

○○분야 - 연구자료
연 구 원 00-00-00
○-○○-○-00-00-00

발암성물질 취급사업장의 노출평가에 관한 연구(Ⅰ)

2001. 12

한 국 산 업 안 전 공 단
산업안전보건연구원

본 연구보고서에 기재된 내용은 연구책임자의
개인적 견해이며, 우리 공단의 공식견해가 아님
을 알려드립니다.

한국산업안전공단 이사장

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 발암성물질 취급사업장의 노출평가에 관한 연구 (I)의 최종 보고서로 제출합니다.

제출일자 : 2002년 1 월 15 일

주관연구부서 : 산업역학조사팀

연구책임자 : 김은아

공동연구자 : 심광진

요약문

1. 과제명 : 발암성물질 취급 사업장의 노출평가에 관한 연구 (I)

2. 연구기간 : 2001. 1 - 2001. 12

3. 연구자 :

연구책임자 책임연구원 김은아

공동연구자 책임연구원 심광진

4. 연구목적 : 직업성 암 유발물질인 다핵방향족탄화수소(Polynuclear aromatic hydrocarbon, 이하 PAHs)에 노출위험이 있는 콜타르 도료 취급 근로자에서 공기 중 PAHs 노출수준과 체내 대사물질인 1-hydroxypyrene(이하 1-OHP)의 농도를 분석하여, 콜타르 도료 취급 업종에서 PAHs 노출실태를 파악하고, 1-OHP와 PAHs의 관련성을 평가한다.

5. 연구내용 : 국내에서 콜타르 도료를 취급하는 주요 업종 근로자 일부를 선택하여, 이들에서 공기 중 PAHs 노출수준, 소변 중 1-OHP의 농도를 분석하며, 흡연의 영향을 보정하여 실제 작업에 의한 PAHs의 노출수준을 평가하였다. 이를 근거로 공기 중 PAHs 노출과 생체 대사산물 간의 상관성을 파악하여 타 연구들에서 제안된 1-OHP 생체노출지표(Biologic exposure index, 이하 BEI) 참고치와 비교함으로써, 콜타르 도료 취급 근로자에서 PAHs 노출의 특징을 파악하였다.

가. 연구대상에서 PAHs 노출수준은 기하평균 $0.092 \pm 8.67 \text{ mg/m}^3$ 로, 국내에서 조사된 코크스제조업 근로자보다 PAHs 노출수준이 높았으며, 조사대상 중

PAHs 노출수준이 가장 높은 업종은 강관제조업으로 기하평균 $0.520 \pm 2.74 \text{ mg/m}^3$ 이었다.

나. 공기 중 Benzo(a)pyrene 노출수준은 전체 노출군에서 평균 $2.2 \pm 4.65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 이었는데, 선박제조업 $3.4 \pm 5460.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, 강관제조업 $1.0 \pm 2021.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 으로 선박제조업에서 가장 높았다.

다. 노출군에서 작업 전 1-OHP 농도는 $9.1 \pm 5.4 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 비교군의 $0.3 \pm 1.66 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 보다 유의하게 높았고, 작업 후의 1-OHP 농도는 노출군에서 $17.43 \pm 5.47 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 국내에서 보고된 코크스 작업자 보다 높은 수준이었다. 이는 본 연구대상이 공기 중 PAHs 노출수준도 높지만, 피부노출이 많을 수 있는 작업 유형의 업종이기 때문인 것으로 추정된다.

라. 비교군에서는 작업전과 후의 1-OHP 농도가 각각 $0.29 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$, $0.38 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로, 흡연 여부에 따른 유의한 차이가 없었으나, 노출군에서는 작업 전의 경우 흡연자가 $11.91 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었으며, 비흡연자가 $4.14 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 유의한 차이가 있었다 ($P=0.02$). 노출군에서는 작업 후에도 흡연자에서 비흡연자보다 1-OHP가 더 높았으나 통계학적으로 유의하지는 않았다. 따라서 흡연이 소변 중 1-OHP에 영향을 주지만 노출군에서는 작업에 의한 PAHs 노출에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

마. 작업 후 1-OHP를 종속변수로, 공기 중 총 PAHs와 작업 전 1-OHP를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과, 공기 중 총 PAHs의 회귀계수는 11.82 ± 4.37 이었는데, 이는 기존의 연구들에서의 결과보다 높아, 본 연구대상에

서는 공기 중 노출이외에 피부노출의 영향 등이 있음을 추정할 수 있다.

바. 회귀식에 흡연량을 독립변수로 추가하고, 공기 중 총 PAHs 와 Benzo(a)pyene의 영향을 동시에 평가한 결과, 작업 전 1-OHP와 공기 중 총 PAHs, 흡연력의 회귀계수는 통계학적으로 유의하였는데, 공기 중 Benzo(a)pyene 노출수준은 유의하지 않았다. 표준화회귀계수의 크기는 작업 전 1-OHP, 공기 중 총 PAHs, 흡연력 순으로 나타나, 본 연구대상에서 작업 후 1-OHP 농도는 흡연보다는 공기 중 총 PAHs의 노출에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

이상의 결과로 보아 본 연구대상인 콜타르도료 취급 근로자들 중 선박제조업의 도장공과 강관제조업의 도복작업에서는 공기 중 PAHs 노출수준이 높으며, 생체 내 1-OHP 농도도 높아, 발암물질에 높게 노출되고 있어 예방대책이 필요한 것으로 생각된다. 또, 이 근로자들은 피부노출의 위험이 큰 형태의 작업을 수행하므로, 같은 농도의 공기 중 PAHs 노출수준에서도 다른 업종의 근로자들 보다 체내 흡수량이 높을 수 있는 것으로 추정된다.

6. 활용계획 : 이 연구결과는 콜타르도료 취급 근로자에서 PAHs 노출수준에 대한 기초자료가 되며, 직업성 암의 진단과 예방대책 수립에 참조 가능한 근거를 제공한다

7. 연구개요 :

8. 중심어 : 다핵방향족탄화수소, BEI, 콜타르 함유 도료, 1-hydroxypyrene

차 례

1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구방법	3
가. 조사대상 선정	3
다. 요중 1-OHP 분석 방법	4
라. 공기 중 PAHs 평가 방법	5
마. 자료의 분석	7
3. 연구 결과	8
가. 조사대상 근로자들의 일반적 사항	8
나. 공기 중 PAHs 분석	9
다. 흡연자와 비흡연자에서 16가지 PAHs와 1-OHP의 상관분석	13
마. 작업 후 1-OHP의 증가에 대한 회귀분석	16
4. 토 론	20
참 고 문 헌	32

<표차례>

<표 1> 요중 1-OHP 분석을 위한 HPLC 장비의 조건	4
<표 2> GC/MSD를 이용한 PAHs의 정성적, 정량적 분석방법	6
<표 3> 조사대상 근로자들의 일반적 사항	8
<표 4> 콜타르 함유 도료 취급 근로자의 PAHs 노출수준	10
<표 5> 콜타르 함유 도료 취급 근로자의 PAHs 노출수준	11
<표 6> 작업 전, 후의 1-OHP 농도	12
<표 7> 흡연여부에 따른 1-OHP 농도	13

<표 8>	흡연여부에 따른 PAHs와 작업 전후 1-OHP의 상관관계	15
<표 9>	1-OHP 농도의 분포	16
<표 10>	공기중 PAHs 와 Benzo(a)pyrene의 분포	17
<표 11>	공기중 총 PAHs에 대한 작업전후 1-OHP 농도의 회귀분석	18
<표 12>	공기중 Benzo(a)pyrene에 대한 작업전후 1-OHP 회귀분석 ..	18
<표 13>	흡연력을 보정한 작업후 1-OHP 농도의 회귀분석	19
<표 14>	각 기관별 PAHs의 노출기준 및 발암성 분류	21

1. 연구 배경 및 목적

대부분의 직업성 암은 잠재기간이 길어 발생을 예측하기 어려우며, 일단 발생한 후에는 치료방법이 적으므로 사업장과 근로자에게 막대한 손실을 초래할 수 있다. 따라서 직업성 암의 예방을 위해서는 발암물질 취급 실태를 보다 정확히 파악하여 작업환경을 사전에 관리하는 것이 가장 중요하다. 직업성 암 유발물질로 알려져 있는 Polynuclear aromatic hydrocarbons(이하 PAHs)는, 주로 폐암의 원인이 되는 것으로 보고되는데, 그 외에도 피부암, 방광암과 관련성이 보고되고 있고, 후두암, 신장암 등의 발생증가에 대한 연구도 진행되고 있는 물질이다¹⁾.

현재까지 국외의 연구에서는 코크스 제조업, 전극생산업, 콜타르피치 취급업 근로자에서 PAHs 노출에 의한 발암위험이 높은 것으로 보고되었고²⁾, 이러한 업종에서 노출평가 및 생체노출지표(Biological exposure index, 이하 BEI 개발이 활발히 진행되고 있는데³⁾⁴⁾, PAHs는 화석연료의 연소과정에서 발생하므로 석탄이나 석유계 콜타르 관련 제품을 취급하는 경우 PAHs에 노출될 수 있다.

