

PB12) PMF 모델을 이용한 여수석유화학산단의 VOC 오염원 기여도 평가

Sources Apportionment of VOC in the Yeosu Petrochemical Industrial Complex using the PMF Model

이태정¹⁾ · 전준민¹⁾ · 황인조²⁾ · 김동술

경희대학교 환경·응용화학대학 및 환경연구소, ¹⁾순천제일대학 그린전남환경종합센터,

²⁾Department of Chemical Engineering, Clarkson University

1. 서 론

1969년 조성되기 시작하여 현재 약 100여개의 업체가 입주하여 운영 중에 있는 여천산업단지는 울산 석유화학단지과 함께 국내 대표적인 석유화학산업단지로서 각종 산업시설에 배출된 오염물질에 의해 다양한 환경문제에 직면해 있다. 특히 석유정제 및 석유화학산업시설에서 배출되는 VOC에 의한 오존 및 악취 등으로 인한 대기환경문제를 겪고 있다. 대기 중 VOC는 단위산업시설에 의한 점오염원 이외에도 차량과 같은 선오염원 및 각종 유기용제를 사용하는 면오염원에서 배출되고 있다. 따라서 도시지역 및 산업지역의 VOC 오염원에 대한 효율적인 제어와 방지대책 수립 등 체계적인 관리방안 제시를 위해서는 수용모델을 이용하여 오염원을 확인하고 그 기여도를 평가하여야 한다. 수용방법론 중 오염원에 대한 자료가 거의 확보되어 있지 않은, 즉 오염원분류표 (source profile)가 부재할 경우, 인자분석 또는 주성분분석법을 토대로 한 수용방법론이 이용되고 있다. 최근 기존의 인자분석시 발생하는 음수의 인자부하량 및 불충분한 정보제공 등의 문제점을 보완하기 위해 Paatero (1994)에 의해 개발된 PMF (positive matrix factorization) 모델에 의한 많은 연구가 전세계적으로 수행되고 있다.

본 연구는 여수석유화학산단에서 대기중 VOC 농도에 영향을 미치는 오염원을 확인하고 기여도를 평가하기 위하여 PMF 모델을 적용하였다. PMF 모델 결과는 전준민 (2005)등이 여수산단에서 분석한 12개 배출원에 대한 오염원 분류표 자료 및 CMB에 의한 기여도 결과를 비교응용하였다. 본 연구의 결과는 오염원분류표가 확보되지 않은 오염원 정보부실지역에 적합한 수용방법론 및 최종적으로 오염원관리에 유용할 것으로 사료된다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 미국 EPA가 인체유해성 물질로 분류한 TO-14 물질 중 35종의 VOC를 대상으로, 2000년 9월부터 2002년 8월까지 6일 간격으로 24시간 동안 채취·분석한 총 79개 대기환경자료를 사용하였다. 여수산단 내 VOC 조사지점은 한국산업단지공단 서남지역분부를 대상으로 하였다. 시료채취는 캐니스터를 이용하였으며, 지상으로부터 약 10~15 m 높이에서 24시간동안 채취하였다. 채취된 시료는 GC/MSD (model: HP-6890/ HP-5973N, 미국 HP사)로 분석하였다. 본 연구와 관련된 시료채취 및 분석 방법은 전준민 등 (2005)에 자세하게 기술되어 있다.

PMF 모델은 개개 자료에 대한 오차추정 (error estimate) 정보에 의존하여 목적함수 (object function), Q가 최소가 되는 해 (solution)를 계산하는 것이다. 오차추정에 의한 PMF 모델은 측정자료 중 결측치나 검출한계 이하의 자료에 의한 가중치 (weight)를 줄일 수 있는 유용한 방법이다. PMF 입력자료 중 오차추정치는 각 성분의 분석적 불확실도 (analytical uncertainties)에 검출한계 1/3값의 합을 이용하였다. 측정값 중 검출한계 이하의 자료는 각 성분의 검출한계의 1/2값으로 교체하였으며, 오차추정치는 검출한계의 5/6값을 사용하였다 (Polissar et al., 1998). PMF 모델의 정량적인 오염원기여도와 각 오염원분류표는 각 VOC 측정값의 합으로 계산된 TVOC와 추정된 오염원 기여도의 다중회귀 (multi linear regression)에 의해 계산된 스케일 상수 (scaling constant)로 계산된다. 최적의 오염원 수는 반복 테스트 수행 후 물리적으로 가장 합리적으로 해석할 수 있는 수로 결정하였다. 또한 인자분석법은 공간적 회전

의 모호성을 가진 방법이므로, PMF 모델에서는 함수 Q 값이 일정한 값을 보이는 범위 내의 최적의 해를 찾기 위해 단계적인 FPEAK 값을 선택하여 모델을 반복수행하였다 (Paatero et al., 2002).

