

## 일부 주부의 실내공기 중 PAHs 노출에 관한 연구

이 태 형\* · 김 윤 신\*\* · 손 부 순\*\*\*

국립환경과학원\*, \*\*한양대학교산업의학연구소, \*\*\*순천향대학교 환경보건학과  
(2006년 10월 2일 접수; 2007년 2월 12일 채택)

## An Assessment of Korean Housewives Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in Indoor Air

Tae-hyung Lee\*, Yun-Sin Kim\*\* and Bu-Soon Son\*\*\*

\*National Institute Environment Research, Incheon 404-708, Korea

\*\*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul 133-792, Korea

\*\*\*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea

(Manuscript received 2 October, 2006; accepted 12 February, 2007)

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are well known for strong carcinogen. However, the human exposure analysis of PAHs is quite difficult and unreliable because of hard for estimation of actual expose dose. Then urinary 1-hydroxypyrene (1-OHP) has been a biological marker of exposure to PAHs. The purpose of this study was to investigate total amount from exposure to PAHs acused by indoor occupational exposure, and residence at Seoul metropolitan area and Gyeonggi province in Korea. Thirty-five housewives were included in this study from April 2003 through February 2004. Dietary habit and general characteristics such as age, type of building, existence of passive smoking, period of residence, fuel type for heating and ventilation type were obtained by self administered questionnaire. Urine samples were collected at morning and freeze quickly. Urinary creatinine was measured for converting into 24 hr urine. Concentration of the indoor PAHs was examined by NIOSH method number 5506. Urinary 1-OHP and PAHs were analysed by HPLC. Correlation coefficient between urinary 1-OHP levels and pyrene concentration of indoor air was 0.66 and statistically significant( $P < 0.01$ ). The difference of urinary 1-OHP level due to dietary habits were not significant. Urinary 1-OHP level of Spring, Summer, Autumn, and Winter were  $0.21 \pm 0.12$ ,  $0.10 \pm 0.17$ ,  $0.16 \pm 0.12$ ,  $0.17 \pm 0.14$   $\mu\text{g/g cr}$ , respectively. The arithmetic means of urinary 1-OHP for four season wee  $0.16 \pm 0.14$   $\mu\text{g/g cr}$ . There was a trend that urinary 1-OHP level of residents who dwelling in apartment were higher compared with detached home. Comparison of 1-OHP level between heating by kerosene and LPG, Much higher gas heating type than kerosene type ( $P < 0.05$ ). This result implies that the urinary 1-OHP can be applied as the PAHs exposure indices.

Key Words : PAHs, 1-hydroxypyrene(1-OHP), Indoor

### 1. 서 론

실내공기 오염과 그로인한 건강 위해 문제는 일 세계보건기구(WHO)는 물론 미국을 비롯한 선진국의 주요 관심사로 다루어져 왔다. 실제 미국의 경우 대도시 지역에서 전반적인 대기환경질의 수준

은 개선되고 있음에도 불구하고 폐암발병환자나 어린이 천식환자 수는 오히려 증가하고 있다는 문제점을 인식하고 미국 환경보호청(U.S. EPA)은 1990년대에 들어서면서 환경문제해결을 위한 우선 추진과제를 조정하여 실내공기질에 대한 연구를 적극 권장·지원하고 있는 사례로부터 실내공기질의 중요성을 알 수 있다.

여러 가지 오염물질 중 다환방향족탄화수소(PAHs)는 벤젠고리가 2-6개로 구성된 물질인데,

Corresponding Author : Bu-Soon Son, Department of Environmental health Science, Soonchunhyang University  
Chungnam 336-745, Korea  
Phone: +82-41-530-1270  
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

분자량이 크고 고리수가 4개인 것 일부와 5개 이상의 PAHs는 입자상이며, 분자량이 작고 고리수가 4개인 것 일부와 3개 이하의 PAHs는 가스상이다. Benzo(a)pyrene이 발암물질로 조사<sup>1)</sup>되고 된 이래 다환방향족탄화수소(PAHs)는 그 동안 여러 동물 실험 및 역학적 연구결과 그 일부는 발암성과 돌연변이원성이 강한 물질로 보고<sup>2)</sup>되어 대기오염물질 중 주요한 발암물질로 인식됨으로써 많은 연구의 대상이 되어왔다. 국내에서 PAHs의 연구동향은 1990년대에 들어와 비교적 많은 연구자들에 의해 대도시를 중심으로 계절별 농도변동양상과 입자의 크기에 따른 농도분포 등에 관한 연구결과가 보고되고 있다.<sup>3-7)</sup> 그러나 국내에서의 PAHs 연구는 대기 중에서의 화학적 변환과정과 다른 오염물질과의 상호작용 등에 관한 대기화학적 기초연구는 수행된 적이 없어 여전히 이 분야의 국내 연구수준은 선진국과 비교해 볼 때 초보적인 단계에 지나지 않는다고 할 수 있다.<sup>4)</sup>

지금까지 PAHs 노출에 관한 선행 연구는 대부분이 콜타르 피치산업, 탄소전극산업, 아스팔트 피치, 코크스 제조업 등의 작업환경에서 직업적으로 PAHs에 노출된 사람들을 대상으로 한 연구이며, 일반인들의 거주 공간 및 생활공간에서 장기간에 걸친 PAHs 노출실태 조사에 관한 연구는 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 일반 인구집단 중 실내에서 거주하는 시간이 많고, 직업적으로나 흡연 등에 의한 PAHs의 다량 노출을 배제할 수 있는 인구집단에 대하여 PAHs의 인체대사산물인 뇨중 1-hydroxypyrene(1-OHP) 농도를 조사함으로써 일반 인구집단의 거주환경 특성에 따른 실내공기 중 PAHs의 체내노출을 조사하는데 그 목적이 있다.

