

낙동강 중류수계의 미량오염물질 검출현황

이철희[†] · 이순화 · 장일헌

영남대학교 환경공학과

Occurrence of Priority Pollutants in the Midstream of Nakdong River Basin

Chul-hee Lee[†] · Shun-hwa Lee · Il-hun Jang

Department of Environmental Engineering, Yeungnam University

1. 서론

산업발전에 따른 화학물질의 개발과 사용에 따른 유해물질의 인간 및 생태계의 노출은 심각한 사회문제로 대두되고 있으며, 세계보건기구(WHO)에 의하면 수중에는 약 2,000여 종류의 화학물질이 존재하며, 이중 600여 종류 이상이 유기오염물질로 알려져 있다.¹⁾ 이 중 휘발성 유기물질, 유기용제, 다환 방향족 탄화수소 등의 합성유기화합물과 중금속 등에 의한 수질오염은 인간 건강은 물론 수생태계에도 큰 영향을 미칠 수 있으며, 상수원에 잔류할 가능성도 상존하고 있어 이들 물질에 대한 관심과 예방 및 처리대책에 관심이 모아지고 있다.^{2~5)}

낙동강은 영남지역의 주요 식수원으로 사용되는 중요한 하천이며, 낙동강유역에는 크고 작은 공업단지들이 입지하고 있으며, 특히 대구, 구미, 김천의 대규모 공업단지가 낙동강 중·상류지역에 밀집해 있어 이들 공업단지에서 발생하는 하·폐수는 낙동강수질악화를 가속화시키는 주요오염원이 되고 있다.^{6,7)}

1991년 페놀유출사고를 겪은 이래 2004년 낙동강 본류 1,4-다이옥산 검출 및 2006년 퍼클로레이트 검출 등의 사건의 발생과 같은 각종 규제기준이 설정되지 않은 신규 미량유해물질이 배출될 개연성이 높아지고 있다.⁶⁾

따라서 낙동강 표류수를 직접 취수하여 정수하는 수돗물에 대한 지역주민들의 불신심화 및 국민보건상 위해가 우려됨에 따라 미량유해물질 관리의 중요성이 증가하고 있다. 특히, 내분비계장애물질을 포함하여 독성을 가지고 있는 미량유해물질들은 비록 미량으로 존재한다 하더라도 인체 및 생태계에 심각한 영향을 미칠 가능성이 높다는 점이 점차 분명해지고 있어 이들 물질에 의한 위해도를 적절한 수준 이하로 유지하기 위해서는 그 오염상태를 파악하고 이들 물질의 관리방안을 마련하는 것은 매우 시급한 일이다.⁸⁾

본 연구에서는 대규모공업단지의 입지로 미량유해물질의 배출개연성이 높은 낙동강 중류지역을 대상으로 미량유해물질의 오염실태조사와 오염피해 발생시 신속한 대응과 조치가 가능한 지속적인 모니터링계획을 수립하여 궁극적으로는 미량오염물질의 배출부터 최종처리까지의 적절한 관리방안을 마련하는 토대를 구축하고자 한다.

2. 조사방법

2.1. 조사대상지점

Table 1에 조사대상지점의 위치를 나타내었다. 조사지점은 크게 구미공단의 상류와 구미공단, 그리고 구미공단 하류로 구분하였으며, 구미공단 상류는 P1(일선교)과 P2(승선교) 2개 지점, 구미공단의 경우는 P3(구미대교)의 1개 지점, 그리고 구미공단 하류는 P4(왜관 제1교)의 1개 지점 등 4개 지점과 구미하수처리장 유입수(STPin)와 유출수(STPout)의 2개 지점으로 총 6개 지점에 대하여 2007년 7월부터 2008년 11월까지 조사하였다.

2.2. 조사대상물질의 선정^{9~25)}

본 연구에서는 구미지역 사용물질량 조사자료(대구지방환경청, 2006)를 기초로 하여 발암성, 수질규제 등의 항목을 고려하여 일부를 선정하였으며, 그 외의 물질은 위해성 분야의 연구자료가 축적되어 있는 미국 등의 선진국 자료(EPA, WHO)를 우선적으로 반영하였다. 분석대상물질

Table 1. Sampling positions

구분	지점	비고
P1	일선교	구미공단 상류
P2	승선교	구미공단 상류
P3	구미대교하류	구미공단 합류후
P4	왜관교	구미공단 하류
STPin	구미하수처리장 유입수	구미 하수처리장
STPout	구미하수처리장 유출수	

