

산업체 폐수 중 휘발성 유기화합물의 잔류 실태

박일용* · M.R. Agustin* · 박현미* · 류재천** · 임병진*** · 이강봉*†

*한국과학기술연구원 특성분석센터

생체대사연구센터, *국립환경연구원 수질 연구부

Monitoring on Residual Volatile Organic Compounds Remaining in Industrial Waste Water

Ilyong Park*, M. R. Agustin*, Hyun-Mee Park*,
Jae-Chun Ryu**, Byung Jin Lim*** and Kang-Bong Lee*†

*Advanced Analysis Center,

**Bioanalysis and Biotransformation Research Center, Korea Institute of Science and Technology,
P. O. Box 131, Cheongryangri, Seoul 130-650, Korea

***Water Quality Research Department, NIER, Environmental Complex Gyungseo-Dong Seo-Gu Incheon 440-170, Korea

The 116 samples were taken in waste waters and filtered waste waters from paper and pulp manufacturing companies. Chloroform, tetrachloroethylene, trichloroethylene and AOX(bromobenzene, bromodichloroethylene, bromoform, dibromo-dichloromethane, tetrachloroethylene, t-dichloroethylene) were monitored in these waste water samples. Also, the 44 samples were taken in waste waters and treated waste waters from pigments, printing ink and paint manufacturing facilities, and chlorinated organics (tetrachloroethylene, trichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane, chloroform, carbon tetrachloride, 1,1-dichloroethylene, tribromomethane, dichlorobromo-methane) were monitored in these waste water samples. Also, the 36 samples were taken in waste waters and treated waste waters from aluminum, zinc and copper refining companies. Chloroform, tetrachloroethylene and trichloroethylene were monitored in these 36 samples. The volatile organic compounds described above have been analyzed using purge and trap-GC/MS. The detection limits of VOCs analyzed were 0.5-1 ppbs and the relative standard deviations were 3.41-8.58%. It was confirmed that the treatment of industrial waste water made reduction effectively the concentration of VOCs.

Key words: Industrial waste water, Volatile Organic Compounds, Purge and Trap-GC/MS

1. 서 론

산업체에서 발생하는 유독성 유해물질의 양은 산업이 발전함에 따라 점점 더 많은 양이 환경 중에 배출되게 되고 이러한 산업체에서 발생하는 유독성 유해물질들은 생태계 및 인간의 생식기능저하, 기형, 성장장애, 암 등의 유발을 통하여 모든 생물 중에 위협이 될 수 있다는 인식이 제기되는 등 오존층파괴, 지구온난화 문제와 함께 새로운 환경문제로 대두되고 있다.¹⁻⁵⁾ 특히, 산업체에서 발생하는 유독 물질 중 휘발성 유기화합물질은 오존층 파괴 및 독성이 강한 물질로 알려져

있다.⁶⁻⁷⁾ 따라서, 휘발성 유기화합 물질을 배출하는 것으로 보여 지는 업체에 대한 감시와 모니터링이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 비록 이러한 산업체들이 생산 공정 과정에서 휘발성 유기화합 물질을 배출한다고 할지라도 이들을 잘 여과하고 처리함으로써 이러한 화학 물질이 환경 중에 노출되지 못하도록 하는 것이 아주 중요하다고 할 수 있다. 제지, 펄프 제조시설을 포함하여 도료, 인쇄잉크 및 페인트 제조시설 그리고, 2차 금속제조시설중 알루미늄, 아연, 동 제련 및 가공 산업 등은 생산 공정 중에 많은 양의 휘발성 유기화합물을 사용하게 되며, 제조 공정 중에 사용되는

†To whom correspondence should be addressed.

물은 많은 양의 휘발성 유기화합물을 포함하고 있을 가능성이 높다.⁸⁻¹⁰⁾ 따라서, 생산 공정 중에 사용되었던 폐수는 여러 가지 방법으로 휘발성 유기화합물을 여과하고 제거한 후에 환경 중에 배출되게 된다.¹¹⁾ 이러한 폐수 중에 포함되어 있는 휘발성 유기화합물을 모니터링 함으로서 폐수의 여과 효율 및 배출농도를 확인할 수 있게 된다. 이렇게 폐수에 포함되어 있는 유기화합물의 극미량 분석은 효율적인 시료의 전 처리를 통한 극미량 성분의 추출, 정제과정 그리고 분석 장비를 이용한 분석 등의 단계를 거치며, 분석 과정에서의 오차를 줄이기 위해 수질시료에서의 검량선의 작성, 각각의 성분들에 대한 내부표준물질로부터의 감도계수의 결정, 측정 한계의 결정 등, 분석 과정에서 발생할 수 있는 오차를 최소화함으로써, 극미량 분석의 정확하고도 정밀한 분석이 가능하게 된다. 본 연구에서는 총 196개의 폐수 시료 중 VOCs (Volatile Organic Compounds) 성분들이 purge & trap GC/MS를 이용하여 분석되어졌고,¹²⁾ 그들의 분석과정, 필요한 시약, 실험기구, 실험장치 및 분석기기의 조건, 각 물질에 대한 검량선, 측정 한계 및 시료의 전처리 방법 및 분석결과 등을 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약 및 기구

