

4B3) 대기 중 특정 폴리염화비페닐(PCB-11) 검출과 배출평가

Detection and Emission Evaluation of PCB-11 in the Atmosphere

최성득 · Mingliang Fang¹⁾ · 장윤석¹⁾

울산과학기술대학교 도시환경공학부, ¹⁾포항공과대학교 환경공학부

1. 서 론

폴리염화비페닐(polychlorinated biphenyls: PCBs)은 스톡홀름협약에 의해 규제되고 있는 대표적인 잔류성 유기오염물질(persistent organic pollutants: POPs)이다. PCBs는 전기 절연성으로 인해 다양한 산업적 용도로 사용되었으며, 최근 국내에서는 변압기 절연유에 대한 분석과 폐기물 처리에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 아직까지 PCBs를 함유한 제품들이 사용되고 있으며, 폐기물 소각을 통해서 대기 중으로 배출되고 있다. 또한 대기-토양 기체교환을 통해 토양에 침적된 PCBs가 지속적으로 대기로 유입될 수 있다. PCBs는 벤젠고리에 치환된 염소의 위치와 개수에 따라 209개의 화합물(congener)로 구성된다. 그러나 상업용으로 제작된 PCB 제품(예: Aroclor)은 이들 중 일부만을 함유하고 있으므로, 실제 환경에서는 상업용 PCB 제품에 포함된 화합물 위주로 검출된다(예: IUPAC number 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180).

2000년대 중후반부터, 상업적으로 생산되지 않은 PCB-11(그림 1: 두 개의 염소 원자가 각 벤젠고리의 메타 자리(3,3')에 위치)이 대기, 수질시료에서 비교적 고농도로 검출된 사례들이 보고되고 있다(표 1). PCB-11은 저염화물로서 휘발성이 비교적 크므로(평균 증기압: 0.07 Pa, 25°C) (Mackay et al., 2002) 대기를 통한 장거리 이동이 수월할 것으로 예상된다. 그러나 PCB-11은 상업용 PCB 제품의 주성분이 아니므로, 2000년대 중반까지도 주목을 받지 못했다. 이후 본 연구진은 환경대기(남극 세종기지 시료) 중 고농도 PCB-11에 대한 분석결과를 최초로 발표하였다(Choi et al., 2008). 그림 2에서 알 수 있듯이, 남극 세종기지에서는 예상과 달리 PCB-11이 가장 고농도로 검출되는 화합물이었다.

본 연구에서는 그동안 알려진 PCB-11의 오염원과 모니터링 결과에 대해 정리하고, 최근 본 연구진이 수행 중인 PCB-11 배출평가에 대해 간략히 소개하고자 한다.

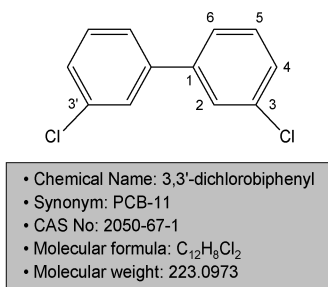


Fig. 1. Chemical structure and information on PCB-11.

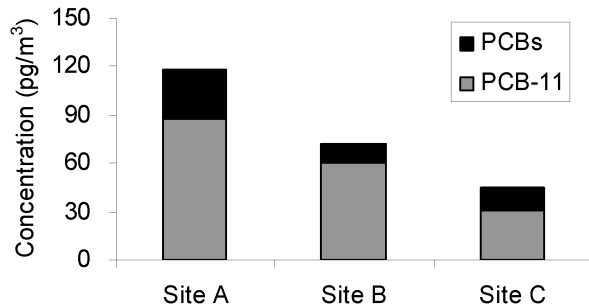


Fig. 2. Total PCBs and PCB-11 at three sites in the Korean Antarctic station (Choi et al., 2008).