E-mail: chlee@ynu.ac.kr
Tel: 053-810-2542

Fax: 053-813-2247

Table 2. Summary of target pollutants

Materials	Cas No.	Carcinogenic		Criteria(mg/L)		Remarks
		IARC	EPA	Foreign	Korea	
Arsenic(As)	7440-38-2	1	A	0.05 ¹	0.05	I, E, F, K
Boron(B)	7440-42-8	4	C	0.2 ¹	0.3	I, E, F, K, CCL2
Cadmium(Cd)	7440-43-9	1	B1	0.005 ¹	0.01	I, E, F, K, EDs
Benzene	71-43-2	1	○	0.002 ³	0.01	I, E, F, K
Carbon tetrachloride	56-23-5	2A	B2	0.02 ²	0.002	I, E, F, K
Dichloroethane(1,2-)	107-06-2	2B	B2	0.014 ¹	-	I, E, F
Dichlorobenzene(1,4-)	106-46-7	2B	C	0.021 ¹	-	E, F
Aniline	62-53-3	3	B2	-	-	I, E, CCL3
Aluminium(Al)	7429-90-5	3	-	0.2 ¹	0.2	I, F, K, CCL2
Nickel(Ni)	7440-02-0	1	-	0.14 ¹	-	I, F
Beryllium(Be)	7440-41-7	1	-	0.04 ¹	-	I, F
lead(Pb)	7439-92-1	2A	-	0.05 ¹	0.05	I, F, K, EDs
1,4-Dioxane	123-91-1	2A	-	0.05 ¹	0.05	I, F, K, CCL2
Dichloropropene(cis-1,3-)	10061-01-5	2B	-	-	-	I, CCL2
Dichloropropene(trans-1,3-)	10061-02-6	2B	-	0.7 ¹	-	I, F, CCL2
1,1,2,2-tetrachloroethane	79-34-5	3	C	5 ¹	-	I, E, F, CCL2,3
1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	3	D	-	0.1	I, E, K
Tetrachloroethylene	127-18-4	2A	-	-	-	I
Trichloroethylene	28-86-1	2A	-	0.04 ³	-	I, F, CCL2
Dichloromethane	27-63-9	2A	-	0.002 ³	-	I, F
Ethylbenzene	100-41-4	2A	-	0.0018 ¹	0.3	I, F, K
Toluene	108-88-3	3	D	-	0.7	I, E, K
2,4-dinitrotoluene	121-14-2	2B	-	0.0005 ¹	-	I, F, CCL2
2,6-dinitrotoluene	606-20-2	2B	-	0.0005 ¹	-	I, F
BPA(Bisphenol A)	1980-05-07	3	-	0.03 ¹	-	I, F, EDs
Dibromoacetonitrile	3252-43-5	3	-	0.1 ³	0.1	I, F, K
Dichloroacetonitrile	3018-12-0	3	-	0.0007 ¹	-	I, F
Xylene	1330-20-7	-	D	0.07 ¹	0.5	E, F, K, EDs
1,1-Dichloroethylene	75-35-4	-	C	-	0.03	E, K, EDs
Diethyl phthalate (DEP)	84-66-2	-	D	5 ¹	-	E, F, EDs
Diethylhexyl phthalate (DEHP)	117-81-7	-	B2	0.006 ¹	-	E, F, EDs
Diethylhexyl adipate (DEHA)	103-23-1	-	○	0.4 ¹	-	E, F, EDs
Chromium(Cr)	7440-47-3	-	A	0.1 ¹	0.05(6+)	E, F, K
Dimethyl phthalate (DMP)	131-11-3	-	D	0.4 ¹	-	E, F
Chloralhydrate	302-17-0	-	-	0.004 ¹	-	F, H
Perchlorate	014797-73-0	-	-	0.006 ¹	0.006	F, K, C3
Di-n-butyl phthalate (DBP)	84-74-2	-	-	0.7 ¹	-	F
1,3-dichloropropane	142-28-9	-	-	0.02 ³	-	F, C2
1,1-dichloroethane	75-34-3	-	-	0.025 ¹	-	F, C2, C3
2,2-dichloropropane	594-20-7	-	-	0.292 ¹	-	F, C2
Isoprothiolane	50512-35-1	-	-	0.04 ²	-	F
2,4-dichlorophenol	120-83-2	-	-	0.021 ¹	-	F, C2
2,4,6-trichlorophenol	1988-06-02	-	-	0.002 ³	-	F, C2
Disulfoton	298-04-4	-	-	0.0003 ¹	-	F, C2, C3
s-ethyl-dipropylthiocarbamate (EPTC)	759-94-4	-	-	1.02 ³	-	F, C2
Di-hexylphthalate (DHP)	84-75-3	-	-	-	-	EDs
1,2-Dibromo-3-chloropropane	35-40-7	-	-	-	-	EDs
4-t-octylphenol	140-66-9	-	-	-	-	EDs
Nonylphenol	104-40-5	-	-	-	-	EDs
1,2,4-trimethylbenzene	95-63-6	-	-	-	-	C2
1,1-dichloropropene	563-58-6	-	-	-	-	C2
Diuron	330-54-1	-	-	-	-	C2, C3
2-methyl-phenol(o-cresol)	95-48-7	-	-	-	-	C2
Perfluorooctanoate (PFOA)	68141-02-6	-	-	-	-	C3
Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	1763-23-1	-	-	-	-	EU(2008)

note Remark I : IARC, E : EPA, F : Criteria(Foreign), K : Criteria(Korea) C : CCL(Contaminant Candidate List), C2 : CCL2(2005), C3 : CCL3(2008), EDs : Endocrine disrupters, H : Harmful material for health, Criteria 1 : EPA, 2 : WHO, 3 : Japan, 3* : Japan provision criteria, nothing : Korea

Table 3. Analytical Methods

Item	Analytical Method	
Heavy Metal	ICP OPTIMA 3000	
Perchlorate	ICS 3000 Column:AG16	
1,4-dioxane	Varian 1200 Column:DB-624	
VOCs	Varian 4000 Column:DB-624 GC 6890A(Agilent) MS 5973 inert(Agilent) DB-5MS(Agilent)	
Phthalate류	GC 6890A(Agilent) MS 5973 inert(Agilent) Column:HP-5MS	
Agrichemicals	Diuron, PFOS, PFOA Phenol	LC-MS(LC:Agilent1100, MS:API-4000 Q TRAP) GC/MS GC; HP6890, MSD:HP5973MSD

로 선정된 55개 물질은 우선, 발암성에 따라 WHO산하의 국제암연구소(IARC ; International Agency for Research on Cancer)에서 발암성물질로 분류한 27개 물질, USEPA의 IRIS (Integrated Risk Information System)의 발암성물질 18개 물질(IARC와 USEPA의 중복물질 11물질)을 포함하였으며, 55개 물질 중에는 EPA, WHO, 독일, 일본에서 규제하고 있는 물질이 41종이며 이 중 발암성물질과 중복되는 물질은 30종이다. 그리고 내분비계교란물질(EDs)이 12종이며 이 중 8개 물질은 발암성물질로 국외에서 수질기준 적용되고 있는 물질이다. 그 외 EPA의 CCL2, CCL3 (Contaminant Candidate List 2, 3), EU에서 2008년부터 규제하는 물질 등 6종이다. 이와 같이 선정된 분석대상물질의 개요를 Table 2에 나타내었다.

