

요중 1-OH-pyrene을 이용한 PAH환경근로자들의 노출평가 및 위생조치에 의한 총 노출량 감소효과

포항종합제철 보건관리실, 경산대학교 보건대학원*

이승권 · 남철현* · 노병의* · 이영세 · 조기현

— Abstract —

Exposure Assessment and Effect of Hygienic Measures for Reducing Total Exposure for Workers Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Using 1-OH-pyrene in Urine

Song-Kwon Lee, Chul-Hyun Nam*, Pyong-Ui Roh*, Young-Sei Lee, Ki-Hyun Cho

*Health Care Center, Pohang Iron and Steel Company
School of public Health, Kyung-San University**

The average level of coke oven emissions in the work site was 0.04 mg/m³, which was below the permissible exposure level(0.2 mg/m³). The average level of 1-OH-pyrene in the urine of the workers was 0.745 μ mol/mol creatinine which is far below the BEI(2.3 μ mol/mol creatinine). Correlation between airborne COE in working environment and urinary 1-OH-pyrene concentration was statistically significant. These results explain that exposure level by biological monitoring is much higher than that by environmental monitoring.

The effect of hygienic measures for reducing internal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons was studied in 25 coke-oven workers. Their 1-OH-pyrene levels increased by 0.77 μ mol/mol creatinine, while working with ordinary protective measures. The average levels of the same workers with extra hygienic measures increased by 0.34 μ mol/mol creatinine. The average increase of the urinary 1-OH-pyrene concentration over the 5-day work week was 56.3%(0.43 μ mol/mol creatinine) lower when extra hygienic measures were taken($p=0.0001$).

Key Words : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 1-OH-pyrene, Hygienic Measures,
Coke-oven Emissions

I. 서 론

다핵 방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons or Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAH)는 극성(極性)이 없고 지방에 용해되는 성질을 가진 물질로서 피부, 폐 또는 소화관을 통하여 흡수될 수 있는 물질이다(Williams, 1985). 이는 천연유기물이나 합성유기물의 불완전 연소나 열분해에 의하여 생산되는데(Peterson, 1991) 일반적으로 PAH는 자동차 배기가스, 정유공장 등에서 발생하고 코크스, 쿨탈 피치, 크레오소트, 중유 등이 고온에서 취급될 때 발생한다. 구성성분의 종류는 200여 가지가 알려져 있는데(백남원과 윤충식, 1993) 대표적인 PAH종류는 pyrene, benzo(a)pyrene, benzo(a)anthracene, chrysen 등 17종이 있다. 직업적으로는 코크스 제조, 일차 알미늄 생산, 목재처리, 도로포장, 지붕 도료처리 작업 등에서 노출되고(Brandt & Molyneux, 1985) 기타 의약품이나 음식물을 통하여도 노출되는데, 일반인들에 있어서는 식사나 흡연이 PAH 흡입의 주원인이 되고 있다. PAH는 피부, 폐 또는 소화관을 통해서 흡수되어 모든 조직으로 분포되는데 특히 지방농도가 높은 기관에 집중되어 조직에 독성을 일으키고 신장, 간에 변성변화(degenerative change)가 관찰되며 특히 흉선(thymus)과 비장(spleen)에서는 PAH에 의한 영향이 예민하게 나타난다. 그리고 PAH가 포함되어 있는 탈(tar)을 피부에 도포(塗布)하는 경우 유두종(papilloma)과 피부암을 국소적으로 일으킬 수 있으며(Nick et al., 1988) 폐와 신장조직에는 DNA 체계에 장애를 유발할 수도 있다.(Storer et al., 1984) 특히 코크스 생산 현장에서 PAH에 노출되는 경우 근로자들에게 폐암과 피부암을 일으킨다는 사실이 역학적인 연구결과로 알려져 있으며(Lloyd et al., 1970) 이에 관여하는 중요한 인자는 쿨탈 흠(fume)인데 동물실험 결과 이 속에 발암성이 있는 PAH를 많이 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(IARC, 1984). 이 중에서 chrysene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene 등은 미국정부 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial

Hygienist, ACGIH)에서 A2 물질 즉 사람에게 발암이 의심되는 물질로 분류하여 관리하고 있다(ACGIH, 1995). 또한 PAH가 발생되는 알루미늄 생산공장에서도 폐암과 방광암을 일으킨다는 것이 보고된 바 있다(Gibbs, 1985).

PAH는 대부분 호흡기를 통하여 인체에 흡입되기 때문에 이로 인한 건강문제를 예방하기 위하여 호흡기 보호조치가 가장 이상적인 것으로 생각되어 왔으며 지금에 와서도 대부분의 나라에서 호흡기만을 보호하는 조치를 취하고 있는 실정이다. 그러나 많은 화학물질들이 독성 작용을 일으킬 정도로 피부를 통하여 흡수될 수 있다는 증거가 늘어나고 있고 공기중 농도가 법적 허용기준치 이내임에도 불구하고 피부 흡수를 통하여 총 흡입량이 증가되어 문제가 일어날 수 있다고 알려져 있다(Grandjean, 1990). 특히 산업장에서 PAH에 의한 근로자들의 피부오염은 오염된 공기로부터의 접촉이나 작업복 내의, 장비의 오염된 표면과 접촉하므로써 일어날 수도 있다(Kandus et al., 1972). 그리고 PAH 환경의 평가는 PAH성분 전체의 측정보다는 pyrene을 측정하고 평가하는 경우가 많다. 이는 총 PAH 농도와 pyrene의 상관성이 매우 높고($r=0.94$) (Tjoe et al., 1993) pyrene이 하루 총 PAH 흡수량 중에서 가장 많은 양(23%)이 흡수되며(Vaessen et al., 1986) 다른 PAH 성분과도 가장 상관성이 높기 때문에 pyrene을 PAH환경 오염의 대표항목으로 하고 있다.

코크스 oven 작업자들을 대상으로 피부와 호흡기를 통한 PAH 흡입의 양적인 평가가 실시되었다. bio-marker로서 비교적 PAH 오염환경의 많은 부분을 차지하고(Butler & Crossley, 1981) 50 % 정도가 gas상으로 발생되는(Leinster & Evans, 1986) pyrene을 이용하여 연구한 결과 총 흡입량의 평균 75 %가 피부를 통하여 체내에 들어왔다는 것을 발견하였으며(Vanrooij et al., 1993) 체내에 들어온 Pyrene은 간세포에서 분비되는 cytochrome P-450 계통의 효소에 의하여 1-OH-pyrene으로 대사되어 요중으로 배설된다(Jacob et al., 1982) (Fig. 1).

요중 1-OH-pyrene 배설량의 변화는 호흡기를 이용한 pyrene 투여보다는 피부를 통한 pyrene투여에 의하여 크게 영향을 받았다. 이러한 연구결과는 작업환경에서 PAH의 체내 흡입 주요 경로가 피부라는 것을 나타내 주고 있다. 그러나 대부분의 나

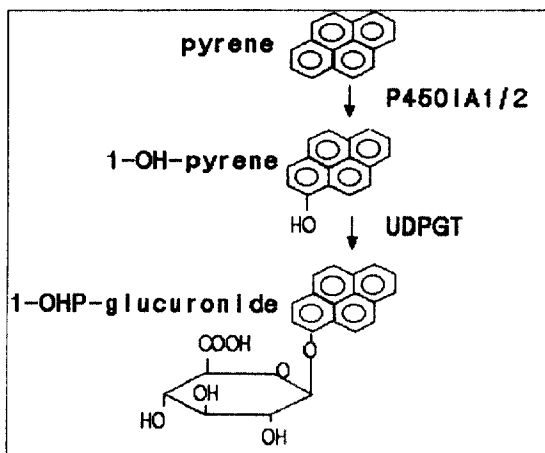


Fig. 1. Pathway in Pyrene Metabolism.

