에서는 이 물질에 대한 규제가 이루어지지 않고 있다.

클로로펜빈포스(chlorfenvinphos)의 경우는 발암성에 대한 자료가 없으나 국내의 경우, 산업안전보건법에 의해서는 규제를 받지 않지만 유해화학물질관리법에 의해 유독물로 규제받고 있다. 또한 이 물질은 OSHA에서는 규제를 하지 않고 있는 물질이지만, 유럽연합(European Union)에서는 수질 정책에 요구되는 화학물질로 선정되고 있는 것이다. 아이소푸로투론의 예를 들어보면, 우리

나라의 산업안전보건법에서는 발암성에 대한 언급이 없으며, 미국의 OSHA, NTP에서는 발암성이 없는 것으로 보고하고 있고, IARC에서도 비발암성 물질로 분류하고 있다. 그러므로 산업안전보건법과 OSHA에서는 이 물질에 대한 규정이 없으나, 유럽연합에서는 Xn(유해물질)과 N(환경유해물질)로 규정하고 있다. 또한 알라클로르(alachlor)의 경우는 OSHA, NTP 및 IARC에서 모두 발암성이 없는 물질로 규정하고 있으나 미국 캘리포니아주에서는 1989년에 이미 발암성이 있는 물질 중 하나로 음용수처리규정에 정해져있다. 게다가 유해화학물질을 규제하는 규정에는 일정한 규칙을 찾기가 어려운데, 이것은 이들 물질에 대한 독성 분석 및 거동에 대한 연구가 앞으로 지속적으로 활발히 추진되어야 함을 의미한다고 볼 수 있다.

**연구방법**

**분석대상 산업폐수의 특성**

낙동강 수계에 위치하고 있는 많은 업종들 중에서 제사방직업체 1개소, 섬유제조업체 1개소, 섬유염색 및 가공업체 2개소, 산업용 화학업체 2개소 및 제지산업체 1개소를 대상으로 이들 업체의 유입수와 방류수의 수질을 계측하였다. 여기서 규모별 분류에 사용된 종의 구분은 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 바와 같이 2002년 말 기준 우리나라의 폐수배출업체는 총 53,821개 업소로 배출업체 규모로는 전체 배출업체 중 92.5%가 50톤/일 이하로 배출하는 5종 사업장이며, 2,000톤/일 이상 배출하는 1종 사업장은 0.6% 정도였다. 수계별 배출업체 수는 한강수계가 24,024개소로서 전체 배출업체의 46%로서 가장 많았으나, 한강수계에 분포하는 업소 중 약 94%가 배출규모가 적은 5종 사업장이었으며, 낙동강 수계는 전체 배출업체의 30%를 차지하며 1종에서 5종까지 다양하게 분포하고 있었고 배출규모가 큰 1종에서 4종까지의 업소가 차지하는 비율이 약 11%로

**Table 2.** Classificatory criterion by the amount of discharge in industrial wastewater facility (환경부, 2002)

Division	Discharge facility standard	Distribution (%)
1 class	More than 2,000 tons/day	0.6
2 class	Less than 700 to 2,000 tons/day	1.1
3 class	Less than 200 to 700 tons/day	2.2
4 class	Less than 50 to 200 tons/day	3.6
5 class	Less than 50 tons/day	92.5

**Table 3.** General present status and amount of wastewater produced due to fiber and chemical company.

Company division	Wastewater treatment	Capability of wastewater treatment (m <sup>3</sup> /d)	Company classification	Scale classification
A	Biological	960	Spinning	2 class
B	Physical, Chemical, Biological	1,200	Fiber	2 class
C	Physical, Chemical	1,500	Fiber dyeing and processing	2 class
D	Biological	120	Fiber dyeing and processing	4 class
E	Biological	650	Industrial chemistry	3 class
F	Biological	350	Industrial chemistry	3 class
G	Physical, Chemical, Biological	5,500	Paper industry	1 class

타 수계에 비하여 높게 차지하는 것이 특징을 보였다.

또한 대상으로 선정된 7개 업체의 폐수처리방식, 폐수처리능력, 폐수발생량, 업종별 분류 및 규모에 대한 일반현황을 Table 3에 나타내었다.