## 2. 연구 대상 및 방법

본 연구에서는 일반인들의 거주환경 특성에 따른 실내공기 중 PAHs의 체내노출 조사를 위해 직업적 노출과 흡연에 의한 노출을 배제할 수 있는 인구집단 중에서 일반인들의 기본적 생활공간인 가정집 주부를 대상으로 PAHs의 인체대사산물인 1-OHP 농도를 조사 하였다. 또한 산출된 연구결과에 영향을 줄 수 있는 혼란변수를 제외하기 위하여 건축물의 특성과 식이력에 대한 자기기입식 설문조사를 실시하였다.

그림 1은 연구대상 지역을 나타냈다. 조사대상지역은 서울 및 경기도에 위치한 지역이며, 각 지점들이 해당 도시권역내에서 어느 한곳에 치중되지 않고 지리적으로 고루 분산되도록 선정하였고 거

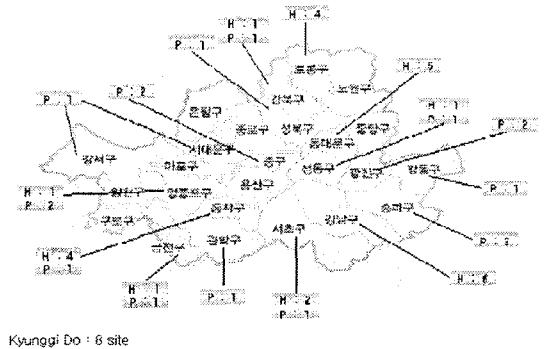


Fig. 1. The area of investigation.

주환경 특성에 따른 실내공기 중 PAHs의 체내노출조사를 위해 건축물 형태나 환기방식, 공기청정기 사용, 거주인원 등의 다양한 형태의 가정집들이 포함되도록 하였다. 또한, 간접흡연의 영향을 파악하기 위해 흡연자가 있는 가정과 없는 가정의 구사 균등히 배분되도록 고려하였다.

뇨중 1-OHP 농도 분석을 위한 채뇨 대상자는 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 생활하는 사람으로 생활습관(흡연 등)이나 직업적 노출 등의 원인으로 PAHs에 노출될 가능성이 없는 가정집 주부를 대상으로 하였다. 또한, 연구대상 시설의 선정 조건은 연구기간동안 이사를 하지 않고, 비흡연자를 대상으로 하였다.

본 연구는 2003년 4월부터 2004년 2월까지 서울 및 경기도지역에 위치한 주택 25개소를 선정하여 뇨중 1-OHP 농도조사와 거주환경 특성에 따른 실내공기 중 PAHs의 체내노출실태를 조사하였다. 또한 자기기입식 설문조사를 통하여 현재 거주하고 있는 건축물의 특성과 1-OHP의 농도에 영향을 줄 수 있는 식이력 및 직·간접흡연 등에 관한 조사를 실시하였다. 실내공기 중 PAHs 측정에는 NIOSH의 공정시험법(NIOSH method No,5506)을 이용하였고, 1-OHP 농도분석은 HPLC(486 HPLC, Waters)를 사용하였다.

### 1) 1-OHP

본 연구에서는 채뇨를 실시하기 적어도 3일전 선정된 조사대상자에게 1-OHP 농도에 영향을 줄 수 있는 구운 고기, 구운 생선, 새우, 조개, 굴류 등의 음식을 식이력에 대한 설문조사를 통하여 1-OHP의 농도에 영향을 줄 수 있는 변수를 분류하였다.

조사대상자 전원에 대하여 채취한 소변은 원심분리기로 분리 후 상층액을 분석할 때까지 -20℃ 보관하였다. 뇨 전처리 과정과 분석방법은 그림 2, 표 1과 같다. 모든 대사산물 측정치는 크레아티닌

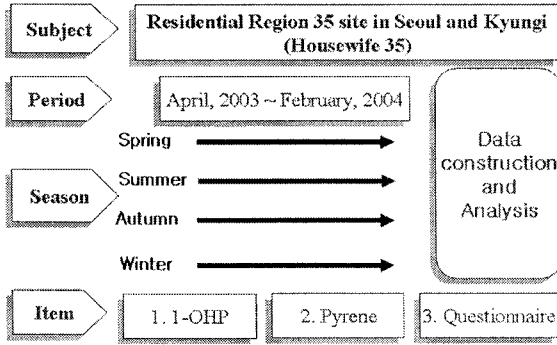


Fig. 2. Overall procedure of this study.

Table 1. Condition for HPLC to analyze 1-OHP

Variance	Conditions	
	1-Hydroxypyrene	
Instrument	Water 486 HPLC	
Column	Cosmosil 5C18-AR-11 Column 4.6×150mm	
Detector	Waters M474 Scanning Fluorescence	
Excitation	240nm	
Emission	388nm	
Flow rate	1.0ml/min	
Injection volume	20 $\mu$ l	
Mobile phase	65% acetonitrile and 35% Water	

으로 보정하였으며, 뇨 중 크레아티닌은 자동 생화학 분석기(Astra 8, USA)로 분석하였다.

뇨중 마노산은 다음과 같은 방법으로 보정하였다.

$$\text{크레아티닌 보정치(g/g creatinine)} = \frac{\text{측정치(g/l)}}{\text{크레아티닌(g/l)}}$$

## 2) PAHs

공기 중 시료채취 및 분석은 NIOSH의 공정시험법(NIOSH method No. 5506)을 이용하였다. 측정 결과의 정확도를 높이고 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 반드시 측정 전후에 정확한 유량보정을 위해 유량보정계(The Gilibrator, Gilian, USA)로 유량을 2 l/min로 하였으며, 포집시간은 8시간 이상 실시하였다.

