

PC8)

제주시 토양 중 PAHs의 분포특성

허미란*, 강경호, 진유경, 이민규¹, 감상규

제주대학교 토목환경공학전공, ¹부경대학교 응용화학공학부

1. 서론

최근 들어, 잔류성 유기 오염물질(POPs)에 관한 관심이 증대하고 있으며, 2001년 5월에 Stockholm 회의에서는 12-POPs 물질에 대한 규제를 발표하였다. 그리고 United Nations-European Commitee에서는 12-POPs 물질 중에 polycyclic aromatic hydro-carbons (PAHs)가 포함되었다.

PAHs는 자동차 배출물, 발전소, 화학공업, 제철공업과 도시 쓰레기의 소각과 같은 오염원에 의해 많이 배출된다고 확인되었으며, 자연적인 오염원으로는 산불이나 화산으로 알려져 있다. 구성성분에 따라 200여 물질이 있다고 알려진 PAHs 중 'priority pollutant'로서 16-PAH를 US EPA에서 지정하였다. PAHs는 변이원성과 발암성 및 보건 건강에 미치는 영향에 때문에 환경적 및 보건학적 관심이 증가하고 있다.

다양한 경로를 통해 발생하는 PAHs는 대기 중 가스 상 혹은 입자상으로 존재하며, 부유분진 등과 흡착하여 장거리 수송이나 습·건식 침적 과정에 의해 토양오염뿐만 아니라 수질 오염 및 환경오염을 유발시키는 것으로 보고되고 있다(Keiichi 등, 1992). 따라서 토양에서의 PAHs의 오염은 대기 및 수질에서의 오염과 밀접한 상관성을 나타내는 것으로 보이므로, 토양에서의 PAHs 분석은 환경 내에 PAHs 오염상태에 관한 중요한 정보를 제공하게 될 것이다(Vogt 등, 1987).

본 연구는 제주시의 지역별 특성을 고려하여 이동·고정 배출원의 영향이 예상되는 6개의 지역으로 나누어 이들 지역의 토양을 대상으로 분포 특성을 살펴보고, 이의 분포에 영향을 미칠 것으로 예상되는 토양 환경특성인 유기물과 입도분포와 총 PAHs 농도 분포와의 상관성을 검토하였고, 또한 특정 PAHs 상대 비 및 상관 분석을 통해 오염 기원을 추정하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구를 위해 채취한 토양 시료는 제주시의 지역별 특성을 고려하여 이동·고정 배출원의 영향이 예상되는 6개의 지역을 선정하여 시료 채취하였으며, 시료 채취지역은 주거지역(residential area, R) R-1,2, 교통지역(traffic area, T)으로 T-1,2, 화력발전소 지역(power plant area, P) P-1,2 그리고 소각장 지역(incineration area, I) I-1, 2, 3, 4, 마지막으로 항구 지역(harbor area, H) H-1과 공장지역(factory area, F) F-1,2,3,4,5으로 2004년 2-3월 사이에 총 16지점에서 토양 표면에서 0~5 cm 깊이의 토양시료를 채취하였다.

토양 중의 PAHs의 분석하는 과정은 Yim의 방법(1998)을 따라했으며, 크게 용매추출, 정제, 분석의 단계로 이루어졌으며, 시료분석은 GC(HP 5890 series II)-MSD(HP 5972)로

US-EPA에서 primary pollutants로 지정한 16종의 PAHs를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PAHs의 분포

본 연구에서 얻어진 제주시 16개 지점에서 채취된 토양 시료 중 16종의 총 농도 (t-PAHs) 및 현재 IARC에서 발암 물질로 간주하고 있는 6종 PAHs(t-PAH_{CARC})의 농도범위(평균)는 각각 21.61~260.48 ng/g dry weight(dw) (98.06 ng/g dw), 6.31~117.92 ng/g dw(39.43 ng/g)으로 나타났다. 그리고 지역별 평균 농도를 비교하면, 평균 t-PAHs 농도는 Traffic area (149.22 ng/g dw) > Incineration area (131.32 ng/g dw) > Power plant area (123.48 ng/g dw) > Factory area (79.45 ng/g dw) > Harbor area (44.66 ng/g dw) > Residential area(25.93 ng/g dw) 순으로 높은 농도로 분포하고 있으며, Traffic area가 가장 높은 농도를 Residential area가 가장 낮은 농도로 분포하고 있음을 알 수 있었으며, t-PAH_{CARC} 농도 순에 대해서도 동일하게 조사되었다.

3.2 t-PAHs 와 t-PAH_{CARC}의 상관성

토양 시료에서의 16종 PAHs(t-PAHs)와 이 중 발암가능성 물질인 6종 화합물의 농도 (t-PAH_{CARC})에 대한 특성과 상관성을 조사한 결과 t-PAH_{CARC}는 t-PAHs의 20-40% 비율로 나타나는 것을 알 수 있었다.

