

다환방향족 탄화수소의 나뭇잎 침착

유시균¹⁾ · 김태욱 · 천만영

¹⁾한경대학교 식물자원과학과, 한경대학교 환경공학과

Deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Tree Leaves

Shi-Gyun Yoo¹⁾, Tae-Wook Kim and Man-Young Chun (*Dept. of Plant Resources Science1*), *Dept. of Environmental Engineering, Hankyong University, Ansong, 456-749*)

ABSTRACT : Tree leaves have been used as the passive sampler to measure lipophilic PAHs in the atmosphere. This is a convenient and economical method in case of sampling at many regions including the remote places that are not supplied with electric power. But poor results can be obtained if samples are collected carelessly or PAHs concentrations are calculated on the basis of wrong natures of tree leaves. This study was performed to avoid the errors of interpretation that can be induced by these problems when tree leaves are used as a passive sampler of PAHs. Conclusions have been reached as follows:

- 1) The correlativity was low among the water content, the lipid content, the dry weight and the area of four kinds of tree leaves. According to this, PAHs concentrations calculated per wet weight, dry weight, lipid content and area of tree leaves differed. Therefore, same unit should be used to describe concentrations of the pollutants when PAHs concentrations deposited on leaves from atmosphere in the different regions are compared. It is better to describe the unit as PAHs concentrations per dry weight of leaves for comparison with other data because almost researcher make use of this unit, and the range of fluctuation of the dry weights in several natures of tree leaves was relatively little during growing seasons.
- 2) Although four kinds of trees (*Pinus Koraiensis*, *Ginkgo biloba*, *Evodia daniellii*, *Kalopanax pictus*) had been grown at the same place, PAHs concentrations deposited on leaves differed respectively. Therefore PAHs concentrations deposited on different kinds of tree leaves should not be compared. It is better to make use of pine needles as the sample because pine trees grow almost over the world, and it is able to collect their samples in winter.

Key words : PAHs, tree leaves, deposition.

서 론

다환방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)는 주로 화석연료의 불완전 연소에 의하여 생성되는 것으로 그 중의 많은 화합물은 암, 돌연변이를 일으키는 내분비계 장애물질 (endocrine disruptors)로 알려져 있다. 최근 우리나라는 산업의 발달, 인구와 자동차의 증가로 화석연료의 사용은 매년 빠른 속도로 증가하고 있다¹⁾. 특히 선진국의 경우 디-젤 자동차가 전체 자동차의 2% 이내임에 반하여 우리나라는 가솔린 자동차보다 PAHs의 배출량이 훨씬 더 많은 디-젤 자동차가 전체 자동차 수의 거의 절반 정도를 차지하기 때문에 선진국보다 PAHs에 의한 문제가 더 심각할 것으로 생각되지만 대기중 PAHs의 농도에 대한 연구는 아주 미미한 실정이며, 소수의 연구자에 의하여 단

기간, 간헐적으로 대기중 PAHs 농도가 측정되기는 했지만 각각 서로 다른 지역에서 상이한 방법으로 시료를 채취하고 분석했기 때문에 각 지역의 대기질을 종합적으로 평가하고 대책을 수립하는 데에는 많은 한계가 있다^{2,3,4,5,6,7)}. 특히 PAHs는 일반 대중이 노출되는 실내의 모든 대기환경에 존재하고 있으며, 장거리 이동에 의하여 광역오염을 일으키기 때문에 PAHs에 의한 위해성 평가등 환경 및 보건학적 측면을 고려해 볼 때 가능한 많은 지역의 PAHs 농도 분포 자료를 확보하는 것이 바람직하다^{8,9,10,11,12,13,14,15,16)}.