2.3. 분석대상물질의 분석

본 연구의 분석대상물질의 항목별 분석방법을 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 지점별 검출결과

3.1.1. 금속류

Fig. 1은 조사기간 중 금속류인 Aluminium, Boron, Nickel의 검출결과를 나타낸 것이다. 하수처리장의 경우는 2008년 8월과 11월 2차례에 걸쳐 실시한 결과이다.

Aluminium의 경우, 전체 조사대상지점에서 검출되었으며, 시기별 검출농도는 2007년 8월, 9월의 하절기가 타시기에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내었으며, 지점별로는 P3지점이 타지점에 비해 고농도로 검출되었으며, P2 지점을 제외한 3개 지점의 경우는 국내 먹는물수질기준인 0.2 mg/L를 초과하였다. 최대검출농도는 P3지점(2007년 8월)으로 0.371 mg/L로 나타났다. 이는 국내 먹는 물 수질기준인 0.2 mg/L의 약 2배에 해당하나, 서울시가 2003년에 실시한 “서울시의 수질검사항목의 위해성평가”에서 보고한 원수중의 알루미늄 농도 0.05~0.33 mg/L와 비슷한 수치를 나타내어²⁶⁾ 구미공단에서의 인위적인 유입에 의한 농도증가보다는 하절기 강우에 의한 토양배출 Aluminium의 유입 등 자연적 원인에 의한 것으로 판단된다.

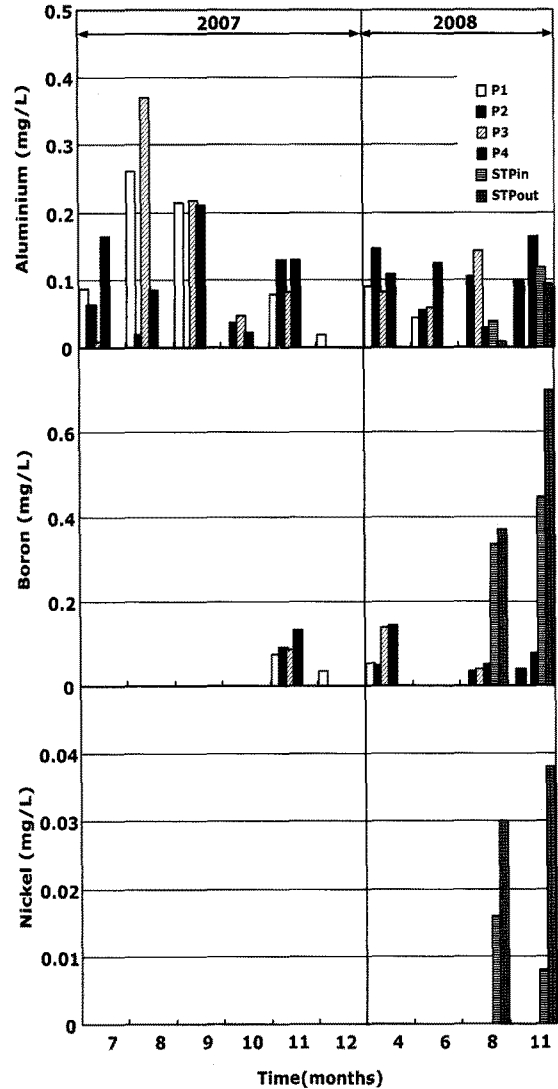


Fig. 1. Concentrations of metals.

Boron의 경우는 Aluminium의 경우와 반대로 하천유량이 많은 7~10월에 비해 상대적으로 하천유량이 적은 11, 12, 4월의 경우가 높게 나타났으며, 전체 조사지점에서 모두 수질기준이하의 농도를 나타내었다. 2007년 7~10월의 경우는 N.D.~0.024 mg/L를 나타내었으며, 2007년 11, 12, 2008년 4, 6, 8, 11월의 경우는 0.015~0.139 mg/L가 검출되었다.

2008년 8월과 11월에 조사한 구미하수처리장 방류수의 경우는 낙동강 본류 4개 지점에 비해 고농도인 0.370~0.698 mg/L가 검출되었으나, 하수처리장 합류 후(P3, P4지점)에서의 급격한 농도증가는 나타나지 않았다. 이는 유량에 의한 희석효과로 판단되며, 하수처리장 방류수에서의 고농도 검출에 대해서는 관련업체조사와 함께 지속적인 모니터링 등의 관리가 필요한 것으로 판단된다.

Nickel의 경우는 IARC 발암등급 1등급으로 설정되어 있으나, 국내의 경우는 수질기준이 설정되어 있지 않으며, EPA는 0.1 mg/L (MEG), WHO의 경우는 0.02 mg/L, EU는 0.05 mg/L로 기준을 설정하고 있다.

낙동강 본류의 경우는 전체조사지점에서 검출되지 않았으며, 하수처리장의 경우는 방류수에서 0.030~0.038 mg/L가 검출되어 Boron과 마찬가지로 모니터링과 오염원에 대한 관리가 필요한 물질로 판단된다.