PAHs standard 는 acetonitrile에 녹여 다른 농도(2.5, 0.5, 0.1, 0.02, 0.002  $\mu$ l/ml)의 표준물질을 주입하여 검량선을 작성하였다.

PAHs를 포집한 PTFE Membrane Filter(2 $\mu$ m, 37mm)와 XAD-2(100mg/50mg) tube를 암실에서 갈색 Vial에 각각 넣은 후, Acetonitrile 5ml를 가한 후 60분 동안 초음파 처리를 하여 추출하였다. PTFE Membrane Filter의 정량값에 회수를 및 공시료 값을 적용하였으며, XAD-2 tube의 정량값에 탈착효율

및 공시료의 값을 적용하였으며, 공기 중 Pyrene의 Peak의 머무름 시간은 19.88 min 이었다. HPLC의 분석조건은 표 2.를 따랐다.

## 3) 설문 조사

설문조사내용은 조사대상자의 일반적 및 거주환경 특성을 파악하기 위해 조사대상자의 성별, 연령, 등을 조사하였으며, 주거환경 및 거주환경 특성을 파악하기 위해 거주자들의 주거지에서의 평균체류시간, 거주자들 중 흡연자의 유무, 주거형태, 환기방식 및 거주 연수, 건축물에 대한 양식, 연도 등을 조사하여 각 문항별로 빈도분포를 조사하였다. 또한, 자기기입식 설문조사를 통하여 노출 경로 중에서 식이요인과 일일 생활패턴 등을 조사하였다. 설문조사를 통해 직접흡연을 한다고 응답한 대상자는 소변시료의 부덕 단계에서 제외하여 직접흡연의 영향을 제거하였다. 간접흡연을 묻는 항목에는 가족 중 흡연자 유·무, 흡연자의 흡연장소 등이 포함되었다. 식이요인으로서 불에 구운 고기, 구운 생선, 새우, 조개, 굴류, 시금치 및 잎이 넓은 야채류, 한약 등의 섭취력을 조사하였다.

## 4) 자료분석

수집된 자료에 대한 통계학적 분석은 SPSS 11.0 을 이용하였다. Independent T-test를 통해 간접흡연에 대한 노출군 및 비노출군 간의 검증과 건축물 양식별 1-OHP의 농도차이 검정을 실시하였고, 상관관계 분석을 통하여 Pyrene 농도와 뇨중 1-OHP 농도의 관계 등의 분석을 실시하였다. 또한, 일원 배치 분산분석을 실시하여 각 환기방식에 따른 1-OHP 농도의 차이를 검증하였다.

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 3.1. 설문지 조사 결과

설문조사를 통해 조사 대상자의 일반 특성과 주

Table 2. Condition for HPLC to analyze PAHs

Item	Conditions		
Instrument	Water 486 HPLC		
Detector	Waters M474 Scanning Fluorescence		
Column	Waters PAH C18 5 $\mu$ m 4.6X250mm		
Flow rate	1.0ml/min		
Injection volume	10 $\mu$ l		
Mobile phase	time	%ANC	%Water
	0	60	40
	2 min	60	40
	20min	0	100
	30min	0	100
	31min	60	40

Table 3. General characteristics of participants and structure in this study

General characteristics	Mean±S.D	Number of sample(%)
age(year)	≤ 29	5(19.2)
	30~39	3(11.5)
	40~49	7(26.9)
	50~59	5(19.2)
	60 ≤	6(23.1)
Residence in house	9~12	2(6.9)
	12~14	5(17.2)
	15~17	6(20.7)
	18~20	7(24.1)
	21 ≤	9(31)
Resident(person)	≤ 3	12(34.3)
	4	16(45.7)
	5 ≤	7(20)
Presence of smoker in family	Yes	17(48.6)
	No	18(51.4)
Type of residence	Apartment	22(62.9)
	House	13(37.1)
Construction(year)		5.5±6.1
Resident duration(year)		5.1±5.4
Type of heation fuel	Oil	4(11)
	Gas	31(89)
Type of ventilation	Natural	30(85.7)
	Mechanical	5(14.3)

거환경의 물리적 특성을 조사하였다.(표 3). 설문조사에 참여한 사람은 전체 35명으로 하루중 대부분의 시간을 실내에서 거주하고 직업적으로 PAHs에 노출될 가능성이 없고 흡연을 하지 않는 사람을 우선적으로 선정하여 실시하였다. 조사대상자의 연령 범위는 23세부터 70세까지로 평균 연령은 47.12±14.64세로 조사되었다. 거주자들의 거주지의 평균 체류시간은 17.21±4.41 시간으로, 최소 10시간에서 최대 24시간을 거주지에서 체류한다고 답하여 하루 중 대부분의 시간을 조사대상 실내공간에서 보내는 것으로 조사되었다. 또한, 가족 구성원 중 흡연자가 있는 대상자는 17명(48.6%), 흡연자가 없는 대상자는 18명(51.4%)으로 조사되었다. 주거형태를 묻는 질문에는 개인주택에 거주한다고 답한 대상자는 13명(37.1%), 공동주택에 거주한다고 답한 대상자는 22명(62.9%)이었으며, 조사대상자 중 자신의 주거 실내공간의 환기방식 중 기계식환기장치가 갖추어져있다고 답한 대상자는 5명(14.3%), 자연환기방식으로 환기한다고 답한 대상자는 30명(85.7%)인 것으로 조사되었다. 조사대상 건물은 신

축 또는 재건축(실내 모델링) 된지 5.5±6.1년 된 건물로 최대 20년에서 최소 1개월인 것으로 조사되었으며, 평균 거주 연수로는 5.1±5.4년으로 조사되었다.