대기 중의 PAHs는 친지질성 (lipophilic)으로 나뭇잎의 표면에 존재하는 지질 (lipid)에 건식 침착 (dry deposition)되기 때문에 잎은 대기 중의 PAHs 농도를 측정하는 passive sampler로 사용이 가능하다^{8,9,10,11,12,15)}. 나뭇잎은 지구 어디서나 자생하고 있으며 사용할 수 있는 양이 충분하기 때문에

나뭇잎을 채취하여 분석하면 값비싼 sampler를 사용하여 힘들며 시료를 채취하지 않아도 쉽게 여러 지역의 대기중 PAHs 농도를 측정 비교해 볼 수 있는 장점이 있다. 특히 전원 설치가 어려운 먼 지역이나 많은 지역에서 농도를 측정하여야 할 경우 시간과 경제적인 면에서 대단히 유리하며 편리한 방법이다. 그리하여 많은 연구자들이 여러 종류의 나뭇잎을 이용하여 각 지역의 대기중 PAHs 농도를 측정하고 있다^{8,9,10,11,12,13,14,15,16,17}. 그러나 나뭇잎은 종류에 따라 수분량, 지질의 양, 잎의 면적등 성상이 서로 달라 같은 농도의 PAHs에 잎이 노출되었다 할지라도 잎에 침착된 농도는 서로 다를 수가 있으며, 아울러 농도도 잎의 습무게, 건무게, 지질양, 면적중 어떤 것을 기준으로 나타내느냐에 따라 서로 다르게 나타날 수 있다. 그럼에도 불구하고 현재 연구자에 따라 사용하는 나뭇잎의 종류나 농도표기법이 서로 달라 자료의 해석과 호환성 면에서 어려움이 많은 실정이다.

이 연구는 대기중 PAHs의 passive sampler로 이용 가능한 식물중 외관상 특성이 뚜렷하게 다른 네 종류의 나뭇잎 즉, 소나무, 은행나무, 쉬나무 그리고 음나무를 사용하여 나뭇잎의 종류별 성상과 잎에 침착된 PAHs 농도 간의 상관성을 규명함과 아울러 나뭇잎을 대기중 PAHs의 passive sampler로 사용할 때 발생하는 상기의 문제점을 해결하는 방안을 제시하고자 한다.

실험 방법

시료 채취

시료의 채집은 1998년 10월 16일 수도권의 외곽지역인 경기도 안성시내에 위치하고 있는 한경대학교 캠퍼스 내에서 행하였으며, 오차를 줄이기 위하여 통풍이 잘되고 자라

는 높이가 비슷하며 반경 10m 내의 동일한 장소에서 자라는, 외관상 차이점이 뚜렷한 네 종류의 나뭇잎 즉, 소나무 (*Pinus Koraiensis*), 은행나무 (*Ginkgo biloba*), 쉬나무 (*Evodia daniellii*) 그리고 음나무 (*Kalopanax pictus*) 잎을 채취하여 시료로 사용하였다. 시료는 채취 즉시 알루미늄 호일에 싸서 폴리에틸렌 백에 넣은 후 아이스 박스로 실험실까지 운반한 다음 -30°C의 냉동고에 분석시까지 보관하였다. 그림 1은 실험에 사용된 나뭇잎을 나타낸 것이다.

시료 추출 및 정제

시료 약 4~5g에 내부표준물질(Naphthalene-D8, Acenaphthene-D10, Phenanthrene-D10, Chrysene-D12, Perylene-D12, Supelco사)을 spike한 후 dichloromethane (DCM, CH₂Cl₂)으로 속슬렛(S Soxhlet)에서 약 20시간 추출한 다음 회전증발 농축기에서 약 3ml까지 농축하였다. 농축액 속에는 엽록소, 지질등 분석을 방해하는 여러가지 오염물질들이 공존하고 있으므로 이러한 물질들을 분리하기 위하여 시료를 내경 9mm glass column에 위로부터 Na₂SO₄ 3g, SiO₂ 1.5g, Al₂O₃ 2.5g을 넣고 hexane:DCM (1:1) 혼합액 70ml로 용출한 후 다시 회전증발 농축기에서 약 1ml까지 농축시켰다. 1차 SiO₂-Al₂O₃ column으로 정제되지 않은 엽록소와 지질은 Bio-bead (S-X3, 40~80µ Bio Rad사) 12g을 충전시킨 내경 200mm GPC(Gel Per-meation Chromatography) column을 사용하여 다시 정제시켰는데 용리액중 처음 37ml에는 분석을 방해하는 지질 및 엽록소가 포함되어 있어서 버리고 나머지 70ml를 PAHs 분석용으로 사용하였다. 용출액을 회전증발 농축기에서 약 1~2ml까지 농축한 후 vial에 정량적으로 옮기고 keeper로서 toluene 100µ를 가한 후 질소로 50µ까지 농축시켜 GC-MSD로 분석하였다. 시료 추출 및 전처리에 사용