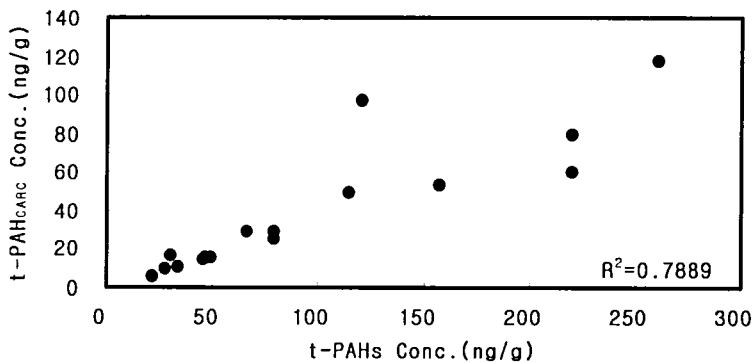


Fig. 1. Relationship between t-PAHs and t-PAH_{CARC} concentrations in Jeju-si.

t-PAHs과 t-PAH_{CARC}사이의 결정계수(r^2) 평균 0.7889 정도로 비교적 높은 상관성이 나타났다(Fig. 1). 따라서 본 조사 토양에 있어서 t-PAHs의 농도에 비례하여 t-PAH_{CARC}농도가 높아짐을 알 수 있었다.

3.3. 지역별에 따른 PAHs의 환상별 분포특성

조사된 16지점에서 16종 PAHs 화합물에 대한 분포 비를 살펴 보면, 대체로 모든 지역에서 Phe를 제외한 2-3개의 고리를 가진 저분자 화합물의 농도 수준이 상당히 낮았으며, 특

히 Ace는 저분자 화합물 중에서도 가장 낮은 농도 수준을 나타내거나 검출되지 않았다. 그러나 고분자 PAHs 화합물인 Fle, Pye, Chr, BbF, IcP, BgP, BkF, BaP, BaA 등의 농도는 비교적 높은 농도를 나타냈다.

지역별로 t-PAHs 농도에 대한 각 고리별 PAHs 농도의 비율을 살펴 보면(Fig. 2), 4-6개의 고리를 가진 PAHs 화합물 분율은 Traffic area (0.88%) > Incineration area (0.859%) > Power plant area (0.854%) > Residential area (0.842%) > Factory area (0.786%) > Harbor area (0.628%) 의 순으로, 2-3개의 고리를 가진 저분자량 PAHs의 분율은 Harbor area (0.372%) > Factory area (0.214%) > Residential area (0.158%) > Power plant area (0.146%) > Incineration area (0.141%) > Traffic area (0.120%)의 순으로 감소하였다. 위와 같은 분포 형태를 미루어 보아 본 연구 지역인 경우 고정 배출원 및 이동 배출원에서 생성·배출된 PAHs 화합물 중 분자량이 비교적 높은 고분자 화합물들의 영향이 크게 미치는 것으로 판단되고, 모든 지역별에 대해 Fle, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, IcP, DaA, BgP 등의 우세한 경향은 자동차나 난방 등에서의 연소 활동에 의해 생성되는 물질 경향과 유사하게 보이므로, 이는 조사된 지역들에서는 전반적으로 연소 활동에 의한 영향을 많이 받고 있는 것으로 사료된다.

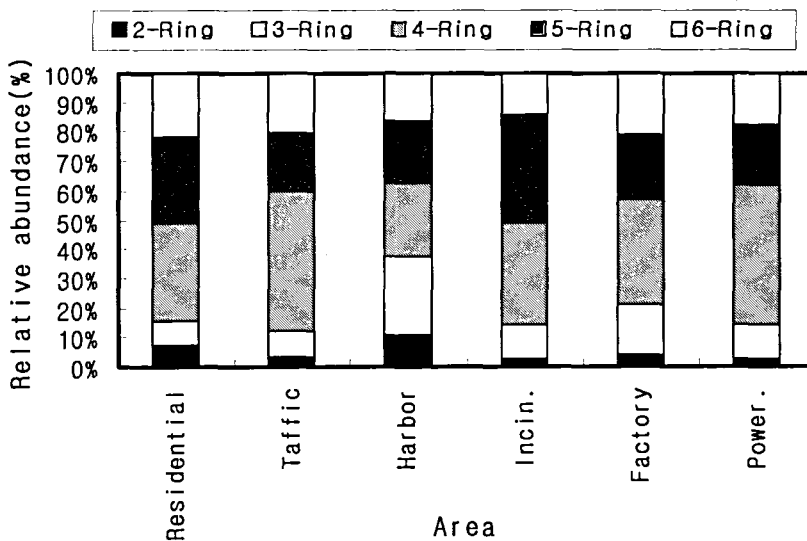


Fig. 2. Relative abundance of each ring group to t-PAHs concentrations with area.

