

## 부산시 일부 지역에 거주하는 노인들에서 요중 1-hydroxypyrene과 2-naphthol의 배설량 및 관련요인

황문영 · 문성배 · 조병만\*

부산대학교 화학과, \*부산의대 예방의학 및 산업의학교실

### The Levels of Urinary Excretion and Some Related Factors of 1-hydroxypyrene and 2-naphthol among the Elderly Residents in an Area, Busan

Moon-Young Hwang, Seong-Bae Moon, Byung-Mann Cho\*

Department of Chemistry, Pusan National University, 30, Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan, 609-735, Korea

\*Department of Preventive and Occupational Medicine, College of Medicine, Pusan National University

We evaluated the levels of urinary excretion and some related factors of 1-hydroxypyrene(1-OHP) and 2-naphthol in the general population who has not been occupationally exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The study subjects were 122 men over 65 years old resided in an area, Busan. Urinary 1-OHP and 2-naphthol concentration were analyzed by HPLC system with a fluorescence detector. Fine particulate matter (PM10), which is an index of ambient-air PAH exposure, was measured by  $\beta$ -ray absorption method at automatic ambient-air monitoring stations. A structured questionnaire was used to obtain data about detailed smoking, food intake etc. The geometric (arithmetic) means of urinary 1-OHP and 2-naphthol in this study were 0.097 (0.35)  $\mu$ mole/mole creatinine and 0.692 (1.13)  $\mu$ mole/mole creatinine. The ranges were 0.001 to 5.525  $\mu$ mole/mole creatinine and 0.001 to 7.013  $\mu$ mole/mole creatinine, respectively. There were significant association between urinary 1-OHP concentration and age, PM10 level calculated for 2 days before survey, whereas urinary 2-naphthol concentration was associated with job and smoking.

#### 1. 서 론

전체 국민의 80% 이상이 도시지역에서 생활하는 현실(통계청, 1996)에서 우리나라 도심의 대기분진은 연간 오염도가 감소추세에 있으나, 그 오염수준이 높아 문제시되고 있는데(환경부, 1997) 오염의 형태도 오존(O<sub>3</sub>), 미세먼지, 휘발성 유기화합물질 발생 등으로 더욱 다양해지고 복잡해지는 등 발암성이 의심되는 물질들이 있다. 따라서 점차적으로 대기 중에 존재하는 발암물질 규제의 필요성이 대두되었으며 그에 따라 정부, 산업체 및 일반 대중들도 다핵방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons or Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAHs)와 같은 유해성대기 오염물질에 많은 관심을 기울이고 있다(백성욱, 1998; 일본대기환경학회, 1997; Patrick, 1994; Cannon,

1986).

PAHs는 천연유기물이나 합성유기물의 불완전 연소나 열분해에 의해 생산되며 극성이 없고 중성분자이기 때문에 사람이나 동물의 친지질 세포막을 쉽게 통과할 수 있는 물질(Menzie *et al.*, 1992)로 지금까지 공기 중에는 대부분의 parent PAH를 포함하여 thia-, aza-, oxa-arenes, alkyl- 및 nitro-PAHs 등 약 500여 종류의 유도체가 보고되고 있으며(Tomatis, 1990), 미국에서의 PAHs 배출량 추정에 따르면 나프탈렌을 포함한 주요 16가지의 PAH에 대한 배출은 산불이나 가정에서의 목재연소 및 생활용품 사용 등 2-3가지 범주에 의한 PAH배출량이 전체 배출량의 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 보고된 바 있다(USEPA, 1998). 우리나라의 경우 식생과 생활풍토 등을 고려할 때 상당한 차이가 있을 수 있지만 가정난방과 자동차에 의한

PAH의 배출은 상대적으로 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다.

도시 대기 중에 존재하는 PAHs의 경우에는 비록 저농도이기는 하나 일반대중이 쉽게 노출되는 실내·외 공기 중 어디에나 널리 분포되어 있을 수 있어, 노출되는 대상인구가 많고 그 노출 행태가 연속적이라는 특성 때문에 다른 발암성물질에 비해 상대적으로 더 많은 연구의 대상이 되어 왔고 그 중요성이 더욱 부각되어 왔다(WHO, 1987; IARC, 1983; USNAS, 1983). US EPA, NIOSH 등에서 관심을 가지는 물질은 대표적으로 17가지가지로 이 중 작은 분자량을 가진 PAHs는 대기 조건에서 주로 가스상으로 존재하며, 큰 분자량을 가진 PAHs는 부유분진에 흡착되어 존재하게 되는데, PAHs를 포함한 미량의 발암성물질들을 함유하고 있는 부유분진은 대개 10  $\mu\text{m}$  이하의 입자(미세먼지)로서 최근 들어 건강에 영향을 주는 먼지의 크기로서 주목받고 있다(정 용 등, 1998).

그러나, 환경오염요인측면에서 대기중의 PAHs를 측정하는 것은 기술적으로 어려우며, 특히 벤젠고리가 세 개 이하인 경우 측정이 매우 어려워 일반적인 적용에 제한점이 있다(Kaup, 1992; 백성우 등, 1998). 또한 PAHs는 다양한 발생원에서 배출되기 때문에 여러 경로를 거쳐 인체에 노출되며, 대기 오염에 의한 노출은 직업적 노출이나 흡연에 비해 그 절대량이 적기 때문에 대기 오염에 의한 노출량을 측정하는데 많은 어려움이 따른다. 따라서 대기 오염을 통한 PAHs의 노출을 평가하기 위해서는 직업적 노출, 음식, 흡연 등의 다른 노출요인을 배제하거나, 동시에 고려한 연구설계를 하는 것이 필수적이다.

최근 들어 환경오염물질의 노출로부터 그 영향인 건강영향에 이르는 과정에 대한 정보를 제공할 수 있는 방법론인 생물학적 지표가 개발되어 환경노출요인 측정이 어려운 경우 그 대안으로서 널리 적용이 되고 있다. PAHs에 대한 개개인의 전체 노출지표로서 적용할 수 있는 생물학적 지표로는 PAHs를 구성하는 한 물질인 pyrene과 naphthalene의 요중 대사산물인 1-hydroxypyrene과 2-naphthol이 있다.

