

PA24) 군집분석을 이용한 기타화학제품 제조업의 VOCs 배출특성

The Analysis of VOCs Emission Characteristic in Chemical Product Manufactures using a Cluster Analysis

박주철 · 김선태 · 조수준¹⁾ · 김재형²⁾

대전대학교 환경공학과, ¹⁾대전보건대학 환경보건과, ²⁾충남도청 복지환경국

1. 서론

현재 환경대기 중으로 휘발성유기화합물(Volatile organic compounds; 이하 VOCs라 함)의 배출량은 자동차의 급격한 증가와 석유화학 공업의 발달과 더불어 증가하고 있는 추세이며, 더구나 이들 배출물질은 조성이 다양하며, 우리 생활환경 주변에서 쉽게 노출될 수 있는 특성이 있어 공단지역의 경우 직·간접적인 피해를 주고 있다.

본 연구에서는 passive sampler를 이용하여 대기오염배출업소가 대단위로 분포한 시화, 반월산업단지 내에 존재하는 일반용 도료 및 관련제품 제조업, 계면활성제 제조업, 인쇄잉크 제조업, 접착제 및 젤라틴 제조업, 치약비누 및 기타 세제 제조업, 그 외 기타 분류 안 된 화학제품 제조업을 포함하는 기타화학제품 제조업(표준산업분류코드 243)에서 발생하는 VOCs를 측정 분석하여 74개 기타화학제품 제조업 사업장의 VOCs 배출특성을 benzene, toluene, chlorobenzene을 포함한 10가지 VOCs 물질의 평균농도에 대한 유사성(similarity)을 기초로 군집분석과 각 군집의 fingerprint를 해석하여 기타 화학제품 제조업의 VOCs 배출특성을 분석하였다.

2. 연구 방법

VOCs 조사는 2004년 7월부터 9월에 걸쳐 시화, 반월산업단지를 연구대상으로 하여 악취 조사 과정과 병행하여 이루어졌다. 측정에 사용된 VOCs passive sampler는 3M #3500[OVM] 측정기를 사용하여 악취판정팀이 직접 기타화학제품제조업 관련 사업장을 방문하였고, 악취강도 3도 이상 감지되는 사업장 74개소의 단위공정을 대상으로 하여, 24시간 시료 채취후 GC/FID로 분석하였으며, 표 1에 GC 분석 조건을 정리하였고 본 연구의 통계분석은 SPSS 12.0K 를 사용하여 분석하였다.

Table 1. The conditions of GC analysis.

GC model	FISION GC8340
Detector	FID
Column	HP-1(30m×0.53mm×1.5μm)
Carrier gas	Nitrogen gas (3.0ml/min)
Temp. program	<p>1min) — 140°C(2min) — 4°C/min — 240°C(10min) — 30°C/min</p>
Injector	120 °C
Detector	260 °C
Carrier gas	99.9999%(N ₂)
Split ratio	1 : 10

3. 결과 및 고찰

그림 1은 기타 화학제품제조업(243)의 74개 사업장의 benzene, toluene, chlorobenzene 을 포함한 10 가지 VOCs 물질을 평균결합방식(average linkage)으로 결합한 덴드로그램(Dendrogram)의 일부이다. 그림 1에서 세로축은 기타 화학제품 제조업(243)의 사업장 번호와 이들 업체간의 유사성을 상대적 거리로 나타내고 있다. 군집화 과정을 살펴보면 군집 1은 21번과 22번, 55번 사업장을 시작으로 하여 대부분의 사업장을 포함하고 있으며, 군집 2는 7번과 38번 사업장, 마지막으로 군집 3은 1번 사업장 1개만으로 분류되고 있음을 알 수 있다. 표 2는 그림 1에서 분류된 3가지 군집별 benzene, toluene, chlorobenzene 을 포함한 10가지 VOCs물질의 평균 농도(ppb)를 나타내었다. 군집 1(n=1)에서는 군집 2(n=2)와 군집 3(n=71)가 비교하여 benzene을 비롯한 대부분의 VOCs의 평균농도가 가장 높게 나타나고 있으며, 군집 2에서는 3가지 군집 중 가장 높은 수준의 toluene(30980.1 ppb)의 평균농도가 확인되었고, 마지막으로

군집 3 은 군집 1 과 군집 2 에 비해 비교적 낮은 수준의 toluene(1632.7 ppb)을 보이고 있으나, 군집 2 와 비교하여 ethylbenzene 은 약 7배, m,p-xylene은 5.5배, Styrene은 약 6.4배 높은 수준으로 검출되는 특성을 보이고 있다.