3.2. 뇨중 1-OHP 농도의 분포특성

그림 3. 은 연구대상자 35명에 대한 1-OHP 농도 분포를 나타낸 것으로 산술평균의 분포는 꼬리가 오른쪽으로 치우친 분포를 나타냈으며, 평균값을 로그로 치환한 경우에는 산술평균과 비교해 정규분포를 나타내었다. 따라서 본 연구에서 통계분석을 위한 자료는 대수변환을 통해 정규분포화 하여 분석하였다.

1-OHP는 pyrene이 대사산물인데, pyrene은 PAHs 중에 비교적 많이 포함되어 있으며 그 구성비율이 일정하여 총 PAHs와 좋은 상관성을 보이는 것으로 알려져 있다. PAHs를 직접 측정하는 것은 여러 가지 기술적인 문제로 매우 어려워, 특히 벤젠 고리가 세 개 이하인 PAHs의 경우 포집한 시료의 재취발성 문제와 기상조건 등의 영향을 민감하게 받는다는 문제점 때문에 신뢰할만한 측정법을 쉽게 이용할 수 없다.<sup>8)</sup> PAHs물질 중에서는 pyrene이 많은 양이 배출되는 것으로 알려져 있으며<sup>9)</sup>, Jongeneelen 등(1986)<sup>10)</sup>의 연구에서는 pyrene이 체내로 흡입되면 약 90%정도가 1-OHP이 형태로 소변과 더불어 배출된다고 하였고, Adolf Vyskocil et al.(2000)<sup>9)</sup>등은 1-OHP가 PAHs의 내성용량을 평가하는 가장 좋은 방법이라고 하였다. 이 결과는 공기 중의 PAHs 농도를 조사하지 않더라도 뇨중 1-OHP의 농도가 PAHs의 노출정도를 평가할 수 있는 유용한 생체지표라는 것을 의미한다.<sup>11)</sup>

Lafontaine 등(1999)은 사격을 하기 위한 타겟(target)을 만드는 작업장 근로자를 대상으로 한 조

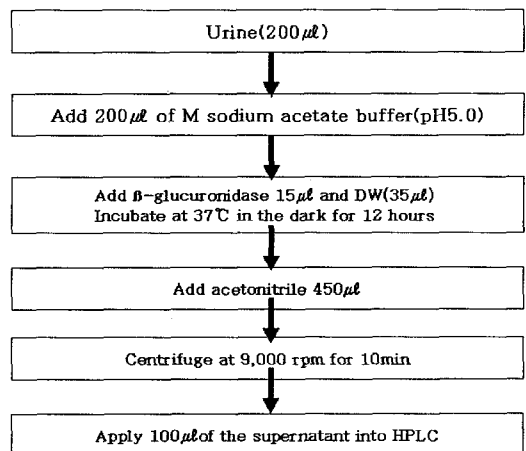


Fig. 3. Analytic procedure of urinary 1-OHP.

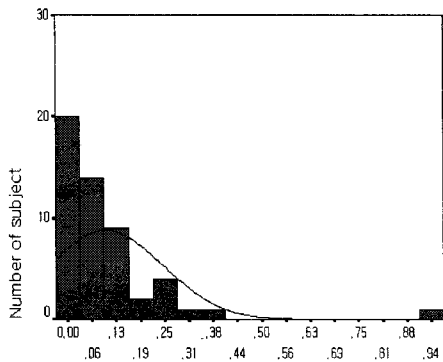
사에서 pyrene과 1-OHP 농도와의 상관관계를 보였다고 하였으며, 또한 Petry 등(1996)의 탄소전극 산업의 근로자를 대상으로 한 연구에서 pyrene과 1-OHP의 상관관계를 작업 전과 후로 나누어 조사하였는데 상관관계가 각각 0.64, 0.55 인 것으로 보고 하였다.

본 연구에서 그림 4. 의 1-OHP과 pyrene과의 상관분석에서 상관계수가 0.66으로 조사되었고, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.(P,0.01)

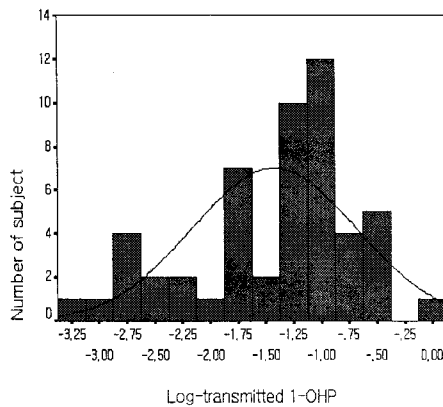
3.3. 뇨중 1-OHP 농도에 영향을 미치는 변수

본 연구에서는 뇨중 1-OHP에 영향을 미치는 변수로서 식이력에 대하여 조사하였다. 설문조사를 통해 얻은 식이요인 항목은 불에구운 고기, 구운 생선, 새우, 조개, 굴류, 시금치 및 잎이 넓은 야채류, 한약 등의 섭취력 이었고 이들 변수를 섭취한 사람과 섭취하지 않은 사람들의 1-OHP 평균농도 차이를 조사한 결과 각각  $0.19 \pm 0.07$ ,  $0.22 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$

creatinine으로 조사되어(P>0.05) 섭취하지 않은 사람들의 1-OHP 평균농도가 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되어 이들 변수는 뇨중 1-OHP 농도와 유의한 관련성이 관찰되지 않았다. 이는 우리나라의 식이습관이 PAHs 폭로에 거의 영향을 미치지 않을 가능성과 설문조사를 통해 얻은 자료의 부정확성 즉, 설문조사를 통해 정확한 식이노출과 섭취량을 정량화하는 조사가 이루어지지 않았고 또한 그러한 조사가 사실상 불가능하기 때문에 유의한 차이를 나타내지 않았을 가능성이 있으나<sup>11)</sup>, 미국을 비롯한 서구지역의 식이에 비해 우리나라 사람



(a)



(b)

Fig. 4. The distribution of arithmetic mean (a) and log-transmitted level (b) for urinary 1-OHP level.

