

광양만 유역 퇴적토 중의 다환방향족탄화수소류

정 흥 호 · 정 호 승 · 김 은 영 · 조 환 익 · 황 주 찬 · 최 상 원

여수대학교 화학공학과, '여수환경운동연합'

(2003년 12월 18일 접수; 2004년 5월 21일 채택)

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the sediments of Kwangyang Bay on Korea

Hung-Ho Chung, Ho-Seong Jeong, Eun-Young Kim, Hwan-Ik Cho*,
Ju-Chon Hwang* and Sang-Won Choi

Department Chemical Engineering, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

*Korean Federation for Environmental Movement-Yeosu, Yeosu 555-802, Korea

(Manuscript received 18 December, 2003; accepted 21 May, 2004)

Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in sediments of Kwangyang bay on Korea, have been investigated by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). The average content of total PAHs in all samples was 2,211 ppb, and the range was from 36 to 22,699 ppb. The higher concentrations were found in sediment sampled near Kwangyang iron processing plant, Taeindo. The resulting distributions of PAHs according to the number of aromatic ring and molecular ratios of specific aromatic compounds (phenanthrene, anthracene, fluoranthene and pyrene) have been discussed in terms of sample location, origin of the organic matter. Four, five and six rings of PAHs were mainly found near to Kwangyang iron processing plant, and three and four rings near to Yeosu chemical kombinat. This result typically indicated the local characteristics, depending on the origin of PAHs.

Key Words : PAHs, Sediments, GC-MS, Kwangyang bay

1. 서 론

우리나라 주요 어장 중의 한 곳이었던, 광양만은 1960년대 중반 정부의 국가경제 활성화 정책에 의해 호남정유(현 LG-Caltex 정유)를 시작으로 석유화학관련 공장 약 100여 곳이 광양만유역의 여수산단에 조성되었다^{1,2)}. 그리고 1980년대 광양제철소를 비롯한 유품 공단 및 광양 콘테이너항과 하동 화력발전소가 건설되어 광양만 유역의 환경은 더 이상 어장으로서의 기능을 발휘하기 어려운 상황에 놓여 있을 뿐만 아니라¹⁾, 여수, 순천, 광양, 하동 및 남해 등의 주민 생존권과 생활권을 위협하는 환경파괴와 독성오염물질의 배출과 축적이 진행되고 있는 실정이다^{3,4)}.

Corresponding Author : Hung-Ho Chung, Department Chemical Engineering, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea
Phone : +82-61-659-3297
E-mail : chunghh1004@yosu.ac.kr

광양만에 대한 토양 속의 다환방향족탄화수소류(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 이후 PAHs로 표기함) 농도와 종류에 관한 앞선 연구에서는 포항제철단지와 광양만유역에 위치하고 있는 광양제철단지가 가장 심하게 오염되어 있다는 연구결과가 있다⁵⁾.

PAHs는 일반적으로 벤젠 고리가 2환 이상 있는 화합물의 총칭이며, 벤젠 고리가 2환인 naphthalene, 3환인 anthracene와 phenanthrene 그리고 4환인 pyrene 등이 그 대표적인 물질이다. 환경에서 자주 검출되는 물질로는 고리가 2환에서 6환까지이며, 200여종의 이성질체가 존재한다⁶⁾.

이러한 PAHs 화합물은 육상과 해양에 산재되어 있고 미량으로도 암을 유발시킬 수 있는 발암성이거나 돌연변이성을 가진 물질이기 때문에 여러 나라에서는 유해물질로 취급되고 있다. 또한 PAHs 화합물은 PAHs의 저장고로 알려진 강, 하천과 연안 등의 퇴적토에 광범위하게 고농도로 존재하는 것으로

Table 1. Abbreviations, formula, physical properties and IARC classification of selected PAHs

