

## PB26) 측정망 위치 선정을 위한 Passive sampler 측정결과와의 활용

### Application of Passive Samplers for the Selection of Air Pollution Monitoring Stations

김신태 · 이규성 · 최일환<sup>1)</sup> · 임봉빈<sup>2)</sup>

대전대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>(주)과학기술분석센터, <sup>2)</sup>(주)엔버스 부설연구소

#### 1. 서 론

대기오염 원인물질의 종류 중 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)은 발생원이 다양하고, 대기 중에서 광화학 반응의 전구물질로 알려져 환경학적인 측면에서 관심이 더욱 고조되고 있다. VOCs의 주요한 인위적 배출원으로는 자동차, 주유소 그리고 세탁소 등과 같이 인간 활동을 통해 쉽게 발생되며, 대규모 산업단지인 석유화학산업과 도장산업 등과 같은 특정 산업공정에 의해 지속적으로 환경계에 배출되어 직·간접적으로 인간에게 피해를 준다.

특히, 도장 산업은 제품의 외관을 부식으로부터 보호하기 위해 도료를 제품 표면에 형성시키고 굳히는 과정으로 페인트(피막 형성제, 안료 및 보조제), 희석제(thinner), 경화제(curing agent) 그리고 기타첨가제 등을 주원료로 사용하고 있다. 그중에서 선박산업의 도장작업은 선박의 내구성을 결정하는 필수적인 공정으로 선박을 해수와 해양의 대기로 인한 부식으로부터 보호하고 강도와 안전성을 유지하기 위해 최대 7회까지 페인팅(painting) 작업을 수행하고 있어 VOCs의 주요 발생원으로 알려져 있다.

본 연구에서는 passive sampler를 이용하여 대형 선박 산업시설을 갖춘 조선업체에서 VOCs의 배출특성을 파악하였으며, 다변량분석(multi-variate analysis)중의 하나인 주성분분석(principal component analysis)을 통해 대상산업시설의 주요오염원을 추정하여 향후 자동측정망 배치와 관련한 근거 자료를 제시하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

본 연구에서는 2004년 5월부터 2005년 2월에 걸쳐 대형 조선소의 주요 배출원을 단위공정별 주요 내부공정(inside process) 측정지점 10곳, 해안선(coast guard) 측정지점 11곳, 부지경계선(boundary areas) 측정지점 15곳 그리고 선박의 도장 작업이 주로 이루어지는 내부 도크공정(dock process) 측정지점 7곳인 총 43지점을 선정하여 유기용제의 사용으로 나타나는 VOCs 농도 분포 특성을 조사하였다.

본 연구에서 사용된 passive sampler 측정기는 Organic Vapor Monitor(OVM #3500, 3M)로 조선업체 내부에서 발생하는 점 및 비점오염원으로 배출되는 VOCs를 1주일 동안 대기에 노출시켜 채취하여 GC/FID(SRI 8410C)로 분석하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

연구대상 산업에서 배출하는 VOCs의 정성적인 평가를 위해 각 지점에서 가장 높은 농도를 보인 내부공정 5번 지점, 해안선 11번 지점, 부지경계선 12번 지점 그리고 도크 공정의 9번 지점을 대표지점으로 선정하여 fingerprint 분석기법 결과를 그림 1에 나타내었다. 그 결과, 모든 대표지점에서는 m,p-자일렌, o-자일렌 그리고 스틸렌이 동일하게 주요검출물질로 나타났으며, 해안선 및 도크공정지점에서는 추가로 스틸렌( $C_8H_8=104.15$ )의 분자량 보다 비교적 크고 1,4-디클로로벤젠( $C_6H_4Cl_2=147.0$ ) 보다는 작은 탄소계열의 VOCs가 검출되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 가장 고농도의 특징을 보인 도크공정이 해안선을 따라 위치하고 있기 때문에 도크공정에서 발생하는 VOCs가 해안선 지점에 까지 영향을 미치는 것으로 판단된다.