표준 시약 중 chloroform, tetrachloroethylene, trichloroethylene, bromodichloro -ethylene, bromoform, tetrachloroethylene, t-dichloroethylene, tetrachloroethylene, trichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane, carbon tetrachloride, 1,1-dichloroethylene, tribromomethane, dichlorobromomethane는 Supelco 사(Bellefonte, PA, USA)의 KDWR VOC Mix A를 사용하였고, dibromodichloromethane는 Ultra scientific사(Northkingstown, RI, USA)의 표준 시약을 사용하였으며, bromobenzene은 Aldrich사 제품을 trans-dichloroethylene 및 4-bromofluorobenzene은 Supelco사의 표준시약을 사용하였으며, 용매는 J.T. Baker사(Houston, TX, USA)의 잔류 농약 분석용 메탄올을 구매하여 사용하였다.

2.2. 표준액의 조제

표준액은 메탄올 30 mL를 넣어둔 100 mL의 부피 플라스크에 KDWR VOC Mix A, dibromodichloro-

methane, bromobenzene, trans-dichloroethylene의 10 mg을 정확히 달고, 메탄올을 넣어 100 mL로 하여 원액으로 한다. 이 원액을 희석하여 0.5-10 ppb까지 희석하여 사용한다. 내부표준액은 메탄올 50 mL를 넣어둔 100 mL의 부피 플라스크에 4-브로모 플루오르벤젠 100 mg을 정확히 달아 메탄올을 넣어 100 mL로 하였다. 이 원액을 10배 희석하여 내부 표준액으로 사용하였다. 퍼지 트랩 장치는 Tekmar LSC 2000 모델(Cincinnati, OH, USA)을 사용하였으며, 퍼지트랩용기는 25 mL의 퍼지가 가능한 유리제 용기로 시료도입부를 갖고 있는 것을 사용하였다. GC/MS는 Finnigan사의 Magnum 모델(San Jose, CA, USA)을 사용하였다.

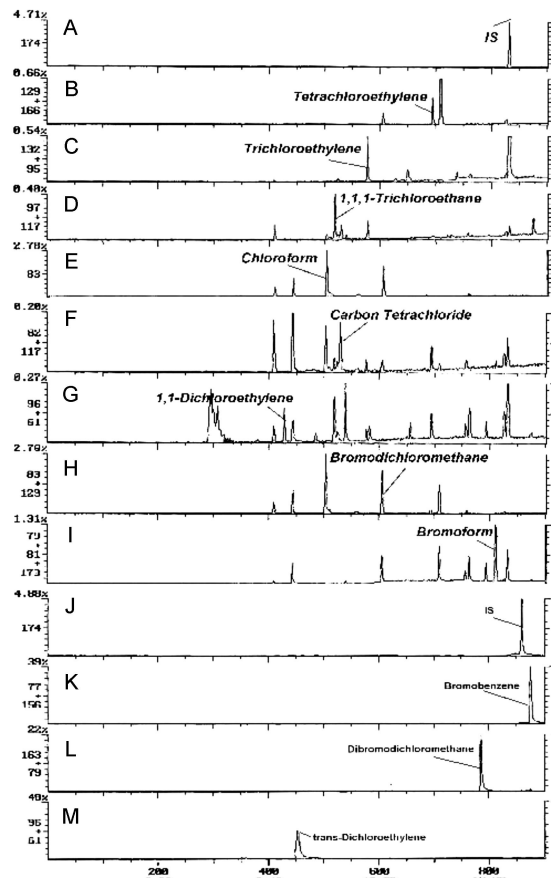


Fig. 1. GC/MS chromatogram of authentic standard compounds(A: IS, internal standard, B: tetrachloroethylene, C: trichloroethylene, D: 1,1,1-trichloroethane, E: chloroform, F: carbon tetrachloride, G: 1,1-dichloroethylene, H: bromodichloromethane, I: bromoform, J: IS, internal standard, K: bromobenzene, L: dibromodichloromethane, M: trans-dichloroethylene).

2.3. Authentic compound의 GC/MS 분석

표준 용액의 GC/MS 분석결과는 Fig. 1의 크로마토그램에서 보는 바와 같다. tetrachloroethylene의 특성이온은 m/z가 129였으며, trichloroethylene의 특성이온은 m/z가 132, 1,1,1-trichloroethane의 특성이온은 m/z가 97, chloroform의 특성이온은 m/z가 83, carbon tetrachloride의 특성이온은 m/z가 82, 1,1-dichloroethylene의 특성이온은 m/z가 96, bromoform의 특성이온은 m/z가 79, dichlorobromomethane의 특성이온은 m/z가 83, dibromodichloromethane의 특성이온은

m/z가 163, bromobenzene의 특성이온은 m/z가 77, trans-dichloroethylene의 특성이온은 m/z가 96 으로서 각 성분을 확인하는데 이용하였다.