국내에서도 콜타르 도료를 취급하는 도장공, 광물유가 포함된 금속가공유 취급 열처리 근로자의 후두암, 금속가공유취급 연마공의 비인강암이 직업성 질환으로 인정되는 등⁵⁾ PAHs에 의한 직업성 암 예방의 필요성이 대두되고 있으나, 현재까지 국내의 근로자들을 대상으로 한 연구는 코크스제조업 근로자에서의 보고와 운전작업자에서 디젤엔진배출물에 의한 PAHs 평가 뿐이며⁶⁾⁷⁾ 콜타르 도료 취급 근로자에서의 연구는 국·내외에서 보고된 바가 없다.

PAHs 노출에 대한 생체 내 노출지표는 소변 중 1-hydroxypyrene(이하, 1-OHP)와 Naphtol 등의 노출지표와 혈액에서의 혈색소부가체(Hemoglobin

Adducts, 이하 Hb-Ad) 등이 있는데, 1-OHP는 공기 중 PAHs 노출을 민감하게 반영하는 생체노출지표로 알려져 있어 이를 이용하여 BEI를 정하려는 연구가 진행되고 있다⁸⁾. 한편 국내에서는 코크스제조업 근로자에서 1-OHP가 평가된 연구 보고가 있으나, 공기 중 PAHs 노출수준과의 상관관계를 검토한 보고는 없다.

PAHs는 의약품이나 음식물을 통하여서도 노출되는데, 직업적인 노출이 없는 일반인들에서는 주로 식사나 흡연이 PAHs 노출의 주된 원인이므로, 많은 연구들에서는 PAHs와 1-OHP의 관련성을 조사할 경우, 흡연량과 식사량 등을 함께 조사한다.

본 연구에서는 첫째, 콜타르 함유 도료를 취급하는 근로자에서 공기 중 PAHs 노출수준을 평가하고, 둘째, 소변 중 1-OHP 농도를 분석하여 체내 흡수량을 추정함에 있어 흡연 등 비직업성 PAHs 노출을 보정하고, 셋째, 공기 중 노출수준과 소변 중 1-OHP 농도와의 상관성을 평가하여, 기존의 연구들에서의 보고와 비교하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구방법

가. 조사대상 선정

국내에서 콜타르 도료를 취급하는 주요 업종을 파악한 결과, 선박제조업의 도장작업, 강관 도복작업, 콜타르 도료 제조작업이었으므로, 이 업종 사업장들 20개소를 임의로 선정하여 현장 예비조사를 실시하였다. 예비조사 대상 사업장 중 조사기간 중 콜타르 도료 취급 작업이 있는 사업장 10개소를 본조사대상 사업장으로 선정하였다. 본조사 대상으로 선정된 10개소의 콜타르 도료 취급 사업장들 중 선박제조업 및 도료제조업의 경우 항상적으로 콜타르 도료 취급작업이 있는 것이 아니었고, 선박건조일정 및 도료제조 계획에 따라 콜타르 도료 취급 작업의 기간과 작업자가 수시로 변경되고 있었다.

위와 같은 이유로 본 연구에서는 본조사 대상 사업장의 콜타르 도료 취급 부서의 근로자 전원을 연구대상으로 선정하기 어려웠다. 따라서, 연구대상 선정을 위하여, 조사기간 중 콜타르 도료 취급 작업이 있는 기간을 파악하여 그 기간에 작업을 하는 근로자 중 106명을 최종 연구대상으로 선정하였다.

노출군에서의 1-OHP 농도를 직업적 노출이 없는 근로자와 비교하기 위하여, PAHs에 대한 직업적 노출이 없는 사무직 근로자 42명을 임의로 선정하였다.

나. 산업의학적 면담 및 설문조사

(1) 일반사항

(가) 개인 정보 : 성명, 나이, 체중, 키

(나) 흡연력

1) 금연자를 포함하여 현재까지 흡연기간, 하루 흡연 개피수를 이용해 갑년 (Pack-Year) 계산

2) 조사 당일 작업 전과 작업종료시 흡연량을 개피수 단위로 조사.

3) 피우는 담배의 종류 및 흡연습관에 대한 조사.

(2) 직업력 : 현 직장과 과거 직장에서 콜타르 도료를 취급할 가능성이 있는 직업력 유무와 작업기간, 작업 중 노출물질을 조사

다. 소변 중 1-OHP 분석

소변 중의 1-OHP는 김 등(1999)⁹⁾의 방법을 변형하여 사용하였다. 작업전 후의 소변을 폴리에틸렌 병에 채취한 후 분석할 때까지 냉동 보관하였다. 원심분리용 2 ml용기에 소변 600 μ l를 넣은 후 2N sodium acetate 완충액(pH 5.0) 60 μ l를 첨가한 후 혼합한다. β -glucuronidase/sulfatase (100,000 U/ml) 6 μ l를 첨가하여 빛을 차단한 상태에서 37℃에서 16시간동안 소화시켰다. Acetonitril 1 ml를 첨가한 후 10초간 진탕하고 10,000 $\times$ g, 10분간 원심분리하고 상층액을 분취하여 HPLC (Hewlett Packard 1100, USA)를 이용하여 표 1의 조건으로 분석하였다.

<표 1> 소변 중 1-OHP 분석을 위한 HPLC 장비의 조건

구 분	분 석 조 건
Instrument	HPLC, HP-1100
Column	Merck RP-18e 100x4.6 mm + Zorbax C18 150x4.6 mm, 3.5 μ m
Mobile phase	A: Acetonitril, B: Deionized water (0 → 16 min) A: 35% B: 65% (16 → 30 min) A: 80% B: 20% (30 → 35 min) A: 100%
Wavelength	(0 → 20 min) Ex 227 nm, Em 355 nm (20 → 45 min) Ex 242 nm, Em 388 nm
Inject Volumn	100 μ l
Retention time	1-OHP 39.6 min

라. 공기 중 PAHs 평가

공기 중 시료채취 및 분석방법은 세계적으로 공인되고 있는 미국 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH)의 공정시험법(NIOSH method No. 5515)을 이용하였다. 측정결과의 정확도를 높이고 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 반드시 측정 전후에 정확한 유량보정(calibration)을 실시하였다.

포집여재로 PTFE membrane filter (2 μ m, 37 mm)와 XAD-2 (100 mg/50 mg)를 이용하였으며 PTFE membrane filter를 3-piece cassette에 조립(자외선 노출로

인해 PAHs가 분해되는 것을 최소화하기 위해 검은 테이프로 봉함)한 후 cassette 뒤에 XAD-2 tube를 연결하였으며 측정시 XAD-2 tube를 알루미늄 호일로 봉하여 자외선의 노출을 최소화하였다. 유속을 2 LPM으로 맞춘 공기포집 펌프(Gillian, U.S.A.)에 포집여재를 연결하여 작업자의 호흡영역에서 실제 작업한 시간동안 측정하였으며, 측정 후 핀셋으로 PTFE filter를 갈색 바이알(자외선 노출방지)에 옮긴 후 XAD-2 tube와 함께 냉장보관하여 실험실로 옮겼다.

PTFE filter가 담긴 바이알에 Cyclohexane 5 ml를 가한 후 30분 동안 초음파처리를 하여 추출하였다. XAD-2 tube는 앞뒤층을 분리한 다음 각각 갈색바이알에 옮긴 후 톨루엔 5 ml를 가하여 30분 정도 초음파처리를 하여 탈착시켰다.

PTFE filter 추출용액과 XAD-2 tube 탈착용액을 Syringe filter(0.45 μ m, Millex-SR 25MM, Millipore Co.)로 여과한 후 표 2의 조건에서 16가지 PAHs에 대해 정량분석을 실시하였다.

PTFE filter의 정량값에 회수율 및 공시료 값을 적용하였으며, XAD-2 tube의 정량값에 탈착효율 및 공시료의 값을 적용하였다. PTFE filter와 XAD-2 tube로부터 16가지 PAHs 각각의 노출농도 및 16가지 PAHs 노출농도를 합한 총 PAHs 노출농도를 산출하여, 8시간 시간가중평균 노출수준(Time Weighted Average, TWA)으로 환산한 결과를 산출하였다.

<표 2> GC/MSD를 이용한 PAHs 분석 방법

Variables	Conditions
Systems	
Gas Chromatography	Hewlett Packard 6890 Plus/MSD, HP 5973 Series
Detector	MSD (Mass Selective Detector)
Capillary Column	HP-5MS (30.0 m×250 μ m×0.25 μ m)
Operating Conditions	
Injection Mode	Split(10:1)
Injector Temperature	280 $^{\circ}$ C
Interface Temperature	280 $^{\circ}$ C
Oven Temperature Programming	80 $^{\circ}$ C(1.5 min) to 220 $^{\circ}$ C at 20 $^{\circ}$ C/ min, hold 1 min, then to 290 $^{\circ}$ C at 3 $^{\circ}$ C/ min, hold 7 min)
Carrier gas	He 0.5 ml/ min
Electron energy	70 eV
Database for searching mass spectrum	Wiley 138 Library

마. 자료의 분석

수집된 자료에 대한 통계학적 분석은 SAS 6.12 Version 을 이용하여 분석하였는데, T -test와 분산분석을 통해 노출군과 비교군 간의 검증을 실시하였고 흡연 등의 요인에 따른 층화분석시 표본 수가 30개 이하인 경우에는 비모수 분석을 적용하였다. 흡연 및 연령 등 영향요인을 보정하면서 공기 중 PAHs와 생체 1-OHP의 관계를 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였다.