그림 2는 표 2에서 얻어진 군집별 VOCs 평균농도를 토대로 benzene, toluene 의 순서로 fingerprint 기법을 활용하여 10가지 VOCs 물질의 배출특성을 파악하고자 하였다. Fingerprint 작성은 검출된 VOCs 각 물질의 평균농도를 동심원상에 표현하여 배출특성을 가시적으로 확인하기 용이한 도구라 할 수 있다. 3가지 군집 모두에서 toluene의 평균농도는 다른 물질에 비해 높은 수준을 나타내고 있어, 기타 화학제품 제조업 내의 높은 toluene 배출특성을 확인할 수 있었다. 한편, 군집 1 사업장의 주생산품 목이 일반용 도료로 조사되어 페인트 제조시에 주로 사용되는 화학물질인 톨루엔, 자일렌, 아세톤, 스티렌, 신너 등에 의한 영향으로 o-xylene, 1,2, 1,3, 1,4-dichlorobenzene을 제외한 나머지 VOCs 평균농도가 군집 2와 군집 3에 비해서 매우 뚜렷하게 높은 배출특성을 나타내고 있다고 사료된다. 한편, 군집 3 은 군집 1에 비해 benzene, chlorobenzene 평균농도가 수 ppb 수준(13.1ppb, 15.8ppb)의 매우 낮은 평균농도로 배출됨이 확인되었고 군집 1에 비해서 대부분의 VOCs 물질이 정량적으로 낮은 수준의 평균농도 배출특성이 확인되었다.

Table 2. Average concentration of each cluster(ppb)

	Cluster-1 (n=1)	Cluster-2 (n=2)	Cluster-3 (n=71)
Benzene	722.2	15.5	13.1
Toluene	16039.2	30980.1	1632.7
Chlorobenzene	2949.2	42.6	15.8
Ethylbenzene	61363.3	40.2	282.3
m,p-xylene	28436.5	33.0	181.6
o-xylene	N.D	5.3	10.8
Styrene	34212.3	25.4	163.4
1,2-dichlorobenzene	N.D	N.D	N.D
1,3-dichlorobenzene	N.D	N.D	0.1
1,4-dichlorobenzene	N.D	N.D	1.1

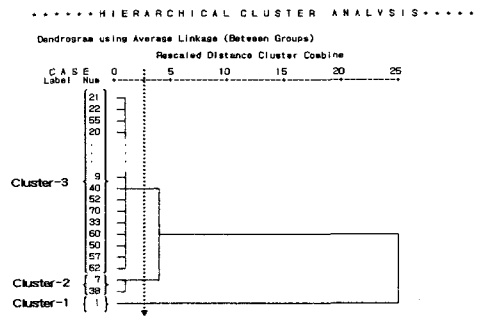


Fig.1. Dendrogram using average linkage among manufacture of other chemical products.

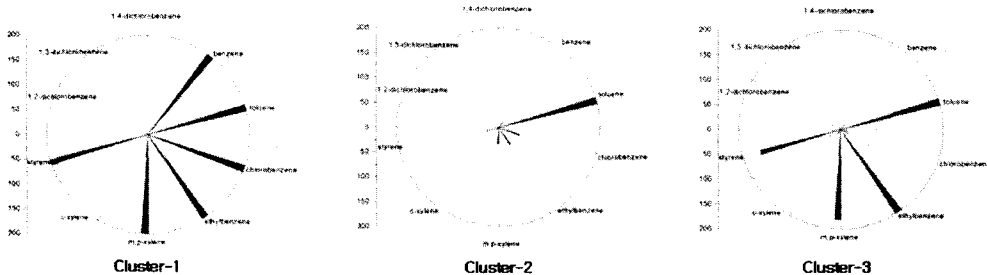


Fig. 2. The fingerprint of each cluster using a cluster analysis.

군집 2는 toluene을 제외한 나머지 물질의 VOCs 평균농도 배출특성이 매우 미미한 수준(N,D~42.6ppb)으로 확인되었고, 군집 1과 군집 3에 비해 가장 높은 toluene 평균농도(30,980.1ppb)를 보이고 있었다. 이는 군집 2(n=2)에 속하는 사업장의 주 생산품목이 잉크 및 그라비아 잉크로서 건축자재, PVC 전선, 각종 포장지에 사용되는 숙건성 용제인 toluene이 생산품 제조공정에서 다량 사용됨이 확인되어 toluene 평균농도는 가장 높지만 toluene을 제외한 나머지 VOCs 물질의 배출특성은 군집 3과 비교하여도 상대적으로 낮은 배출 특성을 보인다. 결과적으로, 그림 1에서 평균결합방식(average linkage)으로 분

류된 기타화학제품 제조업의 군집분석 결과 3개의 군집으로 분류한 결과는 benzene, toluene, chlorobenzene을 포함한 10가지 VOCs 물질의 평균농도를 기준으로 작성한 fingerprint 결과와 유사한 경향성을 보이고 있으며, 군집 1은 일반용 도료 생산에 의한 페인트 관련제품 생산에 의한 배출특성, 군집 2는 인쇄 및 그라비아 잉크 제조시의 숙건성 용제인 toluene에 의한 배출특성, 군집 3은 일반적인 유기용매에 의한 기타 화학제품 제조업의 배출특성으로 사료된다.