한편, 정량이온으로는 tetrachloroethylene의 경우 m/z가 129와 166인 이온을 사용하였고, trichloroethylene의 경우 m/z가 132와 95인 이온을, 1,1,1-trichloroethane의 경우 m/z가 97와 117인 이온을, chloroform의 경우 m/z가 83인 이온을, carbon tetrachloride의 경우 m/

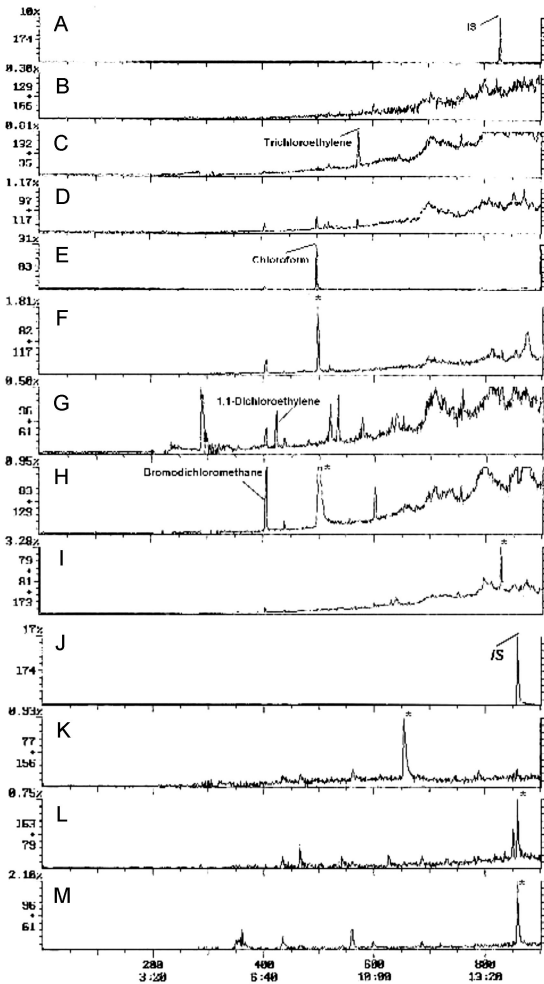


Fig. 2. GC/MS chromatogram of blank samples (A: IS, internal standard, B: tetrachloroethylene, C: trichloroethylene, D: 1,1,1-trichloroethane, E: chloroform, F: carbon tetrachloride, G: 1,1-dichloroethylene, H: dibromodichloromethane, I: bromoform, J: IS, internal standard, K: bromobenzene, L: dibromodichloromethane, M: trans -dichloroethylene, *: not assigned peak).

Table 1. Experimental conditions of Purge & trap and GC-MS

Conditions		
P & T	퍼지 시간	10분
	퍼지 온도	34°C
	드라이 퍼지 시간	2분
	트랩 온도	28°C
	트랩관 가열 시간	2분
	주입 시간	2분
GC	주입온도	250°C
	트랩 굽는 시간	8분
	트랩 굽는 온도	225°C
	column	DB-624 (60 m×0.32 mm×1.8 μm)
	carrier gas	He (99.9999%) at 0.7 ml/min
	injection port temp.	250°C
MS	injection mode:	P & T
	oven temp. programing	initial 30°C 5 mm rate 7°C/min final 230°C 5min
	interface temp.	280°C
	ionization mode	Electron impact (EI)
	electron energy	70 eV
	ion source temp.	140°C
MS	analyzer	ion-trap
	detection mode	Scan mode
	Extracted ion(m/z)	Tetrachloroethylene 129+166
		Trichloroethylene 132+95
		1, 1, 1-Trichloroethane 97+117
		Chloroform 83
		Carbon Tetrachloride 82+117
		1,1,-Dichloroethylene 96+61
		Tribromomethane 79+81+173
		Dichlorobromomethane 83+129
	Dibromodichloromethane 163+79	
	Bromobenzene 77+156	
	trans-Dichloroethylene 96+61	

z가 82와 117인 이온을, 1,1-dichloro-ethylene의 경우 m/z가 96과 61인 이온을, bromoform의 경우 m/z가 79와 81과 173인 이온을, dichlorobromomethane의 경우 m/z가 83과 129인 이온을, dibromodichloromethane의 경우 m/z가 163과 79인 이온을, bromobenzene의 경우 m/z가 77과 156인 이온을, trans-dichloroethylene의 경우 m/z가 96과 61인 이온을 사용하였다.

2.4. Blank 및 Detection Limit

Blank 확인은 모든 시료가 수질이므로 증류수를 사

용하여 최적의 분석조건하에서 수행하였다. 그 결과 VOCs는 검출되지 않았다(Fig. 2).

2.5. 검출한계 및 재현성

0.25 ng의 표준시료를 수질시료에 첨가하여 구한 검출한계와 재현성은 Table 1과 같다. 검출한계는 3σ법에 의해 구하였으며, 재현성은 relative standard deviation(RSD, %)로 구하였다. RSD값이 3.41-8.58%로 좋은 재현성을 나타내었고, 검출한계는 0.5-1 ng/mL이었다.