Pyrene은 인체에 발암성이 없는 것으로 알려져 있지만, 비교적 PAHs 오염환경의 많은 부분을 차지하고 (Butler *et al.*, 1981) 50% 정도가 가스상으로 발생되며 (Leinster *et al.*, 1986), 총 PAHs 농도와의 상관성이 매우 높은 것으로 보고되어져 있다(Tjoe *et al.*, 1993). 또한 pyrene은 하루 총 PAHs 흡수량 중에서 가장 많

은 양(23%)이 흡수되며(Vaessen *et al.*, 1986) 그 구성 비율이 일정하고, 다른 성분과도 가장 상관성이 높기 때문에 PAH 노출을 알려주는 생체지표로 이용되고 있다(Jongeneelen *et al.*, 1987). pyrene을 이용하여 연구한 결과 총 흡입량의 평균 75%가 피부를 통하여 체내로 들어왔다는 것을 발견하였으며(Vanrooij *et al.*, 1993) 체내로 흡수된 pyrene은 대부분이 1-hydroxypyrene glucuronide(1-OHPG)나 1-hydroxypyrene(1-OHP)의 형태로 소변을 통해 배설되므로(Singh *et al.*, 1995), 요중 1-OHPG나 1-OHP의 농도를 측정하여 인체에 흡수된 PAH 양을 평가할 수 있다. 그러나 요중 1-OHP나 1-OHPG 농도는 노출 경로에 따른 PAH 노출 정도를 정확하게 반영하지 못한다는 단점이 있다. 이에 비해 naphthalene은 거의 대부분 호흡기를 통하여 흡수되는 PAH로서(Tingle *et al.*, 1993), 흡입하면 매우 빠르게 흡수되지만, 경구나 피부를 통해서도 흡수속도가 느리다. 흡수된 naphthalene은 hydroxylation되어 1-, 또는 2-naphthol이 되고, 그 후 glucuronide나 sulfate가 결합되면 수용성을 갖게 되어 소변을 통해 배설된다(Jansen *et al.*, 1995).

PAHs의 노출지표로서 요중 PAHs의 대사산물의 유용성에 대한 연구는 대부분이 PAHs 고노출근로자 집단에 대해서 수행되어 왔고(김 현 등, 1999; Gilbert 등, 1997; 이송권 등, 1997; Obrebo 등, 1995; Hansen 등, 1994; Grimmer 등, 1993; Buchet 등, 1992; Jongeneelen 등 1988, 2001), 노출 수준이 낮은 일반인구집단에 대해 적용한 연구는 Kang 등(2002)이 중학교 남학생을 대상으로 조사한 보고서나 Kim 등(2001)이 대학생을 대상으로 한 연구 등이 보고되어 있을 뿐 아직까지는 드문 실정이며, 일반적인 대기의 상태에서 미세먼지에 주로 흡착되는 PAHs의 특성을 고려한 연구는 이루어진 바 없다.

또한 Jongeneelen 등(2001)에 의해 현재까지 PAHs 노출에 대한 1-OHP의 BEI(Biological exposure index, 생물학적 노출지수)참고치가 흡연자와 비흡연자에서 각각 제시되고 있기는 하나 일반적인 기준으로 인정된 것은 아니다. 따라서 본 연구에서는 대기오염과 건강과의 관련성에 관한 연구의 일환으로 일상환경에서 가장 민감하게 반응할 수 있는 인구집단을 대상으로 요중 1-OHP와 2-naphthol의 배설량 및 그 관련요인을 살펴보기 위해 직업적 노출이 거의 없는 일반노인들을 대상으로 요중 1-OHP 농도와 2-naphthol 농도를 분석하고, 이 배설량이 흡연과 음주 등의 생활습관 그리고 미세

먼지 등과 같은 대기환경과 관련성이 있는지 평가하는 것을 목적으로 수행되었다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1. 연구대상 및 연구자료

#### 2.1.1. 대상

이 연구는 부산광역시 기장군에 거주하고 있는 65세 이상의 노인 중 남자 122명을 대상으로 2002년 12월 10일부터 24일까지 수행된 노인건강증진사업 기초조사로부터 수집된 설문조사결과와 소변시료를 이용하였다.

기장군에 거주하는 65세 이상 고령자는 전체구민의 약 9.5%에 해당하며, 이 지역은 1994년 이후 부산시의 도시계획안에 의해 주거, 상업 및 공업지역이 크게 증가하였고, 도로의 포장 및 확충공사와 산업구조의 현대화로 공장용지와 도로용지가 90% 이상이나 증가하였으며, 울산과 양산을 경유하는 차량들이 날로 증가하고 있다. 또한 산업시설의 증대와 도시화로 청·장년층 인구의 많은 전·출입이 있기는 하나 세대수가 매년 증가하고 있으며, 그 중에서도 60세 이상의 인구구성비가 가장 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다(기장군 통계연보, 2001). 따라서 대기오염에 가장 민감하게 반응하는 높은 노인인구비율과 최근의 도시화 및 산업화에 따른 대기오염의 가능성에 기인하여 대상지역으로 선정하였다.

#### 2.1.2. 대기오염자료

부산광역시 보건환경연구원의 종합환경감시센터에서 운영하는 11개의 대기오염측정소 중 기장읍에 설치된 지역대기측정망을 통해 2002년 1월부터 12월까지 측정된 일별 관측자료를 이용하였다. 측정항목은 SO<sub>2</sub>(아황산가스), NO<sub>2</sub>(이산화질소), CO(일산화탄소), O<sub>3</sub>(오존), PM10(미세먼지), THC(총탄화수소) 및 기상인자(풍향, 풍속, 기압, 기온, 상대습도, 일사량, 자외선) 등이며, 각 측정소에서는 0-24시까지 1시간 간격으로 수회 측정하여 평균치를 구하였다. 대기 중 미세먼지(PM10)의 측정값의 평균은 조사기간 동안의 대기 중 PM10의 측정값의 일별 평균을 구하고, 조사당일, 1일전, 2일전 등의 평균값은 1일 자료를 근거로 해당일의 산술평균값을 사용하여 대기오염지표를 산출하였다.

기장군의 대기오염정도는 연평균 SO<sub>2</sub>가 0.004 ppm, NO<sub>2</sub> 0.012 ppm, CO 0.48 ppm, O<sub>3</sub> 0.027 ppm, 그리고 PM10이 53 µg/m<sup>3</sup>으로 대체적으로 대기환경기준

이하의 수치를 나타내었으며 12월 월평균도 연평균 값과 유사하게 나타났다. 그러나 조사기간동안 다른 항목은 12월 월평균과 비슷한 수치를 나타냈으나, PM10은 101.23 µg/m<sup>3</sup>으로 다소 높은 수치를 나타내었다. 요중 대사산물과의 관련성을 관찰하기 위해 2001년 1월 1일부터 적용된 환경기준치 중 24시간 평균치인 150 µg/m<sup>3</sup>이하를 기준으로 통계적인 유의성을 검토하였다.

#### 2.1.3. 설문조사

연령, 교육수준, 직업, 흡연, 음주, 외식빈도, 육류섭취태도, 그리고 영양상태를 조사하기 위하여 보건소 직원 및 동부산대학교 학생들이 노인들을 대상으로 일대일 면담을 통해서 설문조사를 실시하였다. 이 설문지 중에서 영양상태는 스위스의 네슬레 연구소와 프랑스의 대학연구기관에서 공동으로 제작한 영양 스크리닝용 측정도구로서 영양불량의 위험을 가진 노인들을 가려내어 그들에게 영양중재를 실시하기 위한 목적으로 만들어진 Mini-Nutritional Assessment(MNA)를 한국어로 번역하여 사용하였다. 측정내용은 신체계측, 식행동평가, 건강과 영양에 대한 자각도 문항으로 구성되어 있으며, 스크리닝을 위한 6개의 항목과 평가를 위한 12개의 항목을 합한 점수가 30점 만점에 17점 미만이면 영양불량군으로, 17-23.5점이면 위험군, 그 이상이면 건강군으로 분류되어진다.