Common Name	Formula	Abbreviation	Vapor pressure (kpa)
Naphthalene	C ₁₀ H ₈	Nap	1.1×10 ⁻²
Acenaphthylene	C ₁₂ H ₈	Acy	3.9×10 ⁻³
Acenaphthene	C ₁₂ H ₁₀	Ace	2.1×10 ⁻³
Fluorene	C ₁₃ H ₁₀	Fle	8.7×10 ⁻⁵
Anthracene	C ₁₄ H ₁₀	Ant	3.6×10 ⁻⁶
Phenanthrene	C ₁₄ H ₁₀	Phe	2.3×10 ⁻⁵
Fluoranthene	C ₁₆ H ₁₀	Fla	6.7×10 ⁻⁷
Pyrene	C ₁₆ H ₁₀	Pyr	3.1×10 ⁻⁶
Benz(a)anthracene	C ₁₈ H ₁₂	BaA	1.5×10 ⁻⁸
Chrysene	C ₁₈ H ₁₂	Chr	5.7×10 ⁻¹⁰
Benzo(b)fluoranthene	C ₂₀ H ₁₂	BbF	6.7×10 ⁻⁸
Benzo(k)fluoranthene	C ₂₀ H ₁₂	BkF	2.1×10 ⁻⁸
Benzo(a)pyrene	C ₂₀ H ₁₂	BaP	7.3×10 ⁻¹⁰
Benzo(g,h,i)perylene	C ₂₂ H ₁₂	BgP	1.3×10 ⁻¹¹
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	C ₂₂ H ₁₂	IcP	1.3×10 ⁻¹¹
Dibenzo(a,h)anthracene	C ₂₂ H ₁₄	DaA	1.3×10 ⁻¹¹

로 알려져 있다^{6~9)}. 많은 연구에서 퇴적토에 존재하는 PAHs의 발생원을 알아내기 위해 노력하였으며, 주된 발생원으로 생물학적인 산물, 석유류로부터의 산물과 열분해 산물로 나누고 있다¹⁰⁾.

이에 본 연구에서는 PAHs의 오염정도가 심각한 광양만 유역 전체를 대상으로 미국 EPA에서 유해성 우선 대상물질로 선정한 16종의 화합물에 대한 PAHs(Table 1)를 조사 분석하고, PAHs와 이 지역적 특징인 석유화학단지 및 제철단지와 오염원의 상관관계를 확인하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

시료채취 지점은 광양만 유역을 20개 지점으로 나누어 조사하였으며, 상대적인 오염정도를 판단하기 위한 청정해역으로 알려진 전남 보성 해창만을 대조구로 선정하여 조사하였다. 조사기간은 장마기가 지난 2003년 9월 25일부터 일주일간에 걸쳐 실시하였다(Table 2와 Fig. 1).

퇴적토의 시료는 조수간만의 차가 있어 퇴적토가 공기 중에 노출 및 침수가 반복되는 지점에서 시료 채취기를 이용해 표면 퇴적토를 채취하였다. 채집된 시료는 실온에서 건조하여, 퇴적토속에 포함된 어패류 껌질, 자갈이나 모래 등을 제거하여 분석에 대한 신뢰성을 높이기 위해 20-mesh sieve을 이용하여 체질 하였으며, 체질된 시료를 4°C에서 유리병 속에 보관하였다.

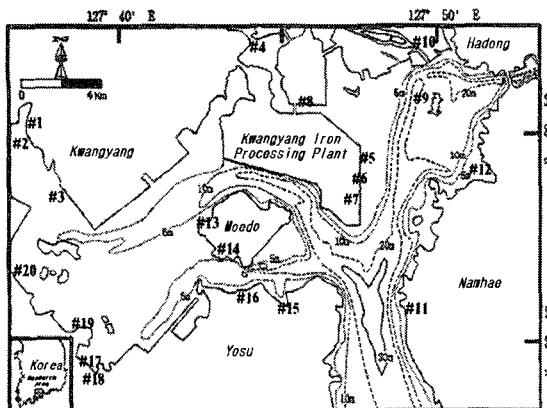
2.2. PAHs 분석

PAHs의 분석을 위한 분석 전 추출과정은 실온

건조 후 체질된 퇴적토 시료 5g과 시료 중 수분을 제거하기 위해 무수황산나트륨 5g을 50ml 용기에 넣은 후 디클로로 메탄과 메탄올의 혼합용매 30ml(디클로로 메탄 27+ 메탄올 3ml)를 각각 다른 용기에 첨가 후 잘 혼들어 섞고, 초음파추출기 출력을 최대로 하여 60분간 50°C 조건에서 1차 추출하였다. 그