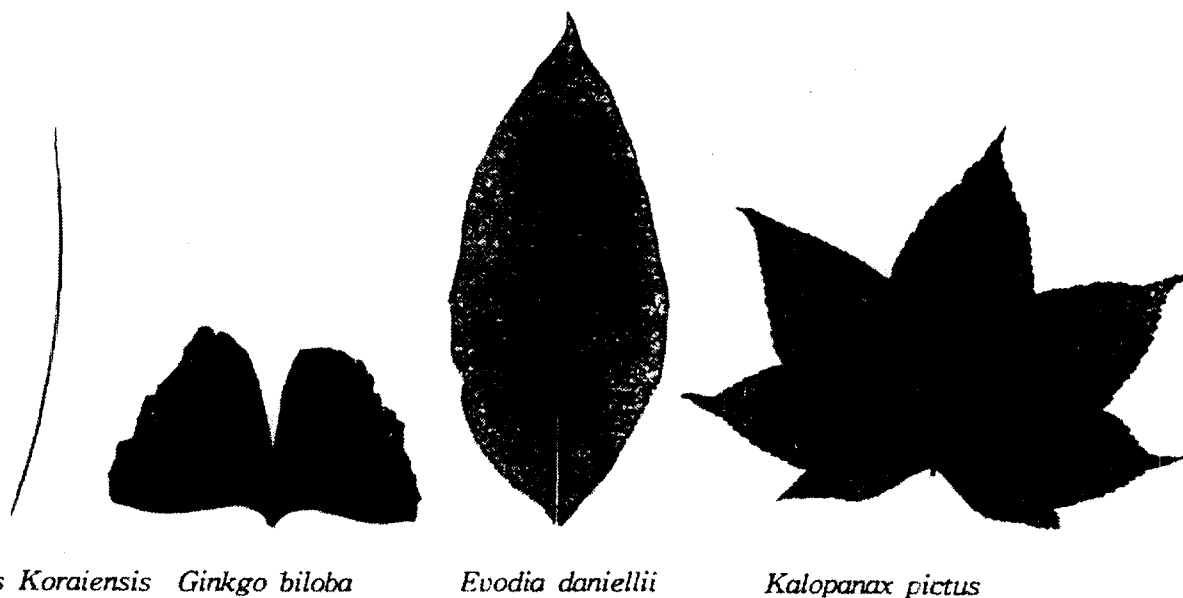


Fig 1. Shape of four kinds of tree leaves.

Table 1. Analytical conditions of GC-MSD for PAHs determination.

GC	HP 6890
Detector	HP Mass Selective Detector 5973
Column	HP Crosslinked HP ME Sioxane 30m × 0.25mm × 0.25 μm Film thickness
Mode	SIM
Injector	Splitless
Sample injection volume	1 μl
Carrier Gas	He 1 ml/min
Temperature Programme	60°C for 1 min 20°C/min to 130°C 4°C/min to 300°C with a final hold of 15 min
Total Run Time	62 min
Injector Temperature	300°C

된 모든 용매는 HPLC grade (J.T.Baker사)를 사용하였으며, Na₂SO₄(anhydrous, Shinyo pure chemical사), SiO₂ (70~230 mesh ASTM, Merck사)와 Al₂O₃(Neutral grade 1, BDH)는 450°C의 전기로에서 약 12시간 정도 구운 후 활성을 유지하기 위하여 140°C의 오븐에 넣어 두고 사용하였다.