### 2.2. 시료의 채취 및 분석방법

#### 2.2.1. 소변 채취 및 요중 creatinine 측정

Polypropylene tube에 소변 25 ml를 채취한 후 자외선에 노출되지 않도록 aluminum foil에 싸서 실험실로 운반하여 즉시 영하 20°C에 냉동시킨 후 일주일 이내에 분석하는 것을 원칙으로 하였으며 분석하기 전에 낮은 온도에서 서서히 해동시켜 시료로 사용하였다. 이 중 일부를 부산대학병원 임상검사실에 의뢰하여 creatinine 농도를 측정하였다.

#### 2.2.2. 요중 1-OHP측정

##### 2.2.2.1. 시료전처리

Jongeneelen 등(1987)의 분석방법을 일부 변화하여 요중 1-OHP 농도를 측정하였다.

대상자로부터 채취한 소변은 2 N sodium acetate buffer로 pH를 5.0으로 조정한 후 β-glucuronidase/(aryl) sulfatase(10,000 Fishman U/ml)를 첨가하여 water bath(37°C)에서 16시간동안 가수분해 시킨 후

역상 C18 sep-park cartridge에 여과하여 HPLC-fluorescence detector로서 분리된 1-hydroxypyrene 물질을 확인 정량하였다.

표준용액은 blank urine에 일정량의 표준시약을 농도 별로 첨가하여 표준시료를 만들어 시료와 동일한 방법으로 분석하여 기지의 농도와 검출결과를 이용하여 검량선을 작성하였다.

#### 2.2.2.2. 측정

전처리가 끝난 시료를 펌프(P580 LPG)와 형광 검출기(RF2000), 그리고 자동시료주입기(ASI-100), 자료처리장치(Chromleon)로 구성된 HPLC system를 사용하여 분석하였다. HPLC용 컬럼은 150 mm×4.6 mm의 Tosoh TSK gel ODS-80TM reverse phase를 사용하였다. 이동상은 60% acetonitrile을 사용하였으며, 분당 1ml의 속도로 흘려주었다. 형광검출기의 파장은 excitation( $\lambda_{ex}$ ) 242 nm, 그리고 emission( $\lambda_{em}$ ) 388 nm를 사용하였다.

#### 2.2.3. 요중 2-naphthol 측정

Kim 등(1999)의 방법을 사용하여 측정하였다.

##### 2.2.3.1. 시료 전처리

1-OHP 측정시 사용한 방법과 동일하게 처리하였다.

##### 2.2.3.2. 측정

1-OHP 측정시 사용한 HPLC system을 사용하여 분석하였다. 컬럼은 250 mm×4.5 mm의 YMC J'sphere ODS-H80를 사용하였고, 이동상은 38% acetonitrile을 사용하였으며, 분당 1 ml의 속도로 흘려주었다. 형광검출기의 파장은 excitation( $\lambda_{ex}$ ) 227 nm, 그리고 emission( $\lambda_{em}$ ) 355 nm를 사용하였다.

### 2.3. 통계분석

연구대상자들의 요중 1-OHP와 2-naphthol 농도가 한쪽으로 치우치는 분포를 하였으므로 대수변환한 값을 이용하여 분석하였다. 먼저 요중 크레아티닌으로 보정한 1-OHP와 2-naphthol 농도의 기하평균과 범위를 제시하였으며 다음으로 연구대상자의 연령, 교육수준, 직업, 흡연, 음주, 외식빈도, 육류섭취빈도, 그리고 영양상태 등과 1-OHP 및 2-naphthol의 농도사이의 관련성을 평가하기 위해 연령은 74세 이하와 75세 이상, 교육수준은 무학과 초등교육이상, 직업은 농·축·수산업과 기타, 흡연과 알코올 섭취, 외식빈도, 그리고 육류섭취 지방의 처리는 유, 무로 구분하였고 영양상태는 정상과 불량으로 구분하여 t-검정을 시행하였으며, 각

인자들의 영향을 보정한 상태에서 관련성을 평가하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다.

통계분석에는 SPSS 11.0을 사용하였으며 통계학적으로 유의성은 0.05로 하였다.

## 3. 결 과

### 3.1. 연구 대상자들의 일반적 특성

연령별 분포는 70대가 가장 많았고, 60대, 80대 이상 순으로 분포하였으며, 이들의 평균 연령(표준편차)은 73.1(±5.2)세였다. 대상자 중 27.9%(34명)가 글자를 모르거나 무학이었고, 초등교육이상을 받은 사람은 72.1%(88명)이었다. 68%(83명)가 농·축·수산업에 종사하였으며, 기타군에는 기술전문직, 자영업, 사무직 등의 순으로 직업분포를 이루고 있었고, 대상자 중 67.2%(82명)이 비흡연가였으며, 음주군 53.3%(65명)과 비음주군 46.7%(57명)은 비슷한 분포를 이루고 있었다.

Table 1. Demographic characteristics of the study subjects

Variables	Categories	Number(%)
Age (years)	65-69	36 (29.5%)
	70-74	43 (35.2%)
	75-79	28 (23.0%)
	80≤	15 (12.3%)
Educational level	No schooling	34 (27.9%)
	Elementary school	56 (45.9%)
	Middle school	19 (15.6%)
	High school or more	13 (10.6%)
Working status	Agriculture · livestock · fishery	83 (68.0%)
	Technical profession · general worker	15 (12.3%)
	Self-management business	9 (7.4%)
	Unemployment · without occupation	15 (12.3%)
Smoking status	Non smokers	37 (30.3%)
	Ex smokers	45 (36.9%)
	Current smokers	40 (32.8%)
Frequency of drinking	Non drinkers	57 (46.7%)
	2 times or less a week	34 (27.9%)
	3 times or more a week	31 (25.4%)
Frequency of eat out	Hardly eats out	65 (53.3%)
	2-3 times a month	48 (39.3%)
	3-4 times or more a week	9 (7.3%)
Intake of fat attached to food	Eats as it is	81 (66.4%)
	Take off only a large section	6 (4.9%)
	Eats after a removal	20 (16.4%)
	No eat	15 (12.3%)
Nutritional status	Normal	76 (62.3%)
	Abnormal	46 (37.7%)

식이변수로서 취급될 외식빈도의 경우 거의 하지 않거나 전혀 안한다는 군이 43.4%(53명), 주 1-2회 이상 한다는 군이 56.6%(69명)이었고 육류의 기름부위처리에 관해서는 그대로 먹는다는 군이 66.4%(81명)로 지방을 제거한 후 먹는다는 군인 33.6%(41명)보다 2배가량 많았다. 영양상태는 정상이 62.3%(76명), 불량위험이 있거나, 영양불량인 군이 37.7%(46명)이었다.