### 분석방법 및 시료수집

미량유해화학물질은 크게 국내의 수질오염공정시험방법(환경부, 2004)에 의해 분석 가능한 휘발성유기오염물질(VOCs)과 EU지정 주요오염물질로 구분하여 계측하였다. VOCs로는 1,1-디클로로에틸렌(1,1-Dichloroethane), 디클로로메탄(dichloromethane), 클로로포름, 1,1,1-트리클로로에탄(1,1,1-Trichloroethane), 사염화탄소(carbon chloride), TCE(trichloroethane), TeCE, 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), o-크실렌(o-xylene), 에틸벤젠(ethylbenzene), m-, p-크실렌(m-, p-xylene) 및 PCB(polychlorinated biphenyl) 등이다. 한편 국내에서는 규제대상이 아니며, 시험방법이 확립되어 있지 않는 EU지정 주요오염물질들은 USEPA의 폐수분석 방법을 이용하였다(USEPA, 2005). 시료의 분석은 전처리로서 크로마토그래프용 실리카겔칼럼을 이용하여 시료를 정제한 후, 정제한 용액 중에 함유되어 있는 이물질 등의 분석방해 물질을 제거하고 농축한 후 기체크로마토그래프(Gas Chromatograph)에서 분리되어 나오는 각 항목을 질량분석기(Mass Spectrometer)를 사용하여 선택적 이온모니터링(SIM, Selected Ion Monitoring)으로 분석, 또는 LC를 이용하여 분석하였다. GC/MS를 이용하여 분석한 항목으로는 Alachlor, Chlorofenvinphos, Fluoranthene, Hexachlorobutadiene, Hexachlorocyclohexane, Pentachlorobenzene, PAH, Anthracene, Atrazine, Chloropyrifos, Diphthalate (DEHP), Diuron, Endosulfan, Naphthalene, Octylphenol, Simazine, Trichlorobenzenes, Trifluralin, 등이며, LC를 이용하여 분석한 항목은 Isoproturon, Pentachlorophenol, Tributyltin iodide 등이다.

시료는 Table 3에 나타낸 업체의 유입수와 방류수를 각각 채수하였으며, 채수시기는 2005년 8월, 10월, 11월 및 12월에 각 1회씩으로 하였다. 또한 낙동강 수계에 미치는 위해성을 검토하기 위해 대구, 구미지역의 3개 하수처리장에서의 이들 오염원의 검출수준과 제거능을 조사하였다. 구미하수처리장, 달서천 하수처리장 및 성서공단 하수처리장에서의 유입수와 방류수의 시료를 각각 수집하여 분석하였으며, 3개 하수처리장의 시설용량은 각각 구미 하수처리장(330천톤/일), 달서천 하수처리장(400천톤/일) 및 성서공단 하수처리장(80천톤/일)로 조사되었다.

## 결과 및 고찰

### 업체에서의 VOCs 모니터링

Table 3에 기술한 업체를 대상으로 산업폐수 중의 휘발성유기화합물(VOCs)에 대한 조사를 실시한 결과, 전체 업체의 유입수와 방류수에서 검출되는 VOCs 중에서는 클로로포름이 가장 높은 빈도로 검출되었다. 클로로포름 분석 결과 대상 업체의 유입수에서의 최고 검출농도는 12.385 µg/L였고, 방류수에서의 최고 검출농도는 390.01 µg/L였다.

8월의 시료분석 결과, 업체 A, 업체 E 및 업체 N의 경우에는, 유입수에서는 클로로포름이 검출되지 않았으나 방류수에서는 390.01, 20.660 및 42.679 µg/L로 각각 검출되었다. 업체에 따라 유입수에 미량으로 검출된 클로로포름은 공정 중에 제거되기도 하고 생산되기도 한다는 것을 알 수 있다. 업체 B의 경우에는 8월에는 유입수와 방류수에서 모두 클로로포름이 검출되지 않았으나, 10월 분석결과에서는 유입수에서의 클로로포름 농도는 8.64 µg/L로 검출된데 반해 방류수의 클로로포름 농도는 39.71 µg/L로 방류수에서의 클로로포름 농도가 높았으며, 11월 분석결과에서는 유입수의 클로로포름 농도는

불검출인 반면에 방류수에서는 16.47 µg/L로 나타났다.