시료의 건조무게, 지질양 및 잎면적 측정

시료를 glass thimble에 넣고 무게를 칭량한 후 95°C의 오븐에서 향량이 될 때까지 (약 12시간) 건조시킨 다음 건조전의 무게와의 차이를 수분양으로 하였다. 건조된 시료는 속슬렛에서 hexane으로 6시간 정도 추출한 다음 다시 95°C 오븐에서 향량이 될 때까지 (약 2시간) 건조시킨 후 무게를 칭량하고 추출 전후의 무게 차이를 지질의 무게로 하였다.

잎의 면적은 잎면 측정기 (green leaf area meter, Tokyo photoelectric Co. Model GA-5, Japan)를 이용하여 측정하였다.

정량 및 회수율 산정

시료의 분석은 가스크로마토그래피/질량분석기로 행하였

으며 분석 조건은 아래 표 1과 같다. 분석에 사용된 PAHs calibration standard는 Supelco에서 16가지 PAHs가 혼합된 것을 구매하여 사용하였으며, calibration standard에 포함된 PAHs의 종류, 약어 및 물리·화학적 성질을 아래 표 2에 나타내었다. 각 시료의 PAHs 농도는 시료 채취에 의한 오차를 줄이기 위하여 하나의 폴리에틸렌 백에서 시료를 두 번 취하여 (duplicate) 분석한 후 두 분석 값의 산술평균 농도를 사용하였는데 각 PAHs 화합물의 두 농도간 변이계수는 0.9~22.2%였다.

추출, 정제 등 전처리 과정 동안 target 성분이 손실되는데 회수율을 알아보기 위하여 내부표준물질인 deuterated PAHs의 일정량을 시료에 spike한 후 시험한 결과 회수율은 47.6~107.5% (변이계수 6.4~16.6%)로 분자량이 적을수록 휘발성이 강하여 회수율이 낮았고 클수록 휘발성이 낮아서 회수율이 높은 경향을 보였다.

target 성분의 농도는 retention time과 피크 높이를 이용하여 정량하였으며, 정량 대상인 16가지의 PAHs중 공시료의 농도가 너무 높아 자료로서 신뢰성이 떨어지는 네 종류의 PAHs (Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene)는 해석에서 제외시켰다.

결과 및 고찰

나뭇잎 성상간 상관성

표 3 및 그림 2는 시료로 사용된 네 종류 나뭇잎의 성상중 나뭇잎의 수분량, 건조무게당 지질량, 그리고 면적을 조사하여 나타낸 것인데 표와 그림에서 보듯이 나뭇잎의 세 가지 성상 사이에 상관성이 없었다.

나뭇잎에 침착된 PAHs 농도의 특성

Table 2. Nomenclatures, abbreviations and physico-chemical properties of 16 PAHs analysed in this study.

Nomenclature(IUPAC)	Abbreviation	Formular	Molecular weight	Ring No.
Naphthalene	NPHTL	C ₁₀ H ₈	128.16	2
Acenaphthylene	ACNPL	C ₁₂ H ₈	152.20	"
Acenaphthene	ACNPN	C ₁₂ H ₁₀	154.21	"
Fluorene	FL	C ₁₃ H ₁₀	166.22	"
Phenanthrene	PHEN	C ₁₄ H ₁₀	178.22	3
Anthracene	ANTHN	C ₁₄ H ₁₀	178.22	"
Fluoranthene	FLRTH	C ₁₆ H ₁₀	202.26	"
Pyrene	PY	C ₁₄ H ₁₀	202.26	4
Benzo(a)anthracene	BaA	C ₁₈ H ₁₂	228.29	"
Chrysene	CHRY	C ₁₄ H ₁₂	228.29	"
Benzo(b)fluoranthene	BbF	C ₂₀ H ₁₂	252.32	"
Benzo(k)fluoranthene	BkF	C ₂₀ H ₁₂	252.32	"
Benzo(a)pyrene	BaP	C ₂₀ H ₁₂	252.32	5
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	I123P	C ₂₂ H ₁₂	276.34	6
Dibenz(a,h)anthracene	DahA	C ₂₂ H ₁₄	278.35	5
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	C ₂₂ H ₁₂	276.34	6

Table 3. Properties of four kinds of tree leaves.