**3.2. 조사대상자들의 요중 1-OHP와 2-naphthol 배설량**

조사대상자들에서 크레아티닌을 보정한 요중 1-OHP의 농도는 산술평균이 0.35±0.71 μmole/mole creatinine, 기하평균이 0.097 μmole/mole creatinine이었고, 2-naphthol의 농도는 산술평균이 1.13±1.20 μmole/mole creatinine, 기하평균이 0.692 μmole/mole creatinine으로 그 범위는 각각 0.001-5.525 μmole/mole creatinine, 0.001-7.013 μmole/mole creatinine으로 나타났고, 연령별 크레아티닌을 보정한 요중 1-OHP 농도는 연령에 따라 기하평균 0.042~0.188 μmole/mole creatinine이었고 요중 2-naphthol 농도는 기하평균 0.614~0.814

**Table 2.** Distribution of urinary 1-hydroxypyrene(1-OHP) and 2-naphthol in each age group (unit: mole/mole creatinine)

Metabolites	Age group (years)	Geometric mean	Range
1-OHP	65-69	0.1877	0.0036 - 3.2881
	70-74	0.1026	0.0001 - 5.5251
	75-79	0.0423	0.0000 - 2.9193
	80	0.0624	0.0025 - 0.7194
2-naphthol	65-69	0.6135	0.0204 - 7.0128
	70-74	0.8139	0.0384 - 4.9617
	75-79	0.5724	0.0013 - 4.8029
	80	0.7152	0.0356 - 4.2474

μmole/mole creatinine으로 절대량으로 볼 때 2-naphthol이 1-OHP에 비하여 약 9배가량 많았다(Table 2).

**3.3. 연구대상자들의 일반적 특성에 따른 요중 대사산물 농도와의 관련성**

연령과 요중 1-OHP농도와의 관련성은 74세 이하 노인군의 기하평균이 0.144 μmole/mole creatinine, 75

**Table 3.** The mean concentrations of urinary 1-hydroxypyrene (1-OHP) by general characteristics (unit: mole/mole creatinine)

Variables	No.	Geometric mean	Range	Ratio of geometric mean	p-value*
Age					
≤ 74	79	0.144	0 - 5.525	1.0	
≥ 75	43	0.048	0 - 2.919	0.334	0.006
Education					
No	34	0.088	0 - 1.292	1.0	
Elementary or more	88	0.101	0 - 5.525	1.147	0.751
Job					
Agriculture · livestock · fishery	83	0.077	0 - 5.525	1.0	
Others	39	0.167	0 - 2.399	2.168	0.021
Smoking					
No	82	0.093	0 - 3.288	1.0	
Yes	40	0.107	0 - 5.525	1.150	0.734
Alcohol					
No	57	0.089	0 - 5.525	1.0	
Yes	65	0.105	0 - 2.399	1.186	0.657
Frequency of eat out					
No	53	0.101	0 - 5.525	1.0	
Yes	69	0.094	0 - 2.399	0.933	0.869
Handling of fat					
No	81	0.092	0 - 2.919	1.0	
Yes	41	0.108	0 - 5.525	1.170	0.701
Nutritional status					
Normal	76	0.090	0 - 2.919	1.0	
Abnormal	46	0.110	0 - 0.525	1.235	0.613

\*p-value was calculated by t-test

세 이상 노인군의 기하평균이 0.048  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 으로 74세 이하의 노인군이 3배정도 높게 나타났다(통계학적으로 유의한 차이를 보임을 알 수 있었다( $p=0.006$ )). 교육수준정도와 요중 1-OHP농도와의 관련성에서는 무학인 노인군의 기하평균이 0.088  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 초등교육이상의 노인군의 기하평균이 0.101  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 로 나타났다(유의한 상관관계는 관찰되지 않았다). 직업과 요중 1-OHP 농도와의 관련성에서는 농·축·수산업에 종사하는 노인군의 기하평균이 0.077  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 그 외의 직업, 즉 기술직이나 사무직, 자영업, 무직 등을 포함하는 기타의 노인군에서의 기하평균이 0.167  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 으로 2배가량 높게 나타났으며 유의수준  $p<0.05$  수준에서 유의적인 차이를 나타내었다( $p=0.021$ ). 그 외 신체적 건강상태나, 식생활 태도, 그리고 영양상태와 요중 1-OHP농도 사이에서는 모두 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다(Table 3).

요중 2-naphthol의 농도와 연령이나 교육수준정도와 의 관련성에서는 통계적인 유의성이 나타나지 않았으

나 직업과 요중 2-naphthol의 농도와의 관련성에서는 농·축·수산업에 종사하는 노인군의 기하평균이 0.547  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 기타의 직업에 종사하는 노인군의 기하평균이 1.157  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 으로 높게 나타났고 유의수준  $p<0.01$ 수준에서 매우 유의한 차이를 나타내었다( $p=0.004$ ). 또한 흡연과 요중 2-naphthol의 농도와의 관련성은 비흡연 노인군의 기하평균이 0.594  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 흡연 노인군의 기하평균이 0.940  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 으로 흡연 노인군에서 높게 나타나, 유의수준  $p<0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 나타내었다( $p=0.038$ ). 그러나, 알콜섭취 유무, 식생활 태도, 영양상태와 요중 2-naphthol의 농도사이에서는 유의한 관련성이 관찰되지 않았다(Table 4).

#### 3.4. 대기 중 PM10과 1-OHP, 2-naphthol의 농도와의 관련성

조사기간동안 측정된 대기 중 PM10의 농도는 최저 12.65  $\mu\text{g/m}^3$ 에서 최고 402.46  $\mu\text{g/m}^3$ 까지의 값을 보였으며, 평균(표준편차)은 101.23(120.42)  $\mu\text{g/m}^3$ 이었다.

**Table 4.** The mean concentrations of urinary 2-naphthol by general characteristics

(unit: mole/mole creatinine)

Variables	No.	Geometric mean	Range	Ratio of geometric mean	p-value*
Age					
$\leq 74$	79	0.734	0 - 7.013	1.0	
$\geq 75$	43	0.619	0 - 4.803	0.843	0.509
Education					
No	34	0.649	0 - 4.803	1.0	
Elementary or more	88	0.709	0 - 7.013	1.093	0.745
Job					
Agriculture · livestock · fishery	83	0.547	0 - 4.247	1.0	
Others	39	1.157	0 - 7.013	2.115	0.004
Smoking					
No	82	0.594	0 - 4.962	1.0	
Yes	40	0.940	0 - 7.013	1.581	0.038
Alcohol					
No	57	0.760	0 - 4.962	1.0	
Yes	65	0.638	0 - 7.013	0.840	0.480
Frequency of eat out					
No	53	0.779	0 - 4.962	1.0	
Yes	69	0.633	0 - 7.013	0.813	0.405
Handling of fat					
No	81	0.723	0 - 7.013	1.0	
Yes	41	0.635	0 - 4.279	0.879	0.619
Nutritional status					
Normal	76	0.603	0 - 7.013	1.0	
Abnormal	46	0.863	0 - 4.803	1.431	0.155

\*p-value was calculated by t-test

대기 중 PM10과 요중 1-OHP, 2-naphthol의 농도와 의 관련성을 환경기준치 중 24시간 평균치인 150 µg/m<sup>3</sup> 이하를 기준으로 비교 검토하였다. 조사당일, 조사 1일전부터 조사당일까지, 그리고 조사일 2일전부터 조사당일까지의 평균 PM10 농도가 150 µg/m<sup>3</sup>을 초과한 경우는 그 이하인 경우에 비하여 요중 1-OHP의 농도가 낮았으며 조사일 2일전부터 조사당일까지의 평균 PM10 농도에 따른 요중 1-OHP는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.001). 요중 2-naphthol농도는 PM10의 평균농도가 150 µg/m<sup>3</sup>을 초과한 경우에 그 이하인 경우와 비슷한 값을 보이거나 약간 낮은 값을 보였으나 통계학적 유의성은 없었다(Table 5).