3.1.2. Perchlorate

Perchlorate의 경우는 환경부 가이드라인을 낙동강 본류 왜관(P4지점)에서 6 µg/L로 설정하고 있으며, EPA에서는 음용수의 경우 24.5 µg/L, 캘리포니아주에서는 6 µg/L로 권고하고 있다.

조사지점별 Perchlorate 검출결과는 2007년 12월을 제외한 타시기에서는 전혀 검출되지 않았으며, 12월의 경우는 구미공단의 입지와 관계없이 상·하류에서 고른 농도분포를 나타내었으며, 전체 조사대상지점에서 5.4~5.6 µg/L의 범위로 검출되었다. 이는 환경부 권고치(6 µg/L 이하) 이하의 농도이나, 낮은 검출빈도에 비해 권고치의 90~93% 근사값을 나타내어 발생원인 조사 및 발생원 연계조사 등의 검토와 모니터링이 필요한 물질이다.

3.1.3. 1,4-Dioxane

1,4-dioxane은 2005년 대구지방환경청의 자료에⁶⁾ 의하면 낙동강수계가 타수계에 비해 상대적으로 검출빈도 및 농도가 높게 나타나며, 1,4-dioxane의 국내수질기준은 0.05 mg/L로 설정되어 있으며, 미국과 일본의 경우도 같은 농도인 0.05 mg/L로 설정되어 있다.

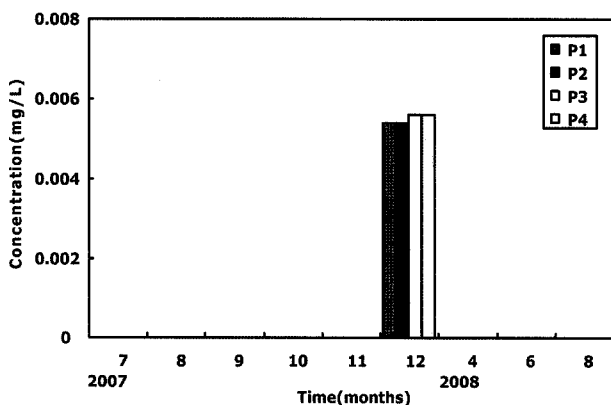


Fig. 2. Concentrations of Perchlorate.

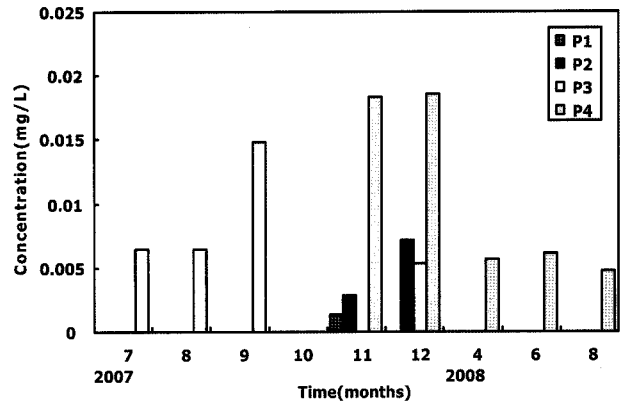


Fig. 3. Concentrations of 1,4-Dioxane.

조사지점별 1,4-dioxane의 검출결과는 하천의 유량이 상대적으로 적은 11월과 12월의 경우가 P1(일선교), P2(송선교), P3(구미대교) 지점에서는 N.D.~0.0071 mg/L 농도로 검출되었으며, 구미공단의 하류에 위치한 P4(왜관교) 지점에서 타지점에 비해 3배 이상 높은 농도인 0.0183 mg/L와 0.0186 mg/L가 검출되었다. 이는 수질기준에 비해 약 1/2.5 정도로 낮은 농도이긴 하나 구미공단을 경계로 공단의 하류에서 검출빈도와 검출농도가 급등하여 구미공단과의 연계성이 매우 크다고 볼 수 있으며, 공단지역의 배출원조사와 더불어 지속적인 모니터링이 필요한 물질로 판단된다.

3.1.4. Phthalate & EDs

조사지점에서 검출된 물질로는 DEP (Diethyl phthalate), DHP (Di-hexylphthalate), DEHP (Diethylhexyl phthalate), BPA (Bisphenol A), DEHA (Diethylhexyl adipate), Nonylphenol, 4-t-octylphenol, 2,4-Dichlorophenol의 8개 물질 (DBP, DEP, DEHP의 3종은 Phthalate와 중복)으로, 이 중 DEP, DHP, DEHP의 3종은 내분비계 교란물질(EDs)이다.

검출된 물질들에 대한 국내수질기준은 설정되어 있지 않으며, EPA의 경우 5개 물질 DMP 0.4 mg/L, DBP 0.7 mg/L, DEP 5 mg/L, DEHP 0.006 mg/L, DEHA 0.4 mg/L로 기준을 정하고 있다.

검출결과를 보면 검출물질 모두 EPA 기준에 비해 매우 낮은 농도를 나타내었으며, 이중 상대적으로 높은 농도로 검출된 물질은 DEHP와 DEHA의 2종이며, 검출농도는 DEHP가 2.0258~2.5082 µg/L, DEHA가 1.0352~1.4373 µg/L의 농도로 검출되었다. BPA의 경우는 타지점에서는 검출되지 않았지만 하수처리장 방류수가 합류된 P3지점에서 미량이지만 검출되어 공단과의 연계성 조사가 필요한 물질로 판단된다.