	Pinus	Ginkgo	Evodia	Kalopanax
Water content (%)	39.8	26.7	33.8	29.8
Lipid content (mg/g of dry leaf)	19.3	7.1	5.7	11.9
Area (cm ² /g of dry leaf)	45.9	80.6	110.5	120.9

표 4와 그림 3을 보면 PAHs의 농도는 네 가지 기준 즉, 잎의 습무게(g of wet weight), 건조무게(g of dry weight), 지질양(mg of lipid weight), 잎면적(cm² of area) 기준으로 계산한 결과가 서로 달랐다. 이것은 나뭇잎의 네 가지 성상간 상관성이 전혀 없기 때문에 생기는 결과로 생각된다.

나뭇잎에 포함된 수분양은 잎이 성장해 감에 따라 계속 감소하며 수종에 따라 잎에 포함된 수분양도 차이가 크다^{11,12}. 잎중 지질양도 수종 간에 차이가 컸으며 오염물질이 수년동안 누적 침착될 수 있을 정도의 충분한 양이 존재하기 때문에 잎의 습무게와 지질양은 PAHs의 농도를 나타내는 기준으로는 적합하지 않다고 생각된다^{10,17}. 또 잎의 건무게당 면적과 건무게당 잎에 침착된 PAHs 농도 간에도 전혀 상관성이 없어서 농도를 잎의 면적 기준으로 나타내는 것도 좋은 방법이 아니라고 생각된다. 비록 잎의 두께, 잎맥의 크기가 나뭇잎마다 서로 달라 잎의 건무게에 다소의 영향을 준다고 할지라도 잎의 건무게(지질양이 포함된 무

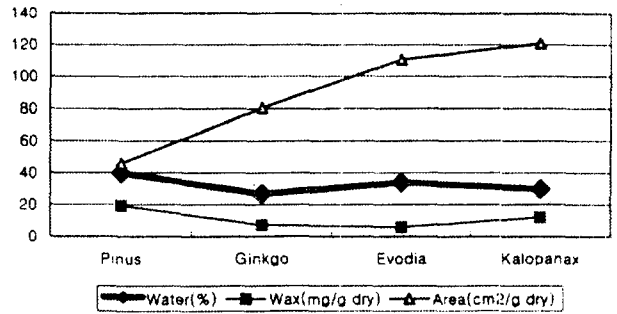


Fig. 2. Properties of four kinds of tree leaves.

게)는 잎의 다른 성상에 비하여 나뭇잎의 성상을 가장 잘 대표할 뿐만 아니라 비교적 많은 연구자들이 잎의 건무게당 농도로 오염물질의 농도를 표기하고 있으므로 자료의 호환성 면에서도 잎에 침착된 PAHs 농도는 잎의 건무게 기준으로 표기하는 것이 좋다고 생각된다.^{11,12,13,14,15,16}.

또 표 4 및 그림 3은 나뭇잎에 침착된 PAHs의 농도분포는 수종별로 별 차이가 없으나 농도는 큰 차이가 있음을 보여주고 있다. 그러나 현재 몇몇 연구자들은 나뭇잎을 이용하여 각 지역의 대기오염도를 비교·조사할 때에 각 지역에서 수종이 서로 다른 나뭇잎을 채취하여 농도를 상호 비교하고 있다¹⁶. 이 번 연구 결과로 수종이 서로 다른 나

Table 4. PAHs concentrations in tree leaves.

