

# 2008년 연구조사사업

(인천광역시 차도변 침적물 중  
PAHs 오염실태 조사)

2009. 1.

토 양 환 경 과

## <본문 차례>

I. 연구배경 .....	2
II. 이론적 배경 .....	3
1. PAHs 정의 .....	3
2. 독성 .....	4
3. 발생원 .....	5
III. 연구방법 .....	8
1. 기존 PAHs 분석방법 .....	8
2. PAHs 분석방법 .....	10
3. 침전물 채취 위치 및 방법 .....	13
IV. 분석결과 .....	16
1. GC/MSD .....	16
2. PAHs 분포 특성 .....	18
3. 발암가능성 PAHs의 특이성 .....	21
4. 주변 교통량과의 상관성 .....	22
5. 주요도로 차도변 침적물과 가로수 토양 중 $\Sigma$ PAHs .....	24
V. 결론 .....	25
VI. 참고문헌 .....	27

## 〈표 차례〉

표 1. 기관별 고려 대상 PAHs 종류 .....	3
표 2. PAHs의 물리 화학적 특성 .....	4
표 3. USEPA에 의한 인간 발암 가능성 구분 .....	4
표 4. PAHs의 건강 영향 .....	5
표 5. 미국, 유럽에서의 PAHs 발생원 .....	6
표 6. PAHs 물질별 발생원 .....	7
표 7. PAHs 추출방법 비교 .....	8
표 8. PAHs 정제방법 비교 .....	9
표 9. 가속용매추출장치(ASE) 분석 조건 .....	10
표 10. C <sub>18</sub> SPE를 이용한 정제 방법 .....	11
표 11. PAHs 정량이온 및 확인이온 .....	12
표 12. GC/MS 분석조건 .....	12
표 13. 측정지점 구분 .....	13
표 14. 측정지점, PAH별 분석 농도(ug/kg) .....	20
표 15. 교통량 조사 자료 .....	23
표 16. 차도면 침적물과 가로수 토양의 PAHs 분포 특성 .....	24
표 17. 본 연구 및 기타 연구의 토양 중 PAHs 농도분포 .....	25

## 〈그림 차례〉

그림 1. Octadecyl기(C <sub>18</sub> )로 담지된 실리카겔 모식도 .....	10
그림 2. 측정지점 위치도 .....	14
그림 3. 지하차도 및 만월산 터널 측정 위치 .....	15
그림 4. PAHs 표준물질 크로마토그램 .....	16
그림 5. 정량이온의 크로마토그램 .....	17
그림 6. (a)그룹별 PAHs 평균농도, (b) 그룹별 PAHs 분포 특성 .....	18
그림 7. 전체 측정지점별 ΣPAHs 농도 분포 .....	19
그림 8. 발암가능성 PAHs 분포 특성 .....	21
그림 9. ΣPAH <sub>carc.</sub> 의 상관성 분석 .....	22
그림 10. 교통량에 따른 PAHs 분포 특성 .....	23
그림 11. 차도면 침적물과 가로수토양의 PAHs 상관성 분석 .....	24

# 인천광역시 차도변 침적물 중 PAHs 오염실태 조사

노재일, 허점건, 강희규, 이주형, 김오목, 이영주, 한지은, 엄진균  
토양환경과

## Study on the PAHs contamination level for sediment of roadside in Incheon metropolitan city

J. I. Ro, J. G. Heo, H. G. Gang, G. H. Lee, O. M. Kim, Y. J. Lee, G. Y. Han, J. G. Eom  
*Soil environment Division*

### Abstract

인천광역시의 주요 도로, 지하차도, 터널 주변에서 침적물과 토양을 채취하여 다환방향족탄화수소화합물(PAHs : Poly Aromatic Hydrocarbons)의 오염실태를 파악하였다. GC/MSD를 이용한 동위원소희석법으로 45개 시료를 분석하였다. PAHs 농도분포는 485~6,926ug/kg, 발암가능성이 있는 PAHs 농도분포는 140~1,826ug/kg으로 조사되었다. 이러한 결과는 서울특별시 공장지역에 비해 다소 높은 것으로 확인되었다. 그러나 폐침목 시설물 주변 오염토양에서 조사된 PAHs 농도에 비해 다소 낮은 것으로 파악되었다.

The objective of this study were carried out to analyse Poly Aromatic Hydrocarbons(PAHs) contamination level of sediment and soil for major road, underground road, tunnel in Incheon metropolitan city. 45 Samples were analysed by isotope dilution method using GC/MSD. The results of PAHs were in the range of 485~6,926ug/kg and carcinogenic PAHs were PAHs concentration detected by contaminated soil around the used railway sleeper facilities.

## I. 연구배경

PAHs는 화석연료의 불완전 연소 시 많이 발생한다고 알려져 있으며, 최근에는 고온에서 숯을 이용하여 식품을 구울 때나, 음식물이 타는 과정 중에도 PAHs 화합물이 발생한다고 알려져 있다.

자동차의 연료로 사용되는 석유 제품은 원천적으로 PAHs를 함유할 수 있으며, 경유의 경우 무게기준으로 11%이내의 PAHs를 함유하는 것으로 제품 기준이 설정되어 있다. 특히 자동차 배출가스는 직접 흡인으로 인한 건강상 문제와 더불어 배출가스 중 오염물질이 도로변 토양 및 퇴적물에 흡착되어 높은 농도로 존재한 후 재비산 등으로 인해 지속적으로 인체에 악영향을 끼칠 수 있다.

기존 연구에 따르면 지하차도 및 터널에서 PAHs의 오염도가 높고, 특히 PAHs가 유기물질에 잘 흡착되는 성질에 따라 기상 보다는 입자상에 존재하는 비율이 높다는 결과가 발표되고 있다.

차도변 퇴적물의 경우 24시간 자동차 배출가스에 노출되어 있으며, 그 조성이 사토질 미세입자 및 유기물질로 구성되어 있어, PAHs 함유량이 기타 환경매질에 비해 높을 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 인천시 주요 도로, 역사주변, 지하차도, 터널, 가로수 토양 등지의 퇴적물을 채취하여 PAHs 농도를 분석하고 PAHs 분포 경향 및 발생원 분석을 통해 인천시 차도변 퇴적물의 PAHs 오염상태를 파악해 보고자 하였다.

















## Ⅱ. 이론적 배경

### 1. PAHs 정의

PAHs는 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)의 약칭으로 벤젠고리의 수에 따라서 다양한 물성을 나타낸다. 분자량이 낮은 일부 PAHs는 자연환경에서 상대적으로 빠르게 생분해되지만, 대부분의 PAHs는 매우 안정하기 때문에 환경에 오래 잔류하고, 높은 융점과 끓는점을 가지는 강한 불용성 물질이며, 벤젠고리의 수가 증가함에 따라 휘발성이 유의하게 낮아지는 성질 때문에 먼지 등에 흡착되어 입자상 물질로 존재하는 경우도 많다.

작은 분자량을 가진 PAHs는 대기 조건에서 주로 가스상으로 존재하며, 큰 분자량을 가진 PAHs는 먼지에 흡착된 상태로 존재하는데, 벤젠고리가 4~5개인 PAHs들은 대부분 발암성 물질이기 때문에 보건학적으로 관심의 대상이 되고 있다<sup>1)</sup>.

표 1. 기관별 고려 대상 PAHs 종류

PAHs 종류	약어	CAS number	USEPA 평가대상 물질	IARC 인간발암 가능물질	형태
Naphthalene	NP	91-20-3	●		
Acenaphthylene	ACY	208-96-8	●		
Acenaphthene	ACE	83-32-9	●		
Fluorene	FLN	86-73-7	●		
Phenanthrene	PHE	1985-01-08	●		
Anthracene	ANT	120-12-7	●		
Fluoranthene	FLU	206-44-0	●		
Pyrene	PYR	129-00-0	●		
Chrysene	CHR	218-01-9	●		
Benz[a]anthracene*	BaA	56-55-3	●	●	
Benzo[b]fluoranthene*	BbF	205-99-2	●	●	
Benzo[k]fluoranthene*	BkF	207-08-9	●	●	
Benzo[a]pyrene*	BaP	50-32-8	●	●	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene*	IcdP	193-39-5	●	●	
Dibenz[a,h]anthracene*	DBahA	53-70-3	●		
Benzo[ghi]perylene	BghiP	191-24-2	●		

위에 열거한 물질 중에서 별표(\*)로 표시된 6개의 PAHs는 USEPA에서 Group B2 carcinogens로 구분하고 있으며, 이는 이들 물질에 대한 동물 실험의 발암성은 충분히 입증되어 있으나, 사람에게 미치는 영향에 대한 연구는 충분하지 않다는 것을 의미한다.

표 2. PAHs의 물리 화학적 특성<sup>2)</sup>

Compound	Melting Point(°C)	Boiling Point(°C)	Vapor Pressure (mmHg, 25°C)	Compound	Melting Point(°C)	Boiling Point(°C)	Vapor Pressure (mmHg, 25°C)
NP	80	218	$7.1 \times 10^{-2}$	BaA	159	435	$2.1 \times 10^{-7}$
ACY	93	275	$6.7 \times 10^{-3}$	CHR	256	448	$6.4 \times 10^{-9}$
ACE	96	279	$2.2 \times 10^{-3}$	BbF	168	393	-
FLN	117	295	$6.0 \times 10^{-4}$	BkF	217	480	$9.6 \times 10^{-11}$
PHE	100	340	$1.2 \times 10^{-4}$	BaP	177	496	$5.6 \times 10^{-9}$
ANT	218	342	$6.0 \times 10^{-6}$	IcdP	162	534	-
FLU	110	393	$9.2 \times 10^{-6}$	DBahA	262	535	-
PYR	156	404	$4.5 \times 10^{-6}$	BghiP	273	542	$1.01 \times 10^{-10}$

표 3. USEPA에 의한 인간 발암 가능성 구분<sup>3)</sup>

구분	인체 발암 가능성	
A	Carcinogenic to humans	
B	Probably carcinogenic	B1 - With limited evidence
		B2 - With little or no human data
C	Possibly carcinogenic to humans	
D	Not classifiable as to human carcinogenicity	
E	Evidence of non-carcinogenicity for humans	

## 2. 독성

PAHs는 주로 입자상 물질이나 먼지에 흡착되어 있는 공기를 호흡함으로써 폐를 통해 인체로 유입된다. 인체 내에서 PAHs는 일부 물질의 특정구조로 인해 생성되는 중간물질인 diol epoxide의 이성질체가 PAHs의 독성물질로 알려지고 있으며, 특히 Benzo(a)Pyrene 대사물질인 7,8-diol-9,10-epoxide는 PAHs 대사물질 중 가장 독성이 강한 것으로 보고되고 있다. 다음 표 4에 각 PAHs의 인체에 미치는 영향과 risk standard를 나타내었다<sup>4)</sup>.