라에서는 PAH의 직업적인 노출을 방지하기 위하여 공기농도를 기준으로 한 ACGIH의 TLV(Threshold Limit Value)를 참고하고 있으며 우리나라의 경우도 PAH 발생작업장의 유해성을 평가하는 방법으로 코크스 건류시 공기중에 발생되는 배출물질(tar fume)을 포집하여 콜탈핏치 휘발분만을 측정하고 ACGIH 기준과 같이 0.2 mg/m³를 허용농도로 정하고 관리하고 있다(노동부, 1991). 이러한 PAH의 공기시료를 이용한 작업환경 monitoring은 작업자들의 전체 노출에 대한 피부흡수를 고려하지 않는 평가방법이기 때문에 생물학적 monitoring이 이들 유해물질에 대한 작업자들의 총 노출정도를 측정하는 이상적인 방법이다. 따라서 본 연구는 PAH에 노출되는 근로자들의 노출정도를 정확히 평가하고 인체내 흡입되는 주요 경로를 효과적으로 차단하여 근로자들의 건강을 보다 내실있게 보호하기 위하여 실시하게 되었다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 1996년 4월 12일부터 1996년 7월 31일까지 코크스공장 근로자중 일부 근로자들을 대상으로 실시하였다. 코크스공장은 석탄을 건류시켜 코크스를 만드는 설비인데 석탄을 장입하는 여러개의 방(cell)이 모여 하나의 공장을 이루고 있다. 원료공

장에서 코크스공장까지 이송된 석탄을 코크스 노(oven)의 상부(top side)에 있는 장입차(larry car)가 받아서 각 방(cell)에 채우고 1,270 °C에서 18~19시간 건류하게 된다. 건류된 석탄은 채워진 순서에 따라 oven후면(push side)에 있는 pushing car가 1개 방(cell)씩 밀어내게 되면 코크스-oven의 전면(coke side)에서는 유도차(guide car)와 소화차(quenching car)가 적열(赤熱) 코크스를 받아 소화시킨 후 일정한 크기의 코크스(75 mm이상)만을 고로공장으로 운반하여 철광석과 함께 용광로에 장입하게 된다(Fig. 2).

코크스-oven 상부의 장입차, oven전면의 가이드차, 소화차 그리고 oven후면의 pushing car 근무자들은 주로 운전실내에서 운전을 담당하고 oven전체를 정비하는 노체관리반(maintenance)은 oven의 유지, 보수를 담당하고 있다. 이들은 정비근무자를 제외한 전원이 4조 3교대 근무를 하고 있으며 1개 근무조가 8시간 동안 64개의 방(cell)을 처리 하여 하루 약 3,800 톤의 코크스를 생산하고 있다. 이 작업장은 대부분 옥외작업이지만 노 전체가 항상 석탄이 장입되어 건류되고 있는 상태이기 때문에 작업자들은 코크스 압출시 나오는 배출물질과 가스누설(gas leak) 등에 의하여 이동기기의 실내에서나 정비 점검시에 PAH 환경에 노출되게 된다.

본 연구에서는 생물학적 monitoring과 작업환경 monitoring에 의한 노출평가를 위하여 코크스 공장의 4개 근무조 전체 226명의 29.6 %에 해당하는 67명을 대상으로 하였고 위생적 조치를 실시하고 효과조사를 위해서는 코크스공장 근무자 총 226명중 coke측(coke side), 노 상부(爐上部, top side), 노 후면(爐後面, push side) 그리고 정비담당 근로자들이 고루 포함될 수 있도록 25명 (11.1 %)을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

1) 생물학적 monitoring과 작업환경 monitoring에 의한 노출 평가방법

대상인원 67명 각각에 대하여 생물학적 monitoring(요중 1-OH-pyrene 분석)과 개인별 작업환경 측정을 실시하고 노출정도 평가와 상관성 분석을 하였으며 그 방법은 다음과 같다.