Table 2. Sample points of Kwangyang bay

Sample number	Sample point
1	Kwangyang area - Dong stream
2	- Sea stream
3	- Chonam plants
4	- Suoe stream
5	- Donghoan estuary
6	- Donghoan
7	- Inner Donghoan
8	- Taeindo
9	- Galsaman estuary
10	Hadong area - Hadong power plant
11	Namhae area - Phoungsan Dukwall
12	- Junghyun
13	Yeosu area - Right side from Moedo wharf
14	- Moedo wharf
15	- Sangam stream
16	- Wallae stream
17	- Namsu stream
18	- Jungbang stream
19	- Shinpoong
20	Sunchen area - Shinseongpo
21	Comparing point - Boseong



- * Kwangyang area : #1. Dong stream, #2. Sea stream, #3. Chonam plants, #4. Suoe stream, #5. Donghoan estuary, #6. Donghoan, #7. Inner Donghoan, #8. Taeindo, #9. Galsaman estuary
- * Hadong area : #10. Hadong power plant,
- * Namhae area : #11. Phongsan Dukwall, #12. Junghyun
- * Yeosu area : #13. Right side from Moedo wharf, #14. Moedo wharf, #15. Sangam stream, #16. Wallae stream, #17. Namsu stream, #18. Jungbang stream, #19. Shinpoong
- * Suncheon area : #20. Shinseongpo

Fig. 1. Map of the sampling points in Kwangyang bay.

후 2차 추출은 1차 추출액을 다른 용기에 저장한 후 다시 그 용기에 디클로로 메탄과 메탄올의 혼합용매 20ml(디클로로 메탄 18+ 메탄올 2ml)를 각각 첨가 후 1차와 같은 조건에서 2차 추출을 실시하였다.

이와 같은 추출조작 후 얻어진 추출액은 원심분리기로 20분간 원심 분리한 다음 상층 액을 취하여 $0.22\mu\text{m}$ 의 Filter Membrane(Teflon)으로 여과 한 후 용기에 넣고 분석 전까지 4°C 이하의 냉장고에 보관하였다. 시료의 수분함량은 시료를 105°C에서 4시간 건조 후 측정하였다.

PAHs 분석은 냉장보관중인 시료를 10배 농축 후 가스크로마토그래프/질량분석계(GC/MSD-5972)를 이용하여 HP-5MS(30m \times 0.25mm 내경 \times $0.25\mu\text{m}$ 두께)으로 분석하였다. 오븐온도는 100°C에서 2분 동안 머물게 한 후 285°C까지 5°C/분 승온시켜 올린 후 10분 동안 머물게 하였으며, 다시 5°C/분으로 300°C까지 승온한 후 1분간 머물게 하였다. 시료주입은 분할주입법을, 운반기체는 헬륨(99.999%)을 유속 0.7ml/min으로 하여 사용하였다. 시료주입구, 연결부분 및 이온원의 온도는 각각 280°C, 280°C와 270°C로 하였으며, 이온화 전압은 70eV 그리고 질량 범위는 35-500amu 범위에서 생성된 특정질량을 가지는 이온만을 선택적으로 검출하는 선택이온검출법(SIM mode, Selected Ion Monitoring)으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PAHs 검출농도

광양만 유역의 조사지점 전 영역에서 36~22,699ppb의 PAHs 화합물이 검출되었다(Table 3). 광양제철에서 가장 근접한 태인도에서 가장 높은 22,699ppb가 검출되었으며, 광양만으로 유입되는 하천에서의 오염물 유입정도를 판단하기 위해 실시한 동천과 서천에서 가장 낮은 36과 40ppb가 검출되어, 광양만 유역의 하천 중 동천과 서천은 광양만 오염물질의 유입원이 아님을 알 수 있었다. 또한 전체 광양만 유역의 평균값은 2,211ppb이었으며, 대조구로 선정한 보성 해창만에서도 106ppb의 PAHs 화합물이 검출되어 청정해역이라도 자연적이던 인위적이던 여러 경로를 통해 어느 정도의 PAHs 화합물이 존재함을 알 수 있었다.

PAHs 화합물의 분석 값에 대한 지역적 특성을 보면 수호천, 동호안과 태인도 등 광양제철 근처에서 2,000ppb이상 값이, 광양제철 근교 값보다는 낮으나 하동화력에서 963ppb를, 그리고 여수산단에서는 78ppb를 나타낸 신풍을 제외한 묘도, 상암천, 월래천, 남수천과 중방천에서 약 1,000ppb에서 3,500ppb 정도의 결과가 나와 남해지역(평산덕월 : 54ppb, 중현 : 87ppb)과 성산포지역(105ppb), 특히 대조구로 선정한 보성 해창만의 106ppb에 비해 10배에서 30배정도로 매우 심각하게 오염되어있음을 알 수 있었다.

