

2C3) 반월 · 시화 산업 단의 산업 업종별 VOCs 배출특성 조사

VOCs Emission Characteristics with Industrial Sources in Sihwa and Banwol Industrial Area

김선태 · 정구희 · 이규성 · 이증한¹⁾
 대전대학교 환경공학과, ¹⁾한국산업안전공단

1. 서 론

생활에서의 다양한 수요에 발맞춰 산업시설에서의 휘발성유기화합물(VOCs: Volatile Organic Compounds) 관련 제품이나 공정이 계속 늘어나고 있다. 산업시설에서의 VOCs는 작업환경상의 위해성의 관점 뿐만 아니라 대기 중에서의 광화학반응에 의한 오존 형성의 전구물질, 악취 영향 물질, 나아가 지구환경에의 영향을 관점에서 그 관리가 절실하다. 이러한 VOCs를 효율적으로 관리하고 제어하기 위해서는 다양한 산업시설에서 발생하는 VOC 성상에 대한 정보가 필수적이다. 그러나, 산업시설의 업종별 VOCs 배출특성을 파악하기에는 많은 비용과 노력을 수반하는 작업으로, 이에 대한 연구는 극히 제한적으로 이루어져 왔다고 하겠다.

이에 본 연구에서는 시화, 반월공단의 대기환경개선을 위한 목적의 하나로 700개 사업장의 공정내에서 발생하는 VOCs 성분을 동시기에 같은 방법으로 측정하여 업종별 배출특성을 비교하는 것을 그 목적으로 하였다.

2. 연구 방법

본 측정은 2004년 7월부터 9월에 걸쳐 시화, 반월 산업단지를 대상으로 한 악취 조사 과정과 병행하여 이루어졌다. 시화, 반월 공단은 6,000개 이상의 산업시설이 밀집되어 있는 곳으로, 수도권의 정비 차원에서 조성되어 대기오염 부하가 큰 사업장이 많은 실정이다. 이 중 대기 1종 배출업소인 1,800개의 대상 사업장을 개별 방문하여 악취가 심한 공정 700개소에 VOC passive sampler를 설치하였다. VOC passive sampler는 3M #3500[OVM] 측정기를 사용하여 24시간 시료 채취후 GC/FID로 분석하였다.

Table 1에는 국내 표준산업분류의 5자리 중 상위 3자리의 소분류에 따라 본 연구에서 측정된 700개 지점에 대한 업종별 분포를 나타내었다. 기타 조립금속제품 제조 및 금속처리업(289)에서 197개의 시료를 채취하여 28.1%를 차지하고 있으며, 기타 화학제품(243)이 10.6%, 반도체 및 기타 전자부품 제조업(321)이 8.0%등이며, 본 연구에서는 1%를 넘는 22개의 업종에 대한 분석을 주 대상으로 하였다.

Table 1. The numbers and percentage of industries measured in this study.

SIC C	Industry classification name	n	%	SIC C	Industry classification name	n	%
289	Manufacture of Other Fabricated Metal Products and Metal Treating services	197	28.1	242	Manufacture of Pharmaceuticals, Medicinal Chemicals and Botanical Products	15	2.1
243	Manufacture of Other Chemical Products	74	10.6	291	Manufacture of General Purpose Machinery	14	2.0
321	Manufacture of Semiconductor and Other Electronic Components	56	8.0	251	Manufacture of Rubber Products	13	1.9
241	Manufacture of Basic Chemicals	44	6.3	211	Manufacture of Pulp, Paper and Paperboard	11	1.6
272	Manufacture of Basic Precious and Non-ferrous Metals	36	5.1	281	Manufacture of Structural Metal Products, Tanks, Reservoirs and Steam Generators	9	1.3
191	Tanning and Dressing of Leather	28	4.0	361	Manufacture of Furniture	9	1.3
174	Dyeing and Finishing Textiles	27	3.9	273	Cast of Metals	8	1.1
343	Manufacture of Parts and Accessories for Motor Vehicles and Engines	23	3.3	212	Manufacture of Articles of Paper and Paperboard	7	1.0
271	Manufacture of Basic Iron and Steel	17	2.4	293	Manufacture of Other Special Purpose Machinery	7	1.0
222	Printing and Service Activities Related to Printing	16	2.3	902	Waste Collection and Disposal	7	1.0
252	Manufacture of Plastic Products	16	2.3		Others	66	9.4
					Total	700	100

3. 결과 및 고찰

Table 2에는 22개의 대표 업종에 대한 벤젠, 톨루엔, m,p-xylene, 스틸렌에 대한 측정결과를 정리하여 나타내었다. 벤젠의 경우에는 폐기물 수집운반 및 처리업(902), 즉 산업폐기물 소각과 관련하여 가장 높은 농도를 보였으며, 일반목적용 기계 제조업(291), 구조용 금속제품, 탱크 및 중기발생기 제조업(281), 기타화학제품(243)의 순으로 높은 평균농도를 보였다. 톨루엔의 경우, VOCs 물질 중 가장 높은 수준의 농도값을 보이고 있으며, 인쇄 및 인쇄관련산업(222)에서 단연 가장 높은 평균 농도를 보이고 있으며, 플판지, 종이용기 및 기타 종이제품 제조업(212), 폐기물 수집운반 및 처리업(902)의 순으로 나타났다.