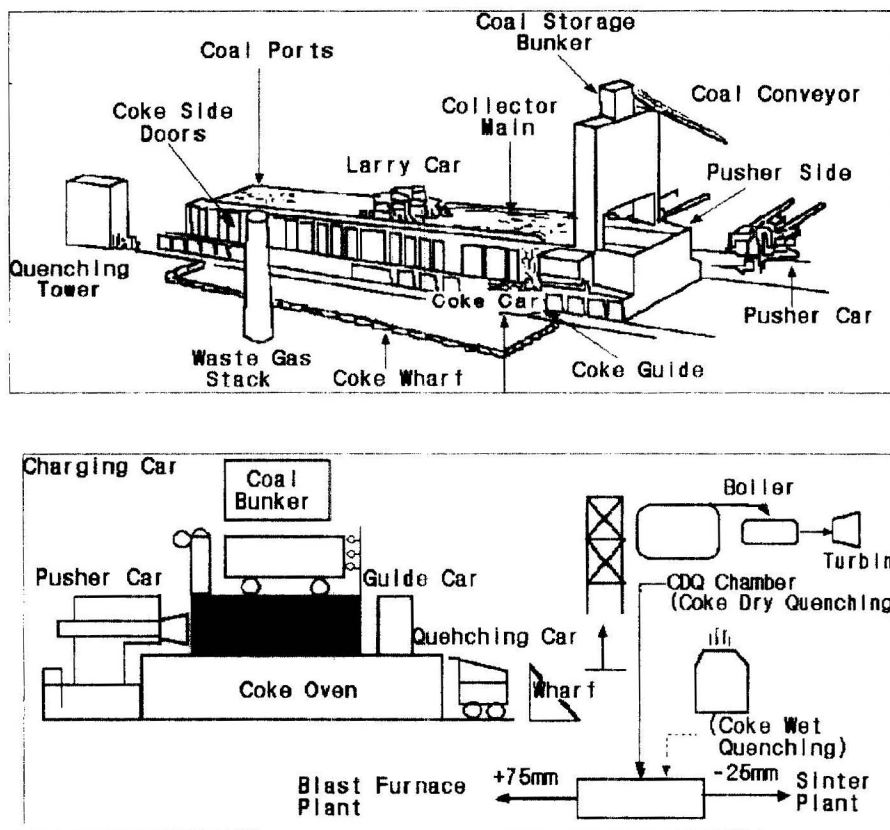


Fig. 2. Schematic Diagram of Coke-oven

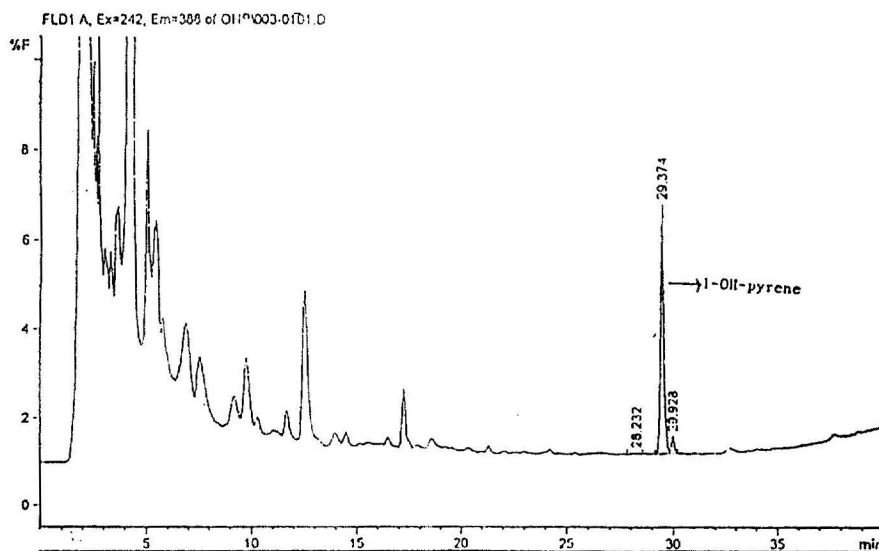


Fig. 3. 1-OH-pyrene Standard Wave by HPLC-Fluorescence Detector.

(1) HPLC-fluorescence detector에 의한 요중 1-OH-pyrene의 분석방법

요중 1-OH-pyrene의 분석방법은 Keimig등(1983)에 의하여 개발되었는데 본 연구에서는 Jongeneelen등(1987)의 분석방법에 준하여 실시하였다. 근무자에 대한 소변 채취는 5일 근무주기의 첫째날 작업 시작전과 마지막 날(5일째)의 근무종료시에 polypropylene tube에 소변 25 ml를 채취한 후 자외선에 노출되지 않도록 aluminum foil에 싸서 실험실로 운반하여 즉시 영하 20℃에 냉동시킨 후 일주일 이내에 분석하는 것을 원칙으로 하였으며 분석하기 전에 낮은 온도에서 서서히 해동시켜 시료로 사용하였다. 소변 샘플의 pH를 5.0로 조정한 후 β -Glucuronidase/Aryl sulfatase를 첨가하여 water bath에서 16시간 동안 가수분해 시킨 후 역상 C18 sep-pack cartridge에 여과하여 HPLC-fluorescence detector로서 분리된 1-OH-pyrene 물질을 확인 정량하였다(Fig. 3)

표준용액은 blank urine에 일정량의 표준시약을

농도별로 첨가하여 표준시료를 만들어 시료와 동일한 방법으로 분석하여 기지의 농도와 검출결과를 이용하여 검량선을 작성하였으며, 소변시료는 생화학 분석기 (Shimazu CL7000)를 이용하여 creatinine 농도를 측정하고 보정하였다.

요중대사산물농도 ($\mu\text{mol/mol creatinine}$) =

대사산물 ($\mu\text{mol/l}$)

크레아티닌 (mol/l)

《시약》

1-OH-pyrene standard(Janssen Co)는 nmol 농도수준으로 methanol에 녹여서 사용하였으며, β -Glucuronidase/aryl sulfatase(Sigma Co., USA)는 10,000 Fishman U/ml가 되도록 acetate buffer solution으로 희석하여 만들고 냉동보관 시킨 후 분석시에는 녹여서 사용하였으며 분석에 사용된 methanol과 물은 HPLC급을 사용하였다

$$1\text{-OHP} = 13.337(\text{COE}) + 0.491$$

$$(n=67, R^2=0.25, p=0.0001)$$

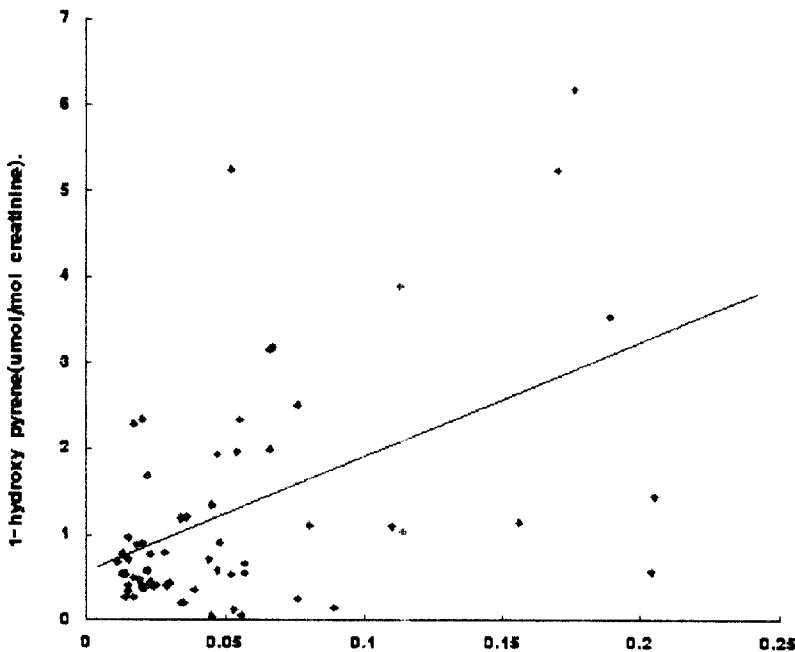


Fig. 4. Relationship between Airbone COE in Working Environment and Urinary 1-OH-pyrene(1-OHP) Concentration.

(Methanol : Aldrich, U.S.A., pure water : conductivity>18 Ω /cm).

《가수분해(加水分解)》

채취한 소변을 녹여 잘 섞은 후 20 ml를 1.0 M hydrochloric acid와 0.1 M acetate buffer(pH 5.0)를 사용하여 total volume이 30 ml가 되도록 하였으며 이 때 PH 5.0이 되도록 하였다. 이렇게 혼합된 시료에 125 μ l의 β -Glucuronidase/aryl sulfatase를 첨가한 후 37 $^{\circ}$ C, 210rpm의 속도로 rotary shaking bath(회전식 혼합수조)에서 16시간동안 혼합 하여 시료를 가수분해하였다.

《시료 전처리》

가수분해한 시료를 SPE cartridge(C18 reversed-phase liquid chromatographic material, HP Co, USA)에 여과하여 시료로 사용하였으며, 시료를 여과하기 전에 cartridge에 2 ml의 methanol을 통과시키고 다시 2 ml의 증류수를 통과시켜 cartridge를 안정화시킨다. 그리고 시료 1.2 ml를 cartridge에 통과시킨 다음 2 ml의 증류수를 통과시키고 다시 1.5 ml의 methanol을 통과시켜서 용출되어 나오는 액을 시료로 사용하였으며 이러한 전처리 과정은 자동처리 장비인 PrepStation(SPE Module, HP Co, USA)을 사용하여 실시하였다.

《검량선 작성》

검량선의 작성시 blank urine에 일정량(nmol수준)의 표준시약을 첨가하여 표준시료로 사용하였으며 5개 농도(12, 20, 50, 100, 200 nmol) 이상의 수준으로 만들어 시료와 동일한 방법으로 기기분석하여 나온 결과를 가지고 검량선을 작성하고 측정하였다.