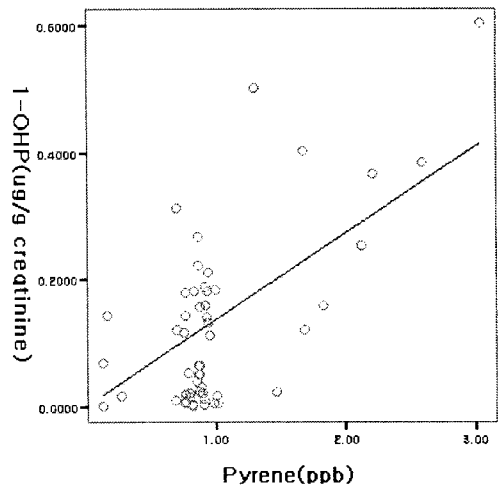


Fig. 5. Correlation between Urinary 1-OHP and Pyrene (n=98, Correlation coefficient = 0.66, P < 0.01).

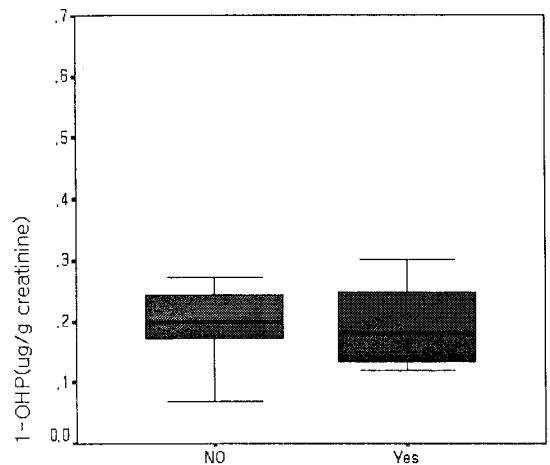


Fig. 6. Urinary 1-OHP level associated with significant differences of dietary factor (NO : Non ingestion of dietary factor, Yes : Ingestion of dietary factor).

Table 4. The result of the previous studies in the concentrations of 1-OHP in urine samples for persons occupationally unexposed to PAHs

		Mean ± S.D (µg/g creatinine)			Reference	
n	Smoker	n	Non-smaker	n Smoker +non-smakers		
				46	0.48*	Jongeneele et al. (1986) <sup>14)</sup>
28	0.98 <sup>a</sup>	14	0.33 <sup>a</sup>			Jongeneele et al. (1990) <sup>15)</sup>
				23	0.85±0.77	tolos et al. (1990) <sup>23)</sup>
26	0.5 (0.35-0.66) <sup>b</sup>	20	0.31 (0.19-0.42)			Sheron et al. (1990) <sup>22)</sup>
21	0.23 <sup>a</sup> (<0.04-1.31) <sup>b</sup>	28	0.012 <sup>a</sup> (<0.04-0.33) <sup>b</sup>	49	0.15 <sup>a</sup> 0.44-1.31) <sup>b</sup>	J. Angerer (1995) <sup>19)</sup>

\* : Geometric mean  
a : Median, b : Range

들의 식이 습관은 실제로 PAHs 폭로에 크게 영향을 미치지 않을 가능성이 높기 때문인 것으로 사료된다.<sup>12)</sup>

### 3.4. 계절별 실내공기 중 PAHs의 체내노출

지금까지 1-OHP를 이용하여 PAHs의 체내 노출에 관한 연구는 대부분이 콜타르, 크레오소트, 전극 생산업, 도로포장업 등의 산업 근로자를 대상으로 한 연구이며<sup>13,14)</sup>, 직업적 PAHs 노출지표로서 1-OHP를 평가할 경우, 직업적 노출이 없는 사람에서의 1-OHP와 비교하여 연구되어왔을 뿐, 실내거주자를 대상으로 장기간에 걸쳐 조사된 연구는 보고된 바가 없다. 표 4.의 선행연구에서 보고된 노중 1-OHP의 농도는 직업적인 노출이 없는 사람들의 노중 1-OHP의 농도조사를 통하여 조사한 결과를 나타낸 것이다. Jongeneelen 등 (1990)<sup>15)</sup>의 연구결과에서 Smoker의 1-OHP의 농도가 0.10 µg/g creatinine 으로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 우리나라의 일반인에서 1-OHP 수준에 대한 연구는, 강중원 등<sup>12)</sup>이 중학교 남학생을 대상으로 하여 조사한 노중 1-OHP의 기하평균은 73.26 nmol/mol creatinine 이었다는 보고가 있다. 이 값을 Vesterberg 등(1985)이 추정함 1µmol 1-hydroxypyrene/ mol creatinine = 1.93 µg/g creatinine ≈ 3ng/ml urine 을 이용하여 환산한 값은 0.14 µg/g creatinine 으로 환산된다.