3. 연구 결과

가. 조사대상 근로자들의 일반적 사항

조사대상은 모두 남성 근로자로, 노출군의 평균 나이는 39.4세, 비교군은 41.4세였고, 근무기간은 노출군은 8.1년, 비교군은 9.4년이였다. 현재 흡연자는 노출군에서 76%, 비교군에서 48%로 유의한 차이를 보였는데, 흡연량은 노출군이 11.2갑·년, 비교군에서 8.9갑·년으로 유의한 차이가 없었다(표 3).

<표 3> 조사대상 근로자들의 일반적 사항

	노출군						비교군(42)			
	전체(106)		조선업종(66)		강관제조(20)		도료제조(20)			
	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차
연령	39.4	10.2	36.7	10.1	48.5	5.9	39.6	8.6	41.4	7.0
근무기간 (년)	8.1	8.8	5.2	6.7	17.3	10.1	8.5	7.4	9.4	7.7
갑·년	11.2	10.9	9.7	9.9	17.9	17.4	9.2	8.8	8.9	9.3
현 재 흡연자(%)	80*	(76)	51	(80)	16	(80)	13	(65)	20	(47.6)

* P <0.001

나. 공기 중 PAHs 분석

PAHs 노출수준은 기하평균 $0.092 \pm 8.67 \text{ mg/m}^3$ 으로 휘발성 콜타르 핏치의 노출기준인 0.2 mg/m^3 이하였으나, 일부 작업자에서는 휘발성 콜타르 핏치의 노출기준 이상이였다. 공기 중 시료에서 16가지 PAH의 함유정도를 비교한 결과 Naphthalene이 total PAHs의 약 50% 였으며, 그 외에 Fluorene, Acenaphthylene 순이였다(표 4).

업종별로는 강관제조업 근로자에서의 PAHs 노출수준이 가장 높았는데, 기하평균 $0.520 \pm 2.74 \text{ mg/m}^3$ 으로 휘발성 콜타르 핏치의 노출기준을 초과하였다. 나프탈렌을 제외한 PAHs 노출수준도 0.393 mg/m^3 으로 노출기준이상이였다. 선박제조업은 기하평균과 범위가 $0.117 \pm 8.14 \text{ mg/m}^3$ 으로 휘발성 콜타르 핏치의 노출기준인 0.2 mg/m^3 을 이하였으나, 일부 작업자에게서 휘발성 콜타르 핏치의 노출기준 이상이였다. 콜타르 도료 제조업은 $0.012 \pm 3.68 \text{ mg/m}^3$ 으로 전체 근로자에게서 노출기준 이하였다. 업종별 PAHs 노출수준은 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다.

Benzo(a)pyrene은 전체 노출군에서 평균 $2.2 \pm 4652.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 였는데, 표준편차로 보아 개인별 노출수준은 차이가 큰 것으로 생각되었으며, 선박제조업에서 $3.4 \pm 5460.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, 강관제조업의 1.0 ± 2021.0 보다 유의하게 높은 수준을 보였다(표 5).

<표 4> 콜타르 함유 도료 취급 근로자의 PAHs 노출수준

PAHs component	공기중 시료(n=106)	
	GM(GSD)	Range
Naphthalene	0.044(7.792)	0.000~4.963
Acenaphthylene	0.002(5.735)	0.000~0.142
Acenaphthene	0.016(9.215)	0.000~1.081
Fluorene	0.021(6.392)	0.000~0.968
Phenanthrene	0.009(9.197)	0.000~1.932
Anthracene	0.008(5.130)	0.000~0.823
Fluoranthene	0.006(5.973)	0.000~0.496
Pyrene	0.004(5.399)	0.000~0.271
Benzo(a)anthracene	0.002(5.007)	0.000~0.147
Chrysene	0.002(3.640)	0.000~0.065
Benzo(b)fluoranthene	0.002(3.689)	0.000~0.104
Benzo(k)fluoranthene	0.002(3.522)	0.000~0.076
Benzo(a)pyrene	0.002(4.652)	0.000~0.166
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.001(3.942)	0.000~0.072
Dibenzo(a,h)anthracene	0.002(4.340)	0.000~0.030
Benzo(ghi)perylene	0.001(3.425)	0.000~0.049
Total PAHs	0.092 (8.674)	0.002~6.311
NA 제외	0.040(10.775)	0.000~5.330

단위: mg/m³, N : 분석한 시료의 수, GM: 기하평균 GSD: 표준편차

<표 5> 콜타르 함유 도료 취급 근로자의 PAHs 노출수준

PAHs	전체 (n=111)		선박 (n=66)		강관 (n=20)		도료제조 (n=25)	
	GM (GSD)	Range	GM (GSD)	Range	GM (GSD)	Range	GM (GSD)	Range
총 PAHs mg/m ³	0.092 (8.674)	0.002~6.311	0.117 (8.148)	0.002~6.126	0.520* (2.741)	0.112~6.311	0.012 (3.685)	0.002~0.148
Naphtalene 제외 총 PAHs mg/m ³	0.040 (10.775)	0.000~5.330	0.049 (7.657)	0.001~2.826	0.393* (2.966)	0.072~5.330	0.003 (4.830)	0.000~0.053
Benzo(a)pyrene μg/m ³	2.2 (4652.5)	0.4~166.5	3.4* (5460.4)	0.4~166.5	1.0 (2021.0)	0.5~4.6	불검출	불검출

* P < 0.001, GM: 기하평균 GSD: 표준편차

다. 1-OHP 분석 결과

전체 조사대상에서 작업 전 1-OHP는 $9.1 \pm 5.4 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 비교군의 $0.3 \pm 1.66 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 보다 유의하게 높았다($P < 0.001$). 작업 후의 1-OHP 농도도 비교군 $0.32 \pm 1.85 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 노출군 $17.43 \pm 5.47 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 노출군에서 유의하게 높았다($P < 0.001$)(표 6).

<표 6> 작업 전, 후의 1-OHP 농도

	비교군		노출군	
	GM	GSD	GM	GSD
작업 전	0.30	1.66	9.10*	5.40
작업 후	0.32	1.85	17.43*	5.47

단위; μ mol/mol creatinine. * $P < 0.001$

GM: 기하평균 GSD: 표준편차

흡연자와 비흡연자에서 1-OHP 농도 차이를 보기 위하여, 비교군과 노출군에서의 작업 전·후 1-OHP 농도를 비교한 결과, 비교군에서는 작업 전과 후 1-OHP 농도가 각각 0.29μ mol/mol creatinine, 0.38μ mol/mol creatinine로 유의한 차이가 없었다. 노출군에서는 작업전의 경우 흡연자가 11.91μ mol/mol creatinine이었으며, 비흡연자가 4.14μ mol/mol creatinine로 유의한 차이를 보였다($P=0.02$). 노출군의 경우 작업 후에도 흡연자에서 21.23μ mol/mol creatinine으로 비흡연자의 9.65μ mol/mol creatinine 보다 높았지만, 통계학적으로 유의하지는 않았다(표 7).

<표 7> 흡연여부에 따른 1-OHP 농도

		비교군			노출군		
		n	GM	GSD	n	GM	GSD
작업 전	흡연	17	0.31	1.80	76	11.91*	4.80
	비흡연	21	0.28	1.55	26	4.14	6.05
작업 후	흡연	12	0.29	1.88	78	21.23	4.61
	비흡연	7	0.38	1.82	26	9.65	7.82

단위; $\mu\text{mol/mol creatinine}$ * P =0.02 by Wilcoxon rank sum test

GM: 기하평균 GSD: 표준편차

라. 흡연자와 비흡연자에서 16가지 PAHs와 1-OHP의 상관분석

전체 근로자에서 작업 전후의 1-OHP와 유의한 상관관계를 보인 PAHs는 Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene 이었고, 총 PAHs와 Naphthalene을 제외한 PAHs의 합과도 유의한 양의 상관성을 보였다.

현재 흡연자인 근로자에서는 총 PAHs를 제외하고는 전체 근로자에서 유의한 상관성을 보인 물질들과 동일한 물질에서 1-OHP가 유의한 상관성을 보였는데, 전체근로자와의 다른 점은 작업 후에는 Benzo(a)anthracene은 유의성이 없었으며, Naphtalene에서 유의한 상관관계가 있었던 점이다.