3. 결과 및 고찰

최적 오염원의 개수 결정은 앞 절에서 설명한 여러 가지 방법을 검토하고 반복 수행하여 결정하였다. 여수산단지역에서 PMF 모델을 수행한 결과, 인자수 10개와 FPEAK=0을 선택 시 물리적으로 합리적인 오염원분류표가 해석되어졌다. 이 때 측정된 TVOC 농도값과 MLR을 이용하여 계산된 VOC 농도값 사이의 결정계수 r^2 은 0.71로 가장 잘 설명하였다. 그림 1에 PMF에 의해 분석된 10개의 오염원분류표 중 4개에 대하여 여수산단지역에서 측정된 오염원 분류표와 비교하였다 (그림 1). 두 방법의 오염원 분류표 자료의 조성은 매우 유사한 것으로 분석되었다. PMF 모델에 의한 여수산단 지역의 VOC 오염도에 가장 높은 기여도를 보인 오염원은 석유화학시설로 35.2%의 높은 기여율을 보였으며, 정유시설 12.6%, 스티렌 관련 시설 12.2%, 폐수처리시설 11.2%, 제철 6.1% 순의 기여도를 보였다.

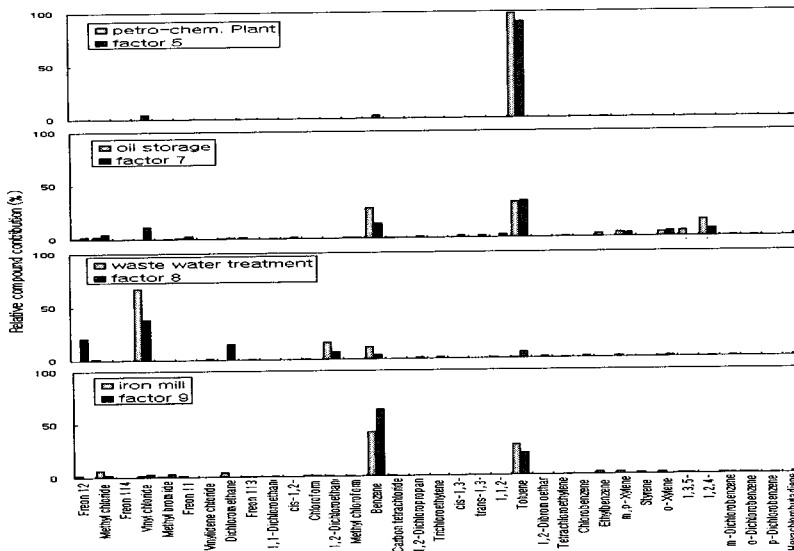


Fig. 1. Comparison of the five factors revealed by PMF and the five source profile found by CMB in Yeosu.

사 사

본 연구의 일부는 2003년 한국학술진흥재단 대학부설연구소 지원과제(과제번호: KRF-2003-D00015)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 전준민, 허당, 김동술 (2005) 여수석유화학단지 내 VOCs에 대한 오염원 분류표의 개발 및 CMB 모델에 의한 기여도 산정, 한국대기환경학회지, 21(1), 83-96.
- Paatero, P. and U. Tapper (1994) Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values, Environment, 5, 111-126.
- Paatero P., P.K. Hopke., X.H. Song, and Z. Ramadan (2002) Understanding and controlling rotations

in factor analytic models, *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*, 60, 253-264.

Polissar A.V., P.K. Hopke, P. Paatero, W.C. Malm, and J.F. Sisler (1998) Atmospheric aerosol over Alaska 2. Elemental composition and sources, *Journal of Geophysical research*, 103(D15) 19045-19057.