광양만 유역의 각 권역별(Table 3) PAHs 오염정도를 알아보기 위해 Fig. 2에 각 권역별 PAHs 평균값을 나타내었다. 광양권(KYG)이 4,867ppb로 여타 지역에 비해 PAHs에 심각하게 노출되어있음을 알 수 있었다. 남해권(NHG)을 제외한 그 외 지역은 광양권(KYG)에 비해 상대적인 오염정도는 낮으나 대조구(CP)에 비해 약 10배이상의 오염도를 나타냈다. 광양만 전역(TKYB)의 PAHs 평균값은 2,211ppb로 결정되었다. 평균값으로만 비교하여보면 이 농도는 2002년에 국외에 발표한 남한지역 농지와 비농지에서의 평균 PAHs 농도인 236 ppb의 10배정도 이었고, 영국의 시골에서의 187ppb의 12배에 달하는 농도이었다⁵⁾. 이러한 결과로부터 광양만유역의 PAHs 화합물의 오염이 매우 심각함을 알 수 있었다.

3.2. PAHs 발생원

최근의 일부 해양퇴적토속 PAHs 화합물의 발생원에 대한 연구에서는 각 오염지역의 PAHs는 구성에 있어서 각각의 고유 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이에 따르면 석탄화력 발전소에서 대기로 배출되는 PAHs는 주로 2내지 3환의 방향족화합물이며, 석유제품과 연관된 PAHs는 4, 5환의 방향족보다는 3환의 phenanthrene 화합물이 많이 존재함

Table 3. Concentrations of PAHs in samples of Kwangyang bay[ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)]

Sample Number	Nap	Acy	Ace	Fle	Phe	Ant	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DaA	BgP	Total PAHs
1	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
2	35	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	40
3	173	-	-	-	104	-	239	80	-	106	-	8	62	-	-	-	772
4	26	-	-	15	143	32	339	152	227	244	169	156	574	72	310	220	2,679
5	82	-	-	-	61	-	196	122	58	114	-	52	266	-	-	-	950
6	176	-	73	130	296	28	107	82	85	117	40	23.8	418	42	324	80	2,021
8	122	11	86	87	679	150	1,484	1,395	1,162	2,012	1,306	877	6,109	3,062	1,119	3,037	22,699
9	23	-	-	-	-	-	14	9	-	20	-	5	9	-	-	-	80
10	26	-	-	-	36	7	167	4	46	65	110	31	164	62	137	108	963
11	39	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	54
12	9	-	-	-	12	-	18	13	5	8	-	4	19	-	-	-	87
13	62	-	-	-	122	47	173	96	29	98	-	38	169	71	52	142	1,100
14	138	-	-	-	274	33	605	278	405	192	-	110	198	65	136	281	2,716
15	115	-	-	-	127	54	226	290	171	111	-	73	158	56	149	147	1,676
16	25	18	27	41	228	146	867	562	414	467	238	144	166	90	57	101	3,590
17	59	51	16	35	131	43	320	179	80	98	5	43	56	62	26	111	1,315
18	94	21	18	3	104	19	214	137	37	129	35	26	42	44	24	104	1,051
19	11	-	-	-	8	-	9	9	8	11	4	9	-	-	-	-	78
20	14	-	-	-	16	7	3	12	9	8	4	4	14	6	-	9	105
21	11	-	-	6	5	7	26	4	5	12	4	9	7	9	9	15	106
Mean	67	5	12	16	123	30	262	181	144	200	101	84	444	191	123	228	2,211

* - : Not Detected.

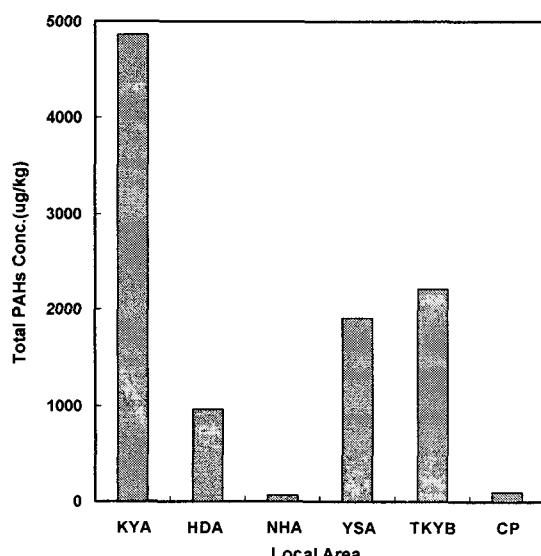


Fig. 2. Mean PAHs concentrations according to local area in Kwangyang bay.