한편, 8월에 조사된 결과에 따르면 업체 A와 업체 E의 경우에 있어서는 방류수에서는 높은 클로로포름 검출을 나타내었던 것에 비해 업체 A에서의 10월 조사에서는 유입수의 경우 5.355 µg/L로 검출되었으나 방류수에서는 2.930 µg/L로 검출되었으므로 공정과정 중에서 약간 감소된 것으로 추정된다. 11월 조사에서는 업체 G에서는 유입수와 방류수 모두에서 클로로포름이 검출되지 않았다.

디클로로메탄의 검출 현황을 분석한 결과에서 제3종의 규모로 하루 350 m<sup>3</sup> 용량으로 생물학적 처리기술로 제어하고 있는 업체 F사에서는 유입수에서 약 17 µg/L 수준의 디클로로메탄이 검출되었으나 방류수에서는 검출되지 않았다. 그러므로 이 업체에서 낙동강 수계에 미치는 디클로로메탄의 위해성은 극히 낮게 측정되었다. 다른 VOCs의 검출은 거의 무시해도 좋을 정도의 극미량 또는 불검출로 조사되었다.

이상과 같이 연구 대상으로 한 섬유산업폐수 중에서 지속적인 모니터링을 실시하였던 7개 업체의 각 유입수와 방류수에서 검출된 클로로포름의 최대농도를 Fig. 1에 나타내었다. 2005년에 특정유해물질로 신규 지정된 VOCs 중 하나인 클로로포름은 Fig. 2에서 보는바와 같이 동일한 업체에서도 분석결과가 다양하게 나타나기도 하고, 방류수에서만 검출되기도 하는 등 낙동강 수계에서 검출되는 현황이 다양하므로 이에 대한 적극적인 모니터링이 요구된다.

특정수질유해물질 중, 배출허용기준을 신규로 지정하여 2005년도에 입법예고하여 2008년 1월 1일부터 시행하게 될 벤젠과 디클로로메탄은 청정지역과 기타지역에 따라 배출허용기준이 결정된다. 벤젠은 청정지역에서 0.01 mg/L 이하, 기타지역에서 0.1 mg/L 이하이며, 디클로로메탄은 청정지역에서 0.02 mg/L 이하, 기타지역에서 0.2 mg/L 이하이다(환경부, 2005a).

이번에 실시한 VOCs에 대한 모니터링 결과에서 조사기간 중 대상 업체로부터의 벤젠 검출은 업체 F의 유입수에서 9.331 µg/L(8월 시료에서만 검출), 업체 D의 유입수에서 18.86 µg/L(10월 시료에서만 검출)로 각 1회 검출되었으며, 이들 업체의 방류수에서의 벤젠은 검출되지 않았다. 또한 유입수에서 검출된 이들 벤젠의 농도도 청정지역에서 요구되는 벤젠농도보다는 높으나 기타지역에서 요구되는 벤젠 농도보다는 검출농도가 낮으므로 현재의 상태라면 벤젠에 의한 낙동강 수계의 위해도 증가는 그리 크지 않을 것으로 사료된다.

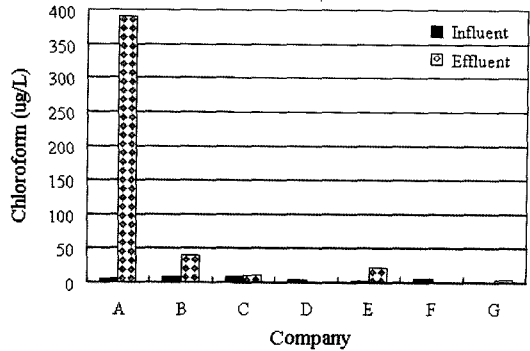


Fig. 1. Detected status of maximum chloroform for investigated industrial companies.

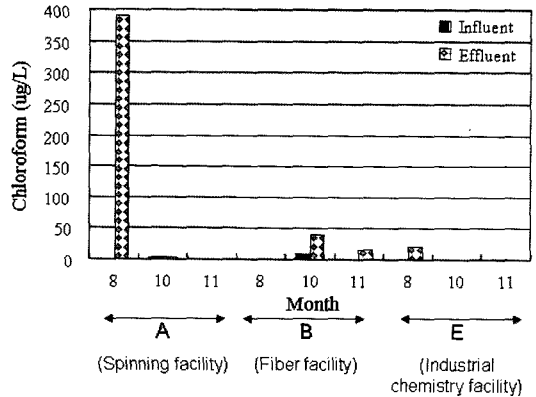


Fig. 2. Detected status of chloroform for the specified industrial companies.