현재 비흡연자인 근로자에서는 작업 전 1-OHP와 유의한 상관성을 보인 물질

들은 Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(ghi)perylene 이었으며, 작업 후에는 Acenaphthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(ghi)perylene과 유의한 상관성을 보였다(표 8).

<표 8> 현재 흡연여부에 따른 16가지 PAHs 노출수준과 작업
전 후의 1-OHP와의 상관관계*

	전체		흡연자		비흡연자	
	작업 전 1-OHP	작업 후 1-OHP	작업 전 1-OHP	작업 후 1-OHP	작업 전 1-OHP	작업 후 1-OHP
Naphthalene	-	-	-	0.22614 0.0386	-	-
Acenaphthylene	-	-	-	-	-	-
Acenaphthene	0.31193 0.00070	0.35321 0.00010	0.29748 0.0066	0.33912 0.0016	-	0.37839 0.0327
Fluorene	0.60545 <.0001	0.56727 <.0001	0.62527 <.0001	0.5764 <.0001	--	-
Phenanthrene	0.65078 <.0001	0.58579 <.0001	0.69818 <.0001	0.6157 <.0001	-	-
Anthracene	0.66947 <.0001	0.58746 <.0001	0.68759 <.0001	0.59922 <.0001	-	-
Fluoranthene	0.53189 <.0001	0.47082 <.0001	0.55342 <.0001	0.48044 <.0001	-	-
Pyrene	0.45624 <.0001	0.41448 <.0001	0.46566 <.0001	0.41546 <.0001	-	-
Benzo(a)anthracene	0.17459 0.06320	0.18704 0.04440	0.16076 0.1491		-	-
Chrysene	0.24661 0.00820	0.26470 0.00410	0.23552 0.0332	0.25113 0.0212	-	-
Benzo(b)fluoranthene	-	-	-	-	-	-
Benzo(k)fluoranthene	-	-	-	-	0.33657 0.0596	0.49596 0.0039
Benzo(a)pyrene	-	-	-	-	0.2521 0.1639	0.44767 0.0102
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	-	-	-	-	0.26557 0.1418	
Dibenzo(a,h)anthracene	-	-	-	-	0.44193 0.0113	0.38757 0.0284
Benzo(ghi)perylene	-	-	-	-	0.32932 0.0657	0.37537 0.0343
총 PAHS	0.37370 <.0001	0.40322 <.0001				
Naphtalene 제외 총 PAHs	0.55269 <.0001	0.52158 <.0001	0.56617 <.0001	0.52654 <.0001		

* Pearson correlation coefficients

마. 작업 후 1-OHP의 증가에 대한 회귀분석

공기 중 PAHs 노출 정도에 따라 작업 전 1-OHP의 증가 정도를 보기 위하여, 노출군을 대상으로 두 가지 회귀분석을 실시하였다. 첫 번째는 작업 전 1-OHP와 공기 중 총 PAHs의 개인별 노출수준을 독립변수로, 작업 후 1-OHP를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 두 번째는 동일한 분석을 공기 중 총 PAHs 대신 Benzo(a)pyrene을 대입하여 실시하였다.

(1) 회귀분석을 위한 변수의 분포 검토

공기중 총 PAHs와 Benzo(a)pyrene, 작업 전 1-OHP 및 작업 후 1-OHP는 정규분포하지 않았으며, 대수 변환시에도 정규분포하지 않았다. 이러한 분포는 회귀분석에서의 가정을 만족하지 않으므로, 표준편차의 2배를 넘는 관찰치의 경우 이상치로 간주하여 회귀분석에서 제외하였다(표 9, 표 10).

<표 9> 1-OHP 농도의 분포

	이상치 포함		이상치 제외	
	작업전	작업후	작업전	작업후
시료 수	102	104	95	97
평균	40.7	51.9	16.4	30.6
표준 편차	119.9	98.9	19.3	29.2
최빈값	0.3	29.0	0.3	29.0
사분위수				
100% 최대값	812.0	665.0	75.2	117.3
95%	79.4	150.8	64.7	100.6
75% 3사분위	32.0	52.3	27.4	46.4
50% 중간값	8.6	29.0	8.0	26.7
25% 1사분위	3.0	6.1	3.0	5.2
5%	0.6	0.6	0.5	0.5
0% 최소값	0.2	0.2	0.2	0.2

단위; μ mol/mol creatinine

<표 10> 공기 중 PAHs 와 Benzo(a)pyrene의 분포

	이상치 포함		이상치 제외	
	총 PAHs	Benzo(a)pyrene	총 PAHs	Benzo(a)pyrene
시료 수	106	106	101	102
평균	0.57	4.36	0.36	1.10
표준 편차	1.19	19.36	0.62	3.20
사분위수				
100% 최대값	6.31	166.50	2.88	19.84
95%	2.88	0.98	1.83	4.47
75% 3사분위	0.46	0.00	0.37	0.9
50% 중간값	0.15	0.00	0.13	0.00
25% 1사분위	0.01	0.00	0.01	0.00
5%	0.00	0.00	0.00	0.00
0% 최소값	0.00	0.00	0.00	0.00
단위; 총 PAHs mg/m ³ Benzo(a)pyrene µg/m ³				

(2) 공기 중 총 PAHs에 의한 작업 후 1-OHP의 증가에 대한 분석

첫 번째 회귀분석은 작업전후 이상치를 제외하고, 작업 전후의 1-OHP 값이 누락되지 않은 89명에 대해 실시하였다. 그 결과, 작업 후 1-OHP에 대한 공기 중 총 PAHs와 작업 전 1-OHP의 회귀계수는 모두 통계학적으로 유의하였으며, 회귀식의 결정계수는 0.42로 모델은 잘 적합되었다. 공기 중 총 PAHs의 회귀계수는 11.82 ± 4.37 이었다(표 11).

<표 11> 공기 중 총 PAHs에 대한 작업전 후 1-OHP
농도의 회귀분석

변 수	회귀계수 (표준편차)	P value
작업 전 1-OHP ¹	0.79(0.13)	<.0001
공기 중 총 PAHs ²	11.82(4.37)	0.0083
절 편	14.72(3.20)	<.0001

1. $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 2. mg/m^3 . $R^2 = 0.42$ $n=89$

(3) 공기 중 총 benzo(a)pyrene에 의한 작업 후 1-OHP의 증가에 대한 분석

두 번 째 회귀분석은 작업 전·후 이상치를 제외하고, 작업 전·후의 1-OHP 값이 누락되지 않은 89명에 대해 실시하였다. 그 결과, 작업 후 1-OHP에 대한 작업 전 1-OHP의 회귀계수는 통계학적으로 유의하였으나, 공기 중 Benzo(a)pyrene의 경우 회귀계수는 0.48 ± 1.17 로 양의 방향을 나타내었으나, 통계학적 유의성은 없었다(표 12).

<표 12> 공기 중 Benzo(a)pyrene에 대한 작업전 후 1-OHP
농도의 회귀분석

변 수	회귀계수 (표준편차)	P value
작업 전 1-OHP ¹	0.89(0.15)	<.0001
공기 중 Benzo(a)pyrene ²	0.48(1.17)	0.6087
절 편	16.36(3.23)	<.0001

1. $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 2. $\mu\text{g/m}^3$. $R^2 = 0.36$ $n=89$

(4) 흡연력을 보정한 작업후 1-OHP의 증가에 대한 분석

흡연력을 보정하기 위하여, 회귀식에 갑-년으로 계산된 흡연량을 독립변수로 추가하고, 공기 중 총 PAHs 와 Benzo(a)pyrene의 영향을 동시에 평가하였다. 그 결과, 회귀식은 설명력 47%로 유의한 모델을 형성하였으며, 작업 전 1-OHP와 공기 중 총 PAHs, 흡연력의 회귀계수는 통계학적으로 유의하였는데, 공기 중 Benzo(a)pyrene 노출수준은 유의하지 않았다.

통계학적으로 유의한 회귀계수들 중 회귀계수의 크기를 비교하기 위하여 표준화회귀계수를 구한 결과, 표준화회귀계수의 크기는 작업 전 1-OHP, 공기 중 총 PAHs, 흡연력 순으로 나타났다(표 13).

<표 13> 흡연력을 보정한 작업후 1-OHP 농도의 회귀분석

변 수	회귀계수(표준편차)	표준화회귀계수	P value
작업 전 1-OHP ¹	0.81 (0.13)	0.53	<.0001
공기 중 총 PAHs ²	17.45(6.19)	0.35	0.006
공기 중 Benzo(a)pyrene ³	-0.41 (0.31)	-0.16	0.192
흡연력 (갑-년)	0.48(0.22)	0.18	0.027
절 편	8.39(3.91)		0.035

1. μ mol/mol creatinine 2. mg/m³ 3. μ g/m³. $R^2 = 0.47$ n=89

4. 토 론

PAHs는 벤젠고리(C_6H_6)가 2~6개로 구성된 물질로서, 분자량이 크고 고리수가 4개인 것 일부와 5개 이상의 입자상 PAHs, 분자량이 작고 고리수가 4개인 것 일부, 3개 이하의 가스상 PAHs로 구분할 수 있는데, 조건에 따라 아주 다양한 종류의 PAHs가 존재한다. EPA와 유럽공동체에서는 주변환경에서의 발생빈도와 건강위험도의 관점에서 16가지 PAHs를 선정하여 집중적 연구를 권장하고 있다.