	(ng/g of wet leaves)				(ng/g of dry leaves)			
	Pinus	Ginkgo	Evodia	Kalopanax	Pinus	Ginkgo	Evodia	Kalopanax
PHEN	231.1	295.0	130.8	97.3	91.5	77.0	43.4	60.2
ANTHN	12.8	20.3	14.6	9.0	5.0	5.3	4.9	5.1
FLRTH	147.0	477.8	159.4	184.3	58.2	124.7	52.9	88.8
PY	171.0	582.9	164.0	228.8	67.7	152.1	54.4	103.2
BaA	41.1	231.9	81.9	68.1	16.3	60.5	27.2	43.8
CHRY	104.5	586.7	154.0	138.0	41.4	153.1	51.1	102.1
BbF	62.0	227.1	56.2	94.9	24.5	59.2	18.7	39.0
BkF	47.4	183.1	59.8	71.2	18.9	47.8	19.8	33.8
BaP	26.4	31.5	24.8	20.0	10.5	8.2	8.2	8.2
I123P	19.4	26.7	18.3	20.2	7.7	7.0	6.1	6.5
DahA	4.2	4.3	2.7	3.8	1.7	1.1	0.9	1.0
BghiP	8.2	27.2	19.6	22.2	3.3	7.1	6.5	6.8
Total	875.4	2,694.5	886.1	957.8	346.5	703.0	294.0	498.5

	(ng/g of wet leaves)				(ng/g of dry leaves)			
	Pinus	Ginkgo	Evodia	Kalopanax	Pinus	Ginkgo	Evodia	Kalopanax
PHEN	728.2	238.9	483.6	83.0	1,741.8	2,704.9	2,056.2	838.3
ANTHN	40.2	16.4	28.3	7.7	96.1	186.2	229.9	77.4
FLRTH	462.9	386.6	424.8	157.2	1,107.2	4,377.5	2,510.4	1,588.7
PY	538.5	472.7	505.6	195.4	1,288.1	5,350.8	2,592.3	1,973.7
BaA	129.6	187.6	158.6	57.8	310.0	2,123.6	1,296.0	585.0
CHRY	329.4	475.2	402.3	117.5	788.0	5,379.8	2,441.7	1,187.8
BbF	195.7	183.7	189.7	80.5	468.2	2,080.0	887.7	814.5
BkF	150.4	148.1	149.3	60.2	359.8	1,676.6	940.0	609.2
BaP	83.4	25.6	54.5	16.9	199.6	289.5	390.3	171.3
I123P	61.3	21.6	41.4	17.3	146.6	244.7	288.8	174.7
DahA	13.1	3.5	8.3	3.3	31.5	39.1	42.2	32.9
BghiP	26.0	22.0	24.0	18.9	62.1	248.7	309.5	190.8
Total	2,758.7	2,181.9	2,470.3	815.6	6,599.0	2,4701.2	13,985.1	8,244.5