2. PCB-11 배출원

지금까지 알려진 PCB-11 배출원에 관한 내용을 표 1에 정리하였다. 최근 PCB-11과 관련된 연구들은 대부분 황색 색소(yellow pigment)를 주목하고 있다. 가장 먼저 제시된 PCB-11 오염원은 페인트, 잉크 등에 사용되는 색소 제조공정으로서(Litten et al., 2002), 뉴욕/뉴저지항 근처에 위치하는 색소공장에서 배출된 페수가 PCB-11로 오염된 것이 확인되었다(Panero et al., 2005). 이후, 미국 시중에서 판매되는

페인트 색소를 분석한 결과, 상당량의 PCB-11이 검출되었으므로(Hu and Hornbuckle, 2010), 대기 중 PCB-11의 주요 배출원은 페인트 색소라고 예상된다. 이외에도 소각과정에서 PCB-11이 배출되는 것이 보고되었으나(Ikonomou et al., 2002), 배출량을 고려할 때, 소각공정 자체는 PCB-11의 주요 오염원이 아닌 것으로 판단된다.

Table 1. Potential emission sources of PCB-11.

Emission type	Description	Reference
Wastewater discharge	Yellow pigment process	Panero et al., 2005
Stack gas emission	Waste incinerator	Ikonomou et al., 2002
Evaporation from paint pigments	Direct emission from yellow pigments	Hu and Hornbuckle, 2010
Photolysis	Photolysis of commercial PCB mixtures	Miao et al., 1996

3. 황색 색소(Yellow pigment)와 광분해에 의한 PCB-11 배출

본 연구진은 PCB-11 오염원을 평가하기 위해 페인트 색소(분말, 액체 페인트 등)에서 배출되는 PCB-11을 검출하는 실험을 진행하고 있으며(그림 3: 유리용기에 색소를 넣고 상단에 PUF를 위치시켜 일정시간 밀폐한 이후에 PUF에 채취된 PCB-11을 분석함), 광분해(photolysis) 관련 연구도 수행 중이다(그림 4). 현재, 황색 색소로부터 PCB-11이 직접 휘발되는 것을 확인하였다. 한편, Aroclor 1248을 광분해 실험에 사용하면 기존 주성분인 PCB-52 농도가 감소함에 따라 PCB-11 농도가 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 기초 실험결과를 토대로, 황색 색소와 광분해 중에서 어떤 과정이 PCB-11의 주요 배출 원인을 평가 중이다.

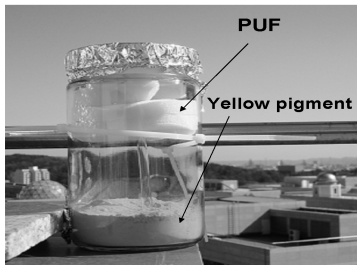


Fig. 3. Emission test for PCB-11 from yellow pigment.

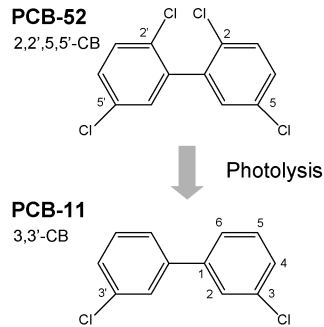


Fig. 4. Photolysis of PCB-52 to PCB-11.

참 고 문 헌

Choi, S.-D., S.-Y. Baek, Y.-S. Chang, F. Wania, M.G. Ikonomou, Y.-J. Yoon, B.-K. Park, and S. Hong (2008) Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorone pesticides at the Korean Arctic and Antarctic research stations: Implications for long-range transport and local pollution, *Environmental Science and Technology*, 42, 7125-7131.

Hu, D. and K.C. Hornbuckle (2010) Inadvertent polychlorinated biphenyls in commercial paint pigments, *Environmental Science and Technology*, In press.

Ikonomou, M.G., P. Sather, J.E. Oh, W.Y. Choi, and Y.-S. Chang (2002) PCB levels and congener patterns from Korean municipal waste incinerator stack emissions, *Chemosphere*, 49,

205-216.

- Litten, S., B. Fowler, and D. Lusznik (2002) Identification of a novel PCB source through analysis of 209 PCB congeners by US EPA modified method 1668, *Chemosphere*, 46, 1457-1459.
- Mackay, D., W.-Y. Shiu, and K.-C. Ma (2000) *Handbook of physical-chemical properties and environmental fate*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Panero, M., S. Boehme, and G. Muñoz (2005) *Pollution prevention and management strategies for polychlorinated biphenyls in the New York/New Jersey Harbor*, New York Academy of science, New York.