KYA : Kwangyang Area, HDA : Hadong Area,
NHA : Namhae Area, YSA : Yeosu Area, TKYB
: Total Kwangyang Bay, CP : Comparing Point.

을 보고하였다. 또한 4, 5환 고리 화합물은 열분해에 의한 대기 입자의 침적을 그 원인으로 분석하였다⁷⁾.

그리고 이와 유사한 결과로서 Budzinski는 1997년에 phenanthrene같은 3환 PAH가 검출되면 석유제품에 그 발생원이 있고, 5환(benzofluoranthenes, benzopyrenes)과 6환(benzo(g,h,i)perylene과 Indeno(1,2,3-c,d)pyrene)이 검출되면 열분해 산물에 그 발생원이 있다 하였다¹⁰⁾.

특히 Phe/Ant(Phenanthrene/Anthrene)와 Fla/Pyr(Fluoranthene/Pyrene)의 PAH 지수들은 여러 가지 발생원을 결정하는 기준으로 많이 이용되고 있다^{3,7,11~13)}. Budzinski의 연구에 의하면 phenanthrene은 열역학적으로 매우 안정한 3환 방향족 이성질체이고 Phe/Ant비는 온도에 의존한다 하였다¹⁰⁾. 그래서 높은 온도공정(800에서 1000K), 다시 말해 열분해공정의 산물에서는 낮은 Phe/Ant비(4에서 10)로 특색 지어진다^{12,13)}. 이와 달리 석유제품에서 유기물질의 낮은 열분해온도는 높은 Phe/Ant값(50, 373K)을 나타낸다¹⁴⁾.

Budzinski는 이를 근거로 퇴적토의 PAHs 발생원을 두 가지로 분류하였다. : Phe/Ant > 10 이면 석유류로부터의 산물이고 Phe/Ant < 10이면 주로 열분해 산물이다¹⁰⁾. 그러나 이러한 분류는 석탄, 연료류와 원유 등의 불완전연소물의 경우^{12,14,~16)}와 연소되지 않은 석유제품의 경우 낮은 값을 나타내 정확한 분류라 할 수 없었다^{14,17)}.

또한 Fla/Pyr의 비에 대하여도 여러 연구가 있는데, 그러한 연구에서는 그 비가 1보다 크면 통상적으로 주로 석탄의 연소와 같은 열분해산물에 그 발생원이 있다 보고하였다. 그러나 그 결과는 석탄원 산지에 따라 어느 정도 차이가 있고^{18,19)}, 도시 대기 먼지 속의 PAHs 분석결과에서도 Fluoranthene보다 Pyrene이 많이 존재하여 Fla/Pyr의 비가 1보다 낮은 0.6에서 0.8사이에 있다하여 Fla/Pyr의 비가 1보다 크면 주로 열분해산물에 PAHs 발생원이 있다 함은 정확치 않음을 알 수 있다^{15,20)}. 이와 더불어 Yang(1991)등은 Phe/Ant 비가 3 정도이면 이때의 PAH는 자동차 연소에 의해 발생한 것이고 50이 넘으면 석유에 의한다고 하였고, Fla/Pyr의 비가 1이면 열분해 산물에 의한 것이고, 그 이상이면 석유로부터 발생한 것이다 하였다²¹⁾.

각 권역별 PAHs 화합물 발생원을 조사하기 위해 방향족 고리의 개수에 따라 PAHs 화합물을 구분하고 오염수치가 높은 광양권과 여수권의 방향족 고리 개수의 상대적인 분율을 Fig. 3과 4에 각각 나타내었다. PAHs의 방향족 고리의 개수에 따른 구분은 2환은 naphthalene으로, 3환은 anthracene과 phenanthrene으로, 4환은 pyrene, benz(a)-anthracene과 chrysene으로, 5환은 benzo(a)pyrene으로, 그리고 6환으로는 benzo(g,h,i)-perylene으로 하였다^{4,7,10)}.