《HPLC의 분석조건》

분석에 사용된 HPLC는 gradient system을 사용(HP 1050 series)하였으며 분석조건은 다음과 같다.

- Solvent gradient flow :

5분간 methanol-water(46:54)를 유지한 후 gradient에 의하여 35분 동안유지,
methanol-water(94:6)에 10분간 유지

- Column : 200 \times 4.6 mm RP-18(5 μ m), 온도는 40 $^{\circ}$ C를 유지

- Detector : Fluorescence Spectrophotometer (λ_{ex} :242 nm, λ_{em} :388 nm, gain:10)

- Flow rate : 0.8 ml/min

(2) 작업환경 monitoring(공기중 COE측정) 방법

공기중의 코크스 오븐 배출물질(Coke Oven Emissions, COE) 농도의 측정방법은 미국 국립 산업 안전보건연구소(National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH)의 분석방법 5023(1984)을 이용하였으며(NIOSH, 1994) COE 발생 작업에서 작업장소별 근무자에 대하여 PTFE membrane filter(2 μ m, Gelman Co.)를 개인 공기시료 채취기(MSA, Gillian)에 장착하여 시료포집 유속 2 l/min로 8시간동안 실시하였으며 보다 정확한 측정이 되도록 하기 위하여 5근무일중에 3회(1, 3, 5일) 측정하여 평균 농도를 산출하였다. 포집된 시료를 시험관에 옮긴 후 5 ml의 사이크로hex산(HPLC급, J.T Baker)을 가하고 초음파세정기에서 20분간 세정하여 시료를 용출시키고 주사기를 이용하여 시료를 뽑아내어 Syringe Filter(0.5 μ m, Millex-SR Millipore Co.)에서 여과한 후 미리 무게를 달아 둔 칭량컵에 1 ml를 옮겨 담아 진공건조기(Heraeus Co.)에서 40 $^{\circ}$ C, 50~200 mmHg로 2시간동안 증발 건조시킨 후 무게를 칭량하여 전후 무게 차에 의하여 시료농도를 산출하였으며 사용한 저울은 10⁻⁶ g까지 칭량 가능한 Mettler AT21을 사용하였다.

2) 총 노출량 감소를 위한 위생적인 조치의 효과 조사 방법

코크스 oven에 근무하는 근로자들에 대해서는 통상적으로 작업복, 직결식 gas-mask 또는 간이형 전면체 마스크, 안전화, 가죽장갑, 면장갑 등을 회사에서 지급하였는데 착용이 불가능하다고 판단될 경우 자율적으로 신품으로 교환해서 사용하였다. 양말은 대부분 매일 갈아신고 작업 후 목욕도 매일 하였으나 목수건과 피부보호크림은 지급하지 않았다. 본시험에서는 통상적인 방법과 달리 (Table 1)과 같이 별도의 위생적로서 작업복과 목부위 보호를 위한 면수건, 그리고 손 보호를 위한 가죽장갑은 매일 새것으로 지급 하거나 회사 세탁소를 이용하여 세탁한 것을 착용토록 하였고 내의류는 매일 가정에서 세탁하여 착용토록 하였다. 얼굴 보호를 위하여는 유기용제에 녹지 않고 도포 후에 쉽게 피부가 건조되는 피부 보호크림(Marly Skin)을 작업전에 반드시

시 도포하도록 지도하였고 휴식전과 식전에는 손과 얼굴을 씻고, 퇴근전 목욕을 하도록 교육하였다. 대상 선정시 노상과 노전, 노후 그리고 정비 작업자들이 최대한 전작업 위치가 포함되도록 하고 동일인이 평상시 작업과 위생적 조치후 작업을 수행케 하여 대조군과 실험군이 동시에 충족될 수 있도록 설계하였다. 위생조치 주간(週間)과 평상작업 주간 간에 작업환경이 다를 수 있기 때문에 사전에 4년간 6회 측정된 결과를 조사한 바 시점별 작업환경 변화는 거의 없음을 확인하였다. 년도별 작업위치별 평균치는 장소별 인원이 적기 때문에 (2~3명) 산술평균하였다 (Table 2).

이 설계에서는 평상 작업주간(週間)을 먼저 실시토록 하였는데 만약 위생조치 주간을 먼저 실시할 경우 위생관리 교육이 되어 평상 작업 주간에도 같

은 방법의 개인위생관리를 하기 때문에 위생조치 효과가 적게 나타날 수 있는 문제점이 있어 평상 작업 주간을 먼저 시험하게 되었다. 위생적 조치후와 평상 작업시에 총 노출량의 차이를 알기 위하여 위생적 조치 주간과 평상 작업 주간에 각각 근무시작전에 소변시료를 채취하고 5일째 근무 종료시점에 시료를 채취하여 전술한 2-1)-(1)의 1-OH-pyrene 분석 방법에 따라 분석하였으며 대상자 전원에 대한 위생적인 조치시와 평상작업시 작업전, 후 평균 증가치 차이를 위생조치시의 노출량 감소치로 하였다.

폭로평가시와 위생조치 효과평가시에 공히 시험이 끝나는날 퇴근 직전 소변채취시에는 간이 설문지를 이용하여 보호구 착용상태와 음식물 섭취상태, 흡연 여부, 피부오염방지조치상태 등 기본적인 사항에 대한 설문지를 입회하에 작성토록 하였다.

Table 1. The Hygienic Measures to Reduce the PAH Contamination through Skin of the Workers during Ordinary and Hygienic Work Week

Items of hygiene measure	Ordinary work week	Hygienic work week
Overall	clean after 5 work-shifts	clean after each work-shift
Underwear(pants and shirts)	new underwear after 2-3 work shifts	clean after each work-shift
Socks	new socks after each work shift	new socks after each work-shift
Gloves	new gloves after 1-2 weeks	new gloves everyday
Towel	didn't use towels	new towels after each work-shift
Washing hands and faces before each break	didn't keep washing everyday	kept washing everyday thoroughly
Take shower after work	everyday	everyday
Protective cream(Marly Skin)	didn't use cream before workshift	used cream on the skin of face and hands
Wristlet	didn't use wristlet	used wristlet for 5 days

Table 2. COE Concentration Level for 4 Years by Work Site

units : mg/m³

Year	*Top side	*Coke side	Maintenance
Apr, 95	0.08(0.06~0.10)	0.03(0.02~0.04)	0.06(0.05~0.06)
Sept, 94	0.06(0.05~0.08)	0.02(N.D~0.06)	0.06(N.D~0.09)
Apr, 94	0.08(0.06~0.11)	0.04(0.03~0.06)	0.05(0.03~0.14)
Sept, 93	0.08(0.05~0.15)	0.05(0.02~0.07)	0.03(0.01~0.06)
Apr, 93	0.08(0.04~0.14)	0.03(N.D~0.05)	0.04(0.01~0.06)
Sept, 92	0.08(0.01~0.17)	0.04(0.01~0.13)	0.05(N.D~0.14)

N.D=None Detect * All of workers work in the cab

3) 통계분석

통계분석은 SAS통계 Package (Version 6.08)를 사용하였으며 자료 분포의 정규성 여부를 평가하기 위하여 Shapiro-Wilk test를 실시한 후 자료분포 상태가 경사지게 분포(skewed distribution)를 하고 있는 경우 기하평균을 적용하였다. 위생조치 전·후의 평균치의 차를 알기 위하여 Wilcoxon signed rank test를 실시하였다. 자료의 상관분석 및 요중 1-OH-pyrene대사에 영향을 주는 인자를 찾아내기 위하여 회귀분석을 실시하였고 기하평균 및 그림은 Excell 5.0의 통계함수와 chart를 활용하였다.