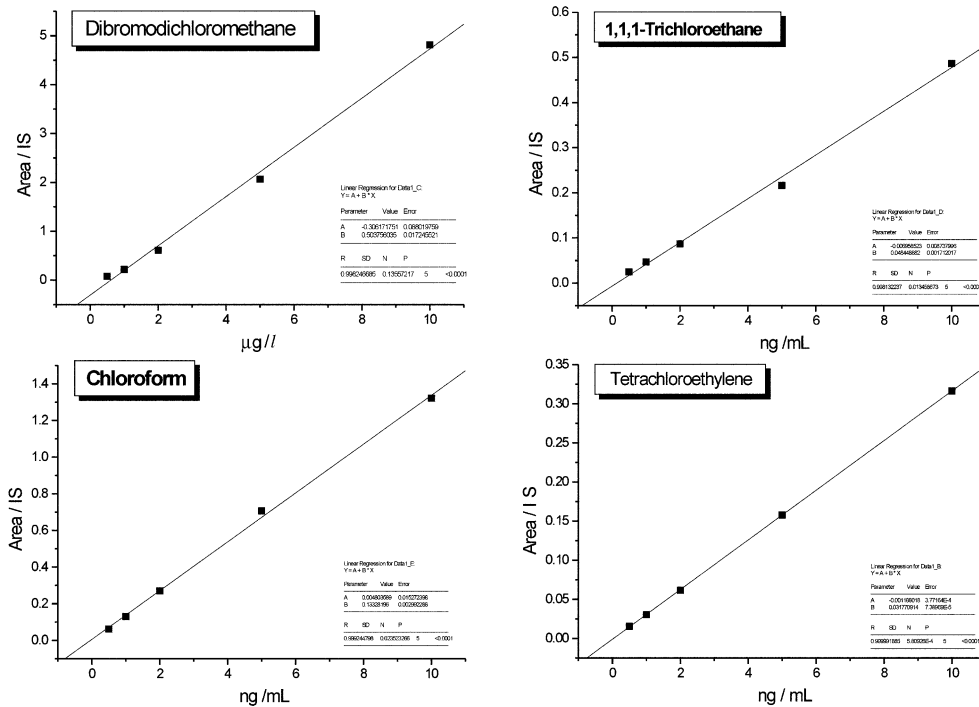


Fig. 3. Typical calibration curves of standard samples with the concentrations of 0.5, 1.0, 2.0, 5, 10 ppbs for dibromodichloromethane, 1,1,1-trichloroethane, chloroform and tetrachloroethylene.

Table 2. Detection Limits and RSDs for water sample

Area/IS	bromo-benzene	trans-dichloroethane	tetrachloroethylene	trichloroethylene	1,1,1-trichloroethane	dichloroform	carbon tetra chloride	1,1-dichloroethylene	bromo dichloro methane	bromo from
1	1.7047	2.1622	0.0884	0.1181	0.0821	0.7161	0.0363	0.0336	0.4382	0.2630
2	1.5958	2.1278	0.0916	0.1224	0.0857	0.7490	0.0372	0.0351	0.4423	0.2833
3	1.5645	2.2338	0.0905	0.1253	0.0903	0.7508	0.0424	0.0334	0.4617	0.2969
4	1.5890	2.0395	0.0817	0.1162	0.0961	0.6745	0.0351	0.0310	0.4072	0.2585
avg.	1.6135	2.1408	0.0880	0.1205	0.0888	0.7226	0.0377	0.0333	0.4374	0.2755
stdev.	0.0623	0.0807	0.0045	0.0041	0.0059	0.0358	0.0032	0.0017	0.0225	0.0180
RSD(%)	3.86	3.77	5.07	3.41	6.62	4.96	8.58	5.07	5.16	6.50
DL(ng/mL)	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0

Table 3. 제지 및 펄프 제조시설에서 배출된 폐수 및 처리된 폐수의 VOCs 농도 (unit: ppb)

시료 번호 ^a	Chloroform	Tetrachloro	Trichloroet	AOXB ^b
A-001-1	ND	ND	ND	ND
A-001-2	ND	ND	ND	ND
A-002-1	ND	ND	ND	ND
A-002-2	3.1	ND	ND	1.1
A-003-1	ND	ND	ND	ND
A-003-2	32.5	ND	0.6	ND
A-004-1	ND	ND	ND	ND
A-004-2	ND	ND	ND	ND
A-005-1	ND	ND	ND	ND
A-005-2	ND	ND	ND	ND
A-006-1	ND	ND	0.7	ND
A-006-2	ND	ND	ND	ND
A-007-1	ND	ND	ND	ND
A-007-2	ND	ND	ND	ND
A-008-1	ND	ND	ND	ND
A-008-2	ND	ND	ND	ND
A-009-1	ND	ND	ND	ND
A-009-2	ND	ND	ND	ND
A-010-1	1.1	ND	2.6	ND
A-010-2	ND	ND	ND	ND
A-012-1	ND	ND	ND	ND
A-012-2	ND	ND	ND	ND
A-013-1	ND	ND	ND	ND
A-013-2	ND	ND	ND	ND
A-014-1	21.4	2.1	2.4	2.1
A-014-2	3.2	ND	ND	ND
A-015-1	81.6	ND	ND	ND
A-015-2	85.4	ND	ND	1.9
A-016-1	ND	ND	ND	ND
A-016-2	ND	ND	ND	ND
A-017-1	ND	ND	ND	ND
A-017-2	ND	ND	ND	ND
A-018-1	ND	ND	ND	ND
A-018-2	ND	ND	ND	ND
A-019-1	684.0	0.6	10.1	6.0
A-019-2	672.4	0.7	4.3	ND
A-019-3	93.5	ND	6.7	ND
A-020-1	0.8	ND	ND	ND
A-020-2	ND	ND	ND	ND
A-021-1	19.2	2.0	30.3	ND
A-021-2	1.2	0.7	ND	ND
A-022-1	ND	ND	ND	ND
A-022-2	0.7	ND	ND	ND
A-024-1	ND	ND	ND	ND
A-024-2	ND	ND	ND	ND
A-025-1	48.4	3.8	8.6	1.1
A-025-2	64.7	ND	6.7	4.0
A-025-3	51.6	0.4	3.8	1.1
A-025-4	1.0	ND	24.9	ND
A-026-1	52.4	ND	3.3	1.1
A-026-2	20.1	ND	ND	ND
A-027-1	58.3	ND	ND	ND