3.1.5. 농약류

검출된 농약류로는 Diuron, Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorooctanoate (PFOA), Isoprothiolane의 4개 물질로, 이중 Isoprothiolane의 경우는 0.04 mg/L(일본)로

Table 4. Summary of Agrichemicals (Nakdong river)

Materials	Criteria (µg/L)	Detec. Freq.				Detec. Conc. (µg/L)				Remarks
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	
Diuron	-	2/2	4/2	2/2	4/4	0.0002	0.0001~0.0003	0.0005~0.0006	0.0002~0.0007	
PFOS	-	2/2	4/4	2/2	4/4	0.0013~0.0014	0.0006~0.0024	0.0026~0.0035	0.0014~0.0057	EU
PFOA	-	2/2	4/4	2/2	4/4	0.0011~0.0019	0.0012~0.0021	0.0023~0.0047	0.003~0.01	C3
Isoprothiolane	40 ⁴	1/2	4/4	0/2	3/4	0.3725	0.0487~0.4304	-	0.1185~0.3316	F

(note) Criteria 4 : Japan, F : Criteria (Foreign), EU : European Union provision Criteria, C3 : CCL3 (2008)

Table 5. Summary of Agrichemicals (Gumi STP)

Materials	Criteria (µg/L)	Detec. Freq.		Detec. Conc. (µg/L)		Removal rate (%)	Remarks
		STP. in	STP. out	STP. in	STP. out		
Diuron	-	2/2	2/2	0.0007~0.0019	0.0012~0.0027	-	C2, C3
PFOS	-	2/2	2/2	0.0037~0.0295	0.0031~0.0302	~18.9	EU(2008)
PFOA	-	2/2	2/2	0.0018~0.0239	0.0034~0.0239	-	C3
Isoprothiolane	40 ²	0/2	2/2	0	0.1117~0.1438		F

(note) Criteria 4 : Japan, F : Criteria (Foreign), EU : European Union provision Criteria, C3 : CCL3 (2008)

수질기준이 설정된 물질이며, 검출된 농도는 일본 수질기준에 비해 매우 낮은 농도로 검출되었다. 또, 수질기준이 설정되지 않은 물질인 Diuron, PFOS, PFOA의 3개 물질의 경우도 전체조사대상지점에서 0.0001~0.0057 µg/L의 농도로 검출되었다.

3.1.6. VOCs

VOC의 경우는 낙동강 본류에서는 검출되지 않았으나, 하수처리장 유입수와 유출수의 경우는 o-Cresol, 1,1-dichloroethylene, Trichloroethylene의 3개 물질이 검출되었다. o-Cresol은 국내 및 EPA의 경우 모두 수질기준이 설정되지 않은 물질로 하수처리장의 유입수와 방류수에서 0.013~0.09 µg/L의 농도로 검출 되었다. Trichloroethylene의 경우도 국내 설정기준은 없으며, EPA의 경우는 5 µg/L로 기준이 설정되어 있으며, Trichloroethylen의 경우 하수처리장 유입수에서 0.3 µg/L의 미량이 검출되었으나, 하수처리장 유출수의 경우는 검출되지 않았다. 국내기준이 30

µg/L로 설정되어 있는 1,1-dichloroethylene의 경우는 낙동강본류에서는 검출되지 않았으나, 하수처리장 유입수와 유출수에서 각각 1.05 µg/L와 0.25 µg/L가 검출되었다. 이들 검출된 3개 물질들은 검출농도가 아주 미량에 불과하여 낙동강 본류에의 영향은 없을 것으로 판단되나, 하수처리장에서의 검출이 확인되어 지속적인 모니터링은 필요할 것으로 판단된다.

Table 6. Concentrations of VOCs

Materials	Criteria (µg/L)	Month (2008)	STPin (µg/L)	STPout (µg/L)
o-Cresol	-	8	0.090	N.D.
		11	0.056	0.013
1,1-dichloroethylene	30 ⁵	8	N.D.	N.D.
		11	1.0	0.2
Trichloroethylene	5 ¹	8	N.D.	N.D.
		11	0.3	N.D.

(note) Criteria 1 : EPA, 5 : Korea

Table 7. Detection level on treatment processes

Items	Raw water (µg/L)	Detection Conc. (µg/L)			Criteria (µg/L)	
		Coagulation-Filtration	Ozonization	Activated carbon	EPA	Korea
Diuron	0.0005	0.0004	N.D.	N.D.	14	-
PFOS	0.0029	0.0027	0.0026	N.D.	-	-
PFOA	0.0058	0.0055	0.0054	N.D.	-	-
Isoprothiolane	0.1560	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
DMP	0.0490	N.D.	N.D.	N.D.	400	-
DBP	1.6233	6.6961	0.5533	1.0048	700	-
DEP	N.D.	0.1102	0.0933	0.0667	5000	-
DHP	N.D.	0.0971	N.D.	N.D.	-	-
DEHP	2.8375	0.9053	5.4305	0.8542	6	-
DEHA	N.D.	N.D.	0.1529	N.D.	400	-
BPA(Bisphenol A)	0.0210	N.D.	N.D.	N.D.	30	-

3.2. 정수처리공정별 검출농도

Table 7에 각 정수처리공정별로 농약, Phthalate류, EDs의 검출농도를 나타내었다.