III. 결 과

1. 공기중 COE농도와 생물학적 Monitoring에 의한 PAH환경 근로자들의 노출평가

PAH환경 근로자들의 신체내 총 노출량(internal total exposure)이 어느 정도되는지를 알기 위하여 코크스 oven에 근접하여 일하는 근로자 67명(top side 15명, push side 15명, coke side 26명, maintenance 11명)을 대상으로 요중 1-OH-pyrene농도와 COE농도를 동시에 측정된 결과(Table 3) 요중 1-OH-pyrene농도가 평균 $0.74 \pm 0.18 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로 나타나 Jongeneelen이 생물학적 노출지수(BEI)로 정하고 있는 $2.3 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 의 32% 수준이었다. 한편 개인시료 포집기를 이용한 작업환경 측정결과는 COE (Coke Oven Emissions)가 평균 0.038 mg/m^3 로서 우리나라 허용기준인 0.2 mg/m^3 의 19% 수준이었다.

작업 위치별로는 노(爐) 상부(上部)에 일하는 근로자들의 요중 1-OH-pyrene 농도가 $1.928 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로서 가장 높게 나타났으며 다음이 maintenance($0.987 \mu\text{mol/mol creatinine}$), push side($0.568 \mu\text{mol/mol creatinine}$), coke side($0.446 \mu\text{mol/mol creatinine}$) 순이었다. 작업위치별로 대사물질 측정결과에 차이가 있는지를 알기 위하여 분산분석(GLM)에 의한 4개 집단의 요중 1-OH-pyrene(산술)평균 농도를 Duncan 검정한 결과 top side 평균치는 push side, coke side 각각의 평균치와 유의한 차이가 있었으나($p=0.0061$) maintenance 작업자들 평균치와는 차의 의미가 없었다. 개인별 측정결과를 볼 때 전체 시험대상 67명 중 10명(15 %)이 1-OH-pyrene의 생물학적 노출지수를 초과하는 것으로 나타났으나 작업환경 monitoring에서는 2명(2.9 %)만이 허용기준을 넘는 것으로 나타나 PAH 환경 근로자들에게는 생물학적 monitoring이 직업병 예방관리상 더욱 필요함을 시사해 주었다.

작업환경 측정결과와 생물학적 monitoring결과에 대한 상관성을 분석한 결과 $r=0.5$ $p=0.0001$ 로서 전체적으로 상관성이 있는 것으로 나타났다. 예방적인 보건행태별로는 흡연자군이 요중 1-OH-pyrene 농도가 $0.878 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 비흡연자군이 $0.506 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로서 흡연자군이 비흡연자군에 비하여 높고 음주자군이 $0.694 \mu\text{mol/mol creatinine}$, 비음주자군이 $0.890 \mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로서 비음주자군이 음주자군에 비하여 높게 나타났다. 그러나 median test 결과 유의성이 없었다(p -value 각각 0.13).

Table 3. Exposure Evaluation for Workers with Biological and Environmental Monitoring Data

Group	1-OH-pyrene		COE	
	GM ² ($\mu\text{mol/mol creatinine}$)	GSD ³	GM(mg/m^3)	GSD
Average(n=67)	0.745	2.71	0.101	1.78
Top side(n=15)	1.925	2.13	0.101	1.78
Push side(n=15)	0.568	1.64	0.023	1.67
Coke side(n=26)	0.446	2.74	0.032	1.86
Maintenance(n=11)	0.987	2.21	0.029	1.61

1. COE=Coke Oven Emissions

2. GM=Geometric Mean

3. GSD=Geometric Standard Deviation

피부흡수와 관련이 있는 체표면적이 큰 군과 작은 군(전체 체표면적의 평균치 보다 큰 사람과 적은 사람)과를 비교할 때 큰 군의 요중 1-OH-pyrene 농도가 0.766 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine이고 작은 군이 0.726 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine로서 체표면적이 큰 군이 작은 군에 비하여 다소 높게 나타났으나 유의성은 없었다($p=0.54$) (Table 4).

상관분석에 이어 회귀분석결과 (Fig. 3) 전체적으로 $r^2=0.25$, $p=0.0001$ 로서 작업환경이 요중 1-OH-pyrene 농도사이에 선형관계가 있는 것으로 나타났으며 결정계수가 0.25로서 총변동량 중에서 25%

정도가 회귀식에 의하여 설명이 가능한 것으로 나타났다. 그리고 예방적인 보건행태별로는 흡연구과 음주군이 비흡연, 비음주군에 비하여 회귀식에 의한 설명력이 높고 체표면적에 있었어는 평균 체표면적 보다 큰 군이 작은 군에 비하여 설명력이 더욱 높았다 (Table 5).

2. 위생적인 조치에 의한 총 노출량 감소효과

PAH 환경에 노출되는 근로자들이 위생적인 조치를 취하고 근무했을 때와 평상적인 상태로 근무했을 때에 공히 요중 1-OH-pyrene 농도의 차이를 나타

Table 4. Comparison between 1-OH-pyrene and COE to Smoking, Drinking Alcohol and Body Surface

Group	☆1-OH-pyrene		COE		r	P-value
	GM($\mu\text{mol/mol}$ creatinine)	GSD	GM(mg/m^3)	GSD		
Smoking						
- yes (n=47)	0.878	2.374	0.035	2.250	0.56	0.0001
- no(n=20)	0.506	3.294	0.044	2.026	0.31	0.1695
Drinking alcohol						
- yes(n=48)	0.694	2.901	0.036	2.345	0.51	0.0002
- no(n=19)	0.890	2.228	0.043	1.766	0.44	0.0549
*Body surface						
- high(n=32)	0.766	3.574	0.044	2.109	0.61	0.0002
- low(n=35)	0.726	1.957	0.033	2.220	0.36	0.0314
Average(n=67)					0.50	0.0001

* The total body surface of a worker was based on weight and height, and calculated with the formula proposed by Du Bois. Total body area(cm^2)= $71.84 \times \text{weight}0.425(\text{kg}) \times \text{height}0.725(\text{cm})$

☆ median test p-value

① Smoker and Non-Smoker : 0.13

② Alcohol and No-alcohol : 0.37

③ Body Surface High and Low : 0.54

Table 5. Regression Analysis between Environmental and Biological Monitoring Data

Group	Model	α	β	R ²	P-value
Total	$y=13.337x + 0.491(n=67)$	0.2008	2.8303	0.2546	0.0001
Smoker	$y=15.584x + 0.522(n=47)$	0.2387	3.3493	0.3248	0.0001
Non-smoker	$y=6.9990x + 0.502(n=20)$	0.3430	4.8901	0.1022	0.1695
Alcohol drinker	$y=13.289x + 0.482(n=48)$	0.2490	3.2811	0.2629	0.0002
Non-drinker	$y=13.957x + 0.490(n=19)$	0.3829	6.7700	0.2000	0.0549
Body surface - high	$y=21.282x + 0.258(n=32)$	0.3696	4.9453	0.3817	0.0004
Body surface - low	$y=5.2809x + 0.665(n=35)$	0.1581	2.3496	0.1328	0.0314

내고 있는데 2명을 제외한 모든 근로자들이 평상작업시에 비하여 위생적인 조치시에 작업후 요중 1-OH-pyrene의 농도가 적은 것으로 나타났다. 시험대상 25명이 평상적인 상태로 근무했을 때 요중 1-OH-pyrene의 증가는 평균 0.77(GM) $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 이었으나 위생적인 조치후에는 평균 0.34 $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 으로서 위생적인 조치를 한 후의 증가치가 평상적인 상태로 근무했을 때 보다 평균

0.43 $\mu\text{mol/mol creatinine}$ 이 적게 증가한 것으로 나타났다($p=0.0001$) (Table 6).