위의 결과에서 유의성을 나타낸 변수들은 각 인자의 영향이 복합적으로 작용해서 요중 대사산물의 농도에 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 그러한 영향을 감안하기 위해 이들 변수의 영향을 보정한 상태에서 각각의 독립된 영향을 추정하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다.

먼저 요중 1-OHP 농도에는 조사 2일전의 PM10 평균 농도가 환경기준치 이하인 경우 가장 유의한 변수임을 알 수 있으며(p<0.001) 그 다음으로 연령이 74세 이하의 노인이 75세 이상보다 그 농도가 높게 나타난다는 사실을 알 수 있다. 그러나 직업은 유의한 영향을 미치는 변수가 아님이 관찰되었다. 그리고 요중 2-

**Table 7.** Spearman correlation coefficients between temperature, wind velocity, carbon monoxide and PM10 levels

		Temperature	Wind velocity	CO
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	r	-0.253	-0.226	0.242
	p-value	0.345	0.339	0.367

naphthol 농도의 경우는 농·축·수산업에 종사하는 노인군과 흡연하고 있는 노인에서 통계학적으로 유의한 연관성을 보였으며 흡연보다는 직업이 더 크게 영향을 미치는 것으로 관찰되었다(Table 6).

그러나 다중회귀분석의 결과, 1-OHP의 농도와 PM10의 농도사이의 관련성이 음의 결과로 나타났으므로 이에 영향을 미칠 수 있는 주요 대기환경인자인 기온, 풍속, CO와의 관련성을 살펴보았다. Table 7에서 보여진 결과와 같이 조사기간동안의 평균풍속은 평월보다 강했고, 기온은 낮았던 것이 원인으로 작용하여 대기 중의 PM10 농도는 낮더라도 실내에서의 난방에 의한 PAHs 노출가능성을 고려해 볼 수 있다.

#### 4. 고 찰

대기오염은 불특정다수인에게 피해를 주어 지역사회

**Table 5.** The mean concentrations of urinary 1-hydroxypyrene (1-OHP) and 2-naphthol by PM10 levels (unit: mole/mole creatinine)

PM10 indices (µg/m <sup>3</sup> )	Metabolites	No.	Geometric mean	Range	Ratio of geometric mean	p-value *
Daily mean of two days before each survey day	1-OHP	≤150	0.180	0 - 5.525	1.0	<0.001
		>150	0.039	0 - 1.292	0.217	
	2-naphthol	≤150	0.767	0 - 4.962	1.0	0.292
		>150	0.588	0 - 7.013	0.767	

\*p-value was calculated by t-test

**Table 6.** Multiple regression analysis of urinary 1-hydroxypyrene (1-OHP) and 2-naphthol concentrations

Metabolites	B	SE	t	p-value *
<b>1-OHP</b>				
Age (≥75 vs. ≤74year)	-0.402	0.160	-2.520	0.013
Job (Others vs. Agriculture · livestock · fishery)	0.176	0.169	1.041	0.300
PM10 <sup>†</sup> (>150 vs. ≤150 µg/m <sup>3</sup> )	-0.614	0.157	-3.921	<0.001
<b>2-naphthol</b>				
Job (Others vs. Agriculture · livestock · fishery)	0.342	0.110	3.123	0.002
Smoking (Yes vs. No)	0.225	0.108	2.077	0.040

PM10: Daily mean of two days before survey day (µg/m<sup>3</sup>)

수준에서 고려해야할 대표적인 환경오염으로, 인간의 건강에 미치는 영향은 아주 다양하다. 수많은 대기유해 물질 중에서도 다환방향족 탄화수소(PAHs)와 그 유도체들은 발암과 돌연변이를 유발하는 동시에 산업체와 같은 특정한 작업환경뿐만 아니라 일반대중이 쉽게 노출되는 실내·외 공기 중 어디에나 널리 분포되어 있을 수 있고, 또한 다양한 발생원에서 배출되기 때문에 여러 경로를 거쳐 인체에 노출될 수 있다(Menize *et al.*, 1992; WHO, 1987; IARC, 1983; USNAS, 1983). 이러한 대기오염에 의한 건강영향을 체계적으로 평가하기 위해서는 가장 큰 영향을 미치는 오염물질과 가장 예민하게 영향을 받게 되는 인구집단을 우선적으로 선정하여 대책을 세우는 것이 가장 효과적이다(이미영 등, 2000).

본 연구에서는 대기오염에 취약하다고 알려진 65세 이상의 노인을 대상으로 요중 대사산물을 분석한 결과, 요중 1-OHP의 농도가 기하평균 0.097  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 2-naphthol의 농도가 기하평균 0.692  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 으로 나타났다. 이러한 결과는 이철호 등(2003)의 연구에서 평균연령이 63.7세인 대조군의 1-OHP농도가 기하평균 0.07  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 로 나타난 것과 유사한 결과이다. 그러나, Ovrebø 등(1995)이 대기 오염이 심한 지역과 심하지 않은 지역의 일반인구집단을 대상으로 연구를 수행한 결과에서 공업지역 주민의 평균 요중 1-OHP농도는 0.41-1.54  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 비공업지역 주민의 평균 요중 1-OHP농도는 0.14-0.20  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 와 비교시에는, 본 연구대상자들의 거주 지역이 많은 중소기업체가 입주하여 공업단지를 형성하고 있다는 지역적 특수성을 함께 고려해 보더라도 비공업지역 주민보다도 낮은 수준을 보여주고 있다. 또한 2-naphthol의 농도도 Kim 등(1999)의 연구결과나 Kang 등(2002)의 결과와 비교시 다소 낮은 경향을 보였는데 현재까지의 연구들이 주로 1-OHP를 PAHs의 노출지표로 이용하여 수행되고 있긴 하지만 건강장해에 대한 검토를 기반으로 한 1-OHP의 참고치가 아직 제시되지 못하고 있는 실정이고, 또한 연령별 참고치가 없는 실정이라 향후 추가적인 연구를 통해 확인되어야 할 것이다.