Table 3. 제지 및 펄프 제조시설에서 배출된 폐수 및 처리된 폐수의 VOCs 농도 (unit: ppb)

시료 번호 ^a	Chloroform	Tetrachloro	Trichloroet	AOXB ^b
A-027-2	ND	ND	ND	ND
A-028-1	29.2	0.8	3.4	ND
A-028-2	28.8	ND	ND	ND
A-029-1	1.8	ND	21.6	ND
A-029-2	1.6	0.7	ND	ND
A-030-1	ND	ND	ND	ND
A-030-2	ND	ND	ND	ND
A-031-1	ND	ND	ND	ND
A-031-2	ND	ND	ND	ND
A-032-1	26.8	ND	5.2	ND
A-032-2	ND	ND	4.3	ND
A-036-1	22.2	ND	8.6	ND
A-036-2	ND	ND	ND	ND
A-038-1	4.8	ND	ND	ND
A-038-2	1.2	ND	ND	ND
A-040-1	ND	ND	ND	ND
A-040-2	ND	ND	ND	ND
A-041-1	15.6	ND	ND	ND
A-041-2	2.7	ND	ND	ND
A-042-1	0.7	ND	0.8	ND
A-042-2	ND	ND	ND	ND
A-043-1	22.5	ND	9.4	ND
A-043-2	21.1	ND	10.3	ND
A-043-2	21.1	ND	10.3	ND
A-045-1	52.6	8.4	ND	11.5
A-045-2	1.8	3.4	ND	11.3
A-047-1	3.3	16.5	36.2	ND
A-047-2	3.3	21.4	19.5	ND
A-050-1	3.4	ND	7.0	ND
A-050-2	ND	ND	ND	ND
A-051-1	4.4	ND	3.4	ND
A-051-2	ND	ND	ND	ND
A-054-1	602.1	46.3	44.6	ND
A-054-2	66.5	0.7	0.8	ND
A-061-1	135.3	ND	ND	ND
A-061-2	14.9	ND	ND	ND
A-065-1	5.0	ND	2.5	ND
A-065-2	ND	ND	ND	ND
A-072-1	3.5	ND	0.7	ND
A-072-2	ND	ND	ND	ND
A-073-1	ND	ND	0.7	ND
A-073-2	ND	ND	0.7	ND
A-081-1	17.6	ND	134.0	1.4
A-081-2	30.0	ND	146.2	3.1
A-082-1	ND	ND	7.4	ND
A-082-2	0.8	ND	ND	ND
A-083-1	5.0	ND	3.0	ND
A-083-2	9.9	ND	0.7	ND
A-100-1	ND	ND	4.1	ND
A-100-2	ND	ND	1.6	ND
A-101-1	23.7	ND	2.4	12.0
A-101-2	ND	ND	2.5	ND

Table 3. 제지 및 펄프 제조시설에서 배출된 폐수 및 처리된 폐수의 VOCs 농도 (unit: ppb)

시료 번호 ^a	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	AOX ^b
A-102-1	4.6	0.9	2.7	ND
A-102-2	ND	ND	0.6	ND
A-103-1	5.3	ND	5.4	ND
A-103-2	19.6	ND	2.7	ND
A-104-1	ND	ND	ND	ND
A-104-2	6.1	ND	ND	ND
A-105-1	9.2	3.3	3.7	ND
A-105-2	11.6	ND	4.3	ND
A-106-1	3.9	ND	2.5	ND
A-106-2	ND	ND	2.1	ND
A-107-1	5.2	ND	10.1	ND
A-107-2	ND	ND	ND	ND

a) 시료 번호중 끝자리수가 1과 2로 되어 있는 시료는 의 1은 처리하기 전의 폐수를 의미하며, 2는 물리 화학적 혹은 생물학적인 방법으로 처리된 폐수를 의미한다. 시료 번호 중 끝자리수가 1, 2 및 3으로 구성 되어 있는 시료는 의 1은 산성 폐수를 의미하며, 2는 알칼리 폐수를 의미하며, 3은 물리 화학적 혹은 생물학적인 방법으로 처리된 폐수를 의미한다. 시료 번호 중 끝자리수가 1, 2, 3 및 4로 구성 되어 있는 시료는 의 1은 폐수를 의미하며, 2는 제 1 공정법에 의해 처리된 폐수를 의미하며, 3은 폐수를 의미하며, 4는 제2 공정법에 의해 처리된 폐수를 의미한다.

b) AOX=Bromobenzene+Bromodichloroethylene+Bromofom+Dibromodichloro-methane+Tetrachloroethylene+t-Dichloroethylene

2.6. 검량선

표준시료 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 10, 25 ng을 준비하여 검량선을 작성한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 검량선의 직선성은 상관계수 R 값이 0.999 이상으로 아주 양호하였다.