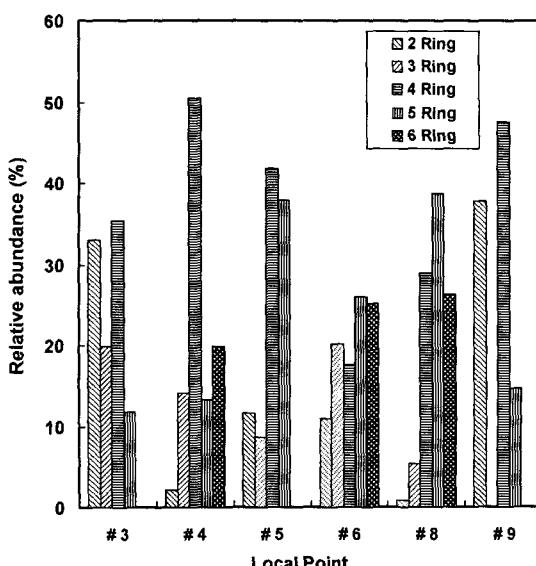


Fig. 3. Relative distributions for the ring numbers of PAHs in Kwangyang group.
[#3. Chonam plants, #4. Suoe stream, #5. Donghoan estuary, #6. Donghoan, #8. Taeindo, #9. Galsaman estuary]

광양권의 PAHs 방향족 고리 개수의 상대적인 분율을 나타낸 Fig. 3에서 알 수 있듯이 2환의 분율이 높은 초남공단과 갈사만을 제외한 광양제철공장 근교지역은 열분해산물이라 할 수 있는 4, 5, 6환의 PAHs 함량이 75% 이상을 차지하고 있다. Fig. 4에 나타낸 여수권은 4, 5, 6환의 분율이 높은 묘도선창 오른쪽 2Km(# 13)부근에서 채취한 시료를 제외하고 전체적으로 4환이 40% 이상을 차지하였다. 그리고 묘도선창(# 14)과 상암천 (# 15)의 경우도 광양권과 비슷하게 4, 5, 6환의 비율이 높아 나타남을 알 수 있었다. 그 외 지역인 석유화학단지 내를 흐르는 월래천(# 16), 남수천(# 17)과 중방천(# 18)은 5, 6환의 비율보다는 3, 4환의 비율이 큼을 알 수 있었다. 이러한 경향은 지역적으로 열분해 산물의 발생원이 없고, 광양제철공단과 석유화학단지 중간지역에 위치한 신풍지점(# 19)에서 5, 6환의 PAHs가 검출되지 않아 뚜렷하였다.

Fig. 3과 4에서 논하였던 광양권의 각 지점과 여수권의 각 지점에 대한 PAHs에 대한 방향족 고리 개수의 상대적인 분율을 각 권역과 광양만 전역을 비교하기 위해 Fig. 5에 나타내었다. 권역별 Fig. 5에서 알 수 있듯이 광양권(KYG)은 열분해산물이라 할 수 있는 4, 5, 6환의 PAHs 함량이 전체 85% 이상을 차지하였고, 여수권(YSG)은 3환과 4환의 PAHs

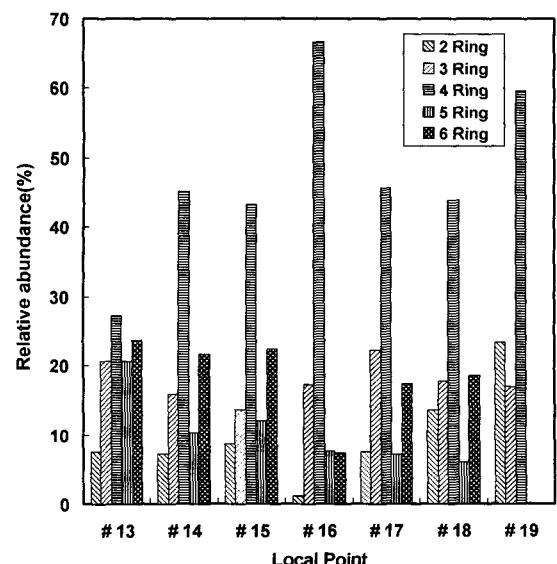


Fig. 4. Relative distributions for the ring numbers of PAHs in Yeosu group.
[#13. Right side from Moedo wharf, #14. Moedo wharf, #15. Sangam stream, #16. Wallae stream, #17. Namsu stream, #18. Jungbang stream, #19. Shinpoong]