16가지 물질들 중 일부 기관에서 발암성 평가가 제시된 물질들은 표 14와 같은데, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene의 경우 사람에서의 임상적, 역학적 증거는 부족하나, 동물에서의 발암성 증거가 충분하여 사람에서의 발암성이 의심되는 물질로 선정되어있다.

이 16가지 물질들 중 노출기준이 마련된 것은 일부에 불과한데, 우리나라 노동부의 화학물질 노출기준에는 PAHs 16가지 중 naphthalene이 10 ppm(50 mg/m^3)으로 노출기준이 제시되어 있으며, 우리나라 노동부 및 ACGIH에서 chrysene은 동물에서 발암성이 확인된 물질(A3)로, benzo(a)pyrene은 발암성 의심물질(A2)로 규정하고 있고, 그 외의 PAHs 물질의 노출기준은 따로 없다. 그러나, ACGIH에서는 주요 구성성분이 PAHs일 것으로 판단되는 휘발성 콜타르 핏치(Coal tar pitch volatiles)의 경우 발암성물질로 확인된 물질(A1)로서 노출기준을 0.2 mg/m^3 으로 규정하고 있어 총 PAHs의 노출평가에서 노출기준으로 참고되고 있다.

<표 14 > PAHs의 노출기준 및 발암성 분류

PAHs component	OSHA	NIOSH	ACGIH	IARC
naphthalene	10 ppm, 50 mg/m ³	10 ppm, STEL 15 ppm	10 ppm, STEL 15 ppm	-
acenaphthylene	-	-	-	-
acenaphthene	-	-	-	-
fluorene	-	-	-	-
phenanthrene	0.2 mg/m ³	-	-	Group 3
anthracene	0.2 mg/m ³	-	-	-
fluoranthene	-	-	-	Group 3
pyrene	-	-	-	Group 3
benzo(a)anthracene	-	-	A2	Group 2A
chrysene	0.2 mg/m ³ (benzene sol.)	lowest feasible carcinogen	A3	Group 3
benzo(b)fluoranthene	-	-	A2	Group 2B
benzo(k)fluoranthene	-	-	-	Group 2B
benzo(a)pyrene	0.2 mg/m ³ (benzene sol.)	0.1 mg/m ³ (cyclohexane sol.)	A2	Group 2B
dibenzo(a,h)anthracene	-	-	-	Group 2A
indeno(1,2,3-cd)pyrene	-	-	-	Group 2B
benzo(g,h,i)perylene	-	-	-	Group 3

PAHs는 화석연료의 산화과정에서 발생되므로 대기 중에도 존재하는데, 1988년에 서울시의 신촌지역 도시 대기로부터 노출되는 PAHs의 노출을 평가한 연구에 의하면, 27종의 PAHs가 0.02-1.51 ng/m³ 수준으로 검출되었고 이 중 Benzo(a)pyene은 0.12 ng/m³이었다고 한다¹⁰⁾. 1994년 대구시의 주거지역에서 실시한 연구에서는 18가지 PAHs가 0.13-4.46 ng/m³의 범위로 검출되었고 이때 Benzo(a)pyene은 1.12-4.46 ng/m³이었다고 한다¹¹⁾.

Boffetta 등(1997)¹⁾에 의하면, 직업적인 PAHs의 노출은 주로 코크스오븐 작업

자나 소더버그 전극제조업, 콜타르피치 화합물 관련 제품을 취급하는 도로포장과 지붕포장 근로자들에서 PAHs 노출 위험이 보고되고 있다고 하는데, 현재까지의 연구들에 의하면 코크스오븐 작업에서 Hummelen 등(1993)⁴⁾은 총 PAHs $19.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 노출수준이 보고한 바 있으며, Jongeneelen 등(1990)¹²⁾은 $6.9\text{--}13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Buchet 등(1991)³⁾은 $0.2\text{--}255 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Joneneelen 등(1992)¹³⁾은 $0.3\text{--}0.7 \text{mg}/\text{m}^3$ 이라고 하였다. 소더버그 유형의 전극생산 작업에서는 총 PAHs가 $9.9\text{--}840 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁴⁾로 보고되었고, Benzo(a)pyrene은 소더버그 공정에서 Ny 등(1993)¹⁴⁾이 $0.9\text{--}48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 코크스오븐 작업에서 Joneneelen 등(1992)¹³⁾이 $0.1\text{--}1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mielyska 등(1997)¹⁵⁾은 $0.1\text{--}15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고하였다.

우리나라에서 코크스오븐 근로자들에서의 총 PAHs 노출에 관한 연구는 권은혜 등(2000)⁷⁾이 보고한 $34.47 \pm 1.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 있으며, 이송권 등(1997)⁶⁾은 코크스오븐배출물(Cokes Oven Emissions)로 평가하여 직접적인 비교는 어렵다.

본 연구에서는 콜타르 함유 도료를 취급하는 작업에서 PAHs를 평가하였는데, 콜타르 피치 관련 제품은 PAHs가 함유되어 있는 것으로 알려져 있지만, 그간 국내외의 연구들에서는 다양한 콜타르피치 관련 제품 중 주로 도로포장 작업이나 지붕포장 작업에서 사용되는 역청 솔루션 취급 작업이 주로 연구되었을 뿐¹⁶⁾, 콜타르 함유 도료를 취급하는 근로자의 PAHs 노출에 대해서는 보고된 바가 없다.

그러나 콜타르가 함유된 방청도료의 발암성을 증명하기 위한 쥐를 이용한 동물실험에서는 폐암이 발생되었음을 관찰하기도 했으며¹⁷⁾¹⁸⁾, 방청도료의 유전자 독성 연구를 통해 발암기전이 연구되고 있다¹⁹⁾.

본 연구에서 조사된 공기 중 총 PAHs 노출수준은 $0.092 \pm 8.67 \text{mg}/\text{m}^3$ 로 권은혜 등(2000)⁷⁾이 우리나라의 코크스오븐 작업에서 보고한 수준보다는 높았으며, 본 연구대상 중 선박제조업의 도장 작업자에서는 $0.117 \pm 8.14 \text{mg}/\text{m}^3$, 강관제조업에서는 $0.52 \pm 2.74 \text{mg}/\text{m}^3$ 로 매우 높은 노출수준을 보였다. 본 연구에서

Benzo(a)pyrene은 $0.002 \pm 4.652 \text{ mg/m}^3$, 범위가 $0.002 \sim 6.311 \text{ mg/m}^3$ 이었는데, 특히 선박제조업은 $0.003 \pm 5.460 \text{ mg/m}^3$ 으로 강관제조업의 $0.001 \pm 2.021 \text{ mg/m}^3$ 보다 높았으며, 도료제조업에서는 Benzo(a)pyrene이 검출되지 않았다.

1-OHP는 PAHs 대사산물로 간에서 분비되는 Cytochrome P450계 효소에 의해 대사되어 소변 중으로 배설되는데²⁰⁾, Buckley 등은 생체노출지표로서의 1-OHP를 검토하는 논문에서²¹⁾ 1-OHP의 반감기는 4.4시간, 최대배설 6.3시간으로 추산하였다.

한 편, 일반인에서도 환경에서 PAHs 노출이 있으므로 직업적 PAHs 노출지표로서 1-OHP를 평가할 경우, 직업적 노출이 없는 사람에서의 1-OHP와 비교하여 직업적 노출이 연구되어왔다. 국내에서는 코크스 오븐 작업자에서 평균 $0.745 \mu\text{mol/mol creatinine}$ (이송권 등, 1997)⁶⁾이 보고된 바 있으며, Hummelen 등(1993)⁴⁾은 그라파이트 전극 생산작업자에서 1-OHP가 $1.3\text{--}2.5 \mu\text{g/g creatinine}$ 라고 보고하였다. Jongeneelen 등(1990)¹²⁾은 코크스 오븐 작업에서 $11.2 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 을 보고하였는데, 이 때 비노출 대조군에서는 흡연자가 $0.51 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 비흡연자가 $0.17 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었다고 하였으며, 분석결과 반감기는 6-35시간으로 추정하였다. 또 그는 1992년에도 코크스작업자에서 $0.3\text{--}4.8 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 을 보고하였다. 1997년에는 Mielyska 등이 작업 전 $0.07\text{--}7.76 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 작업 후 $0.06\text{--}18.92 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 을 보고하여 이전의 보고들보다 다소 높은 수준의 결과를 보였다.

다른 업종으로는 크레오소트 관련 물질 취급 근로자에서 $0\text{--}40 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 콜타르증류 작업자에서 $3.7\text{--}11 \mu\text{mol/mol creatinine}$ ²²⁾이 보고되었는데, 저자들은 흡연 및 비흡연 대조군에서는 각각 $0.28 \mu\text{mol/mol creatinine}$, $0.26 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었다고 하였으며, 작업 종료 후 10일까지 1-OHP가 계속 소변 중으로 배출됨을 보고, 체내 축적 가능성을 추정하였다.