2.7. 농도계산

Purge & trap 및 GC/MS 분석조건은 Table 1과 같다. 수질시료는 25 mL를 조용히 거품이 나지 않도록 하여 퍼지 병에 syringe로 취하고, 내부표준액 1 μL를 첨가하였으며, 아래의 식에 따라 농도를 계산하였다.

$$\text{수질농도}(\text{ng/mL}) = \text{검출량}(\text{ng}) / \text{시료량}(\text{mL})$$

$$\text{검출량}(\text{ng}) = ([A/A_{IS}]_{\text{sample}} - [A/A_{IS}]_{\text{blank}}) / \text{검량선}_{\text{slope}}$$

3. 결과 및 고찰

제지 및 펄프 제조시설은 공정과정에서 많은 유기화학물질을 사용하게 되며, 이러한 제조시설에서 배출된

폐수는 많은 유독성 유기화합물을 포함하게 된다. 따라서, 국내의 제지 및 펄프 제조시설에서 배출되는 폐수는 여러 단계의 여과 과정을 거쳐 배출되게 된다. 이번 연구에서는 이러한 제조시설에서 배출되는 폐수 및 여과된 폐수 116개 시료에 대해 chloroform, tetrachloroethylene, trichloroethylene 및 AOX(bromobenzene, bromodi-chloroethylene, bromoform, dibromodichloromethane, tetrachloroethylene, t-dichloro-ethylene) 성분들이 분석되었으며, 그 분석결과는 Table 3에서 보여 주듯이 시료번호에 따라 보여 졌다. 이 Table 3에서 나타난 AOX의 농도는 bromobenzene, bromodichloroethylene, bromoform, dibromodichloromethane, tetrachloroethylene, t-dichloroethylene농도의 합으로 계산하였다. 시료 번호 중 “A”는 펄프제조시설에서 배출된 폐수를 나타내며, 중간 숫자는 폐수 시설의 위치를 나타내며, 끝의 숫자 중 보통 홀수는 처리 되지 않은 폐수를 나타내며, 짝수는 여과된 폐수를 나타낸다. 분석결과에서 보여주듯이 거의 대부분의 시료에서 처리된 폐수에서 휘발성 유기화합물의 농도가 현격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

도료, 인쇄잉크 및 페인트 제조시설 또한 제조과정에서 상당량의 휘발성 유기화합물을 사용하게 되며, 제조과정 중에 사용된 폐수는 많은 양의 휘발성 유기화합물을 포함하게 된다. 이러한 폐수는 여러 단계의 유기화합물 처리장치를 통과한 후에 배출되게 된다. 이번 연구를 통하여, 도료, 인쇄잉크 및 페인트 제조시설에서 배출된 폐수 및 휘발성 유기화합물 처리 시설을 통과한 폐수에서의 휘발성유기화합물의 농도를 monitoring하였다. 이러한 제조시설에서 배출된 44개의 폐수 및 여과된 폐수 시료에서 유기염소화합물들(tetrachloroethylene, trichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane, chloroform, carbon tetrachloride, 1,1-dichloroethylene, tribromomethane, dichlorobromomethane)이 분석되었으며, 그 결과는 Table 4에 나타내었다. 시료번호에서 “B”는 도료, 인쇄잉크 및 페인트 제조시설을 의미하며, 중간 숫자는 폐수 시설의 장소를 의미하며, 끝의 숫자 중 보통 홀수는 처리 되지 않은 폐수를 나타내며, 짝수는 처리된 폐수를 나타낸다. 제지, 펄프시설에서와 마찬가지로 분석결과에서 보여주듯이 거의 대부분의 시료에서 여과된 폐수에서 휘발성 유기화합물의 농도가 현격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

2차 금속제조시설중 알루미늄, 아연, 동 제련 및 가공 산업에서도 제련 및 가공과정에서 유기화합물을 사용하게 되며, 이 과정 중에 배출된 폐수에는 유기화합

Table 4. 도료, 인쇄잉크 및 페인트 제조시설에서 배출된 폐수 및 처리된 폐수에서의 VOCs농도 (unit: ppb)