농약류의 경우, Diuron, PFOS, PFOA, Isoprothiolane의 4종이 검출되었으며, 각 공정별 검출물질은 원수에서 검출된 4종 중, 응집·여과 공정을 거친 후에는 Diuron, PFOS, PFOA의 3종이, 오존처리를 거친 후에는 PFOS, PFOA의 2종이, 그리고 활성탄공정 후에는 4종 모두 검출되지 않았다. 정수공정별 검출농도 결과로부터 농약류 중 Diuron과 Iso-prothiolane은 일반적인 정수공정인 응집·여과공정에서 제거가 가능한 것으로 판단되나, PFOS와 PFOA의 경우는 응집·여과공정 및 오존처리공정에서도 농도 변화가 없었으며, 활성탄 흡착공정에서만 제거가 되는 것으로 나타나 이들 물질의 제거를 위해서는 고도정수처리공정이 필요함을 시사하고 있다.

Phthalate류와 EDs의 경우는 DMP, DEP, DEHP, DBP, DHP, DEHA, BPA의 7종이 검출되었으며, 각 처리공정별 검출농도는 먼저 원수의 경우 DMP, DBP, DEHP, BPA의 4종이 검출되었으나, 검출농도는 모두 EPA 기준을 크게 밑도는 미량이었다. 이 중 DEHP의 경우는 오존처리공정 후 원수보다 농도가 증가하였으나, 후단의 활성탄 흡착공정에서 거의 제거가 되어 Phthalate류 및 EDs의 경우 활성탄 흡착공정이 효과적인 것으로 판단된다.

3.3. 검출물질에 대한 관리 및 모니터링

3.3.1. 검출물질들에 대한 관리현황

2007년 7월~2008년 11월까지 낙동강 중류수계에 대하여 총 55종의 미량 유해화학물질에 대한 조사 결과, 55종중에서 화학물질배출량조사(TRI)제도로^{4,5)} 국내에서 관리가 되고 있는 물질은 32개 물질로 나타났으며 나머지 23개 물질은 TRI제도로 관리가 되고 있지 않은 것으로 나타났다.

현재 TRI제도로 관리되고 있는 32개 물질 중에서 검출된 물질은 Aluminum, Boron, 1,4-dioxane, Nickel, 1,1-dichloroethylene, Trichloroethylene, BPA, DEHP, DEHA, DBP, 4-t-octylphenol, Nonylphenol, o-Cresol, PFOA의 14개 물질이며, TRI제도로 관리되고 있지 않은 23개 물질 중에서 낙동강 본류와 구미하수처리장에서 검출된 물질은 DEP, DMP, Perchlorate, DBP, Isoprothiolane, Diuron, PFOS의 7개 물질이다.

특히, 이들 7개 물질 중에서 DEP와 DMP의 경우 EPA의 발암등급이 설정되어 있으며, DEP의 경우 5 mg/L (EPA MEG)로 관리기준이 설정되어 있는 물질이다. DBP와 Isoprothiolane의 경우는 발암등급은 설정되어 있지 않으나 각각 0.7 mg/L (EPA MEG)와 0.04 mg/L (WHO)의 수질기준이 설정되어 있는 물질이다. 또 농약류인 Diuron과 PFOS의 경우는 각각 EPA의 CCL3 (Contaminant Candidate List 3)와 EU(2008) 규제대상 물질 List에 포함되어 있는 물질이다.

하수처리장에서 검출된 14개 물질들의 경우는 공단배출의 개연성이 있는 물질로 EPA 및 WHO 등에서 규제를 실시하고 있는 물질에 대해서는 화학물질배출량조사(TRI) 물질에 추가하여 모니터링 할 필요가 있다고 판단된다.

3.3.2. 검출물질들에 대한 모니터링 방안

본 연구에서 검출된 22개 물질의 경우 낙동강 본류에서만 검출된 물질이 3개 물질, 하수처리장에서만 검출된 물질이 6개 물질, 낙동강과 하수처리장 모두에서 검출된 물질이 13개 물질로 나타나 검출된 물질별로 차별화된 모니터링 방안이 필요하다고 판단된다.

먼저, 낙동강 본류에서만 검출된 물질들의 경우 기준치 이하의 농도로 검출되었으나 DEHA (EDs)의 경우는 EPA 발암물질로 등록되어 있는 물질로 상류오염원에 대한 조사를 비롯한 지속적인 모니터링이 필요하다.