표 4. PAHs의 건강 영향<sup>5)</sup>

PAHs	증상	Risk Standard
Acenaphthene	피부 및 점막자극	LD <sub>50</sub> : 0.6g/kg
Acenaphthylene	피부 및 점막자극	LD <sub>50</sub> : 1.7g/kg
Anthracene	섭취 시 눈, 호흡기, 위장 자극 장기 접촉 시 피부의 색소 침착	TWA : 0.2mg/m <sup>3</sup>
Benz(a)anthracene	종양성, 유두종, 피부암, 돌연변이원성	LD <sub>50</sub> : 10mg/kg
Benzo(a)pyrene	점막에 자극성, 피부염, 기관지염, 기침, 결막염, 폐수종, 백혈병, 피부 접촉 시 홍반, 색소침착, 박리, 가려움, 만성 노출 시 각막 탈색, 눈가에 홍반, 피부발진, 빈혈	LD <sub>50</sub> : 500mg/kg
Benz(g,h,i)perylene	Benzo(a)pyrene과 혼합되면 발암성 증가	
Benzo(b)fluoranthene	피부 접촉 시 발암성(발암 소초량 : Benzo(a)pyrene의 10배 가량)	LD <sub>50</sub> : 50mg/kg
Benzo(k)fluoranthene	피부 접촉 시 유두종, 발암성	
Chrysene	피부 접촉 시 발암성, 태아기형성, 종양성, 돌연 변이원성	
Fluoranthene	돌연변이원성	LD <sub>50</sub> : 2000mg/kg
Fluorene		LD <sub>50</sub> : 101mg/kg이상
Indenno(1,2,3-cd)pyrene	피부 접촉 시 유두종, 발암성, Benzo(a)pyrene보다 발암성 약함	
Naphthalene	피부, 눈, 점막, 기관지에 자극성, 구역질, 두통, 구토, 땀분비, 혈뇨증, 고열, 빈혈, 간장괴사, 경련, 피부염	TLV : 10ppm, 50mg/m <sup>3</sup> STEL : 15PPM, 75mg/m <sup>3</sup>
Phenanthrene	피부에 민감하며 피부염, 기관지염, 기침, 호흡곤란, 기관지 종양	LD <sub>50</sub> : 700mg/kg
Pyrene	10일간 피부 흡수 시 체중감소, 간장변화	LD <sub>50</sub> : 514mg/kg

### 3. 발생원

PAHs의 발생원은 크게 자연발생원과 인위적인 발생원으로 나눌 수 있다. 자연발생원으로는 산불, 화산 폭발, 유기물의 분해 등이 있으며, 인위적인 발생원은 자동차, 건설장비 등과 같은 이동배출원과 공장, 소각시설 등과 같은 점 배출원, 산업단지, 주거단지 등과 같은 면 오염원으로 구분 할 수 있다.

표 5에는 미국, 영국, 스웨덴, 노르웨이 등에서 배출되는 PAHs를 배



출원별로 나타내었다. 미국의 경우 대기로 배출되는 PAHs는 자연발생원 보다 인위적 발생원의 비율이 크고 이중 대부분이 발전(Heating and power), 산업공정(Industrial processes), 자동차(Mobile sources)에 집중되어 있다. 특히 자동차의 기여율은 16~32%로 매우 높은 비중을 차지하고 있다.

산업공정에서의 PAHs 발생원은 알루미늄제련, 석탄 및 석유 제품가공, 자동차, 유기물질 연소등이 주요 발생원으로 보고되고 있으며, 개별 PAHs별 발생원을 표 6에 나타내었다.

표 5. 미국, 유럽에서의 PAHs 발생원(Mtonne/year)<sup>6)</sup>

Ecosystem and Source	USA	USA	USA	UK	Sweden and Norway
<b>Atmosphere</b>					
Forest and prairie fires	19513	600-1478		-	1-5
Agricultural burning	13009	400-1190		6.3	1-2
Refuse and other open burning	4769	1357-1428		-	-
Enclosed incineration	3902	50-56 <sup>a)</sup>		0.06	1-2
Heating and power	2168	1468-4357		610	64-139
Industrial processes <sup>b)</sup>	-	640-3497		19	203-312
Mobile sources	-	2170-2266		80	20-47
<b>Aquatic</b>					
Environments natural seeps	-		2500		
Petroleum spillage	170000		790		
Atmospheric deposition	50000		1600		
Wastewater	4400		-		
Surface runoff	2940		-		
Biosynthesis	2700		-		
<b>References</b>	Eisler (1987)	Baek et al. (1991)	NAS (in press)	Wild and Jones (1995)	Baek et al. (1991)

a) Commercial only.

b) Mostly coke production.

표 6. PAHs 물질별 발생원<sup>7)</sup>

Material	Source
Acenaphthene	biomass burning, diesel exhaust
Anthracene	aluminum manufacturing, asphalt manufacturing, automobile, biomass burnig, diesel exhaust, petroleum manufacturing, refuse combustion
Benz(a)anthracene	aluminum manufacturing, automobile, biomass burnig, coal combustion, diesel & gasoline soot
Benzo(b)Fluoranthene	biomass burnig, diesel & gasoline soot
Benzo(k)Fluoranthene	biomass burnig, diesel & gasoline soot
Chrysene	aluminum manufacturing, biomass burnig, diesel & gasoline soot, refuse combustion
Fluoranthene	aluminum manufacturing, asphalt manufacturing, automobile, biomass burnig, coal combustion, diesel exhaust, petroleum manufacturing, oceans, refuse combustion
Fluorene	automobile, coal combustion, diesel exhaust
Naphthalene	Naphthalene manufacturing
Phenanthrene	alumium manufacturing, asphalt manufacturing, automobile, biomass burnig, coal combustion, diesel, petroleum manufacturing, oceans, refuse combustion
Pyrene	alumium manufacturing, asphalt manufacturing, automobile, biomass burnig, coal combustion, diesel, petroleum manufacturing, oceans, refuse combustion

### III. 연구방법

#### 1. 기존 PAHs 분석방법

PAHs가 함유되어 있는 환경 매체에 따라 다양한 전처리 및 분석방법이 존재하고 있으며, 분석방법을 결정하기에 앞서 기존 PAHs 분석방법을 비교 분석해 보았다.

가장 전통적인 분석방법은 Soxhlet을 이용한 추출방법이고, 이보다 추출시간과 사용되는 용매의 양을 줄일 수 있는 Microwave-assisted extraction(MAE), Pressurized Liquid Extration(PLE) 등의 방법이 적용되고 있다. MAE, PLE 등은 Soxhlet를 이용한 추출방법에 비해 추출시간과 용매의 양을 줄이는 효과는 탁월하지만, 고가의 장비를 사용해야 한다는 단점이 있다<sup>8)</sup>.

정제에 사용된 실리카겔은 일반적으로 강극성물질, 착색물질, 유기염소계농약등을 제거하게 되는데, 이와 더불어 실리카겔에 C<sub>18</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aminopropyl 등이 담지된 정제컬럼도 사용되고 있다.

표 7. PAHs 추출방법 비교

추출방법	용매	적용 방법	분석방법
ASE, soxhlet, 초음파	10%Diethyl Ether/Hexane	다환방향족탄화수소류(PAHs) -기체크로마토그래피/질량분석법	대기오염공정시험방법 (PUF 사용시)
		Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)	USEPA TO-13a(PUF 사용시)
	DCM	다환방향족탄화수소류(PAHs)-기체크로마토그래피/질 량분석법	대기오염공정시험방법 (XAD-2 사용시)
		Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)	USEPA TO-13a (XAD-2 사용시)
		SRM GC/MSD(I,II)	NIST SRM 분석법
		다환방향족탄화수소(PAHs)	폐기물 중 유해물질 조 사 매뉴얼
		초음파 추출, sludge	참고문헌 9
		Soxhlet	참고문헌 10
	Aceton:Hexane=1:1	SRM GC/MSD(III)	NIST SRM 분석법
		PRESSURIZED FLUID EXTRACTION (PFE)	USEPA Method 3545, Semivolatile
	Aceton:DCM=1:1	PRESSURIZED FLUID EXTRACTION (PFE)	USEPA Method 3545, Semivolatile
	Toluene	다환방향족탄화수소(PAHs)	해양환경공정시험방법 (퇴적물)
		Soxhlet	참고문헌 11
		Soxhlet	참고문헌 12
LLE	Aceton, peroleum ether	LLE(Liquid Liquid Extraction)	참고문헌 13