NY 등(1993)¹⁴⁾은 소더버그 전극 생산 작업에서 작업 전 $0.4\text{--}2.2\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine, 작업 후 $0.7\text{--}40\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이었다고 하며, 비노출 근로자에서는 $0.4\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이었다고 한다. 석유화학공장 근로자들에서의 연구에서는 노출군에서 $0.29\text{--}5.9\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine, 비교군에서 $0.21\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine으로 보고되었다²³⁾. 도로포장작업 근로자에서는 $0.8\text{--}2.8\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이 보고되었고(Jongeneelen 등, 1988)¹⁶⁾, Burgaz 등(1991)²⁴⁾은 노출군에서 $0.6\ \mu\text{mol/mol}$, 비노출군에서 $0.28\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이라고 하였다.

한편 건선환자의 치료 목적으로 사용하는 콜타르 계통의 피부연고를 처치한 후, 환자에서 1-OHP를 보고하였는데 그 범위가 $25.4 \sim 1565.0\ \mu\text{g/g}$ creatinine으로 농도가 아주 높았다²⁵⁾. 피부노출 가능성에 대한 연구는, 공기 중 PAHs 노출이 검출되지 않을 정도로 공기 중 노출수준 낮은 선박의 엔진룸에서 승무원들의 1-OHP가 $0\text{--}1.5\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이었다는 Moen 등(1996)²⁶⁾의 보고가 있는데, 저자들은 PAHs의 피부노출 가능성을 추정하였다.

우리나라의 일반인에서 1-OHP 수준에 대한 연구는, 강종원 등이 중학교 남학생을 대상으로 하여 조사한 소변 중 1-OHP 기하평균 $73.26 \pm 3.57\ \text{nmol/mol}$ creatinine이었다는 보고가 있으며²⁷⁾, 김현 등은 코크스 작업자와의 1-OHP 수준의 비교하면서 조선소 근로자 중 비 콜타르 작업자를 선정하여 1-OHP를 분석하였는데, 이들에서 평균 $0.33 \pm 2.94\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이었다고 하였다²⁸⁾. 우리나라의 코크스 오븐 작업자에서 1-OHP 연구는 이송권 등(1997)⁶⁾이 보고한 평균 $0.74 \pm 2.7\ \text{nmol/mol}$ creatinine과, 김현 등(1999)²⁸⁾이 보고한 $6.15 \pm 5.14\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine이 제시되어 있다.

본 연구에서는 노출군의 작업 전 1-OHP 농도는 $9.1 \pm 5.4\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine, 대조군은 $0.3 \pm 1.66\ \mu\text{mol/mol}$ creatinine로 대조군은 김현(1999)²³⁾ 등과 유사하였으며, 노출군은 Jongeneelen 등(1990)¹²⁾의 코크스 작업자의 작업후 소변 중

1-OHP 수준과 유사하였다. 본 연구에서 작업후의 1-OHP 농도는 비교군 $0.32 \pm 1.85 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 노출군 $17.43 \pm 5.47 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 노출군의 경우 국내에서 보고된 코크스 작업자 보다 높은 수준이었다.

1-OHP는 PAHs의 노출을 민감하게 반영하므로 PAHs 노출에지표로 널리 연구되고 있지만, 장기간의 추적조사를 통한 암 사망 자료들에는 1-OHP에 대한 자료가 결여되어 있어, 건강장해에 대한 검토에 기반 한 1-OHP의 한계치가 BEI로 아직 제시되지 못하고 있다(Jongeneelen, 2001)⁸⁾. PAHs는 일반환경에서도 존재하며, 피부흡수가 중요한 노출경로가 된다. 따라서 피부노출정도와 공정의 차이, PAHs 발생원이 되는 원료 구성의 차이 등에 의해 서로 다른 업종들에서는 공기 중 PAHs 노출수준과 소변 중 1-OHP의 농도에 대한 관계가 다르게 나타난다.

Jongeneelen 등(2001)⁸⁾은 문헌검토를 통해 현재까지 PAHs 노출에 대한 1-OHP의 BEI 참고치로 제시된 3가지 종류의 참고치를 정리하였는데, 첫째 직업적 노출이 없는 흡연자와 비흡연자에서는 각각 $0.24 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 과 $0.76 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 둘째 생물학적 영향이 문헌에서 보고되지 않은 최저치인 $1.4 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 셋째 직업적 노출이 있는 근로자에서 보고된 값이 있다고 하였다. 이 연구에서는 현재까지 회귀분석을 통해 이러한 값을 추정 한 업종은 코크스제조업과 알루미늄제조업이 있는데, 각각 $2.3 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 과 $4.9 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었다고 하였다.

Viau 등(1999)²⁹⁾은 문헌검토를 통해, 소더버그 공정 근로자들은 $4.4 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 알루미늄 공장의 아노드 부서와 pre-bake부서는 각각 $8.0 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 과 $9.8 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 철강주물업 근로자들에서는 $1.2 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었다고 정리하였다.

코크스제조업에서 BEI 참고치를 제시한 연구에서는, 미국과 유럽의 대규모 코

호트 연구들에서 제출된 코크스 공장 근로자들의 공기 중 PAHs 노출수준의 평균치와, 암 사망률 자료와 일부 근로자들의 작업 전·후 1-OHP 들을 이용하였다. BEI 참고치를 추정 한 방법은 작업 전 1-OHP와 공기 중 PAHs의 노출수준을 독립변수로, 작업 후 1-OHP를 종속변수로 한 회귀분석이었으며, 그 결과 공기 중 PAHs의 회귀계수는 1.53 ± 0.39 였다고 한다. 그 회귀 식에 현재 통용되는 공기 중 PAHs 노출기준인 0.2 mg/m^3 을 대입하여 공기 중 PAHs 가 노출기준 수준일 때의 작업 후 1-OHP를 $1.79 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 예측하였고, 이 값에 보호구 착용정도 등을 감안하여 보정한 값인 $2.3 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 을 코크스제조업의 PAHs에 대한 1-OHP의 BEI 참고치로 제안하였다.

본 연구에서는 작업 후 1-OHP 농도에 대하여 작업 전 1-OHP와 총 PAHs 노출수준을 독립변수로 한 회귀분석을 실시한 결과, 총 PAHs의 회귀계수는 11.82 ± 4.37 로 Jongeneelen 등(1992)¹³⁾의 보고 보다 컸는데, 이는 본 연구대상의 작업 형태가 스프레이 도장 등 피부를 통한 노출이 높을 수 있는 작업이었기 때문으로 생각된다.

1993년에 VanRooy 등³⁰⁾은 코크스 오븐 작업자들에서 호흡기와 피부로 흡수되는 PAHs의 노출량을 실험한 결과, 총 흡수량의 75% 가 피부로 흡수되었고, Benzo(a)pyrene는 총 흡수량의 50%가 피부로 흡수되었다고 보고하였는데, 코크스 오븐 작업자의 피부노출은 증기 형태의 피부흡수이지만, 본 연구의 조사대상은 선박의 도장작업이나 강관의 도장작업으로, 액상의 콜타르 함유 도료를 직접 취급하고, 분무하는 과정에서 피부노출이 더 증가될 수 있는 것으로 생각된다.

1-OHP는 PAHs의 생체대사물질로, PAHs 노출원은 도심지의 대기환경, 실내의 난방³¹⁾, 음식물 등이 있다. Zmirou 등(2000)³²⁾은 성인에서 일상 생활하는 동안 PAHs 노출 수준을 48시간 개인 시료 측정기를 사용하여 측정하였는데, 연 평균 0.13 to 1.67 ng/m^3 이었고, benzo(a)pyrene 노출수준은 여름에 0.67 ng/m^3 였으며

겨울에는 3배에서 25배 증가하였다고 한다. 비 직업적 노출로 중요한 요인으로서는 흡연이 알려져 있다. Buratti 등(2000)³³⁾은 하루에 20 개피 이상의 흡연자에서 소변 중 1-OHP 농도가 371 ng/L 였다고 하며, 비흡연자는 160 ng/L, 10개피 이하의 흡연자는 157 ng/L였고, 10-20개피 흡연자는 154 ng/L 였고, PAH 함량이 높은 식사 후에는 525 ng/L였다고 하였다.