이는 피부흡수 방지조치를 통하여 56.3 % 정도 요중 1-OH-pyrene 배설량을 줄임으로써 위생적인 조치가 총 노출량을 줄이는데 크게 기여함을 알 수가 있었다. 이러한 감소효과는 VanRooij 등(1993)이 보고한 37 %보다 더욱 효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 시험기간중 근로자들의 철저한 위생적 조치와

Table 6. The Increase of the 1-OH-pyrene Concentration in Urine During the "Hygienic" and "Ordinary" Work Week : the Effect of Extra Hygienic Skin Protective Measures

Worker	Work site	Urinary 1-OH-pyrene concentration($\mu\text{mol/mol creatinine}$)					
		Ordinary work week			Hygienic work week		
		Day 1 Pre-shift	Day 5 Post-shift	Increase (A)	Day 1 Pre-shift	Day 5 Post-shift	Increase (B)
1	Top	1.317	4.759	3.442	0.243	1.665	0.422
2	Top	0.366	0.934	0.568	0.484	0.888	0.404
3	Top	0.376	5.592	5.216	0.349	4.520	4.171
4	Top	0.001	3.199	3.198	0.215	2.898	2.683
5	Top	0.566	3.146	2.580	0.517	1.254	0.737
6	Top	0.424	1.105	0.681	0.342	0.348	0.006
7	Coke	0.231	0.543	0.321	0.348	0.591	0.243
8	Coke	0.170	0.451	0.281	0.328	0.329	0.001
9	Coke	0.223	0.669	0.446	0.001	0.407	0.406
10	Coke	0.413	0.730	0.317	0.193	0.470	0.277
11	Coke	0.001	0.708	0.707	0.001	0.083	0.082
12	Coke	0.557	1.376	0.819	0.258	0.374	0.116
13	Coke	0.299	0.861	0.562	0.271	0.710	0.439
14	Coke	0.254	0.809	0.555	0.001	0.724	0.723
15	Push	0.001	0.767	0.766	0.001	0.708	0.707
16	Push	0.230	1.043	0.813	0.124	0.828	0.704
17	Push	0.001	2.179	2.178	0.143	1.171	1.028
18	Push	0.164	0.754	0.590	0.096	0.610	0.514
19	Push	0.209	0.665	0.456	0.442	0.783	0.341
20	Push	0.163	0.690	0.527	0.419	0.563	0.144
21	Mainte.	0.001	0.883	0.882	0.001	0.642	0.641
22	Mainte.	0.001	0.936	0.935	0.001	0.458	0.457
23	Mainte.	0.111	0.437	0.326	0.001	0.001	0.000
24	Mainte.	0.001	0.482	0.481	0.001	0.001	0.000
25	Mainte.	0.252	0.775	0.523	0.001	0.641	0.640
Arithmetic mean		0.253	1.239	1.126	0.231	0.867	0.715
Geometric mean		0.060	0.961	0.774	0.038	0.407	0.338

Signed rank test $p=0.0001$

(significance of difference between A and B)

VanRooij 등(1993)이 실시한 위생적 조치보다 목도리, 토시, 피부보호 크림 도포 등 세가지의 위생적 조치를 강화한데 기인 되는 것으로 사료된다. 또한 5 근무일의 근무 종료시점에서 요중 1-OH-pyrene을 측정한 결과 Jongeneelen(1992)이 제안한 생물학적 노출지수(BEI) 2.3 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine 이상인 근로자가 4명이었으나 위생 조치 후에는 50 %가 감소한 2명만이 BEI를 상회하였고 측정치도 평상 작업시 보다 낮게 나타났다. 작업전 농도는 top side(爐上部)에서 위생조치시나 평상 작업시 공히 높게 나타났으며 작업 후에도 top side가 가장 높은 것으로 나타났다.

작업 위치별 위생조치의 효과에서도 역시 top side가 가장 높고 push side(爐後面)가 가장 낮게 나타났다(Fig. 5).

음주 여부별 위생조치의 효과분석에서는 술을

마시지 않는 군이 64.5 %, 술을 마시는 군이 48.6 %의 감소효과가 있는 것으로 나타나 비음주군이 약 16 %정도 위생조치 효과가 더 큰 것으로 분석되었다.

흡연 여부별 위생조치의 효과분석에서는 흡연자군이 62 %, 비흡연자군이 43.9 %로서 흡연자군이 위생적 조치의 효과가 큰 것으로 나타났다(Table 7).

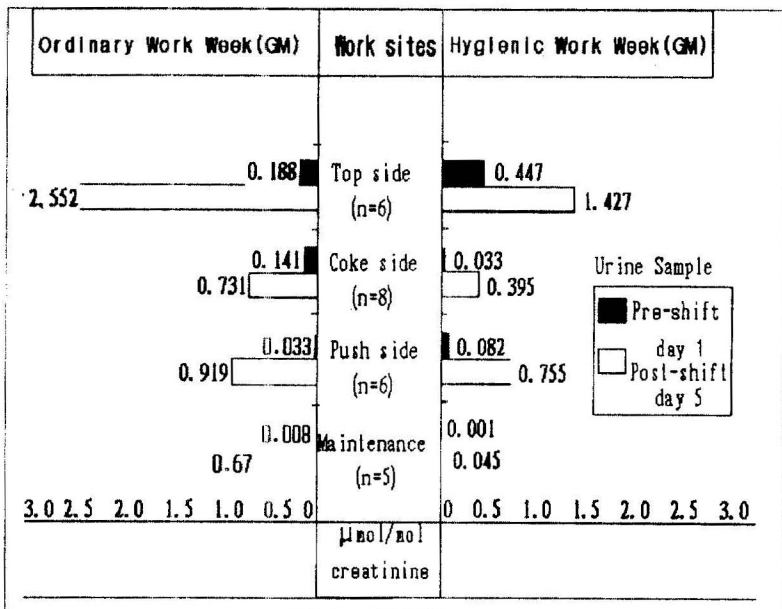


Fig. 5. The Effect of Hygienic Measures on the Urinary 1-OH-pyrene Excretion by Coke Work Site.