표 8. PAHs 정제방법 비교

충진제	정제 방법	분석방법
Silicagel	n-Hexane, 15% DCM in Hexane	해양환경공정시험방법(퇴적물)
	10%diethyle ether, 1mL/min, 1Hr-> cleaning sample loading, add 2mL Hexane add 25mL Pentane->discard 10%diethyle ether in pentane(4:6), 2mL/min, 25mL-> collect	USEPA TO-13a
	silica 10g in DCM add 40mL pentane, 2mL/min->discard sample loading( <b>in cyclohexane</b> ) add 2mL cyclohexane add 25mL Pentane->discard DCM:pentane(2:3)->collect	USEPA Method 3630c, PAH
	50%DCM in Hexane, 25mL(sample in Hexane, 용매치환)	폐기물 중 유해물질 조사 매뉴얼
	sample loading(Hexane, 용매치환) Hexane 6mL->discard 10%DCM in Hexane, 50mL->collect	참고문헌 11
	petroleum ether	참고문헌 13
Aminopropyl SPE	2%DCM in Hexane	참고문헌 14 SRM GC/MSD(I)
	10%DCM in Hexane	참고문헌 14 SRM GC/MSD(II)
Silica SPE	10%DCM in Hexane	참고문헌 14 SRM GC/MSD(III)
Silica-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10g, 5g)	30mL, DCM & 30mL Hexane sample loading DCM:Hexane(1:1), 120mL->collect	참고문헌 15
Silica-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3g, 1g)	DCM으로 충전 Sample loading(hexane, 용매치환) Hexane 25mL->collect	참고문헌 10
C <sub>18</sub> SPE(500mg)	methanol 3mL water:2propanol(9:1) 3mL*2th sample loading(4mL, acetonitrile:water=1:1 base) dry with light vacuum for 5min methanol:water(1:1) 3mL->discard dry with light vacuum for 5min acetonitrile 3mL->collect	참고문헌 9
C <sub>8</sub> SPE(500mg)	methanol 3mL water:2propanol(9:1) 3mL*2th sample loading(100mL, wate base(aceton 10ml, propanol 5ml) methanol:water(1:1) 3mL->discard tetrahydrofuran 3mL->collect	참고문헌 16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	petroleum ether	참고문헌 12

Octadecyl(C<sub>18</sub>)로 담지된 실리카겔의 경우 비극성 물질에 대한 선택성이 매우 낮아 대부분의 비극성 화합물에 적용 할 수 있으며, 정제시 사용되는 용매의 극성에 따라 목적성분의 농축 및 용출을 조절할 수 있다. 정제컬럼사용 시 충전제의 양은 목적성분의 농도(양) 및 방해성분의 농도(양)에 따라 결정되며 충전제 100mg 당 이론적 흡착량은 1~5mg으로 알려져 있다. 또한 충전제에 흡착된 화합물을 유출시키기 위한 용매의 부피는 적어도 충전제 부피의 약 2배 이상은 되어야 한다 (일반적으로 충전제 100mg의 부피는 약 120uL 임)<sup>17)</sup>.

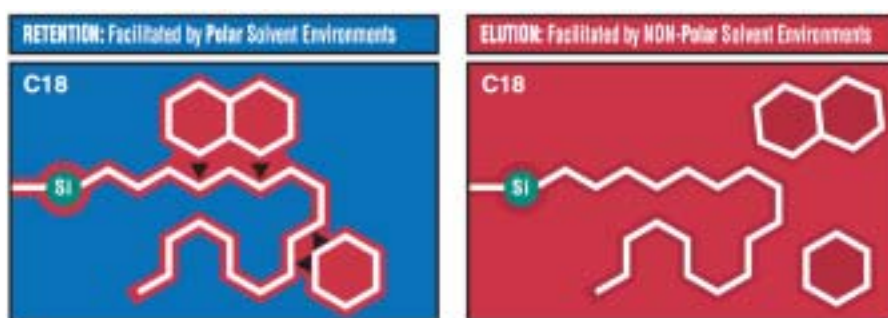


그림 1. Octadecyl기(C<sub>18</sub>)로 담지된 실리카겔 모식도

## 2. PAHs 분석방법

본 연구에서는 기존에 제시된 PAHs분석방법을 비교하여 분석의 정확성, 적용성, 편의성 등을 고려하여 다음과 같이 분석방법을 설정하였다.

### 가) 추출 방법

퇴적물 시료 1~10g을 DCM(dichloromethane), 가속용매추출장치(ASE)를 이용하여 추출하였고, 추출용액은 진공농축 후 정제과정을 위해 용매치환(acetonitrile : water = 1:1, 4mL)하였다.

표 9. 가속용매추출장치(ASE) 분석 조건

항 목	조 건
오븐 온도	100 °C
압력	1500 psi
Static time	5 min
Flush volume	60% of the cell volume
Nitrogen purge	60sec
Static Cycles	1
추출 용매	Hexane : Acetone = 1:1

## 나) 정제 방법

표 8의 정제방법중 C<sub>18</sub> SPE를 사용하는 정제방법이 재현성과 회수율이 비교적 우수하다는 연구결과를 참조하여 다음과 같이 정제방법을 결정하였다.

정제에 사용된 카트리지는 WATERS사의 C-18 500mg 충전된 제품을 구입하여 사용하였다. 정제과정은 methanol 3mL, water : iso-propanol(9:1) 6mL로 카트리지를 활성화 시키고 4mL의 시료 용매 (water : acetonitrile(1:1))를 주입하였다. 그 후 카트리지에 약한 진공 (약 5mmHg)을 걸어 5분간 건조시키고 water : methanol(1:1)로 씻은 후 다시 5분간 건조하였다. 최종 용출용매는 dichloromethane : hexane(1:9) 3mL를 이용하였고, 용출된 용매는 1mL로 농축한 후 GC/MSD로 분석하였다.

표 10. C<sub>18</sub> SPE를 이용한 정제 방법

순서	solvent (mixing ratio)	solvent volume	comment	
1	methanol	3 mL	conditioning (discard)	-
2	water : iso-propanol (9:1)	3 × 2 mL		
3	water : acetonitrile (1:1)	4 mL	sample loading	-
4	water : methanol (1:1)	3 mL	discard	dry for 5min
				dry for 5min
5	10% DCM in Hexane	3 mL	collection	-

## 다) 정량방법(GC/MSD)

본 연구의 정량방법은 동위원소희석법을 이용하였으며, 시료를 ASE로 추출하기 전에 중수소로 치환된 PAHs 6종을 각 0.8ug씩 주입하였다. 분석기기는 Agilent사의 6890 GC와 5973N MSD를 이용하였으며, SIM 모드를 이용하였다. 검량선은 4단계(0.05, 0.1, 0.5, 0.8 ug/mL)로 작성하였으며, 다음 표 11에 시료전처리 전에 주입된 PAHs 6종(D-로 표시)과 분석대상인 16종 PAHs의 정량이온(1th) 및 확인이온(2, 3th)을 나타내었고 정량이온과 확인이온의 비가 표준물질과 비교하여 20%이내일 경우에 PAHs로 판정하였다.

표 11. PAHs 정량이온 및 확인이온

순번	Compound name		m/z		
			1th	2th	3th
1	D8-NP	Naphthalene-d8	136	134	
2	NP	Naphthalene	128	127	102
3	ACY	Acenaphthylene	152	151	150
4	D10-ACE	Acenaphthene-d10	162	164	
5	ACE	Acenaphthene	154	153	152
6	FLN	Fluorene	166	165	163
7	D10-PHE	Phenanthrene-d10	188	184	
8	PHE	Phenanthrene	178	176	179
9	ANT	Anthracene	178	176	179
10	FLU	Fluoranthene	202	200	101
11	D10-PYR	Pyrene-d10(surrogate)	212	208	
12	PYR	Pyrene	202	200	101
13	CHR	Chrysene	228	226	229
14	D12-CHR	Chrysene-d12	240	236	
15	BaA	Benz[a]anthracene	228	226	229
16	BbF	Benzo[b]fluoranthene	252	250	126
17	BkF	Benzo[k]fluoranthene	252	250	126
18	BaP	Benzo[a]pyrene	252	250	126
19	D12-PER	Perylene-d12	264	260	
20	IcdP	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	276	274	138
21	DBahA	Dibenz[a,h]anthracene	278	276	139
22	BghiP	Benzo[ghi]perylene	276	274	138

표 12. GC/MS 분석조건

분석기기	Agilent 6890GC, 5973N MSD
주입모드	Splitless(1 min)
주입구 온도, 주입량	300℃, 1.0 $\mu$ l
운반가스	He, 1.5 mL/min
컬럼	HP-5MS, 30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 $\mu$ m
온도조건	55℃(hold 1 min) $\rightarrow$ 25℃/min, 320℃(hold 5 min)
MSD	Transfer Line Temperature : 290℃ Source Temperature : 230℃ Electron Energy : 70volts Ionization Mode : EI Solvent Delay : 4.5min

### 3. 침적물 채취 위치 및 방법

시료채취지점은 지역적 특성을 반영할 수 있는 지점을 중심으로 선택하였으며, 산업활동 및 시민 생활에 밀접한 연관이 있을 것으로 판단되는 지역을 시료채취지역으로 선정하였다.

기존연구에서 PAHs 오염이 자주 언급된 자동차 터널 및 지하차도를 채취지점에 포함시켰으며, 관내 국가 및 지방산업단지를 통과하는 도로와 유동인구 및 이용승객이 많은 주요 역사 주변 도로를 시료채취지역으로 선정하였다. 시료는 2008. 6. 26 ~ 27 이틀에 걸쳐 채취하였다.