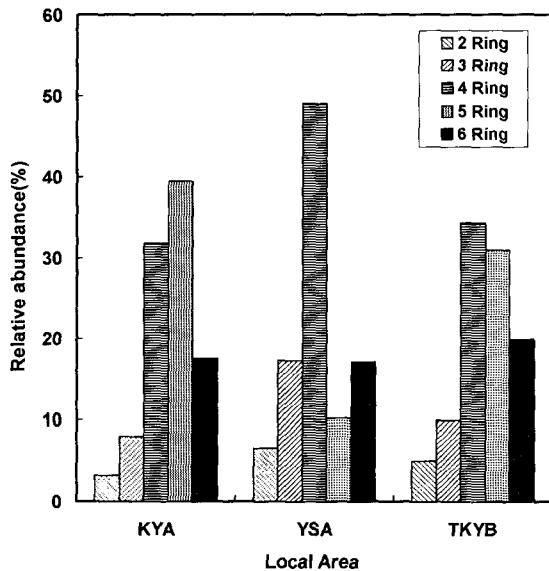


Fig. 5. Relative distributions for the ring numbers of PAHs according to local area in Kwangyang bay.
 KYA: Kwangyang Area, YSA: Yeosu Area,
 TKYB: Total Kwangyang Bay.

함량이 약 66% 정도를 차지하고, 5와 6환 PAH 함량이 전체의 25% 정도여서 열분해 산물(pyrolytic origin)보다는 석유로부터 그 발생원(petrogenic origin)을 찾을 수 있었다. 이상의 결과로부터 두 권역, 석유화학공단과 고온 연소 공정이 많은 제철공단의 특성이 그대로 PAHs 화합물의 발생원 결과에 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 6에는 여러 PAHs 발생원 연구^{6,10)}에서 제안한 방법에 따라 광양만 유역의 주된 PAHs의 발생원을 알아보기 위해 Phe/Ant비에 대한 Fla/Pyr의 비를 이상의 네 가지(Phe, Ant, Fla와 Pyr) 물질이 모두 검출된 9개 지점에 대해서 각 지점별로 나타내었다. 그 결과 Fig. 6의 나타낸 모든 지점이 PAHs 발생원이 열분해 산물영역에 포함되어있어, 광양만 유역의 주된 PAHs 발생원은 열분해산물임을 확인하였다.

4. 결 론

광양만 유역 퇴적토속의 PAHs 화합물에 대해 연구한 결과, 광양만 유역이 PAHs에 심각하게 오염되어 있음을 알았다. 광양권은 열분해산물이라 할 수 있는 4, 5, 6환의 PAHs가 주로 검출되었고, 여수산단은 3환과 4환의 PAHs가 주로 검출되었다. 그리고 광양만 전역에 대한 PAHs 화합물의 발생원은 석유화학단지와 제철공단이 위치해있는 광양만유역의 특성을 그대로 나타내었다. 또한 광양만 유역의 주

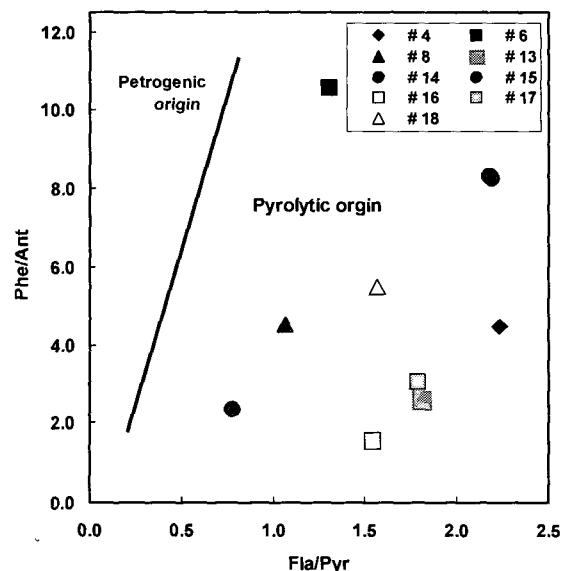


Fig. 6. Cross plot of the values of the Phe(Phe-nanthrene)/Ant(Anthracene) ratio against the values of the Fla(Fluoranthene)/Pyr(Pyrene) ratio for sediments from different locations.
 [#4. Suoe stream, #6. Donghoan, #8. Taeindo, #13. Right side from Moedo wharf, #14. Moedo wharf, #16. Wallae stream, #17. Namsu stream, #18. Jungbang stream]