3.4. 토양에서의 PAHs 오염 기원

본 연구에서는 제주시 토양에서의 PAHs 오염 기원을 추정하기 위해서 여러 문헌 등에서 이용되고 있는 오염 기원 지수를 이용하여 검토하였다. 본 연구의 6개 조사 지역 토양 중 Phe/Ant과 Fle/Pyr 비를 살펴보면, PH/AN인 경우에는 모든 지역에서 평균적인 값이 3.40 - 16.53으로 유류오염기원보다는 자동차 배기가스에 의한 기원이 우세한 것으로 사료된다. 그리고 Fle/Pyr비인 경우에는 6개 지역 중 Harbor, Incineration 지역에서 1이상의 값

인 평균1.43, 평균1.02를 나타내는 것으로 보아, 이 지역들인 경우에는 비 연소 혹은 기름 유출에 인한 기원이 더 우세한 것으로 사료된다. 그 외 4지역은 Fle/Pyr 비가 1미만으로 PAHs 오염이 연소 기원에 의한 것으로 사료된다. 그리고 BaP/Bgh의 비로 지역별 이동 발생원에 의한 영향을 비율로 살펴보면, Incineration 지역을 제외한 나머지 지역은 BaP/Bgh비가 평균 0.6이하로 액체연료 연소에 의한 오염 정도가 큰 것으로 사료되고 있으며, 단지 Incineration area만 의 BaP/Bgh비가 평균 1.07으로 고체연료의 연소에 의한 이동 발생원의 오염이 높은 것으로 사료된다.

따라서 본 조사지역의 토양에서의 PAHs의 오염원을 살펴보면, 유류오염 보다는 화석연료의 불완전 연소 등 연소 기원이 우세한 것으로 사료되며, Incineration area을 제외하고 액체 연료의 연소에 의한 것으로 판단된다.

3.5 t-PAHs 농도와 유기물 및 입도와의 상관성

토양 중 t-PAHs와 유기물 함량과의 관계를 검토한 결과 상관성이 매우 낮았는데($r^2=0.1774$), 이는 토양 중 유기물의 PAHs 흡착용량에 미치지 못하는 소량의 PAHs가 유입되는 영향의 결과로 사료된다. 그리고 t-PAHs와 입도분포와의 상관성을 검토한 결과 유기물에서와 마찬가지로 상관성이 매우 낮았는데($r^2<0.08$), 이에 대한 명확한 설명은 PAHs 부하 및 다양한 토양 환경 변화에 기인한다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) t-PAHs 및 t-PAH_{CARC}의 농도 범위(평균)는 각각 21.61~260.48 ng/g dry weight (dw) (98.06 ng/g dw), 6.31~117.92 ng/g dw(39.43 ng/g)으로 나타났으며, t-PAHs의 지역별 평균 농도는 Traffic area > Incineration area > Power plant area > Factory area > Harbor area > Residential area의 순으로 감소하였으며, t-PAH_{CARC} 농도 순에 대해서도 동일하게 조사되었다.

2) 토양에서 PAHs에 대해 저분자와 고분자의 비(LMW/HMW), Phe/Ant비, Fle/Pyr비, BaP/Bgh 비로 판단하는 오염기원의 연구 결과, 조사 된 지역에서 검출된 PAHs 화합물은 연소기원에 의한 영향이 우세한 것으로 나타났으나, Harbor, Incineration 지역에서 Fle/Pyr 비 1이상의 값인 평균1.43, 평균1.02으로 나타나는 것으로 보아 비 연소 혹은 유류 오염에 의한 오염 기원이 우세한 것으로 판단된다. 그리고 Incineration 지역인 경우 BaP/Bgh비 1.07인 것으로 보아 고체연료의 연소에 의한 이동 발생원의 오염이 높은 것으로 사료된다.

3) 토양에서 PAHs의 분포에 미치는 영향 여부를 살펴보기 위해 유기물함량, 입도 분포 및 pH와 t-PAHs와의 상관성을 검토한 결과 상관성이 없거나 매우 낮은 값을 보였는데, 이는 PAHs 부하 및 다양한 토양 특성 등에 기인한다고 판단된다.

참 고 문 헌

Keiichi. A., S. takashi, Y. Mashiro and K. Yasushi, 1962, Polynuclear aromatic

- hydrocarbon concentration and mutagenic activity in soils sampled at roadsides, J. Japan Soc. Air Pollut., 27(4), 190-197.
- Vogt, N. B., F. Brakstad, K. Thrane, S. Nordenson, J. Krane, E. Amote, K. Kolset, K. Esbensen and E. Steinnes, 1987, Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and air: statistical analysis and classification by SIMCA method, Environ. Sci. Technol., 21, 35-44.
- Yim, U. H., 1998, Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in Masan Bay Korea, MS thesis, Seoul National University, 99pp.