본 연구에서 조사한 표 5.의 조사대상자에 대한 계절별 1-OHP 농도의 조사 결과를 살펴보면 봄철 평균 농도가 0.21±0.12 µg/g creatinine 으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 여름철 평균 농도가 0.10±0.17 µg/g creatinine 으로 가장 낮은 농도를 나타낸

Table 5. Seasonal levels of Urinary 1-OHP. (Unit : µg/g creatinine)

Season	n	Mean±S.D.	Max.	Min.
Spring	35	0.21±0.12	0.67	0.21
Summer	30	0.10±0.17	0.94	0.001
Autumn	34	0.16±0.12	0.50	0.225
Winter	12	0.17±0.14	0.50	0.002
Total	111	0.16±0.14	0.94	0.001

거승로 조사되었다. 또한 각 계절별 1-OHP의 평균 농도를 살펴보면 봄 > 겨울 > 가을 > 여름의 순으로 각각 0.21±0.12, 0.17±0.14, 0.16±0.12, 0.10±0.17 µg/g creatinine으로 나타났으며, 사계절 1-OHP 평균 농도는 0.16±0.14 µg/g creatinine으로 조사되어 강중원 등<sup>12)</sup>의 연구에서 보고된 0.1 4µg/g creatinine 보다는 다소 높은 농도를 나타냈다.

Zmirou 등(2000)은 성인에서 일상 생활하는 동안 PAHs 노출 수준을 48시간 개인 시료 측정기를 사용하여 측정하였는데, benzo(a)pyrene 노출수준은 여름보다 겨울에는 3배에서 25배 증가하였다고 한다. 우리나라 대기 중 PAHs의 농도에 관한 연구 결과는 겨울철에 높은 오염도를 나타낸 특성을 보였다.<sup>6,16,17)</sup> 그러나 본 연구에서 1-OHP의 농도조사를 통하여 실내공기중의 각 계절별 PAHs 노출실태를 조사한 결과 봄철에 가장 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다. 이는 조사대상자의 하루 중 실내에서 머무르는 평균시간이 17.21±4.41 시간으로 장시간 실내공간에서 체류하기 때문에 대기 중 PAHs의 농도가 겨울철에 가장 높은 오염도를 나타낸 선행연구 결과와 일치하지 않은 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

3.5. 주거 특성별 실내공기 중 PAHs의 체내 노출

표 6.은 조사대상자의 뇨중 1-OHP의 사계절 평균농도를 주거특성별로 나타낸 것이다 거주 인원별로 3명 이하와 4명 이상으로 분류하여 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도 조사 결과를 살펴보면 거주인원이 3명이하인 조사대상자와 4명 이상인 조사대상자가 각각 0.18±0.12, 0.15±0.15 µg/g creatinine으로 거주인원이 3명이하인 조사대상자의 평균 1-OHP 농도가 유의하게 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었으며(P<0.05), 주거형태별로 공동주택과 개인주택에서 1-OHP의 농도는 각각 0.18±0.16, 0.13±0.10 µg/g creatinine 으로 공동주택의 거주자가 더 높은 농도를 나타내었다. 반방연료별로 Oil과 Gas를 사용하는 건축물 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도를 조사한 결과 1-OHP의 농도가 Gas를 연료로 사용하는 건축물의 거주자의 뇨중 1-OHP 농도가 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다(P<0.05).

PAHs의 일반 가정집의 주거특성별 노출에 관한 선행연구가 미진하여 본 연구 결과와 비교하기는 어려우나, 신혜수 등 (1993)의 서울시에 소재한 일반주택 또는 사무실을 대상으로 하여 VOCs를 조사한 결과 지어진지 1년미만의 신축건물에 비해 신축건물에서 높은 농도를 나타냈다고 보고 하였다. 또한, 나광삼 등(2000)<sup>18)</sup>의 연구에서 신축 건물을 대상으로 시간 경과에 따른 방향족 탄화수소의 농도변화 특성을 조사한 결과 초기의 모든 방향족 탄화수소의 실내/실외 농도비는 1보다 크고, 모든 농도비는 시간 경과에 따라 감소하며, 또한 실내 방향족 탄화수소의 농도가 일정해지는 시기에도 평균 농도가 대기에 비해 약1.3배 높다고 하였다.

본 연구에서 건축물이 지어진지 1년을 기준으로

Table 6. Household characteristics associated significant differences for Urinary 1-OHP level (Unit : µg/g creatinine)

Variable	N	Mean±S.D.	P-Value
Resident (person)	≤ 3	37 0.18±0.12	<0.05
	≥ 4	74 0.15±0.15	
Type of residence	Apartment	69 0.18±0.16	>0.05
	House	42 0.13±0.10	
Remodeling in last one year	Yes	40 0.21±0.23	>0.05
	No	69 0.17±0.15	
Smoker (house hold)	Yes	45 0.16±0.13	>0.05
	No	37 0.15±0.08	
Type of heating fuel	Oil	12 0.11±0.10	<0.05
	Gas	100 0.17±0.15	

하여 1년 미만의 건물을 New building, 1년 이상인 지난 건물을 Old building 으로 구분하여 각각에서 거주하는 조사대상자의 뇨중 1-OHP의 평균농도를 조사한 결과 유의한 차이는 아니었으나, 1년 미만의 New building의 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도가 높은 농도를 나타냈다(P> 0.05).