또한 벤젠과 함께 배출허용기준을 신규로 지정된 디클로로메탄에 대한 분석결과를 검출된 최고값을 이용하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 업체 E의 방류수에서 8.036 µg/L(11월 시료에서만 검출), 업체 F의 유입수에서 17.15 µg/L(11월 시료에서의 검출농도)로 검출되었으나 모두 청정지역에서 요구되는 디클로로메탄 농도인 0.02 mg/L 이하로 조사되었으므로 낙동강 수계에 미치는 디클로로메탄의 영향도 벤젠의 경우와 마찬가지로 우려할 정도는 아닐 것으로 추정된다.

### 하수처리장에서의 VOCs 모니터링

3개 하수처리장의 VOCs 모니터링 결과를 각 처리장 별로 평가하면 다음과 같다. 성서 하수처리장에서는 10월 분석 결과, 유입수에서만 클로로포름이 5.655 µg/L이 검출되었으나 11월 유입수의 시료에서는 클로로포름이

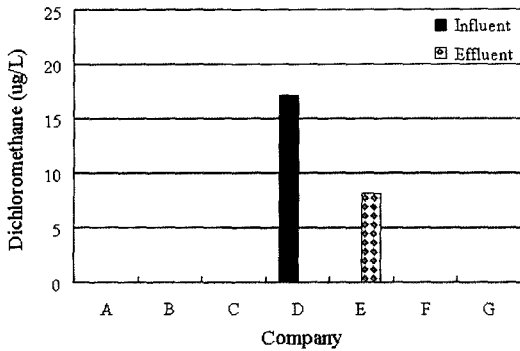


Fig. 3. Detected status of maximum dichloromethane for investigated industrial companies.

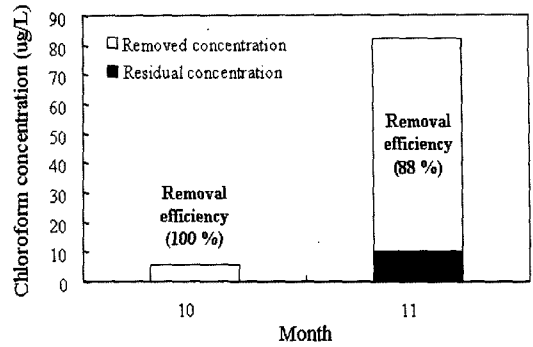


Fig. 4. Removal efficiency of chloroform in Seongseo sewage treatment plant.

82.41  $\mu\text{g/L}$ 로 높게 검출되었다가 12월 유입수에서는 클로로포름이 검출되지 않았다. 이와 함께 11월 시료에서는 디클로로메탄이 50.44  $\mu\text{g/L}$ , 사염화탄소가 5.416  $\mu\text{g/L}$ , *o*-크실렌이 4.237  $\mu\text{g/L}$  및 에틸벤젠이 2.483  $\mu\text{g/L}$ 로 각각 검출되었다. 그러나 방류수에서는 클로로포름을 제외한 모든 오염물질이 불검출되었으며, 클로로포름의 경우에는 유입수에서 82.41  $\mu\text{g/L}$  정도로 고농도로 유입되더라도 방류수에서는 10.20  $\mu\text{g/L}$  정도 검출되므로 약 87.8%의 제거 효율을 나타냈다. 또한 12월 시료분석 결과에서도 톨루엔이 약 25  $\mu\text{g/L}$  이하로 검출되었을 다른 수질오염물질들은 거의 불검출에 가까운 농도로 존재하였다. 그러므로 성서 하수처리장의 처리능력이 낙동강 수계에 영향을 미치지 않을 만큼의 고효율을 나타내는 것을 알 수 있다. 성서 하수처리장에 유입된 클로로포름

의 제거 효율을 Fig. 4에 나타내었다. 약 80  $\mu\text{g/L}$  이상의 클로로포름이 유입되는 경우에도 처리장에서의 효율은 88% 이상의 고처리 효율을 나타내는 것으로 조사되었다.