Table 7. The Effect of Smoking, Drinking Alcohol and Mask on Urinary 1-OH-pyrene Concentration after Hygienic Measures

Group		Urinary 1-OH-pyrene concentration(μmol/mol creatinine)						Effect(B-A) *100/A
		Ordinary work week			Hygienic work week			
		Day 1 Pre-shift	Day 5 Post-shift	Increase (A)	Day 1 Pre-shift	Day 5 Post-shift	Increase (B)	
Smoking	Yes(N=16)	0.004	0.921	0.690	0.036	0.444	0.262	62.0
	No (N=9)	0.052	1.237	0.950	0.043	0.348	0.533	43.9
Drinking alcohol	Yes(N=14)	0.052	0.887	0.697	0.018	0.260	0.350	48.6
	No (N=11)	0.071	1.231	0.885	0.104	0.720	0.314	64.5
Mask	Disposable (N=10)	0.10	1.261	0.913	0.053	0.466	0.042	29.7
	Gas Mask (N=13)	0.032	0.816	0.637	0.021	0.310	0.266	58.2

보호구 착용상태별 위생적 조치의 효과분석에서는 간이마스크를 착용한 군이 29.7 % (GM)이고 방독 마스크를 착용한 군이 58.2 % (GM), 미착용군이 24.1 % (AM)로서 방독마스크를 착용한 군이 피부 흡수 방지효과가 더 큰 것으로 나타났으며 작업 종료시의 측정결과치도 간이 마스크 착용군이 방독마스크 착용군에 비하여 정상작업 주간(週間)과 위생 조치 주간 모두 요중 1-OH-pyrene 농도 즉 체내 총 노출량이 훨씬 큰 것으로 나타났다(Table 7).

IV. 고 찰

다핵 방향족탄화수소가 보건학적으로 중요한 의미를 갖는 것은 이들에 포함되어 있는 많은 성분들이 발암성 물질과 변이원성 물질로 인식되고 있기 때문이다. 미국환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 많은 다핵 방향족탄화수소중 naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, indeno(1,2,3-cd)pyrene을 발암성 물질로 규정하고 있다(백남원과 윤충식, 1993). 그런데 산업장에서는 다핵 방향족탄화수소의 흡수경로가 호흡기 보다는 피부가 더욱 중요한 경로임이 밝혀짐에 따라 PAH 노출을 감소하기 위한 예방조치는 공기흡입량을 감소시키는 것보다도 PAH의 피부오염을 줄이는데 초점을 맞추어야 한다(VanRooy et al., 1993).

화학물질의 피부흡수에 있어서는 피부의 구조 즉 화학적 조성, 각질층의 두께, 땀샘과 땀구멍의 수 그리고 피하조직의 대사능력, 해부학적 위치에 따라서도 차이가 있고 신체부위의 수분, 마찰, 온도와 같은 조건에 따라서도 피부흡수에 중요한 영향을 미칠 수 있다. (VanRooy et al., 1993) 뿐만 아니라 개인의 습관과 위생관리 수준, 식이 등에 따라서도 다를 수 있기 때문에 환경측정만으로서 PAH 환경 근로자들의 건강관리를 한다는 것은 문제가 있다고 생각한다. Jongeneelen이 (1992) 조사연구한 코크스-oven 근로자 13명에 대한 생물학적 monitoring 자료를 보면 작업후 1-OH-pyrene 농도가 산술평균으로

3.67 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine (median 2.64)으로서 BEI 2.3 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine 수준을 넘고 있으며 개인별로는 13명중 10명이 BEI를 초과하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 5근무일의 마지막 날 작업이 끝나는 시점에서 측정결과 평균(AM) 1.239 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine로서 총 흡수량이 매우 낮게 나타난 것은 작업환경이 유럽지역보다 매우 좋기 때문으로 해석된다. 도로포장 근로자들에 있어서 도로의 타(tar)로부터 발생한 pyrene이 손목과 손에 노출되는 정도에 따라 요중 1-OH-pyrene과는 유의한 상관관계가 있음을 나타내었다(Spearman rank; 손목 $r=0.36$, $p<0.05$, 손 $r=0.63$, $p<0.01$).

coke공장 battery 상부의 공기중 입자상 물질은 PAH를 무게로 약 15 % 포함하고 있기(Bjorseth & Becher, 1986) 때문에 쿨탈핏치 휘발분의 측정치가 높으면 공기중 PAH도 높다고 말할 수 있다. 일반적으로 여과지에 많이 포집되는 성분을 입자상 다핵 방향족탄화수소라 하고 흡착제인 충전물질에 많이 포집되는 성분을 gas상 다핵방향족 탄화수소라 하는데 분자량이 작고 고리수가 3개인 것과 4개인 것의 일부는 흡착제에 포집되고 고리수가 4개인 것 일부와 5개 이상의 것은 여과지에 포집된다. PAH 중 고리수 4개 이상의 것이 유해성이 크기 때문에 여과지에 포집된 벤젠 용해성 쿨탈핏치 휘발분을 측정하고 내부 노출정도를 비교 평가하는 것도 직업병 예방관리 차원에서 중요한 의미를 가지고 있다. 그러나 전체적인 PAH를 정확히 측정하기 위해서는 부적합한 면이 있다(Lesage et al., 1987).

대부분의 연구에서는 총 PAH와 각 성분별 상관성 그리고 각 성분과 요중1-OH-pyrene과의 상관성이 분석되어 있고 쿨탈핏치 휘발분과 요중 PAH 대사산물과의 상관분석의 경우에도 $r=0.84$ (Tjoe et al., 1993)로서 상관성이 있는 것으로 연구 보고되었으나 일부 논문에서는 상관성을 경미하게 평가한 경우도 있다. 본 연구에서는 5일 연속 근무후 마지막 날 측정치와 요중 1-OH-pyrene 사이에 선형관계($r^2=0.25$, $p=0.001$)가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Williams등(1990)의 경우는 25명에 대한 결과이고 본 연구에서는 67명에 대한 결과이기 때문에 sample size의 차이에 의한 것으로 판단된다. 미국 알루미늄 환원공장 근로자들을 대상으로 작업후 1-OH-pyrene을 측정한 결과 1.9~5.0 $\mu\text{mol/mol}$ crea-

tinine으로 나타나 BEI 2.3 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine을 넘는 경우가 많았고 공기중 COE 측정에서는 최저 N.D에서 최고 0.6 mg/m^3 로서 허용기준 이상만 검출되고(Tolos et al., 1990) 허용기준 이하는 모두 N.D로 처리된 것으로 보아 측정 방법상의 문제로 미량 검출에 실패한 것으로 판단된다.