그러나 Jongeneelen 등(2001)에 의하면 현재까지 PAHs 노출에 대한 1-OHP의 BEI 참고치는 첫째, 직업적 노출이 없는 흡연자와 비흡연자에서 각각 0.24  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 과 0.76  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ ,

둘째 생물학적 영향이 문헌에서 보고되지 않은 최저치인 1.4  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ , 셋째 직업적 노출이 있는 근로자에서 보고된 값 중 코크스제조업과 알루미늄 제조업에서 보고된 값이 각각 2.3  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 과 4.9  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 이었다고 하였다. 그러므로 현재까지는 다수의 연구들에서 2.3  $\mu\text{mole/mole creatinine}$ 을 BEI로 참고하기는 하나, 일반적인 기준으로 인정된 것은 아니다.

기존 연구에 의하면 소화기를 통해 섭취된 PAHs는 대사되어 요중으로 배설될 때까지 섭취 후 24시간 이내에 정점에 올라 섭취 72시간이 지나면 대부분 배설되는 것으로 알려져 있다(Kang, 1994). 그러나 호흡기 중으로 흡입된 PAHs의 대사 및 배설이 먼지에 포함된 형태로 탐식과정을 거치는지, 아니면 먼지에 포함된 PAHs가 직접 혈중으로 흡수되는지에 관하여 아직 정확한 약물·역동학적 특성은 거의 알려진 바 없지만 소화기를 통해 직접 흡수되는 경로와는 다를 것으로 일부 연구자들이 추정하고 있다. Kang 등(2002)의 연구에 의하면 호흡기 등을 통해 흡입된 PAHs의 경우, 대사되어 배설되는 양이 흡기 후 약 24-48시간이 경과한 후 정점에 이르는 것으로 추정하였고 본 연구의 결과에서도 통계적인 관련성 외에 생물학적으로 타당한 시간관계를 함께 나타내어보면 평균 체노시각을 오전 9-10시 전후로 볼 때 2일전의 대기오염지표와의 생물학적으로 타당한 시간관계를 알 수 있고 이에 대한 해석도 가능하다고 판단된다.

본 연구에서 요중 PAHs 대사물질의 농도는 1-OHP와 2-naphthol 모두 농·축·수산업 이외의 기타직업에 종사하는 노인군에서 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 이러한 결과는 연령별 비교에서 74세이하 노인군의 1-OHP농도가 더 높게 나타난 결과와 도시화의 영향으로 농·축·수산업에 종사하는 시간이 현저히 줄어들고, 직업을 가진 노인이라고 하더라도 실내에서 근무하는 사무직의 경우가 더 많은 원인에서 기인한다고 사료된다. 특히 2-naphthol의 농도는 기타 직업군 노인에게서 1-OHP에 비하여 7배 정도로 매우 높게 나타났을 뿐 아니라 비흡연 노인군의 1-OHP농도에 비해서도 6배 가량 높은 것으로 나타나 흡연 습관에 관련된 변수로 1-OHP보다는 2-naphthol과 더 좋은 관련성을 보여주었다. 이러한 결과들을 종합해 보면 저농도의 PAHs를 흡입하는 일반인구집단에서는 naphthalene이 pyrene에 비하여 더 많은 양이 체내로 흡수되며, 따라서 요중 2-naphthol 배설량이 1-OHP에 비해 수 배 내지 수십

배에 해당하므로 2-naphthol 농도를 측정하는 것이 PAHs 노출평가에 더욱 적합하다는 보고와 잘 일치한다(김 등, 2002; Yang 등, 1998; Tingle 등, 1993). 그러나 pyrene은 식이를 통해서도 흡수될 수 있는 것으로 알려져 있어(Kang, 1994; Van Rooji 등, 1994) 식이요인에 의한 노출도 함께 평가해야만 호흡기를 통한 PAH 노출을 평가할 수 있다.

본 연구결과에서, 요중 1-OHP 및 2-naphthol 농도와 식이습관 요인 사이에는 관련성이 관찰되지 않았으나, Kang 등(1995)은 구운 고기 섭취력과 요중 1-hydroxypyrene glucuronide(1-OHPG)의 관련성에 대한 연구를 수행하여 직업적 폭로가 없는 인구집단에서 구운 고기섭취에 따라 요중 1-OHPG의 농도가 크게 변동한다고 보고하였다. Kim 등(1999)의 보고에서도 요중 2-naphthol 농도와 식이습관 요인 사이에는 관련성이 관찰되지 않았으나 요중 1-OHP농도는 일부 식이 관련 요인과 유의한 관련성이 있음을 보고한 바 있다. 그러나 Kang 등(2002)의 연구에서는 불에 굽거나 태운 고기, 구운 생선, 조개, 시금치나 잎이 넓은 야채, 한약 등의 복용력과 요중 1-OHP, 2-naphthol 간에는 유의한 상관관계를 관찰할 수가 없었다고 보고하였다. 이러한 상반된 연구결과들은 식이섭취량을 설문지를 통해 조사할 수 있는 체계화된 측정도구가 아직까지 없고, 섭취횟수를 묻는 문항의 구분에 따라 식이섭취량을 정량화 및 범주화한다는 것이 부정확하기 때문에 설문조사를 통해서도 정확한 식이섭취를 측정하기가 어렵다는 제한점이 있다. 따라서 식이습관과 PAHs의 노출을 평가하기 위해서는 실험실적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

한편, 대부분의 발암성 PAH는 주로 입자상으로 존재하기 때문에 체류시간은 이동매체인 입자의 거동과 매우 밀접한 관계가 있는데, 보건학적 연구에서 입자의 크기가 10  $\mu\text{m}$ 보다 큰 입자는 입이나 코로 흡인이 되어, 호흡기를 통과할 때 대부분 제거되지만, 10  $\mu\text{m}$ 보다 작은 입자(PM10)는 입이나 코를 통과하여 내부의 호흡기관으로 이동되어 폐 기관속으로 유입되어 침착된다고 알려져 있다(이혜문 등, 1996; 박성은 등, 1992). 이러한 건강상의 이유로, 미국 환경 보호청에서는 NAAQS(National Ambient Air Quality Standards)에서 총부유분진(TSP, Total Suspended Particle)에 대해 기준을 제정하였고, 1987년 PM10으로 기준을 변경하였다. 이처럼 직경 10  $\mu\text{m}$  이하의 미세부유분진이 인체에 더욱 유해한 것으로 알려짐으로써 우리나라에서도

1995년 1월에 대기 환경 기준을 총부유분진에서 직경 10  $\mu\text{m}$  이하의 미세먼지(PM10)로 바꾸었다. 이 당시의 환경기준은 일평균 농도 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 기준은 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 그 후 2001년 1월 환경 법규를 개정하여 일평균 기준은 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 종전과 같으나 연평균 기준은 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화하여 PM10에 대해 보다 엄격한 규제를 하고 있다(환경부, 2001). 그러나 국내에서의 PAHs 연구결과들은 PM10과 다른 오염물질과의 상호작용에 관한 대기화학적 기초연구에 그치고 있으며 일반인에게서 PAHs의 대사산물을 통해 그 노출정도를 추정한 조사연구는 극히 미진한 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 대기 중 PAHs의 노출을 평가하기 위하여 요중 PAHs 대사산물의 농도를 측정하고 PM10과의 관련성을 관찰하였다.