표 13. 측정지점 구분

구분		비고	구분		비고
A (지하차도 차도변)	A-1	고속종점 지하차도	D (역사주변 차도변)	D-9	동막역 1
	A-2	청학사거리 지하차도		D-10	동막역 2
	A-3	가정오거리 지하차도		D-11	인천시청역 1
B <sup>a)</sup> (만월산터널 배수구 상부)	B-1	북->남 입구(100m 지점)		D-12	인천시청역 2
	B-2	북->남 중심(700m 지점)		D-13	작전역 1
	B-3	북->남 출구(1300m 지점)		D-14	작전역 2
	B-4	남->북 입구(100m 지점)		D-15	굴현역 1
C (주요도로 차도변)	C-1	두산인프라코아 앞 도로	E (가로수 토양)	D-16	굴현역 2
	C-2	남동산업단지 내 도로		E-1	두산인프라코아 앞 도로
	C-3	인천대공원 지하차도 주변 도로		E-2	남동산업단지 내 도로
	C-4	수도권매립지 수송도로		E-3	인천대공원 지하차도 주변 도로
	C-5	서구 인천정유 주변 도로		E-4	수도권매립지 수송도로
	C-6	공촌사거리 주변 도로		E-5	서구 인천정유 주변 도로
	C-7	한국상운 물류창고 주변 도로		E-6	공촌사거리 주변 도로
	C-8	강화군청 주변 도로		E-7	한국상운 물류창고 주변 도로
D (역사주변 차도변)	D-1	동인천역 1	F (만월산터널 차도변)	E-8	강화군청 주변 도로
	D-2	동인천역 2		F-1	북->남 입구(100m 지점)
	D-3	주안역 1		F-2	북->남 중심(700m 지점)
	D-4	주안역 2		F-3	북->남 출구(1300m 지점)
	D-5	동암역 1		F-4	남->북 입구(100m 지점)
	D-6	동암역 2		F-5	남->북 중심(700m 지점)
	D-7	부평역 1		F-6	남->북 출구(1300m 지점)
	D-8	부평역 2	-	-	-

a) 만월산 터널 남->북(남동구->부평구) 방향 중심, 출구 부근 배수구 상부에는 채취할 수 있는 침적물이 없었음



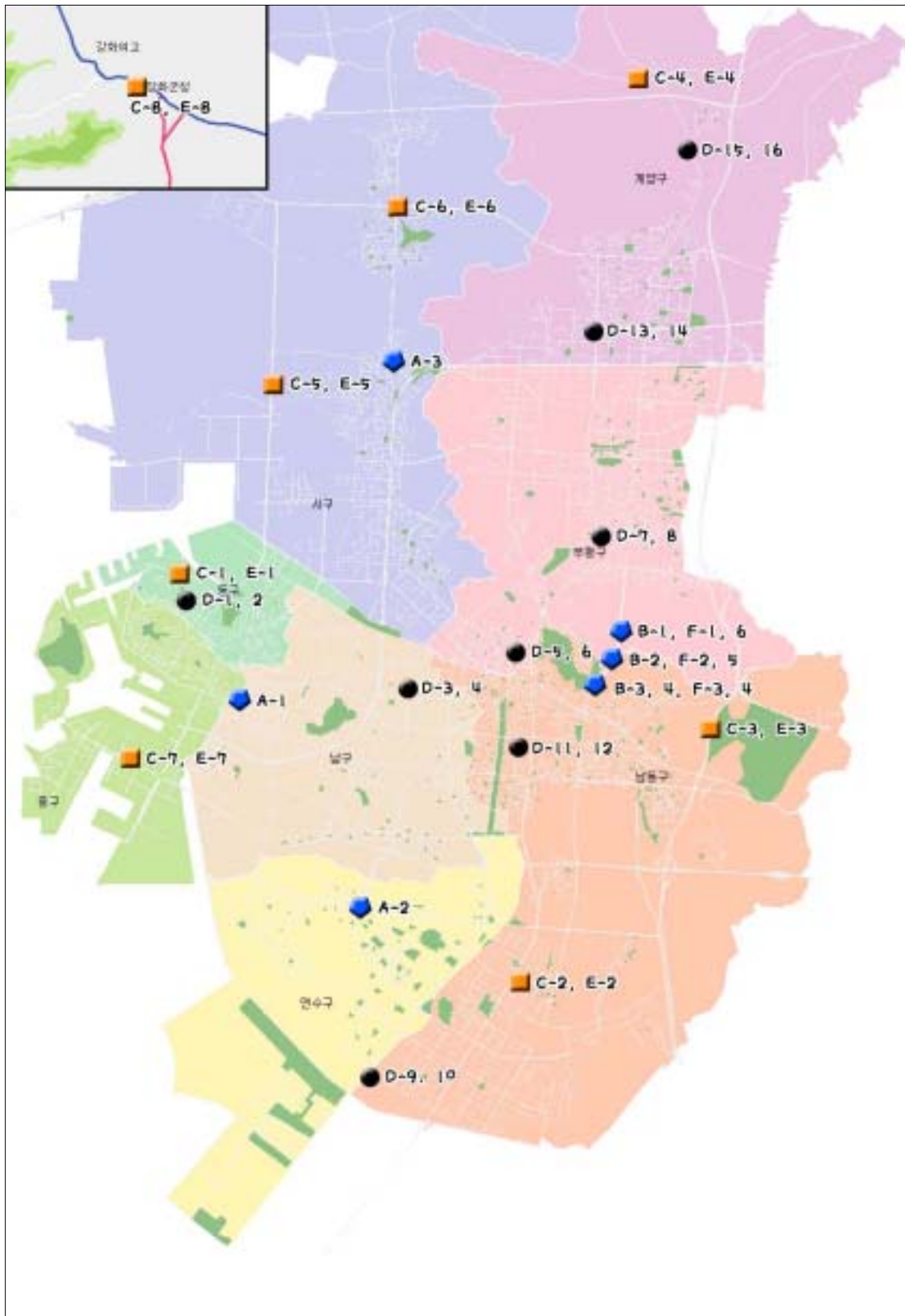


그림 2. 측정지점 위치도

차도변 침적물은 대상지점에서 약 10m에 침적된 시료를 채취하였으며, 가로수 토양시료의 경우 표층의 부엽토 층을 걷어내고 채취하였고. 지하차도는 터널내부에 쌓여있는 퇴적물을 채취하였다. 만월산 터널은 그림 3과 같이 차도 바로 옆에 배수구가 설치되어 있으며, 배수구 상부에 자동차 배출가스 미연분으로 보이는 미세한 검은 가루가 침적되어 있었다. 이러한 검은 가루의 오염정도를 차도변 퇴적물과 비교해 보기 위하여 만월산 터널의 경우 차도변 퇴적물과 더불어 배수구 상부 퇴적물을 채취하였다.

총 45개 시료를 채취 하였으며, 시료는 PAHs의 손실을 막기 위해 추출 전까지 -20℃에서 보관하였다.



그림 3. 지하차도 및 만월산 터널 측정 위치

## IV. 분석 결과

### 1. GC/MSD

앞서 언급한 GC/MSD 설정에 따라 22가지 PAHs를 분석한 크로마토그램을 그림 4에 나타내었다. 몇 종의 PAHs는 RT(Retention Time)가 겹치긴 하지만, PAHs의 정량이온만을 추출하여 크로마토그램을 작성한 결과 별 무리 없이 정량할 수 있었다.