자일렌의 경우 기타화학제품(243)에서 단연 가장 높은 평균농도를 보이고 있으며, 폐기물 수집운반 및 처리업(902), 일반목적용 기계 제조업(291)의 순으로 높은 평균농도를 보이고 있다. 한편, VOCs 중 유일하게 국내 악취규제물질에 포함되어 있는 스틸렌의 경우 기타화학제품(243)이 가장 높은 평균농도를 보였으며, 기타 특수목적용 기계 제조업(293), 일반목적용 기계 제조업(291), 폐기물 수집운반 및 처리업(902)의 순으로 나타났다. 기계제조업에서 높은 VOCs 농도를 보이는 이유는 도금과 관련된 내용으로 이해할 수 있다.

또한, 기타화학제품(243) 업종은 대부분의 물질에서 사업장간의 표준편차도 매우 큰 것으로 나타나 표준산업분류에 의한 VOCs의 특성을 일률적으로 설명하기에는 한계가 있는 것으로 보이며, 세세분류에 따른 VOCs 특성에 대한 추가적인 해석도 필요할 것으로 보인다. 한편, 섬유염색 및 가공업(174)의 경우, VOCs의 대부분의 물질 농도가 다른 업종에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타나, 반월공단 주변의 염색단지과 관련한 악취 민원은 VOCs 이외의 다른 물질 성분에 그 원인을 찾아야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

산업공정에서 발생한 VOCs가 주변지역에의 영향 정도를 파악하기 위해서는 다양한 산업체별 물질 사용 현황과 공정의 특성과 연계한 해석이 필요하겠으나, 시화, 반월 산업단지의 대기환경에의 부하는 이 지역에 밀집해 있는 화학, 염색, 도금단지와 더불어 산업폐기물 소각로 등과 깊은 연관성을 가지고 있다는 개연성을 찾을 수 있었다. 앞으로 공정해석과 보다 정밀하고 반복적인 측정을 통해 VOCs의 배출 특성과 악취물질의 측정을 통해 이 지역의 대기질 영향을 분석하고 이에 대응하기 노력이 필요할 것이다.

Table 2. Basic statistics for the VOCs concentration with the standard industrial classification.

SICC	Benzene(ppb)				Toluene(ppm)				m,p-xylene(ppb)				styrene(ppb)			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
289	0.0	96.8	2.7	9.0	0.00	43.66	0.88	3.51	0.0	2337.4	106.6	319.0	0.0	3431.7	128.3	419.2
243	0.0	722.2	14.8	84.4	0.02	33.67	2.62	5.89	0.0	28436.5	559.4	3312.2	0.0	34212.3	619.8	3976.5
321	0.0	11.1	1.0	2.0	0.00	7.70	0.31	1.06	0.0	791.0	39.5	138.2	0.0	701.0	34.8	109.6
241	0.0	33.9	1.7	5.6	0.01	17.21	0.61	2.61	1.5	1164.8	47.9	179.1	0.0	782.5	38.0	120.3
272	0.0	112.0	5.4	18.5	0.00	1.50	0.13	0.28	0.0	796.8	33.9	132.2	0.0	431.6	22.2	71.2
191	0.0	25.8	1.2	4.9	0.01	15.77	1.23	3.01	2.5	464.3	31.6	86.5	0.0	621.2	44.9	116.1
174	0.0	3.9	0.3	0.8	0.00	0.26	0.04	0.05	0.0	144.1	16.2	28.8	0.0	279.1	34.4	70.1
343	0.0	24.2	2.7	5.8	0.00	2.76	0.28	0.59	0.0	195.7	39.8	63.4	0.0	274.0	48.0	79.4
271	0.0	13.1	2.2	3.4	0.01	13.25	1.42	3.82	1.6	1268.6	145.5	343.8	0.0	1188.5	159.5	365.6
222	0.0	20.7	3.8	6.7	0.05	31.22	10.25	11.65	5.1	205.0	41.1	51.3	9.0	243.8	62.6	69.8
252	0.0	7.0	1.6	2.3	0.02	33.67	3.49	8.72	2.8	436.8	63.7	119.7	0.0	299.6	47.9	87.3
242	0.0	82.3	8.7	20.5	0.04	11.86	1.35	3.08	1.6	1990.1	151.4	509.7	0.0	2197.9	169.3	563.5
291	0.0	108.4	18.2	30.9	0.02	2.50	0.38	0.65	0.7	895.9	212.3	291.8	0.0	1177.5	293.1	413.6
251	0.0	60.4	5.0	16.7	0.02	3.62	0.65	1.08	1.5	97.9	27.9	27.1	0.0	60.6	30.1	22.3
211	0.0	126.7	12.3	38.0	0.02	11.54	2.68	4.39	0.0	52.1	13.6	16.7	0.0	54.1	16.3	18.4
281	0.0	79.2	16.8	33.1	0.02	23.38	3.66	7.83	4.4	508.6	135.3	180.5	7.1	413.2	132.0	165.2
361	0.0	110.8	14.8	36.2	0.09	24.64	3.37	8.00	5.3	255.1	88.9	93.2	0.0	351.9	105.7	133.1
273	0.0	47.3	10.5	17.5	0.01	0.08	0.05	0.02	1.7	99.4	21.4	33.9	0.0	108.4	25.3	37.7
212	0.0	1.5	0.3	0.6	0.07	25.68	5.59	10.10	2.2	49.5	15.7	16.2	4.0	44.4	19.3	12.7
293	0.0	25.9	6.5	11.2	0.04	6.52	1.03	2.42	6.6	388.4	138.4	156.1	10.1	2138.8	422.4	773.2
902	0.0	57.0	22.0	20.8	0.53	13.99	4.55	5.42	26.2	898.2	269.9	327.3	20.6	810.8	272.5	351.1
Avg.	0.0	84.3	7.3		0.0	15.5	2.10		3.0	1975.1	104.8		2.4	2372.5	129.8	