본 연구에서는 비교군에서는 작업 전·후 1-OHP 가 각각 $0.29 \mu\text{mol/mol creatinine}$, $0.38 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 유의한 차이가 없었고, 노출군에서는 작업전의 경우 흡연자가 $11.91 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었으며, 비흡연자가 $4.14 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 유의한 차이를 보였다($P=0.02$). 노출군의 경우 작업 후에도 흡연자에서 $21.23 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 비흡연자의 $9.65 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 보다 높았지만, 통계학적으로 유의하지는 않았다. 또, 작업 후 1-OHP에 미치는 총 PAHs의 영향을 보기 위한 회귀분석에서 독립변수로 흡연량을 갑-년 단위로 삽입한 결과, 회귀계수가 0.48 ± 0.22 로 통계학적으로 유의하였지만, 독립변수들의 영향력을 보기 위해 구한 표준화회귀계수의 크기는 작업 전 1-OHP, 공기 중 총 PAHs, 흡연력 순으로 나타나, 흡연의 영향력보다는 공기 중 PAHs 노출이 이들에서의 작업 후 1-OHP에 더 큰 영향을 주는 것으로 추정되었다.

전체 근로자에서 작업 전후의 1-OHP와 유의한 상관관계를 보인 PAHs는 Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene 이었고, 총 PAHs와 Naphthalene을 제외한 PAHs의 합과도 유의한 양의 상관성을 보였다.

담배에는 수천 가지의 물질이 있지만, PAHs 로는 Benzo(a)pyrene이 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 작업 전 1-OHP와 작업 후 1-OHP 농도와 공기 중 16가지 PAHs 노출수준과의 상관분석을 실시하였으며, 이를 다시 현재 흡연자와 현재 비흡연자로 구분하여 상관분석을 실시하여, 현재 흡연여

부에 따라 공기 중 PAHs와 소변 중 1-OHP의 상관계수가 달라지는지 관찰함으로써, 흡연이 1-OHP에 미치는 영향을 분석하였다.

그 결과, 현재 흡연자에서 1-OHP와 유의한 상관관계를 보인 PAHs는 Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene 등 분자량이 작은 PAHs 종류들이 유의한 상관성을 보였다. 반면, 현재 비흡연자인 근로자에서는 Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(ghi)perylene, Acenaphthene 등 비교적 분자량이 큰 PAHs가 유의한 상관관계를 보였다. 이러한 결과로 보아, 본 연구대상에서 흡연에 의한 PAHs 노출에 대한 영향은 주로 분자량이 작은 물질들에 의한 것으로 추정될 수도 있는데, 16가지 PAHs들 중 ACGIH의 발암성 등급 A2 물질은 주로 분자량이 큰 물질들이므로 본 연구대상들은 흡연보다는 작업 중 PAHs 노출에 의한 발암물질 노출이 더 중요한 건강 영향을 미칠 수 있다고 생각된다. 그러나 이러한 연구를 위해서는 흡연한 담배의 분석 및 흡연습관 등에 대한 더 자세한 연구가 필요하다.

공기 중 PAHs 노출수준과 관련하여 폐암 발생 위험도는 대규모 코호트 연구들로부터 추정되고 있다.

Jongeneelen(1992)¹³⁾에 의하면, 코크스 오븐 근로자들에 대한 메타분석을 실시하여, 5년 이상 근무한 로상부(topside)작업자의 평균 Benzo(a)pyrene 노출수준이 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1966-1980, 독일, 미국)이며, 이들에서 추적조사 결과 폐암 발생 비교위험도가 9.2(1953-1970, EPA)였다고 하였고, 측면부(sideoven)의 작업자는 평균 Benzo(a)pyrene 노출수준이 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데 폐암 발생 비교위험도는 1.8이었다고 하였다. 이 코호트에서는 소변 중 1-OHP 농도에 대한 추적조사가 없어 1-OHP와 암발생 위험의 관련성을 직접적으로 알 수는 없지만, 다른 연구들에서의 자료를 이용한 회귀분석에서 1-OHP와 공기 중 PAHs간의 관련성을 구한 다음, 코호

트의 공기 중 PAHs 노출수준에 외삽하여, 1-OHP와 폐암발생위험간의 관련성을 추정하였다. 이에 의하면, 폐암 발생 비교위험도는 1.8인 작업자에서, Benzo(a)pyrene 노출수준이 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우 소변 중 1-OHP는 $4.6 \mu\text{mol}/\text{mol creatinine}$ 이었을 것으로 추정하였고, PAHs 노출수준이 $1.43 \text{ mg}/\text{m}^3$ 인 경우 소변 중 1-OHP는 $3.7 \mu\text{mol}/\text{mol creatinine}$ 이었을 것으로 추정하였다.

Boffetta 등(1997)¹⁾의 검토에 의하면, Benzo(a)pyrene 생애 노출량(40년 간, 주당 40시간 작업)이 $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ 인 경우, 10만 명 당 폐암 발생 위험에 대해 WHO는 9명, EPA는 0.1-1.4명이라고 하였으며, 기타의 연구들에서는 1-5명으로 예측하고 있다.

본 연구대상의 평균 근무기간은 전체 8.1 ± 8.8 년이며, 선박도장의 경우 5.2 ± 6.7 년, 강관도복의 경우 17.3 ± 10.7 년으로 PAHs 노출기간이 10년 이상인 장기 노출 근로자가 많으며, 작업 후 1-OHP가 $17.43 \pm 5.47 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 으로 높은 수준이었고, 공기 중 Benzo(a)pyrene 노출수준은 선박건조 작업 $0.003 \pm 5.460 \text{ mg}/\text{m}^3$, 강관제조업 $0.001 \pm 2.021 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었다. 따라서, WHO나 다른 연구들의 암 발생 위험 추정이 많은 가설이 전제되어 있어 절대적인 위험도 추정 기준은 될 수 없는 점을 감안하더라도, 이 근로자들은 장기간 비교적 높은 농도의 PAHs에 노출되고 있으므로 폐암의 발생위험도가 높아질 수 있어, 이들에서의 폐암발생에 대한 추적조사가 필요한 것으로 생각된다.

이 연구는 국내 콜타르 도료 취급 근로자 전원을 대상으로 한 연구가 아니지만, 주로 콜타르 도료를 취급하는 것으로 알려진 업종을 선정하였으므로, 이 연구결과는 국내에서 콜타르 도료를 주로 취급하는 업종인 선박제조, 강관제조, 도료제조업 근로자의 PAHs 노출수준을 반영한다고 할 수 있다.

또, 조사대상 업종인 선박제조, 도료제조업의 경우, 본조사 대상으로 선정된 사업장의 콜타르 도료 취급 부서 근로자 전원을 조사한 것이 아니라, 해당 부서 근

로자 중 조사기간 중 작업일정이 배치된 일부 근로자에 대한 조사이며, 일년 중 콜타르 도료 취급 작업이 없는 기간도 있으므로, 선박제조업과 도료제조업에서는 본 연구 결과를 취급 부서 근로자 전체에 적용하데는 한계가 있다.

선박제조업과 도료제조업 근로자들이 연간 콜타르 도료를 취급하는 기간을 파악하기 위해서는 각 사업장의 정확한 작업일정과, 콜타르 도료 취급량이 조사되어야 하는데, 이 업종들에서는 콜타르 도료 취급 작업이 대부분 불규칙하고, 수주량에 따라 수시로 변동하므로 실제로 이를 정확히 파악하는 것은 어렵다.

그러나, 본 연구는 콜타르 도료를 취급하는 기간을 정확하게 선정하여 실시하였으므로, 선박제조업, 도료제조업 근로자에서도 실제 콜타르 도료를 취급하는 작업을 하는 기간 동안에는, 본 연구에서 제시한 결론을 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결론

콜타르 도료 취급작업자를 대상으로 발암성물질 노출에 대한 연구 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) PAHs 노출수준은 기하평균 $0.092 \pm 8.67 \text{ mg/m}^3$ 로, 국내에서 조사된 코크스제조업 근로자보다 PAHs 노출수준이 높았으며, 조사대상 중 PAHs 노출수준이 가장 높은 업종은 강관제조업으로 $0.520 \pm 2.74 \text{ mg/m}^3$ 이었다.

(2) Benzo(a)pyrene은 전체 노출군에서 평균 $2.2 \pm 4.65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 이었는데 선박제조업 $3.4 \pm 5460.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, 강관제조업 1.0 ± 2021.0 으로 선박제조업에서 가장 높았다.

(3) 전체 근로자에서 작업 전 1-OHP 농도는 $9.1 \pm 5.4 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 비교군의 $0.3 \pm 1.66 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 보다 유의하게 높았고, 작업 후의 1-OHP는 노출군에서 $17.43 \pm 5.47 \text{ } \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 국내에서 보고된 코

크스 작업자 보다 높은 수준이었다. 이는 공기 중 PAHs 노출수준도 높지만, 피부노출이 많은 작업형태의 영향으로 추정되나, 정확한 판단을 위해서는 피부노출에 대한 정량적 연구가 필요하다.

(4) 비교군에서는 작업 전과 후 1-OHP 농도가 $0.29-0.38 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었고 흡연 여부에 의한 유의한 차이가 없었으나, 노출군에서는 작업 전의 경우 흡연자가 $11.91 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었으며, 비흡연자가 $4.14 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 로 유의한 차이를 보였다($P=0.02$). 노출군에서는 작업 후에도 흡연자에서 1-OHP가 더 높았으나 통계학적으로 유의하지는 않았다. 따라서 흡연이 소변 중 1-OHP에 영향을 주지만 노출군에서는 흡연보다는 작업에 의한 PAHs 노출에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

(5) 작업 후 1-OHP를 종속변수로, 공기 중 총 PAHs와 작업 전 1-OHP를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과, 공기 중 총 PAHs의 회귀계수는 11.82 ± 4.37 이었는데, 이는 기존의 보고 보다 커, 공기 중 노출이외에 피부노출의 영향 등을 추정할 수 있다.