기장군 지역의 PM10 농도는 조사기간 동안 환경기준치 중 일평균인 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하를 초과하는 날이 2일 정도 있었으며, 조사 1일전, 조사 당일의 대기 중 PM10 농도와 요중 1-OHP 및 2-naphthol 농도간에 관련성은 관찰되지 않았다. 그러나 조사 2일전부터 조사 당일까지의 PM10농도가 환경기준치 이하인 경우는 그 이상인 경우에 비해 1-OHP의 농도가 통계학적으로 유의하게 더 높았다( $p < 0.001$ ).

본 연구와 같은 연구형태에서 지역별 대기오염 측정 자료를 이용하여 폭로를 추정시, 대기오염정도가 지형이나 기상조건에 의해 크게 좌우되기 때문에 지역별 자료는 실제로 개인이 폭로되는 양과는 상당한 차이가 있을 수 있다(Lipmann, 1989). 또한 지역주민의 폭로양을 추정할 때 조사대상지역내에 설치된 자동측정망에서 측정된 자료를 특별한 조작 없이 사용하였고, 이 자료는 단지 측정된 장소의 대기오염 수준을 반영하는 것으로 연구대상이 실제 거주하거나 주로 생활하는 지역의 오염수준과는 차이가 있을 수 있다. 최진수 등(2003)의 연구결과에 의하면, 도시 대기 중의 PM10에 함유된 PAHs의 농도분포에 영향을 미치는 주요인자는 차량에 의한 PAHs의 배출량이 연중 일정하다고 가정할 때 계절적인 요소보다는 대부분이 가정과 산업체의 난방시설의 가동이 가장 큰 요인이 될 수 있다고 하였고, 또한 진윤하 등(2003)의 연구에 의하면 대부분의 개별 PAHs가 풍속과의 역상관관계로 인해 겨울철보다는 여름철에 높게 나타나지만 그 중에서도 pyrene과 같은 몇몇 성분들은 겨울철이 여름철에 비해 다소 높게 나타나는 특징을 보이는데 이는 겨울철 난방관련 연소원에 의한 배출이 큰 영향을 주는 인자이기 때문이

라고 보고하였다. 이에 비해 naphthalene과 같은 저분자 PAH는 휘발유 차량과 코크스 오븐에서 50% 이상 배출되는 특성을 나타낸다고 알려져 있다(Khalili 등, 1995). 물론 실내오염에 대한 영향도 배제할 수 없는데 이미영 등(2000)의 연구에 의하면, 옥외 작업자를 제외하고 대부분의 사람들은 하루 동안 실내에서 생활하는 시간이 90%정도로 훨씬 많으며, 특히 본 연구의 대상인 노인들의 경우 추운날 집안에 더 많이 거주하는 경향이 있다고 보고하였다.

위의 연구결과들을 고려해 볼 때, 본 연구결과에서 1-OHP와 PM10의 농도사이의 관련성이 음의 상관관계를 나타낸 것에 대한 적절한 해석이 가능한 것으로 판단된다. 즉, PM10 농도가 환경기준치 이하인 경우에 2-naphthol에 비해 1-OHP의 농도와 유의한 상관관계가 나타난 것은 조사기간동안의 PM10과 기온 및 풍속과의 관련성에서 나타났듯이 계절적인 요인으로 조사대상자들의 실외 활동이 비교적 낮고 상대적으로 실내에서 보내는 시간이 많아 난방시설의 가동에 의한 PAHs 노출의 영향이 크게 작용했을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구결과에서 개인별 노출수준에 대한 측정이 불가능하여 각 조사일별 대상자들은 동일한 노출을 갖는 것으로 가정하였는데, 이러한 경우 분석상 요충 PAH대사물질들을 설명하는 변수들의 값이 날짜별로 동일하게 되어 실제 관련성을 과소평가할 수도 있다(Kang 등, 2002). 따라서 이러한 요인에 의해 실제로는 존재하지 않는 관련성이 있는 것으로 나타날 가능성은 매우 적을 것이며 실제로는 요충 1-OHP와 대기중 PM10간에는 본 연구에서 나타난 가능성보다 더 큰 관련성이 나타날 수도 있으며, 한편 실외오염과 함께 실내공기오염과의 관련성에 대한 분석도 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 요 약

조사대상자들에서 크레아티닌을 보정한 요충 1-OHP의 농도는 기하평균(산술평균)이 0.097(0.35)  $\mu\text{mole}/\text{mole creatinine}$ 이었고, 2-naphthol의 농도는 기하평균(산술평균)이 0.692(1.13)  $\mu\text{mole}/\text{mole creatinine}$ 으로 그 범위는 각각 0.001-5.525  $\mu\text{mole}/\text{mole creatinine}$ , 0.001-7.013  $\mu\text{mole}/\text{mole creatinine}$ 으로 나타났다. 요충 1-OHP농도에는 조사 2일전의 PM10평균 농도가 환경기준치 이하인 경우 가장 유의한 변수임을 알 수 있으며( $p < 0.001$ ) 그 다음으로 연령이 74세 이하의 노

인군에서 그 농도가 높게 나타난다는 사실을 알 수 있다. 그러나 직업은 유의한 영향을 미치는 변수가 아님이 관찰되었다. 요충 2-naphthol 농도의 경우는 농·축·수산업에 종사하는 노인군과 흡연하고 있는 노인군에서 통계학적으로 유의한 연관성을 보였으며 흡연보다는 직업이 더 크게 영향을 미치는 것으로 관찰되었다.

## 참고문헌

- Buchet JP, Gennart JP, Mercado-Calderon F, Delavignette JP, Cupers L, Lauwreys R. Evaluation of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in a coke production and a graphite electrode manufacturing plant: assessment of urinary excretion of 1-hydroxypyrene as a biological indicator of exposure. *Br J Ind Med* 1992, 49, 761-768.
- Butler J, Crossley P. Reactivity of polycyclic aromatic hydrocarbons absorbed on soot particles. *Atmospheric environment* 1981, 15, 91-94.
- Cannon, JA. The regulation of toxic air pollutants. A critical review. *J Air Pollut Control Assoc* 1986, 36, 562-573.
- Grimmer G, Dettbarn G, Jacob J. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in highly exposed coke plant workers by measurement of urinary phenanthrene and pyrene metabolites(phenols and dihydrodiols). *Int Arch Environ Health* 1993, 65, 189-199.
- IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human. *Polynuclear aromatic compounds* 1993, vol 32, part 1, Lyon, France.
- Jansen EHJM, Shenk E, den Englsman G, van de Verken G. Use of biomarkers in exposure assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Clin Chem* 1995, 41, 1905-1906.
- Jongeneelen FJ, Anzion RBM, Henderson PT. Detection of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine. *J Chromatogr* 1987, 413, 227-232.
- Jongeneelen FJ, Anzion RBM, Scheepers PTJ, Bos RP, Henderson P, Nijenhuis EH, Veenstra SJ, Brouns RME, Winkes A. 1-Hydroxypyrene in urine as a biological indicator of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in several work environments. *Ann Occup Hyg* 1988, 32, 35-43.
- Jongeneelen, Frans J. Benchmark guideline for urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ann Occup Hyg* 2001, 45(1), 3-13.