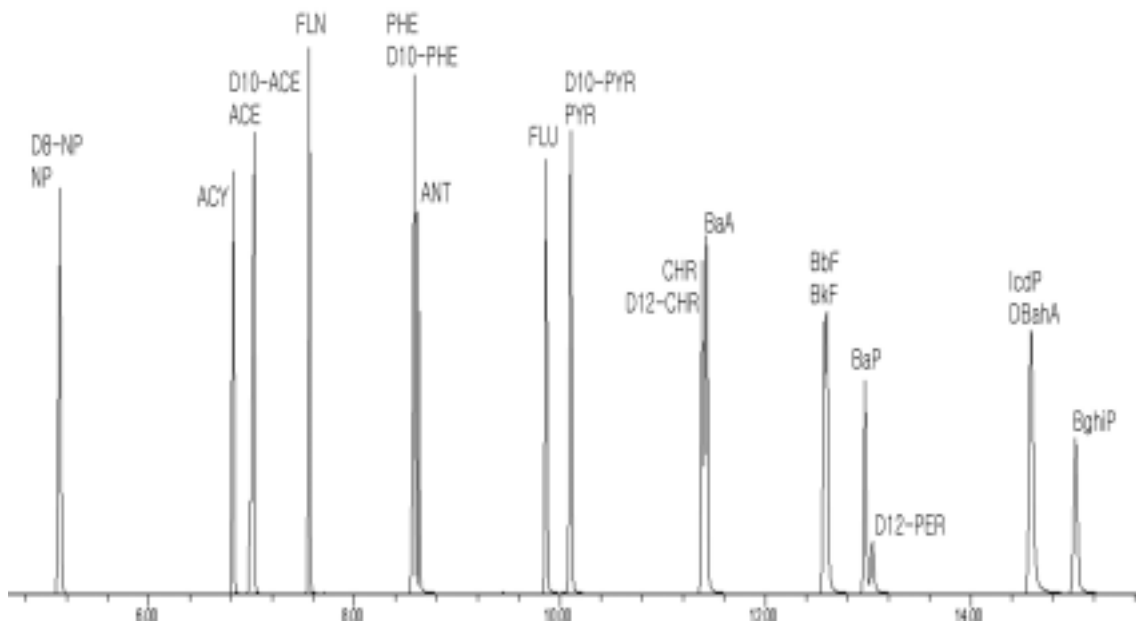


그림 4. PAHs 표준물질 크로마토그램

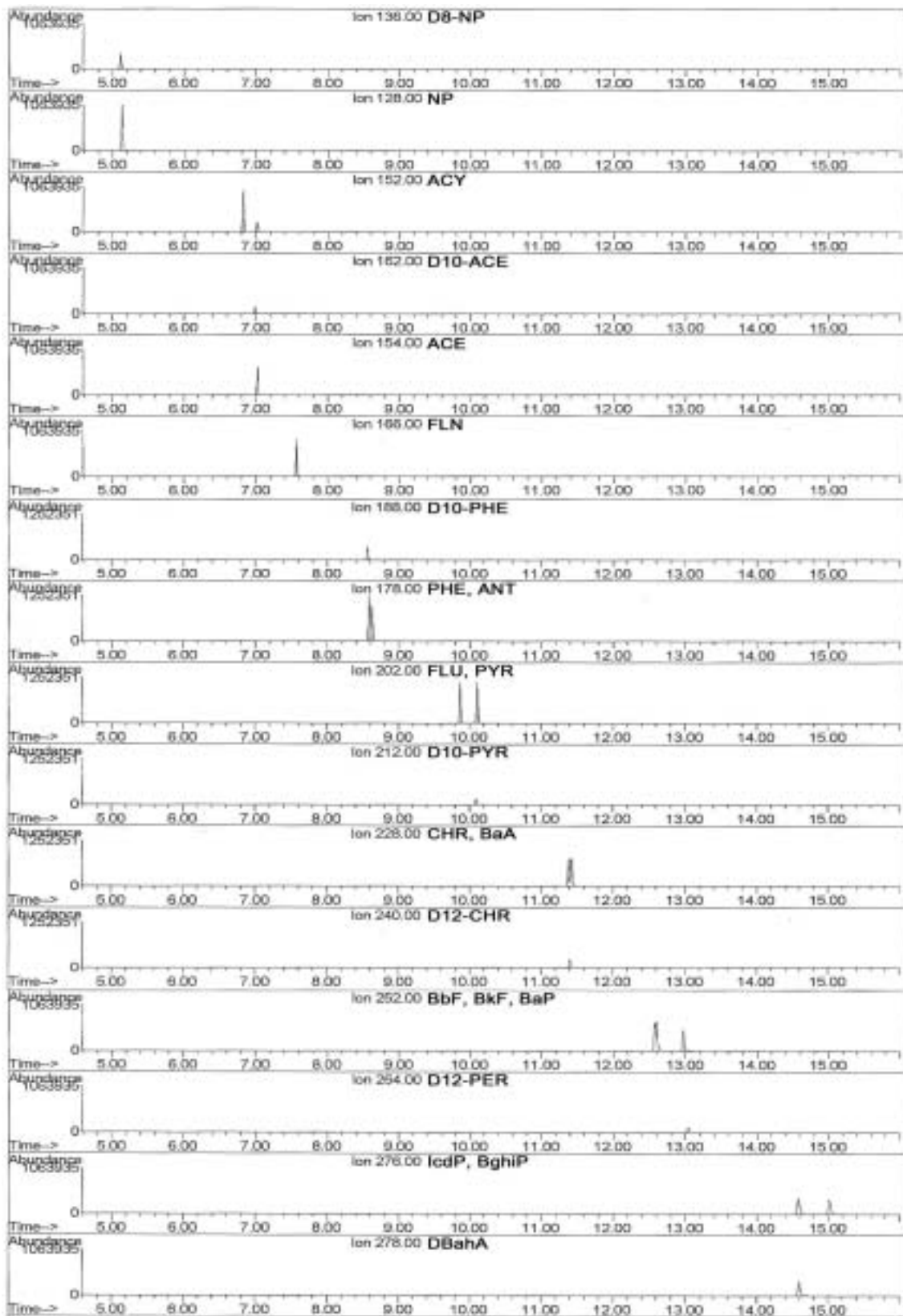


그림 5. 정량이온의 크로마토그램

## 2. PAHs 분포 특성

6개 그룹별 16가지 PAHs의 농도 합(이하  $\Sigma$ PAHs)의 평균은 지하차도 차도변(A) 4176~6926 ug/kg, 만월산터널 배수구 상부(B) 1561~6229 ug/kg, 주요도로 차도변(C) 1382~3413 ug/kg, 역사주변 차도변(D) 632~4517 ug/kg, 가로수 주변 토양(E) 485~3703 ug/kg, 만월산터널 차도변(F) 855~1716 ug/kg 로 조사되었으며, 그룹별, PAHs 별 평균농도를 그림 7에 나타내었다.

PAHs는 벤젠고리 함유 개수에 따라 녹는점, 끓는점 등의 물리적 성질이 유사한 경향을 보이며, 6개 그룹에서 모두 벤젠고리가 3~4개인 PHE, ANT, FLU, PYR, CHR, BaA, BbF, BkF 이 높게 검출되었다.

전반적으로 저비점화합물인 NP, ACY, ACE 등의 농도분포는 낮으며, 중·고비점 물질로 갈수록 농도분포가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 해저퇴적물, 토양, 대기 중 입자상 물질에서의 전형적인 분포특성을 나타내었다<sup>10)</sup>.

그림 6. (a)에는 그룹별 PAHs 농도를 나타내었고, (b)에는 benzene 고리별 농도합의 분포특성을 나타내었다.

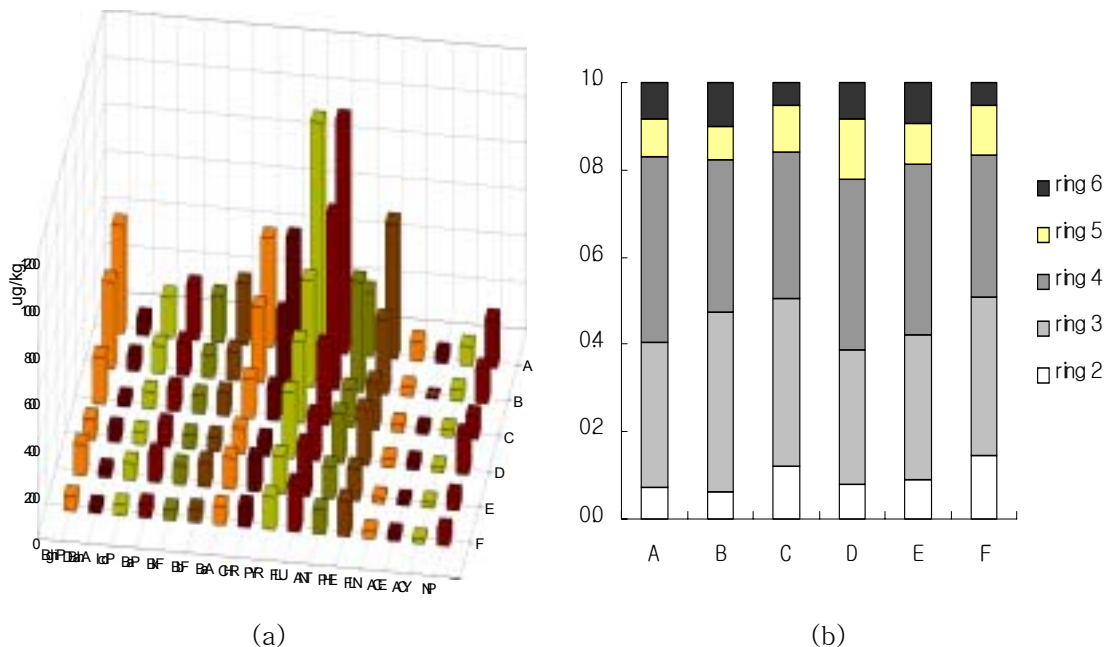


그림 6. (a)그룹별 PAHs 평균농도, (b) 그룹별 PAHs 분포 특성

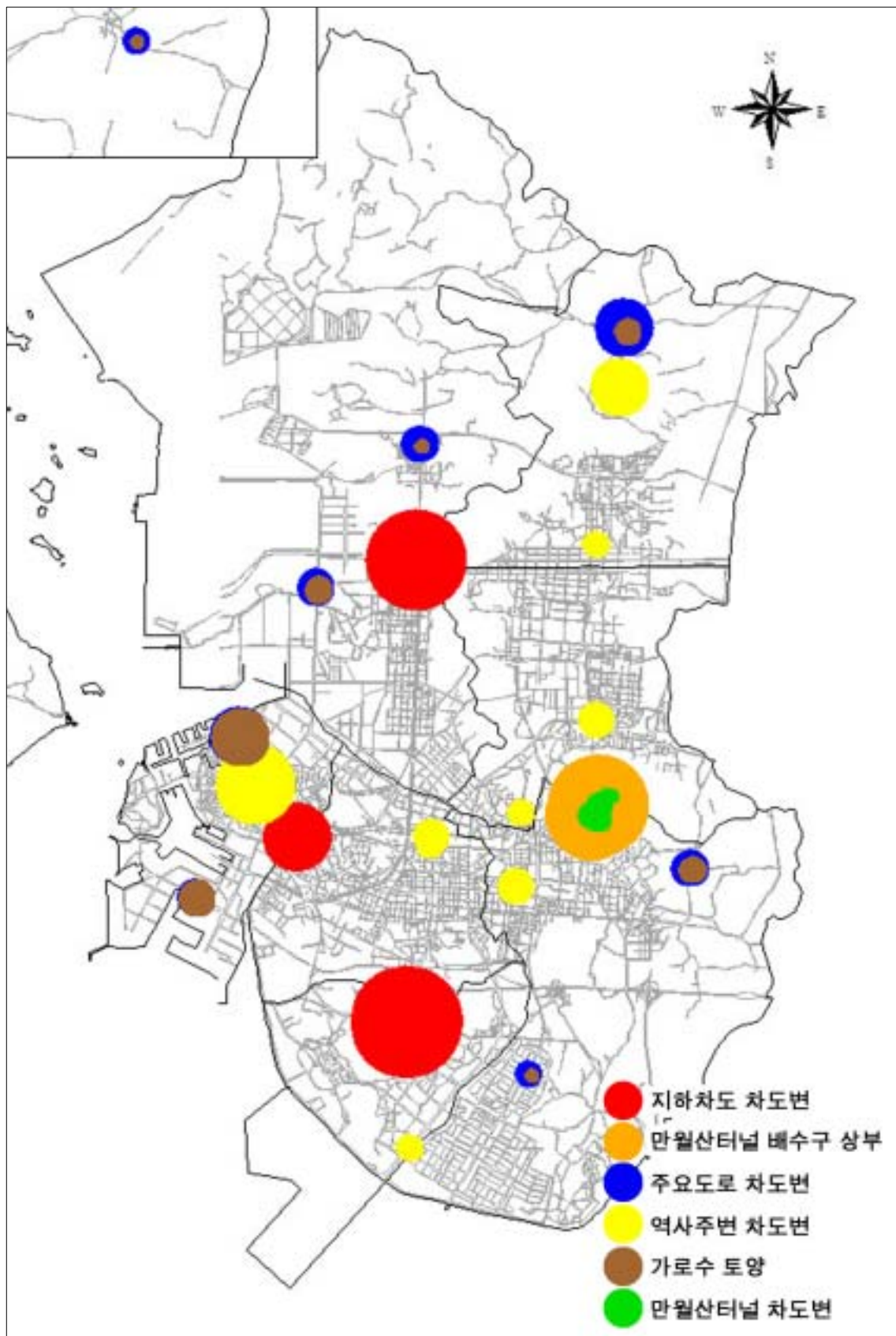


그림 7. 전체 측정지점별  $\Sigma$ PAHs 농도 분포

표 14. 측정지점, PAH별 분석 농도(ug/kg)