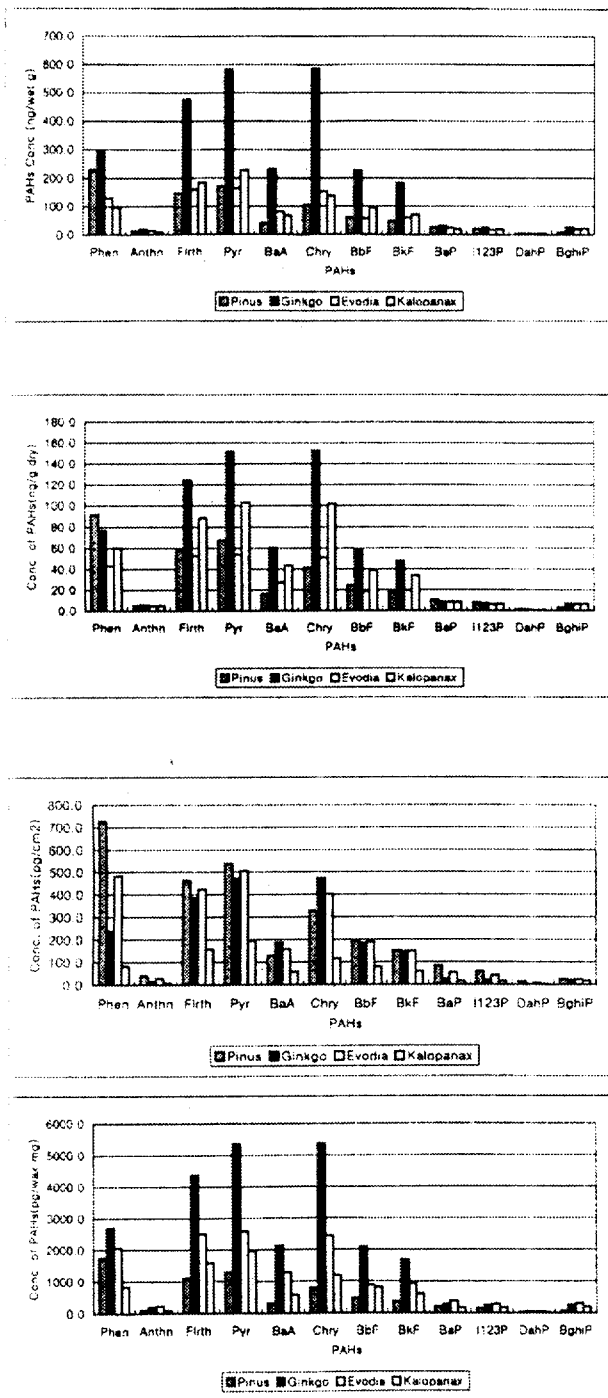


Fig. 3. PAHs concentrations in tree leaves.

나뭇잎을 가지고 각 지역의 대기오염도를 비교하는 것은 신뢰할 수 없는 결과임을 알 수 있었다. 소나무잎은 PAHs 뿐만 아니라 친지질성으로 나뭇잎의 지질에 침착되는 PCBs, Dioxins/Furans 및 Organochlorine pesticides 같은 대기오염물질을 연구하는 대부분의 나라에 자생하고 있으며, 상록수로서 겨울에도 시료 채취가 가능하므로 다수의 연구자가 소나무잎을 사용하여 연구를 하고 있다. 그러므로 자료의 호환성 문제에 있어서 소나무잎을 사용하는 것이 유리할

것으로 생각된다¹¹⁾.

위에서 고찰한 바와 같이 나뭇잎을 대기중 PAHs의 passive sampler로 사용하고저 할 때에는 시료중 오염물질의 농도를 잎의 건무게 단위로 표기하는 것이 좋으며, 여러지역에서 시료를 채취할 때에 동일 수종의 나뭇잎을 선택하는 것이 자료의 상호비교와 오차를 줄여 신뢰성 있는 데이터를 얻는 방법이라 생각된다.

요 약

나뭇잎은 친지질성인 대기중 PAHs의 passive sampler로 많이 사용되고 있다. 특히 많은 지역의 PAHs 농도를 측정·비교해야 할 경우나 전기를 사용할 수 없는 먼지역의 농도를 측정해야 할 경우 시간적, 경제적으로 매우 유리한 방법이다. 그러나 부주의 하게 시료를 채취하거나 농도를 계산할 때에 기준 선정이 잘못되면 좋지 않은 결과를 얻을 수도 있다. 이 연구는 나뭇잎을 대기중 PAHs의 passive sampler로 사용할 때 생기는 이러한 문제점에 대하여 연구한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 나뭇잎 중의 수분양, 지질양, 잎의 면적과 건중량 간에는 상관성이 없었고 그로 인하여 나뭇잎에 침착된 PAHs 농도도 잎의 습무게, 건중량, 지질양, 면적 기준으로 계산한 농도가 서로 달랐다. 이중 잎의 건중량(지질양이 포함된 무게) 기준으로 PAHs 농도를 표기하는 것이 나뭇잎의 성장과 자료의 호환성 때문에 가장 좋은 것으로 생각된다.