앞서 기술된 표 4.의 선행연구결과에서 나타난 흡연자의 1-OHP 농도는 비흡연자를 대상으로 조사된 농도보다 대부분 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다. 이는 흡연으로 인한 PAHs의 노출이 증가되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 비흡연자를 대상으로 한 조사결과는 Jongeneelen 등(1990)<sup>14)</sup>과 Sheron 등(1990)의 연구결과에서 각각 0.33, 0.31 µg/g creatinine 으로 조사되었으며, Schaller 등과 J. Angerer(1995)<sup>19)</sup> 등의 결과는 각각 0.10, 0.12 µg/g creatinine 으로 조사되었다. 강중원 등<sup>20)</sup>은 중학교 학생을 대상으로 뇨중 1-hydroxypyrene glucuronide(이하 1-OHPG라 함)의 농도조사를 통하여 간접흡연과 1-OHPG 농도가 관령성에 관하여 조사하였는데 하루 간접흡연 개비수가 한개비 증가할 때마다 요중 1-OHPG 농도는 42.3 nmol/mol creatinine 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 조사대상자의 가족 중 실내흡연자의 존재 유·무에 대한 설문 조사를 통하여 간접흡연에 대한 뇨중 1-OHP 농도에 차이가 있는지를 조사한 결과 실내흡연자가 존재한다고 대답한 조사대상자와 존재하지 않는다고 대답한 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도가 각각 0.16±0.13, 0.15±0.08 µg/g creatinine 으로 조사되어 유의한 차이는 아니었으나 흡연자가 존재하는 조사대상자의 1-OHP 농도가 높은 것으로 조사되었다(P> 0.05).

3.6. 환기방식에 따른 PAHs의 체내노출

조별아 등(1996)<sup>21)</sup>은 환기방식별로 창문을 통한 자연환기방식, 팬(Fan)을 이용한 기계 환기방식, 공기청정기를 이용한 방식에 대하여 실내공기 중 NO2의 농도를 조사하였는데, 팬 > 자연환기방식 > 공기청정기의 순으로 각각 24.11, 21.18, 20.31 ppb으로 공기청정기를 사용하는 곳에서 가장 낮은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다. 이는 공기청정기를 사용했을 때 가장 환기가 잘되었기 때문인 것으로 사료된다.

Table 7. Urinary 1-OHP level by Ventilative type (Unit : µg/g creatinine)

Ventilation Type	N	Mean±S.D.	P - Value
Natural	81	0.17±0.15	<0.05
Mechanical	20	0.11±0.09	
Use of Air cleaner	69	0.09±0.09	

본 연구에서 환기방식별로 자연환기를 이용한 방법과 후드 또는 팬을 이용한 기계식 환기방법, 공기청정기를 이용한 방법으로 구분하여 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도를 일원배치 분산분석을 통하여 검정한 결과(표7) 각각  $0.17 \pm 0.15 \mu\text{g/g creatinine}$ ,  $0.11 \pm 0.09 \mu\text{g/g creatinine}$ ,  $0.09 \pm 0.09 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 조사 되어 공기청정기를 이용하는 환기방식에서 거주하는 조사대상자의 1-OHP 농도가 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 통계적으로도 유의한 수준인 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ).

#### 4. 결 론

본 연구는 2003년 4월부터 2004년 2월까지 서울 및 경기지역에 위치한 가정집을 대상으로 주거환경 특성에 따른 실내공기 중 PAHs의 노출 평가를 위하여 가정집 주부 35명을 대상으로 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도를 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구의 조사대상자의 하루중 실내에서 보내는 평균시간이  $17.21 \pm 4.41$  시간으로, 최소 10시간에서 최대 24시간을 거주지에서 체류한다고 답하여 하루 중 대부분의 시간을 조사대상 실내공간에서 보내는 것으로 조사 되었다.

2) 본 연구에서 그림4.2의 1-OHP과 pyrene과의 상관분석에서 상관계수가 0.66 으로 조사 되었고, 통계적으로도 유의한 것으로 나타나( $P < 0.01$ ) 본 연구에서 조사된 1-OHP를 이용하여 실내공기 중 PAHs의 체내 노출을 조사하는데 무리가 없는 것으로 사료된다.

3) 본 연구에서는 뇨중 1-OHP에 영향을 미치는 변수로서 식이력에 대하여 조사한 결과 식이 변수를 섭취한 사람과 섭취하지 않은 사람들의 1-OHP 평균농도 차이가 각각  $0.19 \pm 0.07$ ,  $0.22 \pm 0.13 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 조사되었으며( $P > 0.05$ ), 식이변수를 섭취하지 않은 사람들의 1-OHP 평균 농도가 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되어 이들 변수는 뇨중 1-OHP 농도와 유의한 관련성이 관찰되지 않았다.

4) 본 연구에서 조사한 계절별 1-OHP 농도의 조사 결과를 살펴보면 봄 > 겨울 > 가을 > 여름의 순으로 각각  $0.21 \pm 0.12$ ,  $0.17 \pm 0.14$ ,  $0.16 \pm 0.12$ ,  $0.10 \pm 0.17 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 나타났으며, 사계절 1-OHP 평균 농도는  $0.16 \pm 0.14 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 조사되었다.

5) 조사대상자의 뇨중 1-OHP의 사계절 평균농도를 주거특성별로 보면 거주인원 3명이하인 조사대상자의 평균 1-OHP 농도가 유의하게 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다( $P < 0.05$ ). 또한 주거형태별로는 공동주택의 거주자가 더 높은 농도를

나타냈다( $P > 0.05$ ). 한편 난방연료별로 1-OHP의 농도가 Gas를 연료로 사용하는 거주자가 Oil을 연료로 사용하는 거주자보다 뇨중 1-OHP 농도가 높은 농도를 나타낸 것으로 조사되었다( $P < 0.05$ ).

6) 조사대상자의 간접흡연에 대한 뇨중 1-OHP 농도에 차이가 있는지를 조사한 결과 실내흡연자가 존재한다고 대답한 조사대상자와 존재하지 않는다고 대답한 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도가 각각  $0.16 \pm 0.13$ ,  $0.15 \pm 0.08 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 조사되어 유의한 차이는 아니었으나 흡연자가 존재하는 조사대상자의 1-OHP 농도가 높은 것으로 조사되었다( $P > 0.05$ ).