구분		NP	ACY	ACE	FLN	PHE	ANT	FLU	PYR	CHR	BaA	BbF	BkF	BaP	IcdP	DBahA	BghiP	ΣPAH	ΣPAH carc.
A	A-1	145	58	n.d.	48	347	511	675	733	347	309	174	135	193	125	67	309	4176	1003
	A-2	266	110	55	138	908	202	1422	1027	596	615	394	294	229	211	83	376	6926	1826
	A-3	209	85	28	66	483	114	910	1194	483	474	218	171	275	190	66	701	5667	1394
	평균	207	84	42	84	579	276	1002	985	475	466	262	200	232	175	72	462	5590	1408
B	B-1	119	37	n.d.	27	173	265	201	155	55	100	64	64	64	73	n.d.	164	1561	365
	B-2	192	64	n.d.	53	481	705	1325	802	598	566	214	160	214	182	75	598	6229	1411
	B-3	149	65	n.d.	47	437	642	1294	698	530	521	140	112	168	130	56	475	5464	1127
	B-4	128	39	n.d.	29	177	275	177	167	49	98	78	69	118	88	n.d.	255	1747	451
	평균	147	51	-	39	317	472	749	456	308	321	124	101	141	118	66	373	3750	839
C	C-1	117	39	34	54	337	73	586	468	303	307	156	117	142	98	44	234	3109	864
	C-2	151	24	29	24	122	44	200	215	68	112	73	59	112	54	34	102	1423	444
	C-3	106	38	29	38	182	278	259	240	192	144	86	67	77	86	n.d.	163	1985	460
	C-4	113	69	20	44	240	348	520	828	25	225	108	83	113	113	n.d.	564	3413	642
	C-5	93	19	15	24	175	54	390	292	190	190	112	88	73	58	34	83	1890	555
	C-6	67	29	29	34	187	274	240	255	149	120	62	53	67	58	n.d.	154	1778	360
	C-7	59	25	15	25	138	201	280	349	133	138	118	93	108	88	34	275	2079	579
	C-8	77	14	43	48	241	48	246	150	58	106	72	58	96	48	29	48	1382	409
	평균	98	32	27	36	203	165	340	350	140	168	98	77	99	75	35	203	2132	539
D	D-1	929	16	11	36	127	180	149	120	78	139	81	66	69	50	17	97	2165	422
	D-2	261	18	38	40	942	407	262	1800	52	69	99	117	40	89	150	133	4517	564
	D-3	88	29	n.d.	29	118	186	157	147	29	118	49	49	59	69	n.d.	118	1245	344
	D-4	152	16	20	25	164	226	155	179	83	224	12	n.d.	435	71	181	23	1966	923
	D-5	191	14	10	14	167	236	46	229	28	11	42	<10	94	36	n.d.	17	1135	183
	D-6	196	<10	<10	<10	136	194	35	104	37	24	72	n.d.	30	33	52	n.d.	913	211
	D-7	203	10	38	<10	424	594	n.d.	319	48	<10	21	11	50	28	40	n.d.	1786	150
	D-8	126	<10	<10	<10	204	281	n.d.	194	33	n.d.	33	n.d.	66	15	26	n.d.	978	140
	D-9	81	27	n.d.	18	90	143	152	134	152	107	81	63	63	81	54	152	1398	449
	D-10	28	n.d.	38	47	85	142	114	114	28	57	57	57	57	66	n.d.	123	1013	294
	D-11	79	16	49	66	348	66	443	282	102	200	108	95	121	66	33	89	2163	623
	D-12	30	25	15	20	84	119	148	109	25	99	54	45	74	54	30	99	1030	356
	D-13	49	24	15	24	88	131	141	195	24	78	39	39	58	49	29	88	1071	292
	D-14	54	19	29	34	141	214	195	141	151	132	78	58	78	58	n.d.	93	1475	404
	D-15	29	24	10	14	53	82	82	92	24	48	24	24	29	34	n.d.	63	632	159
	D-16	218	44	150	146	660	155	616	364	238	218	146	107	204	78	44	68	3456	797
	평균	170	22	35	39	239	210	193	283	71	109	62	61	95	55	60	89	1684	394
E	E-1	82	29	44	48	363	68	600	407	353	363	300	223	339	160	58	266	3703	1443
	E-2	69	26	17	26	87	139	130	61	43	61	52	52	52	61	n.d.	78	954	278
	E-3	64	25	15	20	123	182	192	187	133	118	84	64	113	69	30	197	1616	478
	E-4	97	26	20	26	118	179	158	123	102	82	61	46	56	51	31	87	1263	327
	E-5	54	15	15	20	118	49	216	162	147	176	132	103	162	69	39	78	1555	681
	E-6	53	15	15	19	97	145	121	92	82	68	58	48	68	53	29	116	1079	324
	E-7	68	29	n.d.	24	160	233	296	243	224	199	122	92	141	87	39	199	2156	680
	E-8	24	15	n.d.	10	44	73	44	29	48	24	24	24	29	34	24	39	485	159
	평균	64	23	21	24	139	134	220	163	142	136	104	82	120	73	36	133	1601	546
F	F-1	53	19	19	24	131	193	174	121	48	63	44	39	53	39	n.d.	53	1073	238
	F-2	108	20	44	54	259	68	313	205	137	127	88	68	59	59	34	73	1716	435
	F-3	59	20	25	30	158	39	251	158	108	94	54	44	79	49	30	64	1262	350
	F-4	119	15	49	64	212	69	217	138	99	84	59	49	79	44	30	59	1386	345
	F-5	44	15	n.d.	15	78	117	122	103	73	54	39	34	34	39	29	59	855	229
	F-6	35	20	15	20	91	136	142	106	76	56	45	35	40	45	30	66	958	251
	평균	70	18	30	35	155	104	203	139	90	80	55	45	57	46	31	62	1208	308



### 3. 발암가능성 PAHs의 특이성

USEPA에서 발암가능성이 우려되는 물질로 구분하고 있는 BaA, BbF, BkF, BaP, IcdP, DBahA 6가지 PAHs 분포특성을 살펴보았다.

6가지 PAHs 농도의 합(이하  $\Sigma$ PAHcarc.)은 지하차도 차도변(A, 평균 1408 ug/kg), 만월산터널 배수구 상부(B, 839), 가로수 주변 토양(E, 546), 주요도로 차도변(C, 539), 역사주변 차도변(D, 394), 만월산터널 차도변(F, 308) 으로 확인되었다.

측정 그룹별 Benzo[a]pyrene평균 농도는  $\Sigma$ PAHcarc. 경향과 일치하였으며 지하차도 차도변(A, 평균 232 ug/kg), 만월산터널 배수구 상부(B, 141), 가로수 주변 토양(E, 120), 주요도로 차도변(C, 99), 역사주변 차도변(D, 95), 만월산터널 차도변(F, 57) 순으로 조사되었다.

16가지 PAHs 중 발암성 PAHs가 차지하는 비율은 8.4~46.9%로 측정지점별로 편차가 큰 것으로 확인되었으며,  $\Sigma$ PAHs- $\Sigma$ PAHcarc., BaP- $\Sigma$ PAHcarc.의 상관성은 다음 그림 9와 같이 매우 유의한 것으로 확인되었다.