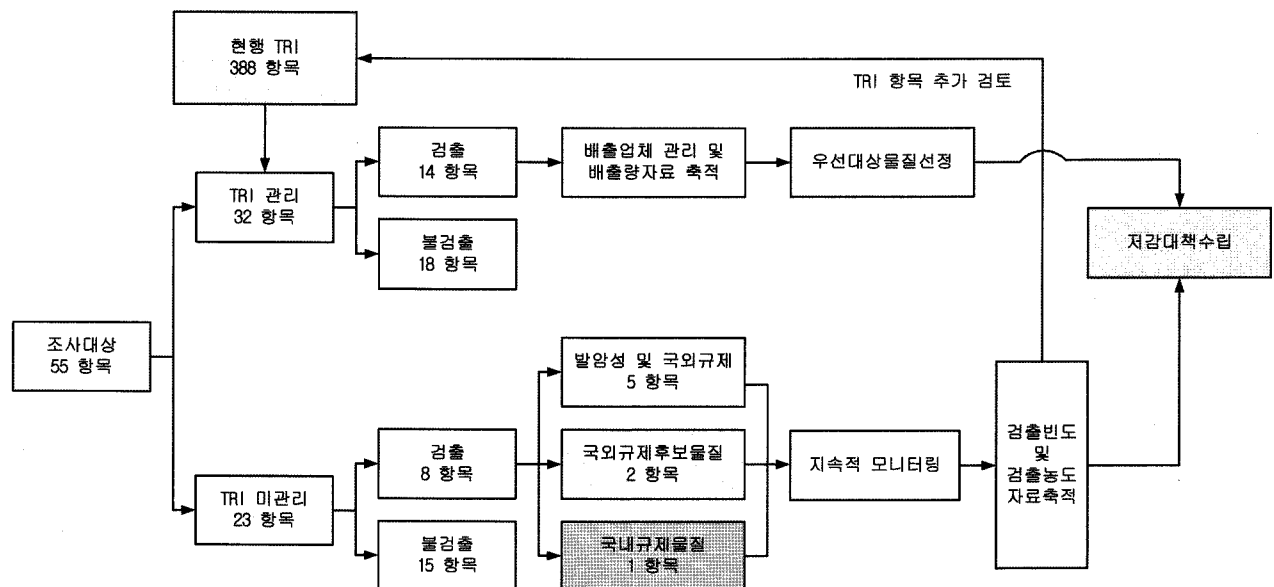


Fig. 4. Management system for detection materials.

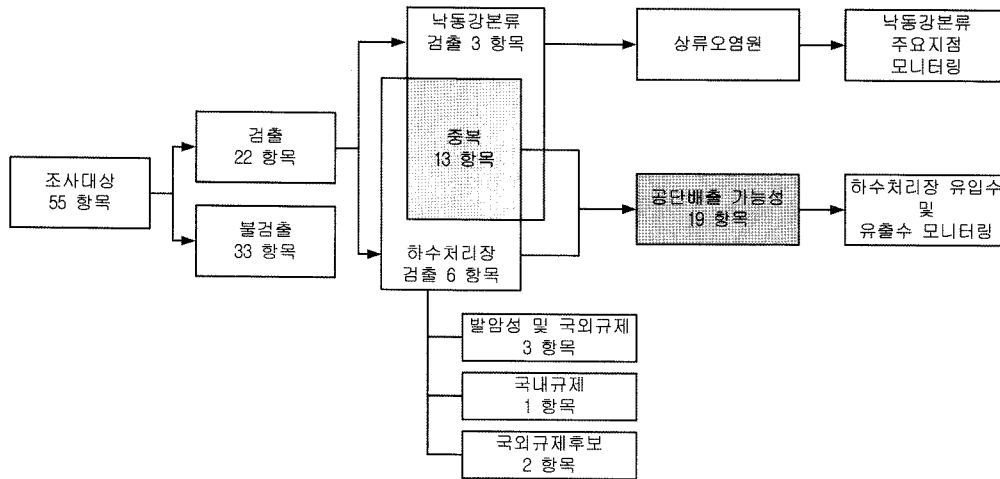


Fig. 5. Monitoring system for detection materials.

하수처리장에서만 검출된 6개 물질과 낙동강 및 하수처리장 모두에서 검출된 13개 물질, 이 두 경우를 합친 19개 물질의 경우는 공단에서의 배출가능성이 있는 물질로 하수처리장 유입수에 대한 모니터링이 필요하다.

구미공단에서 발생하는 폐수의 대부분은 하수처리장으로 유입되어 활성슬러지공법으로 처리하고 있으나 본 연구에서 검출된 물질들의 대부분은 하수처리장의 활성슬러지 공정으로는 처리가 어려운 물질로 알려져 있다. 현재의 경우는 하수처리장으로의 유입농도가 낮은 실정이나 유입부하가 증가할 경우에는 낙동강본류로의 유입 가능성이 있어, 하수처리장 유입수 및 유출수에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며, 이와 함께 이들 검출된 물질들에 대응하기 위해서는 EPA, WHO 등과 같은 국외의 유해화학물질 등록 및 관리현황을 조사하고, 조사대상물질의 유해성, 국내 배출량 등의 실태를 파악하여, 이중 우선적으로 조사할 대상물질을 선정해 정기적인 모니터링을 실시해야 하며, 동시에 검출된 물질들에 대한 배출저감기술의 조사와 배출저감기술의 적용성 및 효과에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

1) 조사대상 55개 물질에 대한 정성·정량분석 결과, 낙동강 본류의 경우 금속류 2종, Phthalate류와 EDs가 8종, 농약류 4종, Perchlorate, 1,4-Dioxane의 총 16종이 검출되었으며, VOCs 등 39종은 검출되지 않았으며, 하수처리장의 경우는 금속류 3종, Phthalate류와 EDs가 9종, 농약류 4종, VOC 3종의 총 19종이 검출되어 총 22종의 물질이 검출되었다.

2) 검출된 총 22개의 물질 중 국내·외 수질기준이 설정된 물질이 13개 물질, 기준 미설정 물질이 7개 물질, 잠정기준이 설정된 물질이 2개 물질로 나타났다. 수질기준이 설정된 13개 물질 중 EPA의 기준이 설정된 물질은 국내 기준이 설정된 5개 물질을 포함하여 10개 물질이었으며,

일본에만 기준이 설정된 물질이 1개 물질이었다.

3) 검출된 22종의 화학물질 중 검출빈도가 가장 높은 물질은 금속류인 Aluminium으로써 총 10회의 조사 중 지점별로 각각 P1 : 7/8, P2 : 8/10, P3 : 8/9, P4 : 9/10빈도로 검출되었으며, 총 55종의 분석물질 중 유일하게 “먹는물 수질기준”을 초과하였으며 지점 P1, P3, P4지점에서 각각 2/8, 1/9, 1/10의 기준초과빈도를 나타내었다.