시료 번호 ^a	Tetrachloro-ethylene	Trichloro-ethylene	1,1,1-Trichloro-ethane	Chloroform	Carbon Tetrachloride	1,1-Dichloro-ethylene	Tribromo-methane	Dichlorobromo-methane
B-01-1	ND	ND	ND	13.8	ND	ND	ND	ND
B-01-2	ND	ND	ND	ND	ND	1.7	ND	ND
B-02-1	ND	1.3	ND	0.9	ND	ND	ND	ND
B-02-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B-03-1	ND	36.1	3.2	44.3	ND	ND	1.8	ND
B-03-2	ND	5.1	ND	2.4	ND	ND	1.8	ND
B-04-1	ND	36.3	ND	275.1	ND	ND	26.2	ND
B-04-2	ND	ND	ND	17.1	ND	ND	ND	ND
B-05-1	ND	ND	ND	1.8	ND	ND	ND	ND
B-05-2	ND	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B-06-1	ND	13.7	11.1	73.4	ND	ND	8.1	ND
B-06-2	ND	1.6	ND	2.0	ND	ND	ND	ND
B-07-1	ND	1.1	ND	2.7	ND	7.0	ND	ND
B-07-2	ND	1570.4	ND	4.6	ND	ND	ND	ND
B-08-1	ND	310.6	8.4	88.0	ND	ND	ND	ND
B-08-2	ND	0.6	ND	4.1	ND	0.6	ND	ND
B-11-1	ND	33.6	ND	33.1	ND	ND	ND	12.2
B-11-2	ND	ND	ND	1.1	ND	ND	ND	ND
B-12-1	ND	4.5	ND	46.7	ND	ND	ND	ND
B-12-2	ND	ND	ND	2.7	ND	ND	ND	ND
B-13-1	ND	ND	ND	115.3	ND	ND	ND	ND
B-13-2	ND	ND	ND	3.7	ND	ND	ND	ND
B-14-1	ND	23.9	ND	32.9	ND	ND	1.1	ND
B-14-2	ND	ND	ND	4.1	ND	ND	ND	ND
B-15-1	ND	61.4	9.8	1210.6	ND	ND	3.2	ND
B-15-2	1.2	ND	ND	212.3	ND	ND	110.2	11.0
B-16-1	ND	20.8	2.4	15.9	ND	ND	ND	ND
B-16-2	ND	ND	ND	20.4	ND	ND	ND	ND
B-17-1	0.7	20.7	3.0	84.7	ND	ND	ND	ND
B-17-2	ND	2.7	ND	25.2	ND	ND	ND	ND
B-18-1	ND	42.3	12.6	150.0	ND	ND	5.1	ND
B-18-2	ND	4.3	ND	32.0	ND	ND	ND	ND
B-19-1	ND	1.7	ND	ND	ND	0.9	ND	ND
B-19-2	1.3	ND	ND	38.0	ND	ND	3.0	ND
B-20-1	ND	7.2	5.3	19.1	ND	21.2	3.0	ND
B-20-2	ND	1.9	ND	4.1	ND	ND	ND	ND
B-21-1	ND	2.1	ND	12.8	72.3	ND	ND	4.1
B-21-2	ND	1.9	ND	3.8	ND	ND	ND	ND
B-22-1	ND	2.5	ND	20.4	ND	70.6	ND	ND
B-22-2	ND	4.1	ND	4.5	ND	ND	ND	ND
B-23-1	ND	4.0	ND	28.6	ND	ND	ND	ND
B-23-2	ND	2.2	11.5	ND	ND	ND	ND	ND
B-24-1	ND	5.1	ND	29.1	ND	ND	2.7	ND
B-24-2	ND	3.1	ND	15.8	ND	ND	ND	ND

a) 시료 번호중 끝자리수의 1은 처리하기 전의 폐수를 의미하며, 2는 물리 화학적 혹은 생물학적인 방법으로 처리된 폐수를 의미한다.

물을 포함하게 된다. 따라서, 이러한 사업장에서 배출된 폐수는 유기화합물 제거장치를 통과한 후에 배출되게 된다. 알루미늄, 아연, 동 제련 및 가공 산업에서 배출된 폐수 및 여과된 폐수 36개 시료에서 chloro-

form, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene 성분들이 분석되었다. 이들의 분석결과는 Table 5에 나타내었다. 시료번호에서 “C”는 금속제조시설중 알루미늄, 아연, 동 제련 및 가공 산업을 의미하며, 중간 숫자는

Table 5. 알루미늄, 아연, 동 제련 및 가공 산업에서 배출된 폐수 및 처리된 폐수에서의 VOCs 농도 (unit: ppb)

시료 번호 ^a	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	Chloroethylene
C-04-1	19.3	186.9	4.2
C-04-2	1.2	22.5	13.7
C-12-1	ND	6.4	ND
C-12-2	ND	3.1	0.6
C-14-1	ND	0.9	2.0
C-14-2	ND	2.1	0.7
C-16-1	ND	ND	ND
C-16-2	ND	ND	ND
C-17-1	ND	1.9	2.5
C-17-2	ND	2.4	3.6
C-18-1	ND	2.4	12.2
C-18-2	ND	0.7	41.2
C-20-1	1.2	52.0	2.3
C-20-2	1.2	50.4	1.4
C-21-1	ND	5.7	10.7
C-21-2	ND	ND	10.3
C-23-1	ND	ND	ND
C-23-2	ND	0.9	ND
C-31-1	ND	2.0	0.9
C-31-2	ND	0.8	1.0
C-32-1	ND	ND	5.8
C-32-2	ND	ND	41.6
C-34-1	ND	ND	ND
C-34-2	ND	ND	0.8
C-35-1	ND	ND	2.6
C-35-2	ND	ND	ND
C-39-1	ND	1.1	0.6
C-39-2	ND	0.6	0.8
C-40-1	ND	ND	0.9
C-40-2	ND	1.0	1.8
C-41-1	ND	39.7	5.5
C-41-2	ND	4.5	3.6
C-42-1	ND	0.7	1.0
C-42-2	ND	1.1	40.8
C-43-1	ND	7.2	41.2
C-43-2	ND	ND	1.3