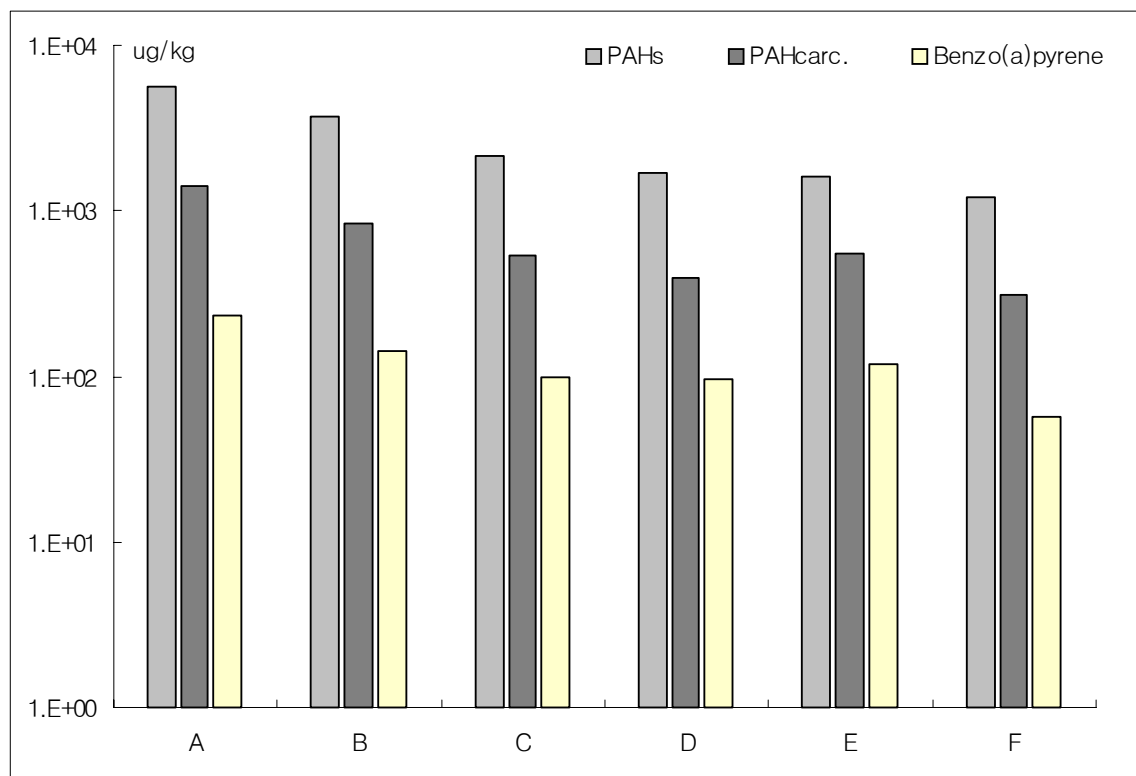


그림 8. 발암가능성 PAHs 분포 특성



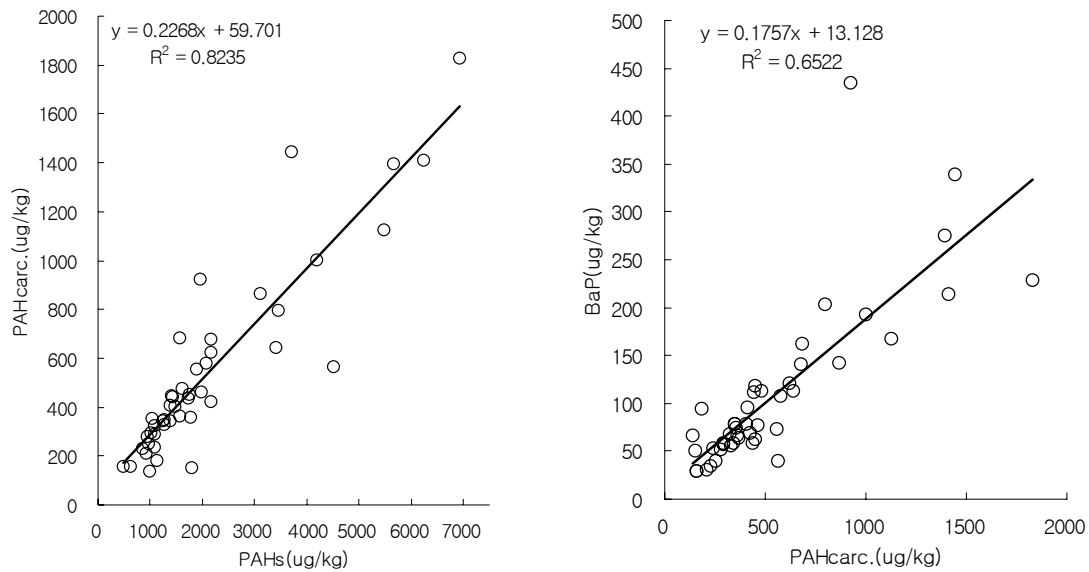


그림 9.  $\Sigma$ PAHcarc.의 상관성 분석

#### 4. 주변 교통량과의 상관성

인천시 자체조사 자료를 이용하여 측정지점 주변 교통량과  $\Sigma$ PAHs를 비교하였다. 교통량 자료는 본 연구의 측정지점과 가장 근접한 교차로 통행량 자료이며, 평균 교통량은 다음 표 15에 나타내었다.

각 그룹별 평균 교통량은 지하차도 차도변(A), 주요도로 차도변(C), 역사주변 차도변(D), 만월산터널 차도변(F) 순으로 조사되었으며, 이러한 경향은 그림 10과 같이 평균  $\Sigma$ PAHs 경향과 일치하는 것으로 확인되었다.

차도변 퇴적물의 PAHs오염에 영향을 미치는 인위적 요인으로는 발전 시설, 산업공정, 자동차 등에서 대기중으로 배출된 PAHs의 침적이 주 원인이라 할 수 있으며, 이중 시료채취지점 특성상 자동차에 의한 영향이 매우 클 것이라고 판단된다.

그룹별 시료채취지점 주변 평균 교통량과 평균  $\Sigma$ PAHs의 경향은 일치되지만, 개별 시료채취지점의 교통량과  $\Sigma$ PAHs의 상관성은 정확히 일치한다고 판단하기 어려운 것 또한 사실이다. 이러한 원인으로는 자연상태의 시료를 직접 채취하였기에 시료 및 채취지점간 변동을 정확히 고려할 수 없었기 때문이라고 생각된다. 또한 자동차 이외의 PAHs 발생원에 의한 영향도 무시할 수 없으며, 이러한 부분에 대한 정확한 판단은 추가 연구를 통해 밝혀야 한다고 판단된다.

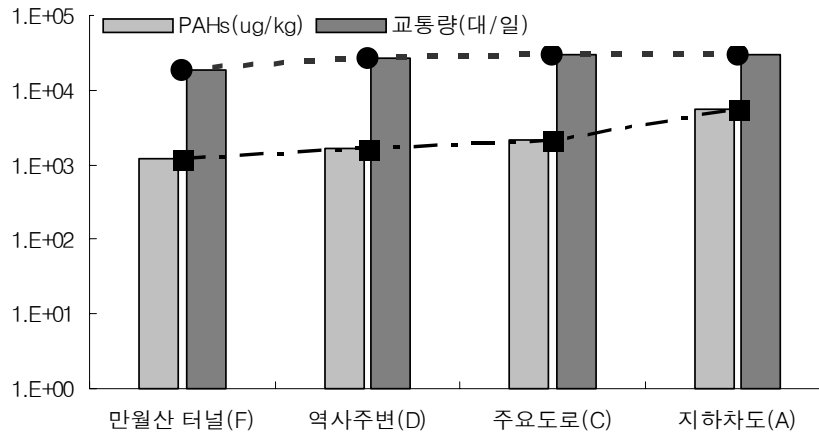


그림 10. 교통량에 따른 PAHs 분포 특성

표 15. 교통량 조사 자료<sup>a)</sup>

구분	지점	조사지점 통행량				
		지점명	조사일시, ID	대형	소형	계
지하차도 차도변	고속종점 지하차도	능안3거리	2007, 275	3,717	34,623	38,340
	청학사거리 지하차도	청학4거리	2007, 431	1,013	20,591	21,604
	가정오거리 지하차도	가정5거리	2007, 98	3,013	27,601	30,614
	3지점 평균	-	-	2,581	27,605	30,186
주요도로 차도변	두산인프라코아 앞(도로 1)	화수4거리	2006, 640	4,196	8,502	12,698
	남동산업단지 내(도로 2)	벚말4거리	2007, 210	3,473	24,543	28,016
	인천대공원 지하차도 부근(도로 3)	장수4거리	2007, 138	2,343	33,688	36,031
	수도권매립지수송도로(도로 4)	장기4거리	2005, 627	4,273	23,409	27,682
	공촌사거리 주변 도로(도로 6)	공촌4거리	2007, 142	5,075	39,521	44,596
	4지점 평균	-	-	3,872	25,933	29,805
역사주변 차도변	동인천역 1	배다리4거리	2007, 264	1,341	20,724	22,065
	동인천역 2	배다리3거리	2005, 129	1,549	13,900	15,449
	주안역 1	주안역4거리	2007, 201	1,362	21,117	22,479
	동암역 1	동암역 입구4거리	2007, 625	1,364	26,121	27,485
	동암역 2	벽돌막4거리	2006, 254	6,800	25,656	32,456
	부평역 1	부평역광장	2007, 426	3,414	25,844	29,258
	동막역 1	동막역4거리	2007, 423	2,608	18,104	20,712
	동막역 2	동막역4거리	2007, 423	2,608	18,104	20,712
	인천시청역 1	석천4거리	2007, 219	3,080	29,022	32,102
	인천시청역 2	석천4거리	2007, 219	3,080	29,022	32,102
	작전역 1	작전역4거리	2007, 391	2,209	33,592	35,801
	작전역 2	작전역4거리	2007, 391	2,209	33,592	35,801
	12지점 평균	-	-	2,635	24,567	27,202
만월산 터널 차도변	1지점	-	-	297	18,219	18,516

a) : 인천광역시 교통량 조사(2005년~2007년) 자료중 측정지점과 근접한 교차로 교통량 자료를 취합한 것임

## 5. 주요도로 차도변 침적물과 가로수 토양 중 $\Sigma$ PAHs

주요도로 차도변 침적물의 PAHs 오염정도와 인근 가로수 토양의 오염정도 및 경향성을 비교분석하였으며 각 측정지점별  $\Sigma$ PAHs를 표 16에 나타내었다.

전반적으로 차도변 침적물에서 높은 농도의 PAHs가 검출되었으며, 차도변 침적물과 가로수 토양의 PAHs 농도분포는 그림 11과 같이 8개 측정지점에서 상관관계를 보이는 것으로 조사되었고, 특히  $\Sigma$ PAHcarc.의 상관성이 더 뛰어난 것을 확인하였다.