4) Aluminium을 제외한 검출물질 중에서 1,4-Dioxane의 경우는 수질기준에 근접하는 값을 나타내었으나, 그 외 물질들은 수질기준에 비해 매우 낮은 농도를 나타내었다. 그러나 수질기준이 설정되어 있지 않은 물질의 경우도 검출농도는 저농도이지만 검출빈도가 높은 Phthalate류, EDs의 경우는 주기적인 모니터링 등 지속적인관리가 요구된다.

5) 조사대상 55종의 물질 중에서 현행 TRI제도로 관리되고 있는 물질은 32개 물질이며 이 중에서 검출된 물질은 Aluminum, Boron, 1,4-dioxane, Nickel, 1,1-dichloroethylene, Trichloroethylene, BPA, DEHP, DEHA, DBP, 4-t-octylphenol, Nonylphenol, o-Cresol, PFOA의 14개 물질로 나타났다. TRI제도로 관리되고 있지 않은 나머지 23개 물질 중에서 검출된 물질은 DEP, DMP, Perchlorate, DBP, Isoprothiolane, Diuron, PFOS의 7개 물질로 나타났다.

6) TRI제도로 관리되고 있지 않은 7개 물질 중에서 DEP, DMP 2개 물질은 EPA의 발암등급설정물질로 각각 5 mg/L (EPA), 0.03 mg/L (Japan)으로 지정되어 있으며, DBP, Isoprothiolane 2개 물질은 발암등급은 설정되어 있지 않으나 각각 0.7 mg/L (EPA), 0.04 mg/L (WHO)의 수질기준이 설정되어 있는 물질이다. 또, Diuron, PFOS 2개 물질은 EPA의 CCL3와 EU(2008) 신규규제대상 물질이다.

7) 이와같이 검출된 물질들은 검출물질별로 차별화된 모니터링 방안이 필요하며, 특히하수처리장에서만 검출되거나 또는 낙동강 및 하수처리장 모두에서 검출된 물질의 경우는 공단에서의 배출가능성이 있는 물질로 하수처리장 유입수에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 또, 낙동강 본류에서만 검출된 3물질의 경우 기준치 이하의 낮은 농

도이지만 DEHA의 경우는 EPA 발암물질로 등록되어 있어 상류오염원 조사와 함께 모니터링이 필요하다고 판단된다.

8) 본 조사 대상물질 55종중에서 구미지역 사용물질량 조사 자료에서는 파악되고 있으나 화학물질배출량조사 (TRI)제도로 관리되고 있지 않는 물질이 23개 물질로 나타났다. 이들 물질 중에서 낙동강 본류와 구미하수처리장에서 검출된 물질은 DEP, DMP, Perchlorate, DBP, Isoprothiolane, Diuron, PFOS의 7개 물질이다. 이는 앞으로 현행 TRI제도를 보다 개선하여 더욱 실질적이고 철저하게 시행하여 유해물질을 관리해야 할 필요성을 입증하고 있다.

참고문헌

1. WHO ; UNCF, Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report, New York(2000).
2. 환경부, 환경백서, 환경부(2003a).
3. 환경부, 수질환경보전법(법·시행령·시행규칙), 환경부(2003b).
4. 환경부, 제3차 화학물질 유통량 조사 결과, 환경부(2007).
5. 환경부, 2005화학물질 배출량조사 세부통계자료, 환경부(2006).
6. 대구지방환경청, 새로운 미량유해물질의 발견과 대처, 대구지방환경청(2005).
7. 낙동강수계관리위원회, 낙동강수계의 중금속 및 휘발성 유기화합물질의 거동에 관한 연구, 낙동강수계관리위원회(2007).
8. 부산시, 낙동강백서, 부산시(2006).
9. 환경부, 먹는물 수질감시항목 운영지침 및 시험방법, 환경부(2001).
10. Pontius, F. W., Drinking Water Regulation and Health; John Wiley & Sons, New York, pp. 583~619(2003).
11. USEPA, Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-R-04-005(2004).
12. USEPA, A Strategy for National Clean Water Industrial Regulations-Effluent Limitations Guidelines, Pretreatment Standards, and New Source Performance Standards(Draft), EPA-821-R-02-025(2002c).
13. USEPA, Effluent Guidelines Program Plan for 2002/2003, EPA 821-F-02-017(2002b).
14. USEPA, EPA's Regulated Contaminant Timeline, USEPA, Available from : <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html> (2001).
15. USEPA, Federal Register notice about the Contaminant Candidate List, USEPA(2008).
16. USEPA, National Recommended Water Quality Criteria-2002, EPA-822-R-02-047(2002a).
17. USEPA, Strategy for Water Quality Standards and Criteria, EPA-823-R-03-010(2003).
18. USEPA, Water Quality Criteria and Standards Plan - Priorities for the Future, EPA 822-R-98-003(1998).
19. USEPA, Maximum Exposure Guideline(MEGs) for drinking water; USEPA(2007).
20. 環境省, 水質汚濁防止法, 施行令, 施行規則, 排水基準を定める省令, 環境省, pp. 1511-1590(2005).
21. USEPA, IRIS(Integrated Risk Information System); USEPA, Available from <http://www.epa.gov/iris/index.html>(2005a).
22. IARC, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements: a complete list, International Agency for Research on Cancer, Available from <http://monographs.iarc.fr/monoeval/allmonos.html>(2005).
23. USEPA, Draft Strategy: Proposed Revisions to the "Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Organisms and Their Uses," USEPA(2003).
24. 환경부/국립환경과학원, 물환경종합평가방법 개발 조사연구(II), 최종보고서, 환경부/국립환경과학원(2005).
25. 한국과학기술연구원, 폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구, 환경부(2006).
26. 서울시, 서울시의 수질감시항목의 위해성평가, 서울시(2003).