

## 1A1) 잔류성 유기오염물질 모니터링을 위한 PAS의 사용

### Passive Air Sampler for Monitoring of Persistent Organic Pollutants

최성득 · 이세진 · 김광수 · 백송이 · 장윤석  
포항공과대학교 환경공학부

#### 1. 서 론

잔류성 유기오염물질 (persistent organic pollutants: POPs)은 대기 중 장거리 이동을 통해 수천 km 이상 떨어진 곳에도 영향을 미치며, 전 지구적 증류 (global distillation)와 메뚜기 효과 (grasshopper effect)에 의해 남극이나 북극과 같은 고위도 청정지역으로도 이동한다 (Wania and Mackay, 1996).

대기 중 POPs 시료채취의 경우, 일반적으로 high volume air sampler (HVS)를 이용하여 다량의 공기를 흡인하는 방법을 사용한다. 그러나 다양한 지점에서의 전원공급이 원활하지 않으며, 하루 이틀을 주기로 필터 등을 교체해야 하므로 다수 지점에서의 장기간 모니터링이 수월하지 않다. 더구나 우리나라는 계절에 따른 기상변화가 크므로, 단기간 채취한 시료를 분석하여 계절별 혹은 연도별 대표농도로 나타내기에는 부적절하다. 따라서 이를 보완하기 위하여 영국과 캐나다 연구진을 중심으로 passive air sampler (PAS)를 이용한 POPs 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 PAS의 원리, 해외 연구동향 및 국내 적용방안에 대해 소개하고자 한다. 보다 자세한 사항은 대기환경학회지 21권 5호에 수록될 예정이다 (최성득과 장윤석, 2005).

#### 2. PAS 원리 및 특성

PAS는 물리적인 확산현상에 의해 POPs를 채취하는 장치이다. 대기와 수착제 (sorbent) 사이의 물질 전달은 Fick's first law를 따르며, 채취되는 POPs의 양 ( $\text{pg PAS}^{-1}$ )은 식 (1)에서와 같이 대기 중 농도, 공기채취율, 시료채취 기간에 정비례한다 (Wania *et al.*, 2003).

$$C_{PAS} = C_{Air} R t \quad (1)$$

$C_{PAS}$  : concentration of POPs in a PAS ( $\text{pg PAS}^{-1}$ )

$C_{Air}$  : concentration of POPs in the atmosphere ( $\text{pg m}^{-3}$ )

$R$  : sampling rate ( $\text{m}^3 \text{day}^{-1} \text{PAS}^{-1}$ )

$t$  : deployment period (day)

PAS는 다수의 지점에 저비용으로 별다른 기술 없이 설치가 가능하므로 대규모의 POPs 모니터링이 가능하다. 전력을 필요로 하지 않으므로 전력공급이 용이하지 않은 산간지역이나 극지에도 설치 가능하다. 따라서 기존의 HVS를 이용한 대기 모니터링의 단점을 개선할 수 있는 새로운 시료채취 기법이다. 표 1에 PAS와 HVS의 특징을 비교해 보았다. 두 시료채취 방법이 나름대로의 장단점을 가지고 있으므로, 최근에는 두 가지 방법을 모두 사용하여 보다 종합적인 모니터링을 하는 것이 추세이다.

대기 중 POPs 모니터링에 주로 사용되고 있는 PAS로는 크게 폴리우레탄 폼 (polyurethane foam: PUF), semi-permeable membrane devices (SPMDs), XAD resin을 사용하는 세 가지 종류가 있다. 기존에는 SPMDs가 가장 많이 사용되었으나, 최근에는 결과해석의 용이함으로 인해 PUF와 resin을 사용한 PAS가 주로 사용되고 있다. PUF-PAS의 경우, 모니터링 기간은 3개월 이내이며, Resin-PAS는 1년에서 2년의 모니터링 기간을 가지고 있다. 따라서 이 두 종류의 PAS를 동시에 설치하여 계절평균과 장기간 평균 POPs 농도를 구할 수 있다. 모니터링 대상 POPs는 주로 PCBs, PAHs, 유기염소계 농약류,

PBDEs 등이다.