2) 같은 장소에서 채취한 나뭇잎도 수종간에 침착된 PAHs 농도 차가 상당히 컸으므로 서로 종류가 다른 나뭇잎간 농도를 비교해서는 아니된다. 소나무는 비교적 많은 나라에 자생하고 있고 상록수로서 겨울에도 시료채취가 가능하여 많은 연구자들이 이용하고 있으므로 자료의 호환성 면에서 가장 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 환경대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 환경부, (1997). 환경통계연감, 10, 33~40.
2. 조강래, (1992). 자동차와 환경오염. 화학세계, 32(8), 11~22.
3. Koo Ja-Kong and Seo Young-Hwa (1992). Application of Chemical MAss Balance Model for the Source Apportionment of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Urban Atmosphere, J. Korea Air Pollution Research Association, 8(4), 229~239.
4. Park, Seung-Eun and Chung, Young (1992), Airborne

- Suspended Particulates Concentration and Risk Assessment of Polycyclic Organic Matter in Seoul, J. Korea Air Pollution Research Association, 8(4), 247~256.
5. Cho Ki-Cheol, Kim Dal-Ho, Heo Gui-Suk, Lee Seung-Ill and Kim Hui-Kang(1994), Characteristics of Concentration and Size Distribution of PAHs of Total Suspended Particulates in Urban Air, J. Korea Air Pollution Research Association, 10(1), 57~63.
 6. Baek, Sung-Ok, Kim, Ki-Nam and Choi, Jin-Soo (1995), Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Airborne Particulate Matter using HPLC and Fluorescence Detection, J. of Korean Society of Environmental Engineering, 17(1), 85~99.
 7. Baek, Sung-Ok and Choi, Jin-Soo (1998), Effect of Ambient air Temperature on the Distribution of Atmosphere Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Vapor and Particulate Phases, J. Korea Air Pollution Research Association, 14(2), 117~131.
 8. Lodovici, M., Akpan, V., Casalini, C., Zappa, C. and Dolara, P. (1998), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Laurus Nobilis Leaves as a Measure of Air Pollution in Urban and rural Sites of Tuscany, Chemosphere, 36(8), 1703~1712.
 9. Nakajima, D., Yoshida, Y, Suzuki, J. and Suzuki, S. (1995), Seasonal Changes in the Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Azalea Leaves and Relationship to Atmospheric Concentration, Chemosphere, 30(3), 409~418.
 10. Simonich, S.L. and Hites, R.A. (1994), Vegetation-Atmosphere Partitioning Aromatic Hydrocarbons, Environ. Sci. Technol., 28(5), 939~943.
 11. Tremolada, P., Burnett, V., Calamari, D., and Jones, C.K. (1996), Spatial Distribution of PAHs in the U.K. Atmosphere Using Pine needles, Environ. Sci. Technol., 30(12), 3570~3577.
 12. Kaupp, H. and Sklorz, M. (1996), A Method for Analysing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in Plant Samples, Chemosphere, 32(5), 849~854.
 13. Yang, S.Y.N., Connell, D.W., Hawker, D.W. and Kayal, S.I. (1991), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air, Soil and Vegetation in the Vicinity of an Urban Roadway, The Science of the Total Environment, 102, 229~240.
 15. Franzaring, J. Bierl, R. and Ruthsatz, B. (1992), Active Biological Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons using Kale(*Brassica oleracea*) as a Monitor-Species, Chemosphere, 25(6), 827~834.
 16. Wagrowski, D.M. and Hites, R.A. (1997), Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Accumulation in Urban, Suburban, and Rural Vegetation, Environ. Sci. Technol., 31(1), 279~282.
 17. Chun, Man-young and Kim, Taewook (1998), A Study on the Sampling Error of PCBs Deposited on Pine Needles, Korean J. of Environmental Agriculture, 17(2), 11~15.