표 16. 차도변 침적물과 가로수 토양의 PAHs 분포 특성

구분	차도변 퇴적물		가로수 토양	
	$\Sigma$ PAHs	$\Sigma$ PAHcarc.	$\Sigma$ PAHs	$\Sigma$ PAHcarc.
도로1	3109	864	3703	1443
도로2	1423	444	954	278
도로3	1985	460	1616	478
도로4	3413	642	1263	327
도로5	1890	555	1555	681
도로6	1778	360	1079	324
도로7	2079	579	2156	680
도로8	1382	409	485	159

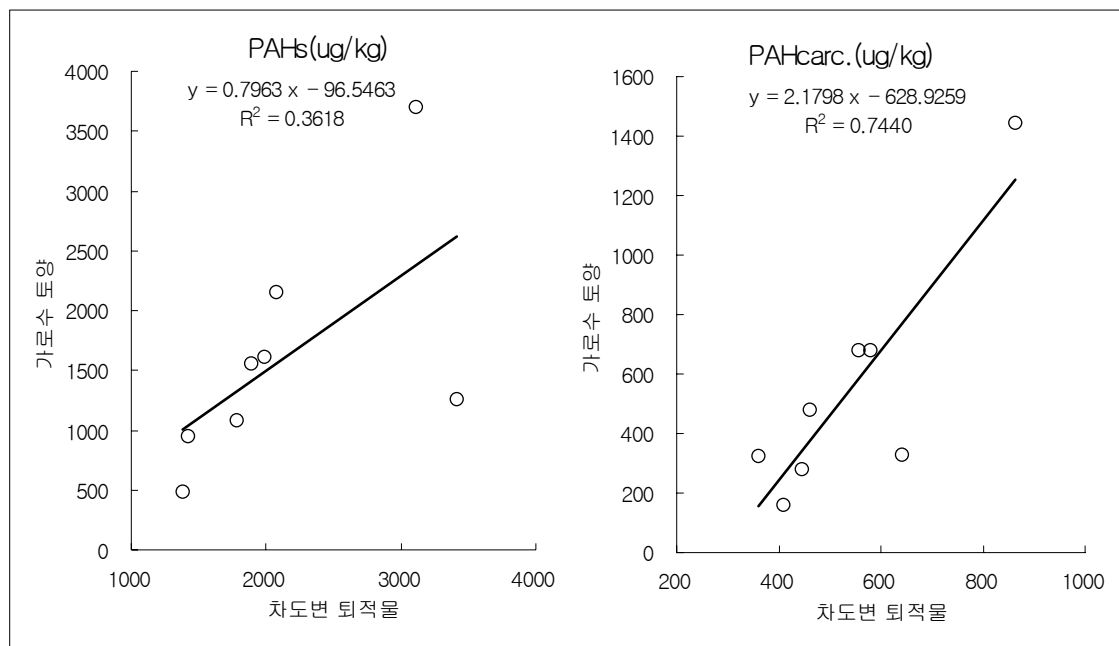


그림 11. 차도변 침적물과 가로수토양의 PAHs 상관성 분석

본 연구에서 확인된 가로수 토양에서의 PAHs 농도를 다른 연구자료와 비교해 보았다.

2005년에 발표된 「서울시 토양 중 다환방향족탄화수소의 농도특성에 관한 연구」에는 서울지역중 4개의 지역에 대한 토양을 조사하였으며 그 결과 산림지역 15~453ug/kg, 소각로 주변 190~300ug/kg, 공장지역 300~1219ug/kg, 교통지역 158~1064ug/kg으로 나타났다<sup>11)</sup>.

2008년에 수행한 「폐침묵 사용실태 조사 및 관리방안 연구, 환경부」에는 폐침묵 시설물 주변의 오염된 토양과 대조토양을 조사하였으며 그 결과 대조토양 458~2873ug/kg, 오염토양 3292~47638ug/kg으로 나타났다<sup>18)</sup>.

본 연구에서 수행한 가로수 토양의 PAHs 농도분포는 1382~3413ug/kg으로서, 서울시 토양에서 조사된 결과에 비해 다소 높은 것으로 조사되었으며, 환경부에서 수행한 폐침묵 주변 오염토양에서의 PAHs 농도보다는 낮은 것으로 확인되었다.

표 17. 본 연구 및 기타 연구의 토양 중 PAHs 농도분포

구분	대상	농도분포(ug/kg)
인천시	주요 차도변 부근 가로수 토양	1,382 ~ 3,413
서울시 <sup>a)</sup>	산림지역	15 ~ 453
	소각로 주변	190 ~ 300
	공장지역	300 ~ 1,219
	교통지역	158 ~ 1,064
환경부 <sup>b)</sup>	폐침묵 시설물 주변의 오염토양	3,292 ~ 47,638
	대조토양	458 ~ 2,873

## V. 결론

본 연구를 통해 인천시의 개괄적인 PAHs 오염실태를 파악하기 위해 PAHs 오염이 우려되는 관내 주요 도로, 지하차도, 터널 등지에서 침적물 및 토양 시료를 채취하여 PAHs를 분석하였다.

16종의 PAHs를 분석함과 동시에 발암가능성이 높은 6개 PAHs를 따로 구별하여 이에 대한 상관성 및 분포특성을 파악하였다.

이와 더불어 오염원에 대한 분석을 위해, 교통량 조사 및

Benzo(a)pyrene, 발암가능성 PAHs 농도특성을 다양한 방법으로 비교해 보았으며 그 결과를 다음에 간략히 정리하였다.

1. 침적물 및 토양 시료 45의 PAHs를 분석한 결과 모든 시료에서 PAHs가 검출되었으며, 농도분포는 485~6,926ug/kg로 조사되었음.
2. PAHs 분포특성은 전반적으로 저비점화합물은 낮게, 중·고비점 화합물로 갈수록 높게 나타나는 경향을 보였으며, 이러한 경향은 해저 퇴적물, 토양 등에서 나타나는 전형적인 PAHs 특성으로 판단됨.
3. 발암가능성이 우려되는 PAHs는 140~1,826ug/kg으로 조사되었으며, BaP 는 29~435ug/kg로 조사되었음.
4. 16개 PAHs 농도합과 발암가능성 PAHs 합과의 상관계수는 0.8235, Benzo(a)pyrene과 발암가능성 PAHs 상관계수는 0.6522로 조사되어 PAHs 농도가 높은 곳에서는 발암가능성 PAHs농도 또한 높게 검출되는 경향이 있음을 확인하였음.
5. 차도변 침적물중 PAHs 농도와 주변 교통량은 약한 상관성을 나타내었으며, 차도변 침적물에 집적된 PAHs의 발생원은 자동차뿐만이 아닌 기타 다양한 배출원에 기인한 것으로 판단됨.
6. 차도변 침적물과 가로수 토양의 PAHs를 분석결과를 비교해 본 결과 두 지점간 발암가능성이 우려되는 PAHs의 농도가 상관계수 0.7440으로 다소 높게 나타났음.
7. 가로수 토양의 PAHs 농도분포를 다른 연구결과와 비교해본 결과 서울시 공장지역에 비해 다소 높으나, 폐침목 주변의 오염토양에 비해서는 낮게 나타났음.

## VI. 참고문헌

- 1) 잔류성유기오염물질(POPs) 배출원 조사기법 개발(HCB, PAHs, PCBs 등을 중심으로), 환경부, 2003.5
- 2) Wey, M. Y., C. Y. Chao, J. C. Chen and L. J. Yu, 1998, The relationship between the quantity of heavy metal and PAHs in fly ash, air&waste manage. assoc., 48, 750-756.
- 3) Control of emissions of hazardous air pollutants from motor vehicles and motor vehicle fuels, USEPA, 2000
- 4) Santodonato, J., P. Howard, D. Basu., 1981, Health and ecological assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons, Center for Chemical Hazard Assessment Syracuse Research Corporation Syracuse
- 5) 신용훈, 2000, 디젤기관에서 배출되는 입자상/가스상 물질 중 PAHs의 특성연구, 단국대학교 대학원 화학공학과 환경공학전공, 석사학위논문
- 6) Peter E.T. Douben, 2003, PAHs: An Ecotoxicological Perspective, Table 2.10, WILEY
- 7) Locating and Estimating Air Emission From Source of Polycyclic Organic Matter, USEPA, 1998
- 8) Consuelo Sanchez-Brunete, Ester Miguel, Jos e L. Tadeo, Analysis of 27 polycyclic aromatic hydrocarbons by matrix solid-phase dispersion and isotope dilution gas chromatography-mass spectrometry in sewage sludge from the Spanish area of Madrid(2007)

- 9) Patryk Oleszczuk, Stanisław Bara, 2004, Application of solid-phase extraction to determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge extracts, Journal of hazardous materials, 237-245
- 10) 진유경, 이민규, 감상규, 2006, 제주도 토양 중 다환방향족탄화수소류(PAHs)의 분포 특성, 한국환경과학회지, 15권 5호, 405-415
- 11) 김동환, 옥곤, 2005, 서울시 토양 중 다환방향족탄화수소의 농도특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 14권 1호, 71-80
- 12) 다핵성 방향족 탄화수소 측정방법-고성능 액체 크로마토그래피법, 2004, KS M ISO 13877
- 13) 다환방향족 탄화수소(PAHs)의 측정방법-질량분석기를 장착한 가스크로마토그래피법(GC/MS), 2007, KS M ISO 18287
- 14) National Institute of Standards & Technology Certificate of Analysis Standard Reference Material 1941b
- 15) Murad I.H. Helaleh, Ali Al-Omar, A. Nisar, B. Gevao, 2005, Validation of various extraction techniques for the quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludges using gaschromatography ion trap mass spectrometry, Journal of chromatography A 1083, 153-160
- 16) P.R. Kootstra etc, 1995, Solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil samples, Journal of chromatography A 697, 123-129
- 17) Handbook of Sorbent Extraction Technology, VARIAN INC
- 18) “폐침묵 사용실태 조사 및 관리방안 연구”용역결과 요약, 2008, 환경부