7) 환기방식별로 자연환기를 이용한 방법과 후드 또는 팬을 이용한 기계식 환기방법, 공기청정기를 이용한 방법으로 구분하여 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도를 일원배치 분산분석을 통하여 검정한 결과 각각  $0.17 \pm 0.15 \mu\text{g/g creatinine}$ ,  $0.11 \pm 0.09 \mu\text{g/g creatinine}$ ,  $0.09 \pm 0.09 \mu\text{g/g creatinine}$  으로 조사 되어 공기청정기를 이용하는 환기방식에서 거주하는 조사대상자의 1-OHP 농도가 더 낮은 농도를 나타낸 것으로 조사되었으며, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다( $P > 0.05$ ).

이상의 연구 결과 PAHs의 인체대사산물인 뇨중 1-OHP의 농도와 pyrene 농도간의 상관관계분석결과 유의한 관련성이 관찰되었고( $P < 0.01$ ), 식이변수 섭취에 따른 뇨중 1-OHP 농도의 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 이는 실내공기 중 PAHs가 조사대상자의 뇨중 1-OHP 농도에 관여하여 나타난 결과라는 것을 입증한다. 따라서 본 연구 결과는 주거환경 특성에 따른 실내거주자의 실내공기 중 PAHs에 대한 체내 노출로 적용 가능한 것으로 판단되며, 향후 실내공기 중 PAHs 노출에 관한 연구에 기초적인 자료로서 활용 가능할 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Goulden F., M. M. Tipler, 1949, Experiments on the identification of 4-benzpyrene in domestic soot by means of the fluorescence spectrum, Br. J. Cancer 3, 157-169.
- 2) Meyer B, 1983, Indoor Air Quality; Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.
- 3) 정 용, 박성운, 황만식, 1998 대기 부유분진중 다환방향족 탄화수소류의 계절적 입경농도 분포 변이, 14(6) 577-588.
- 4) 백성욱, 최진수, 1996, 환경대기 중 다환방향족 탄화수소의 출현양상과 거동(1) - 지역적 및 계절적 농도분포, 대한환경공학회지, 18, 465, 480.
- 5) 백성욱, 김기남, 최진수, 박상곤, 박선미, 1994



- 대구시 주거지역 대기중 입자상 다환방향족탄화수소의 농도, 환경연구, 14(1), 29-42.
- 6) 조기철, 이승일, 김달호, 허귀석, 김희강(1994) 도시대가부유분진중 다환방향족 탄화수소의 농도 및 입경분포 특성, 한국대기보전학회지, 10(1), 57-63.
  - 7) 전준민, 김윤신, 1993, 서울시 지하상가 공기중 다환방향족 탄화수소의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9, 81-92.
  - 8) 백성옥, 최진수, 1998, 대기중 다환방향족탄화수소의 측정을 위한 시료 포집방법의 비교 평가, 한국대기보전학회지 14(1), 43-62.
  - 9) Adolf V., Zdenek F., Veronique C., Ladislav K., Eva E., Josef B., Claude V., Stanislav E., 2000, Assessment of multipathway exposure of small children to PAH; Environ. Toxicol. Pharmacol., 8, 111- 118.
  - 10) Jongeneelen F. J., Anxion R. B. M., Henderson P. T., 1987 Detction of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine. J Chromatog., 413, 227-232.
  - 11) 강종원, 1999 일반인구 집단에 대한 대기중 총 먼지의 생물학적 노출 지표로서 1-hydroxypyrene gluronide 및 2-naphthol의 유용성, 서울대학교 대학원 의학 박사학위논문, 7-8.
  - 12) 강종원, 1999, 다환성 방향족 탄화수소 노출지표로서 요중 1-hydroxypyrene의 정상범위, 충북의대 학술지9(2), 125-132.
  - 13) Burgaz S, Borm P., Jongeneelen F, J.,1992, Evaluation of urinary excretion of 1-OHP and thioethers in workers exposed to bitumen fumed, Int Arch Occup Environ health, 63, 397-401.
  - 14) Jongeneelen F. J., Bos R. P., 1986, Biological monitoring of polynuclear aromatic hydrocarbons, Metabolites in urine. Scand. J. work Environ. Health,12,137-143.
  - 15) Jongeneelen F. J., van Leeuwen F. E., Oosternik S., Anzion R. B. M., van de Loop F., Bos R. P., van Veen H. G., 1990, Ambient and biological monitoring of coke oven workers - determinations. Br. J. Ind. Med, 47 454-461.
  - 16) 박성은, 정용, 1992, 서울시 대기부유분진의 농도와 다환방향족 유기물질에 의한 발암위해성, 한국대기보전학회지, 8(40), 247-256.
  - 17) 손동현, 강춘원, 1986 대기 중 중금속의 입경분포에 관한연구, 한국대기보전학회지, 2(3), 57-63
  - 18) 나광삼, 배귀남, 김용표, 2000, 입주전 신축건물의 사무실내 방향족 탄화수소의 농도 특성, 16(5), 545-552.
  - 19) Angerer J., T., Goen H., Gundel J., Schaller K. H., 1995 The elimination of 1-hydroxypyrene in the urine of the general population and workers with different occupational exposures to PAH, Science of The Total Environment, 163(1-3), 195-201.
  - 20) 강종원, 1999, 다환성 방향족 탄화수소 노출지표로서 뇨중1-hydroxypyrene 의 정상범위, 충북의대 학술지 9(2), 125-132.
  - 21) 조별아, 1996, 가정내 이산화질소의 실내외노출에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위논문, 서울.