된 PAHs의 발생원이 열분해 산물임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 여수환경운동연합의 지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 이종섭, 이문옥, 박일홍, 이삼노, 1997. 광양만권 개발에 따른 해양환경의 변화, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 473-476pp.
- 2) 김성우, 김윤신, 전준민, 2001, 여천공단내 실내. 외 미세분진중의 화학원소 농도 및 발생원 추정에 관한 연구, 대한환경공학회지, 23(2), 305-317.
- 3) Magi, E., R. Bianco, C. Ianni and M. Di Carro, 2002, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea, Environmental Pollution, 119(1), 91-98.
- 4) 한국해양연구소, 2000, 해양환경 관측 및 개선을 위한 기반기술연구, BSPE 00787-00-1297-1.
- 5) Nam, J. J., B. H. Song, K. C. Eom, S. H. Lee

- and A. Smith, 2003, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, *Chemosphere*, 50, 1281-1289.
- 6) Macias-Zamora, J. V., E. Mendoza-Vega and J. A. Villaescusa-Celaya, 2002, PAHs composition of surface marine sediments: a comparison to potential local sources in Todos Santos Bay, B.C., Mexico, *Chemosphere*, 46(3), 459-468.
- 7) Wu, Y., J. Zhang and Z. Zhu, 2003, Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Yalujiang Estuary, North China, *Marine Pollution Bulletin*, 46(5), 619-625.
- 8) 박갑성, 강구영, 염해정, 1996, PAHs 오염 유해 토양 부지의 생물학적 교정 : 동시 산화, 한국수질보전학회지, 12(3), 245-248.
- 9) 박갑성, 1987, 토양에서의 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)의 분해, 대한환경공학회지, 9(2), 47-54.
- 10) Budzinski, H., I. Jones, J. Bellocq, C. Pierard and P. Garrigues, 1997, Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary, *Mar. Chem.*, 58, 85-97.
- 11) Gschwend, P. M. and R. A. Hites, 1981, Fluxes of the polycyclic aromatic compounds to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 2359-2367.
- 12) Sicre, M. A., J. C. Marty, A. Saliot, X. Aparicio, J. Grimalt and J. Albaiges, 1987, Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: Occurrence and origin, *Atmos. Environ.*, 21, 2247-2259.
- 13) Colombo, J. C., E. Pelletier, C. Brochu, M. Khalil and J. A. Catoggio, 1989, Determination of hydrocarbon sources using n-alkenes and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plate, Argentina, *Environ. Sci. Technol.*, 23, 888-894.
- 14) Benner, B. A., N. P. Bryner, S. A. Wise, G. H. Mulholland, R. C. Lao, and M. F. Fingas, 1990, Polycyclic aromatic hydrocarbons emissions from combustion of crude oil on water, *Environ. Sci. Technol.*, 24, 1418-1427.
- 15) Benner, B. A., G. E. Gordon and S. A. Wise, 1989, Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: A roadway tunnel study, *Environ. Sci. Technol.*, 23, 1269-1278.
- 16) Wise, S. A., B. A. Benner, N. P. Bryner, S. N. Chesler, R. E. Rebbert and M. M. Schantz, 1988, Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coal tar standard reference material, *Anal. Chem.*, 60, 887-894.
- 17) Williams, P. T., K. D. Bartle and G. E. Andrews, 1986, The relation between polycyclic aromatic compounds in diesel fuels and exhaust particulates, *Fuel*, 65, 1150-1158.
- 18) Masclet, P., M. A. Bresson and G. Mouvier, 1987, Polycyclic aromatic hydrocarbons emmited by power stations and influence of combustion conditions, *Fuel*, 66, 556-562.
- 19) Nelson, P. F., I. W. Smith, R. J. Tyler and J. C. Mackie, 1988, Pyrolysis of coal at high temperatures, *Energy Fuels*, 2, 391-400.
- 20) Muel, B. and S. Saguem, 1985, Determination of 23 polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate matter of Paris area and photolysis by sun light, *Environ. Sci. Technol.*, 19, 111-131.
- 21) Yang, S. Y. N., D. W. Connell, D. W. Hawker and S. I. Kayal, 1991, Polycyclic aromatic hydrocarbons in air, soil, and vegetation in the viciniyt of an urban roadway, *Sci. Total Environ* 102, 229-240.