한편 구미 하수처리장의 유입수에서는 VOCs가 검출되었으나 낮은 농도였으며 방류수에서는 전혀 검출되지 않아 이들 처리장에서의 제거 효율은 높게 평가될 수 있다. 달서천 하수처리장에서도 생활계로부터 부하되는 유입수에서는 클로로포름이 12월에 9.952  $\mu\text{g/L}$ 로 높게 나타난 바 있으나 방류수에서는 불검출로 나타났으므로 달서천 하수처리장에서의 휘발성유기화합물 처리 성능은 탁월한 것으로 평가된다.

이상과 같이 세 하수처리장의 수질모니터링 결과의 일부(2005년 11월 분석자료)를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Analysis of VOCs of effluent and discharge of sewage treatment plant(STP) on November 2005.

Sampling point Item	Seongseo STP		Gumi STP		Darseo-cheon STP		
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent (home)	Influent (factory)	Effluent
1,1-Dichloroethylene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloromethane	50.440	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chloroform	82.410	10.20	3.260	ND	ND	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Carbon chloride	5.416	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TCE	ND	ND	2.054	ND	ND	ND	ND
TeCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	ND	ND	4.397	ND	ND	ND	ND
<i>o</i> -Xylene	4.237	ND	2.398	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	2.483	ND	2.686	ND	ND	ND	ND
<i>m,p</i> -Xylene	ND	ND	2.265	ND	ND	ND	ND
PCB	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : not detected

**업체에서의 EU지정 우선물질 모니터링**

조사된 다양한 미량유기화학물질 중에서, 업체 F의 유입수에서 DEHP는 119.16 µg/L(8월)로 가장 높게 검출되었으나 방류수에서는 검출되지 않았다. 검출된 DEHP는 거의 무색 무미의 액체로서 주로 플라스틱의 유연성을 강화하기 위해 첨가되는 상업화된 화학물질이다. 환경에 노출되어 건강을 해칠 가능성은 낮은 편이나, DEHP(2-Ethylhexly Phthalate) 관련 규제 강화하여 PVC 제조시 가소제로 쓰이는 DEHP(2-Ethylhexly Phthalate)를 기형 또는 생식장애 우려물질 대상에 추가하여 관리하고 있다(Li *et al.*, 1998; Moss *et al.*, 1988; USEPA, 1999). 업체 F로부터 검출된 바 있는 DEHP는 이후 분석한 결과에서는 모두 불검출로 나타났다. 그러나 일단 고농도로 검출된 업체의 경우에는 이에 대한 모니터링이 지속적으로 이루어져야만 이에 대한 위해성 평가를 명확히 할 수 있을 것으로 사료된다. 업체 B의 경우에는 12월에 채수한 시료에서의 Hexachlorobutadine이 약 320 µg/L로 높게 검출되었으나, 이는 유입수에서만 검출된 농도로 방류수에서는 약 30 µg/L이하였으므로 이 업체에서의 Hexachlorobutadine 제거율은 약 97%를 상회하는 것을 알 수 있다. EU 우선항목에 대한 모니터링 결과, 상기 기술한 이 외의 다른 업체로부터의 EU 우선항목 노출에 의해 발생하는 낙동강 수계에 미치는 유해성은 그리 크지 않을 것으로 판단된다.

**하수처리장에서의 EU지정 우선물질 모니터링**

성서공단 하수처리장의 EU 우선항목 분석결과, 조사 기간 중에 수집된 모든 시료에서 어떠한 항목도 검출되지 않았다. 이 결과를 Table 4에 서술한 VOCs 모니터링의 결과와 비교하면 11월에 고농도로 검출된 VOCs에 비해 EU 우선항목은 불검출임을 알 수 있다. 즉 성서하수처리장에서는 VOCs 오염항목에 선정된 미량유해화학물질이 주요한 오염인자임을 알 수 있고, 또한 EU 오염원들은 이들 처리장에서 고려할 만한 수준이 아님을 증명한다. 구미 하수처리장의 경우에도 10월과 11월에 유입수에서 Fluoranthene이 2.61 µg/L 및 3.39 µg/L로 미량으로 검출되었으나 처리장에서 모두 제거되어 방류수에서는 검출되지 않았다. 한편 달서천 하수처리장에서도 생활계 유입수에서 DEHP가 13.25 µg/L로 검출되었으나 방류수에서는 불검출되었다. 게다가 대상으로 한 3개 하수처리장에서 낙동강 수계로 부하되는 방류수로부터 발생하는 EU 우선항목은 전부 불검출로 나타났으므로 이들 물질로부터 낙동강 수계에 미치는 유해성은 발

생하지 않을 것으로 판단된다.