a) 시료 번호 중 끝자리수가 1과 2로 되어 있는 시료는 1은 처리하기 전의 폐수를 의미하며, 2는 물리 화학적 혹은 생물학적인 방법으로 처리된 폐수를 의미한다.

폐수 시설의 장소를 의미하며, 끝의 숫자 중 홀수는 처리 되지 않은 폐수를 나타내며, 짝수는 여과된 폐수를 나타낸다. 제지, 펄프시설에서와 마찬가지로 분석결과에서 보여주듯이 거의 대부분의 시료에서 여과된 폐

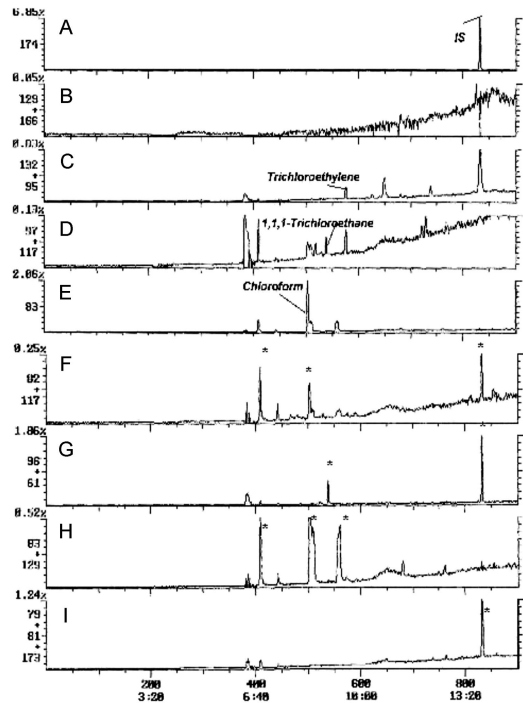


Fig. 4. Typical GC/MS chromatogram of a sample(B-16-1)(A: IS, internal standard, B: tetrachloroethylene, C: trichloroethylene, D: 1,1,1-trichloroethane, E: chloroform, F: carbon tetrachloride, G: 1,1-dichloroethylene, H: bromodichloromethane, I: bromoform, *: not assigned peak).

수에서 휘발성 유기화합물의 농도가 현격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

여러 종류의 산업체 공정과정에 사용되고 배출된 폐수는 많은 양의 유독성 유기화합물을 포함하고 있으며, 이러한 폐수는 여러 종류의 제거장치를 통과하여 환경에 배출되고 있다. 그러나, 이러한 여과장치를 통과한 후에도 휘발성 유기화합물이 여전히 폐수 중에 잔류하고 있어, 이러한 잔류 유기 화합물 조차도 완벽하게 제거하는 것이 시급하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. L. Wallace, *Risk Anal.*, **1990**, 10, 59-64.
2. S. Ait-Aissa, J. Porcher, A. Arrigo and C. Lambre, *Toxicology*, **2000**, 145, 147-157.
3. H. Guo and F. Murray, *Clean Prod. Process*, **2000**, 2(1), 28-36.
4. I. Lundberg and R. Milatou-Smith, *Scand. J. Work, Environ. & Health*, **1998**, 24, 270-275.
5. Y. M., Kim, S. Harrad and R. M. Harrison, R. M.

- Environ. Sci. Technol., 2000, 36, 5405-5410.
6. A. E. Pouli, D. G. Hatzinikolaou, C. Piperi, A. Staviridou, M. C. Psallidopoulos and J. C. Stavrides, *Free Radical Biology & Medicine*, 2003, 34, 345-355.
 7. R. A. Morello-Frosch, T. J. Woodruff, D. A. Axelrad and J. C. Caldwell, *Risk Anal.*, 2000, 20, 273-291.
 8. L. Z. Zhang and J. L. Niu, *International Journal of Heat & Mass Transfer*, 2003, 46, 2415-2423.
 9. Y.-H. Chu, H.-J. Kim, K.-Y. Song, Y.-G. Shul, K.-T. Jung, K. Lee and M.-H. Han, *Catalysis Today*, 2002, 74, 249-256.
 10. D. L. Marcus and C. Bonds, *J. of Hazardous Materials*, 1999, 68, 125-153.
 11. A. D. Nikolaou, S. K. Golfinopoulos, M. N. Kostopoulou, G. A. Kolkythas and T. D. Lekkas, *Water Research*, 2002, 36, 2883-2890.
 12. H.-M. Park, J.-H. Kim, J.-C. Ryu, Y.-M. Kim and K.-B. Lee *J. of Kor. Soc. for Environ. Anal.* 2000, 3, 219-222.