- Jong-Won Kang, Soo-Hun Cho, Heon Kim, Chul-Ho Lee. Correlation of Urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol with total suspended particulates in ambient air in municipal middle-school students in Korea. *Archives of Environmental Health* **2002**, 57(4), 377-382.
- Kaupp H, Umlauf G. Atmospheric gas-particle partitioning of organic compounds: comparison of sampling method. *Atmos Environ* **1992**, 26(A), 2259-2267.
- Khalili, N.R., P.A. Scheff, and T.M. Holsen. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emission. *Atmos Environ* **1995**, 29(4), 533-542.
- Kim H, Cho SH, Kang JW, Kim YD, Nan HM, Lee CH, Kawamoto T. Urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol concentrations in male Koreans. *Int Arch Occup Environ Health* **2001**, 74, 59-62.
- Kim H, Kim YD, Lee H, Kawamoto T, Yang M, Katoh T. Assay of 2-naphthol in human urine by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr B* **1999**, 734(2), 211-217.
- Leinster P, Evans MJ. Factors affecting the sampling of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons a review. *Ann Occup Hyg* **1986**, 30, 481-495.
- Lipmann M, Liroy PJ. Critical issues in air pollution epidemiology. *Environ Health Perspect* **1985**, 62, 243-258.
- Menzie, CA et al, Ambient concentrations and exposure to carcinogenic PAHs in the environment. *Environmental Science and Technology* **1992**, 26(7), 1278-1284.
- Ovrebo S, Fjeldstad PE, Grzybowska E, Kure EH, Chorzing M, et al. A biological monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in a highly polluted area of Poland. *Environ Health Perspect* **1995**, 103(9), 838-843.
- Patrick, DR. Toxic Air Pollution Handbook. **1994**, 3-24, Van Nost and Reinhold.
- Singh R, Tucek M, Maxa K, Tenglerova J, Weyand EH. A rapid and simple method for the analysis of 1-hydroxypyrene glucuronide: a potential biomarker for polycyclic aromatic hydrocarbon exposure. *Carcinogenesis* **1995**, 16(12), 2909-2915.
- Tingle MD, Pirmohamed M, Templeton E, Wilson AS, Madden S, Kitteringham NR, Park BK. An investigation of the formation of cytotoxic, genotoxic, protein=reactive and stable metabolites from naphthalene by human liver microsomes. *Biochem Pharmacol* **1993**, 46, 1529-1538.
- Tjoe Ny Evelyn, Heederik Dick, Kromhout Hans, Jongeneelen Frans, The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons in air and in urine of workers in a Soderberg Potroom. *Am Ind Hyg Assoc J* **1993**, 54(6), 277-284.
- US, National Academy of Sciences. PAH-Evaluation of Sources and Effects 477 **1983**.
- USEPA. Handbook for Air Toxics Emission Inventory Development, vol. I: Stationary Sources, Office of air quality planning and standards. **1998**, Research Triangle Park, EPA-454/B-98-002.
- VanRooij JGM, Veeger MMS, Bodelier-Bade MM, Scheepers PTJ, Jongeneelen FJ. Smoking and dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons as sources of interindividual variability in the baseline excretion of 1-hydroxypyrene in urine. *Int Arch Occup Environ Health* **1994**, 66, 55-65.
- VanRooij JGM, Bodelier-Bade MM, Jongeneelen, FJ. Estimation of individual dermal and respiratory uptake of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in 12 coke oven workers. *Br J Ind Med* **1993**, 50, 623-632.
- WHO, IPCS, Environmental Health criteria 202, Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **1998**.
- WHO. Air Quality Guidelines for Europe. *European Sci* **23** **1987**, WHO Pub.
- Yang M, Koga M, Katoh T, Kawamoto T. A study for the proper application of urinary naphthol, new biomarkers for air-borne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Arch Environ Contam Toxicol* **1999**, 36, 99-108.
- 강종원. 다환성 방향족 탄화수소 노출지표로서 소변 중 1-hydroxypyrene의 정상 범위. *충북대의학술지* **1999**, 9(2), 125-132.
- 권호장, 조수현, 김선민, 하미나, 한상환. 실문지에 의한 대기오염의 호흡기계 증상발현에 관한 조사 연구. *예방의학지* **1994**, 27(2), 313-324.
- 김 현. 분자생물학적 기법을 활용한 대기오염 관련 연구. 2002년도 대한산업의학회 춘계학술대회 초록집 **2002**, 11-22.
- 박성은, 정 용. 서울시 대기부유분진의 농도와 다환방향족 유기물에 의한 발암 위해성. *한국대기보전학회지* **1992**, 8(4), 247-256.
- 백성욱, 최진수. 대기중 다환방향족탄화수소의 측정을 위한 시료포집방법의 비교평가. *한국대기보전학회지* **1998**, 14(1), 43-62.
- 백성욱. 대기중 다환방향족탄화수소 환경적 고찰. *한국대기환경학회지* **1999**, 15(5), 525-544.
- 이미영, 이충원, 서석권. 대구시 대기오염이 일별 사망에 미치는 영향(1993-1997). *대한산업의학지* **2000**, 12(2), 235-248.

- 이송권, 남철현, 노병의, 이영세, 조기현. 요증 1-OH-pyrene을 이용한 PAH환경근로자들의 노출평가 및 위생조치에 의한 총 노출량 감소효과. *한국산업위생학회지* 1997, 7(2), 264-278.
- 이송권. 요증 대사물질을 이용한 PAH 환경 근로자들의 노출평가 및 직업병 예방관리 개선 연구. *경산대학교 대학원 보건학 박사학위논문*, 1997.
- 이철호, 김 현, 홍윤철, 이계영, 강종원, 임동혁, 노성일, 권미성. 대기오염이 폐암발생에 미치는 영향에 대한 분자역학적 연구. *예방의학학술대회 초록집* 2003.
- 이혜문, 김동술, 이진홍. PM10에 중금속의 장기간 평균농도 및 위해도 평가. *한국대기보전학회지* 1996, 12(5), 555-566.
- 일본대기환경학회. *일본대기환경학회 특집호* 1997, 32, 1-140.
- 정 용 박성은, 황만식. 대기 부유분진 중 다환방향족 탄화수소류의 계절적 입경농도 분포 변이. *한국대기환경학회지* 1998, 14(6), 577-588.
- 진윤하, 구해정, 김봉만, 김용표, 박순웅. 한반도 11개 도시의 1995~2000년 PM10농도 변화 경향. *한국대기환경학회지* 2003, 19(2), 231-245.
- 최진수, 백성욱. 도시 대기 중 PM10에 함유된 다환방향족 탄화수소의 농도분포특성과 주요영향인자. *한국대기환경학회지* 2003, 19(1), 33-44.
- 환경부. *대기환경보전법* 2001.