**결 언**

본 연구에서는 국내 산업폐수로부터 발생될 수 있는 미량유기물질 중에서 휘발성 오염물질의 수준을 모니터링 하였다. 섬유/화학산업을 중심으로 하는 산업체를 대상으로 유입수와 방류수에서의 VOCs를 분석한 결과, 전체 업체의 유입수와 방류수에서 검출되는 VOCs 중에서는 클로로포름이 가장 높은 빈도로 검출되었으며, 동일한 업체에서도 노출수준이 일정하지 않아 이의 관리에 어려움이 예상된다. 또한 성서 하수처리장, 구미 하수처리장 및 달서천 하수처리장 등 대상으로 한 3개소의 하수처리장으로부터 발생하는 클로로포름의 처리효율은 충분한 고농도의 클로로포름 유입시에도 약 88%에 해당하는 높은 제거 효율로 운전 가능하였다. 그러므로 이들로부터의 클로로포름의 방류에 의한 낙동강 수계의 영향은 그리 크지 않을 것으로 추정된다. 또한 EU지정 우선항목은 3개 하수처리장의 방류수에서는 전부 불검출되었으므로 이들 물질로부터 낙동강 수계에 미치는 유해성에 대한 영향은 없을 것으로 판단된다. 그러므로 현재 수준에서의 3개 하수처리장 효율을 유지하는 데에 주력하는 한편 검출 빈도가 높은 특정물질을 대상으로 이들 하수처리장에서의 처리성능에 대한 연구를 하는데 본 연구 결과가 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

한편, 섬유/화학 관련 산업체의 유입수와 방류수로부터 노출되는 EU지정 우선물질에 대해 조사한 결과, 노출 정도에 대한 일정한 경향을 찾을 수 없을 뿐만 아니라 국내자료의 축적도 거의 없는 상태임을 감안하여 지속적인 모니터링을 하여 국가정책에 활용할 수 있는 자료구축을 해 나가야 할 것으로 보인다.

**사 사**

본 연구는 2005년도 낙동강 수계관리위원회(국립환경과학원 낙동강 물환경연구소)에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과의 일부로 연구지원에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

노동부, 2004, 한국산업안전공단 물질안전보건자료.  
 환경부, 2002, 수질유해물질통합독성 관리제도 도입방안 연구.  
 환경부, 2004, 수질오염공정시험방법.

- 환경부, 2005a, 수질 유해 물질의 통합독성 관리 제도 도입 방안 연구 최종보고서.
- 환경부, 2005b, 화학물질 정보(<http://www.me.go.kr>)
- EC, 2001, Decision establishing the list of priority substances, No.2477/2001/EC
- Li, L. H., Jester, W. F. Jr. and Orth, J. M., 1998, Effects of relatively low levels of mono-(2-ethylhexyl) phthalate on cocultured Sertoli cells and gonocytes from neonatal rats, *Toxicol Appl Pharmacol*, 153(2), pp.258-265.
- Moss, E. J., Cook, M. W., Thomas, L. V. and Gray, T. J. B., 1988, The effect of mono-(2-ethyl) phthalate and other phthalate esters on lactate production by Sertoli cells in vitro, *Toxicol, Lett*, 40, pp.77-84.
- Nelson L. N., 1978, *Industrial Water Pollution : Origins, Characteristics, and Treatment*, Addison-Wesley Publishing Company.
- USEPA, 1999, *Guidance for Conducting Health Risk Assessment for Chemical Mixtures* (<http://www.epa.gov>).
- USEPA, 2005, *Method for wastewater analysis* (<http://www.epa.gov>).

**김만일**

안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388번지  
Tel: 054-820-5185  
Fax: 054-823-1627  
e-mail: mikim@andong.ac.kr

**강미아**

안동대학교 공과대학 환경공학과  
경북 안동시 송천동 388번지  
Tel: 054-820-6267  
Fax: 054-820-6187  
e-mail: wdream@andong.ac.kr