(6) 회귀식에 흡연량을 독립변수로 추가하고, 공기 중 총 PAHs와 Benzo(a)pyrene의 영향을 동시에 평가한 결과, 작업 전 1-OHP와 공기 중 총 PAHs, 흡연력의 회귀계수는 통계학적으로 유의하였는데, 공기 중 Benzo(a)pyrene의 노출수준은 유의하지 않았다. 표준화계수의 크기는 작업 전 1-OHP, 공기 중 총 PAHs, 흡연력 순으로 나타났다. 따라서 본 연구대상에서 작업 후 1-OHP 농도는 흡연보다는 공기 중 총 PAHs의 노출에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

이상의 결과로 보아 본 연구대상인 콜타르도료 취급 근로자들 중 선박제조

업의 도장공과 강관제조업의 도복작업에서는 공기 중 PAHs 노출수준이 높으며, 소변 중 1-OHP 농도도 높아, 예방대책이 필요하다. 또, 이 근로자들은 피부노출의 위험이 큰 형태의 작업을 수행하므로, 같은 농도의 공기 중 PAHs 노출수준에서도 다른 업종의 근로자들 보다 체내 흡수량이 높을 수 있는 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

- 1) Boffetta P, Jourenkova N, Custavsson P. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Cancer Causes Control*. 1997; 8: 444-472.
- 2) Partanen TJ, et al. Cancer risk for European asphalt workers. *Scand J Work Environ Health*. 1995 Aug;21(4):252-8.
- 3) Buchet J P, Geenart J P, Mercado-Calderon F, Delavingnette J P, Cupers L, Lauwerys R. Evaluation of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in a coke production and graphite electrode manufacturing plant: assessment of urinary excretion of 1-hydroxypyrene as a biological indicator of exposure. *British J of Ind Med*. 1991; 49: 761-768.
- 4) Hummelen P V, Gennart J P, Buchet J P, Lauwerys R, Kirsch-Volders M. Biological markers in PAH exposed workers and controls. *Mutat Res*. 1993; 300: 231-239.
- 5) 강성규, 안연순, 정호근. 1990년대 한국의 직업성암. *대한산업의학회지*. 2001; 13(4): 351-359.
- 6) 이송권, 남철현, 노병의, 이영세, 조기현. 요중 1-OH-pyrene를 이용한 PAH 환경 근로자들의 노출평가 및 위생조치에 의한 총 노출량 감소효과. *한*

- 국산업위생학회지. 1997; 7(2): 264-278.
- 7) 권은혜, 이용학, 오정룡, 최정근, 이동환. 코크스오븐 작업자들의 코크스오븐 배출물 및 다핵방향족탄화수소 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지. 2000 ; 10(2): 53-67.
 - 8) 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
 - 9) Kim H, KIm Y D, LE H, Kawamoto T, Yang M, katoh T. Assay of 2-naphtol in human urine by high-performance liquid chromatography. J Chromatogr B Biomed Appl. 1999; 734: 211-217.
 - 10) 박래옥. 대기부유분진중 여러고리 방향족 화합물에 관한 연구. 홍대논집 1988; 20(1); 467-476.
 - 11) 백성옥, 김기남, 최진수, 박상곤, 박선미. 대구시 주거지역 대기중 입자상 다핵방향족탄화수소의 농도. Environ Res. 1994; 14(1): 29-42.
 - 12) Jongeneelen F J, Veen H G. Ambient and biological monitoring of cokeoven workers: dterminants of the internal dose of polycyclic aromatic hydrocarbons. Br J Ind Med. 1990; 47: 454-461.
 - 13) Joneneelen F J. Biological exposure limit for occupational exposure to coal tar pitch volatiles at cokeovens. Int Arch Occup Environ health. 1992; 63: 511-516.
 - 14) Ny E T, Heederik D Kromhout H, Jongeneelen F. The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons in air and in urine of workers in a soderberg potroom. Ad Ind Environ hyg 1993; 54(6): 277-284.

- 15) Mielyska D, Brasxcsyriska L, Siwinska, A, Smolik L, Nunak A, Sokal A. Exposure of coke-oven workers to polycyclic aromatic hydrocarbons based on biological monitoring results. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1997; 58: 661-666.
- 16) Joneneelen F J, Scheeper T J, Groenendijk A, Aerts L, Anzion R, Bos R P, Veenstra S J. Airborne concentration, skin contamination, and urinary metabolite excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers exposed to coal tar derieved road tars. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1988; 49(12) : 600-607.
- 17) Robinson M, Laurie RD, Bull RJ, Stober JA. Carcinogenic effects in A/J mice of particulate of a coal tar paint used in potable water systems. *Cancer Lett* 1987 Jan;34(1):49-54.
- 18) Robinson M, Bull RJ, Munch J, Meier J. Comparative carcinogenic and mutagenic activity of coal tar and petroleum asphalt paints used in potable water supply systems. *J Appl Toxicol* 1984 Feb;4(1):49-56.
- 19) Silvano M, Meier JR. Mutagenicity of coal tar paints used in drinking water distribution systems. *Sci Total Environ* 1984 Nov;39(3):251-63.
- 20) Jacob J. Grimmer G, Raab G, Shcmoldt A. The metabolism of pyrene by rat liver microsome and influence of various monooxygenase inducers. *Xenobiotica.* 1982; 12(1): 45-43.
- 21) Buckley T J, Lioy P J. An estimation of the time coursefrom human dietary exposureto polycyclic aromatic hydrocarbons to urinary elimination of 1-hydroxypyrene. *Br J Ind Med.* 1992; 49: 113-124.
- 22) Jongeneelen F J, Bos R P, Henderson T H. Exposure to Polycyclic

- aromatic hydrocarbons in petrochemical industries by measurement of urinary 1-hydroxypyrene. *Occup Environ Med* 1995; 51: 250-258.
- 23) Boogaard P J, Sittert N J. Exposure to Polycyclic aromatic hydrocarbons in petrochemical industries by measurement of urinary 1-hydroxypyrene. *Occup Environ Med* 1994; 51: 250-258.
- 24) Burgaz S, Borm P, Jongeneelen F J. Evaluation of urinary excretion of 1-OHP and thioethers in workers exposed to bitumen fumed. *Int Arch Occup Environ health* 1992 ;63 : 397-401.
- 25) Erminio C, zordan M, Venier P, Paleologo M, Levis A. Biological monitoring of human exposure to coal tar: Urinary excretion of total polycyclic aromatic hydrocarbons, 1-hydroxypyrene and mutagens in psoriatic patients. *Int Arch Occup Environ Health*. 1989; 61: 363-368.
- 26) Moen B E, Nilsson R, Nordlinder R, Qverbo S Bleie K, Skorve A H, Houllund B E. Assessment of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in engine rooms hy measurement of urinary 1-hydroxypyrene. *Occup Environ Med* 1996; 53: 692-696.
- 27) 강종원. 다환성 방향족 탄화수소 노출지표로서 요중 1-hydroxypyrene의 정상범위. *충북의대 학술지*. 1999; 9(2): 125-132.
- 28) 김현, 임현술, 강종원, 이호익, 김용대 등. 직업과 생활습관, 그리고 CYP1A1, GSTT1 유전자 다형성이 요중 1-hydroxypyrene과 2-Naphtol 농도에 미치는 영향. *대한산업의학학회지*. 1999; 11(4): 546-556.
- 29) Viau, Claude, Bouchard, Michele. Urinary 1-hydroxypyrene as a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: biological monitoring strategies and methodology for determining biological

- exposure indices for various work environments. *Biomarkers*. 1999 ;4(3):159–187.
- 30) VanRooij J G M, Bodelier-Bade M M, Jongeneelen F J. Estimation of individual dermal and respiratory uptake of Polycyclic aromatic Hydrocarbons in 12 coke oven workers. *Br J Ind Med*. 1993; 50: 623–632.
 - 31) Siwinska_E, Mielzynska_D, Bubak_A, Smolik_E. The effect of coal stoves and environmental tobacco smoke on the level of urinary 1-hydroxypyrene. *Mutation research* 1999; 445(2):147–153.
 - 32) Zmirou, D., Masclet, P., Boudet, C., Dor, F., Dechenaux, J. Personal Exposure to Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a General Adult Population and Lung Cancer Risk Assessment. *Occup Environ Med* 2000 42(2):121–126.
 - 33) Buratti, Marina, Colombi, Antonio, Pellegrino, Oronzo, Brambilla, Gabri. Urinary excretion of 1-hydroxypyrene as a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from different sources. *Biomarkers* 2000; 5(5):368–381.