Table 1. Comparison between passive air sampler (PAS) and high-volume air sampler (HVS).

	PAS	HVS
Price	very low	high
Operation and Maintenance	very easy and no special maintenance is required	Electric power and highly qualified persons are required.
Supplies	resin, PUF, and SPMD etc.	PUF, GF
Target compounds	POPs in the vapor phase	POPs in vapor and particle phases
Sampling periods	1-24 months	1-2 days
Set-up sites	unlimited	The sites where electricity can be supplied
Number of samplers	unlimited	Only several HVSs are usually available in one research group.

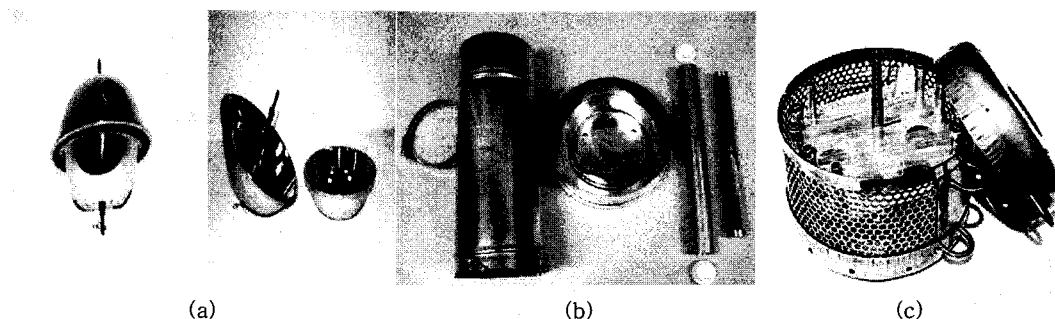


Fig. 1. Design of Passive Air Sampler: PUF-PAS (a), Resin-PAS (b), and SPMD (c).

### 3. 국내 · 외 연구동향

국내에서도 PAS를 이용하여 휘발성 유기화합물과 일부 환경기준물질에 대한 연구가 수행되었지만, POPs 모니터링 연구에 PAS를 도입한 경우는 없었다. 외국에서도 불과 4-5년 전부터 대기 중 POPs 모니터링을 위해 다양한 PAS가 개발되었으며, 1-2년의 성능 테스트를 거쳐 2003년 이후 본격적인 모니터링 결과들이 학술지에 발표되고 있다. 현재, 영국 랭커스터 대학교의 Jones 그룹과 캐나다 기상청의 Harner 그룹, 토론토 대학교의 Wania 그룹이 PAS 연구의 선도적인 역할을 하고 있으며, 본 연구진을 포함한 여러 연구그룹이 이들로부터 PAS를 도입하고 있다. 2006년 이후에는 PAS의 사용이 전 세계적으로 보편화 될 것으로 예상되므로, 국내에서도 보다 활발한 연구 활동이 요구된다.

본 연구실에서는 실내 POPs 모니터링을 위해 Resin-PAS를 설치하였으며, 한국해양연구원 극지연구소의 지원으로 남극 세종기지와 북극 다산기지도 설치하였다. 또한 캐나다 기상청 주관으로 2004년 11월부터 수행되고 있는 GAPS (global atmospheric passive sampling study)에 참가하고 있으며, 2005년 국내 6개 도시 (부천, 서울, 대전, 포항, 부산, 제주)에 Resin-PAS를, 포항시 6개 지점에는 SPMD를 설치하였다. 따라서 2006년 상반기부터 이러한 모니터링 결과를 기초로 보다 다양한 연구를 진행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- 최성득, 장윤석 (2005) Passive Air Sampler를 이용한 잔류성 유기오염물질의 대기 모니터링. 한국대기 환경학회지 21(5), (게재 예정).
- Wania, F., and D. Mackay (1996) Tracking the distribution of persistent organic pollutants, *Environmental Science and Technology*, 30, 390A-396A.
- Wania, F., L. Shen, Y.D. Lei, C. Teixeira, and D.C.G. Muir (2003) Development and calibration of a resin-based passive sampling system for monitoring persistent organic pollutants in the atmosphere, *Environmental Science and Technology*, 37, 1352-1359.