연구자료의 주성분분석을 실시하기 위하여 최초요인 추출작업인 분석결과 간의 요인관계를 보다 간결

하고 명확하게 하기 위한 상관행렬(correlation matrix)를 분석하였으며, 주요 페인트 성분으로 확인되는 톨루엔, 에틸벤젠, m,p-자일렌 및 스틸렌 물질간의 상관계수( $p < 0.5$ )가 0.7이상으로 높은 상관성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 상관행렬에서 나타난 각각의 확정된 요인을 추출하여 Varimax 회전방법으로 변수가 차지하는 요인을 분석하였다. 요인을 설명하는 분산(variance)의 크기를 나타내는 고유치(eigenvalue)는 최소 1.0 기준으로 주성분 1(PC1)과 주성분 2(PC2) 그리고 주성분 3(PC3)의 고유치가 각각 3.256, 1.259, 1.050으로 기준치 이상으로 나타났다. 또한, 3개의 주성분 전체 분산비율 합인 누적분산 기여율이 79.5%(46.5% + 18.0% + 15.0%)로 확인되었으며, 이것은 이들 3개의 주성분에 의해 전체자료를 축약하는 가장 유의한 요인을 설명할 수 있다고 판단하였다.

그림 2는 전체분산에 대한 기여도가 64.5%로 가장 높은 주성분1과 2의 산점도를 이용하여 43곳 측정 지점에 따른 7개 오염물질을 도표화 시킨 것이다. 측정지점에 대한 주성분 1에서 높은 요인 부하량 결과로 나타난 톨루엔, 에틸벤젠, m,p-자일렌 그리고 스틸렌과 낮은 요인 영향으로 추가 관찰된 클로로벤젠 물질은 모두 양의 방향으로 부하되면서 하나의 공통요인으로 설명될 수 있다. 이러한 오염물질과 특징지을 수 있는 측정지점은 주로 도크 9번(D-9), 2번(D-2) 그리고 8번(D-8) 지점으로 나타났고, 해안선 8번(C-8)지점에서도 특징성 결과가 확인되어 선박도장 산업에서 발생하는 주요한 VOCs와 밀접한 관계가 있는 지점으로 판단된다. 즉, 주성분 1은 선박도장 산업과 관련된 주요 오염물질로 관련지을 수 있으며, 연구 대상산업에서 발생하는 오염물질을 대표적으로 관측하기 위한 지점으로는 도크 9번, 2번 그리고 8번 지점과 추가적으로 해안선 8번 지점이 향후 자동측정망 배치를 위한 대표 지점임을 제시하고자 한다.

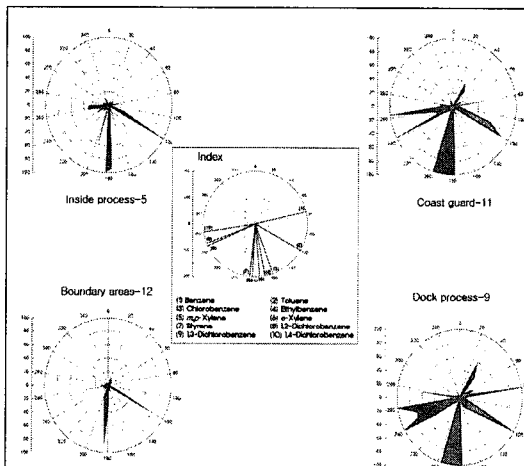


Fig. 1. Fingerprint with each process.

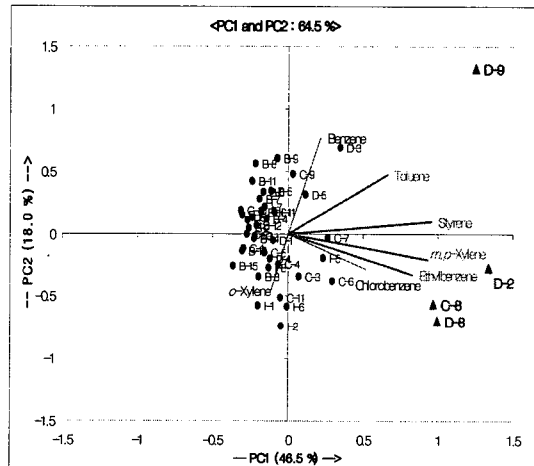


Fig. 2. Score plot and loading plot of the principal component analysis (PC1=46.5%, PC2=18.0%).

### 참 고 문 헌

- 조상현, 이세훈 (2002), 일부 자동차정비업체 도장공정 근로자의 납 노출, 한국산업위생학회지, 12(3), 187-194.
- 신용철, 이광용 (1999), 조선업의 도장 작업시 취급하는 도료중 유해물질 성분에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 9(1), 156-172.
- 임지원, 김재희 (2004), 서울지역의 대기오염물질과 기상인자에 의한 다변량분석, 통계연구논문집, 1, 17-30.