본 연구에서 생물학적 측정자료의 노출평가 결과 전체 평균치는 BEI를 넘지 않으나 개별적으로는 시료를 채취한 67명중 10명에서 BEI치를 넘는 것으로 보아 이는 선진국의 경우보다 전체적으로 PAH에 의한 체내흡수가 적다는 것을 알 수 있고 작업환경의 농도도 전체적으로 허용기준에 미달하였다. 그러나 흡연자와 체표면적이 큰 집단이 체내 노출량이 많기 때문에 생물학적 monitoring을 통하여 개별적인 예방관리가 적절히 이루어져야 하고 관련자료를 유지관리함으로써 위험도 평가에 참고가 될 수 있도록 하여야 할 것이다(Fannick et al., 1972). Burgaz등(1992)이 creosote 근로자들을 대상으로 조사한 바에 의하면 흡연이 요중 1-OH-pyrene 농도에 거의 영향을 미치지 않는다고는 하였으나 본 논문에서는 대부분의 결과들이 의미있는 수치는 아니지만 경미하게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

음주자와 비음주자간의 효과평가에서는 음주군이 48.6 %, 비음주군이 64.5 %로 비음주군이 위생적 조치의 효과가 높은 것으로 나타나 비음주군의 철저한 위생조치가 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. 비흡연과 흡연 사이에도 위생적 조치의 효과가 달라 나타나는데 비흡연자군이 43.7 %로 낮고 흡연자군이 62 %로 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 흡연자가 피부 보호와 함께 흡연에 대한 자기관리를 충실히 한 때문으로 해석된다. 마스크 종류별 위생적 조치의 효과는 gas를 가장 잘 여과할 수 있는 가스 마스크 착용자가 가장 효과가 높은 이유는 호흡기와 피부를 동시에 보호하여 전체 체내 흡입량을 줄일 수 있었기 때문이다. 이러한 분석결과는 PAH 환경하에서 일하는 근로자들에게는 호흡기 보호와 동시에 피부보호 조치를 취하는 것이 가장 이상적임을 이해시켜 주고 있다. 또한 건강관리를 위하여 육류와 음식을 통한 노출도 산업장 노출에 못지 않게 중요한 것으로 보고되고 있지만 본 연구에서는 답변의 부정확성 때문에 조사되지 않았지만 식이에 대한 교육도 매우 중요한 요소이다(Davies et al.,

1980; Dankovic et al., 1989). 작업위치별로는 top side 근로자들이 높고 push side 쪽이 낮은 것은 위치별 작업환경의 차이가 주요 원인인 것으로 보인다.

특히 본연구에서 위생조치 효과가 56.1 % (GM)으로 나타난 것은 목수건을 통한 피부 노출방지등 추가된 위생조치외에도 전혀 위생교육을 하지 않은 상태에서 처음 실시된 조사이기 때문에 더욱 효과가 크게 나타난 것으로 사료된다.

V. 결 론

코크스 oven 근로자들을 대상으로 요중 1-OH-pyrene을 분석하여 결과를 작업환경 측정치와 비교 평가하고 피부흡수방지를 통한 총노출량 감소를 위하여 매일 깨끗한 작업복 착용, 매일 내의와 양말의 세탁착용, 매일 새장갑 착용, 휴식전 얼굴과 손 세척 등의 위생조치를 취한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PAH 환경에 노출된 근로자 67명(전체 인원의 29.6 %)을 대상으로 총 노출정도를 평가한 결과 요중 1-OH-pyrene 농도가 평균 0.745 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine(GM)으로서 생물학적 노출지수(BEI)로 정하고 있는 2.3 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine의 32.3 % 수준이고 작업환경 측정에서는 COE가 허용기준(0.2 mg/m^3)의 19 % 수준인 0.038 mg/m^3 이었다.

작업환경 측정결과(COE)와 생물학적 모니터링 결과와의 상관분석에서는 전체적으로 $r=0.5$, $p=0.0001$ 로서 상관성이 있었으며 회귀분석에서는 $r^2=0.25$, $p=0.0001$ 로서 종속변수의 총 변동량중 25 %가 회귀식에 의한 설명력이 있고 공기중 COE농도가 요중 1-OH-pyrene 농도에 선형적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 흡연 및 음주여부, 체표면적의 크기 등 신체내 노출량 증가요인이 될 수 있는 요인별 상관분석에서는 흡연군, 음주군, 체표면적이 큰 군에서 회귀식에 의한 설명이 더 높았다. 작업위치별로는 노상부(top side) 근로자들의 요중 1-OH-pyrene 농도가 1.928 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine로서 가장 높게 나타났고 maintenance 근로자들(0.98 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine)이 다음으로 높게 나타났으며 특히 top side 근로자들은 coke side, push side에 비하여 유의하게 높은것으로 나타났다.

2. 5일 연속근무일에 PAH에 폭로된 상태가 56시간의 휴일중에도 완전 회복이 되지 않고 있기 때문에 코크스로에 근접하여 일하는 근로자 25명을 대상으로 위생적 조치가 총 노출량을 얼마만큼 줄일 수 있는지를 측정한 결과 위생적 조치를 취하지 않은 정상작업시 근무시작전에 비하여 연속 5근무일 후에 평균 0.77 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine이 증가하고 위생적 조치시에는 근무전에 비하여 연속 5근무일 후에 평균 0.33 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine이 증가하여 위생조치시 0.43 $\mu\text{mol/mol}$ creatinine 적게 증가한 것으로 나타나 56.3 % (GM)의 감소 효과가 있는 것으로 평가되었다.

3. 음주자에 있어서는 위생조치 효과가 48.6 %이고 비음주자는 64.5 %로서 비음주자의 위생조치 효과가 15.9 % 더 좋은 것으로 나타났다. 보호구 종류별 효과 평가에서는 방독마스크 착용자가 58.2 %, 활성탄이 부착된 간이 마스크 착용자가 29.7 %, 보호구 미착용자가 24.1 % 로서 방독면 착용자가 가장 위생조치 효율이 높게 나타났다. 흡연자와 비흡연자 사이에서는 흡연자가 62 %, 비흡연자가 43.9 % 로서 비흡연자의 위생조치 효과가 보다 높게 나타났으며 작업장 위치별로는 top side 근로자들과 maintenance 근로자들에서 위생조치 효과가 높게 나타났다.

이상과 같은 결과를 배경으로 PAH에 노출되는 근로자들의 건강을 효과적으로 유지하기 위해서는 우리나라 작업환경 허용기준에 피부표시 (skin notation)를 하여 피부로 흡수되는 것이 중요하다는 것을 인식토록 하여야 하고 PAH 환경에 대하여서는 작업환경측정 외에도 근로자들에 대한 생물학적 monitoring을 실시하여 총 노출량을 주기적으로 평가토록 권고하여야 한다.

또한 PAH 환경 근로자들에 대하여는 호흡기와 피부를 동시에 보호하는 것이 이상적이므로 피부보호를 위한 개인별 위생조치 기준을 제정하여 근로자들이 건강관리를 보다 철저히 할 수 있도록 유도하여야 할 것이다.

REFERENCES

- 노동부 : 유해물질의 허용농도, 1991, 고시 제 91-21:21-81
- 윤충식, 백남원 : 코크스제조공정에서 탄화시간과 시료 채취방법에 따른 다핵방향족탄화수소 발생에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993;3(1):37-53
- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienist : Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. Cincinnati, Ohio;ACGIH Inc., 1995, 17-64
- Bjorseth A, Becher G : PAH in work atmosphere: Occurrence and determination, FL., CRC Press Inc., 1986
- Brandt H C, Molyneux M U B : Sampling and analysis of bitumen fumes. Part 2. Field exposure measurements. Ann. Occup. Hyg. 1985;29:47-58
- Burgaz S, Borm PJA, Jongeneelen : Evaluation of urinary excretion of 1-hydroxypyrene and thioethers in workers exposed to bitumen fumes. Int. Arch. Occup. Environ Health 1992;63:397-401
- Butler J, Crossley P : Reactivity of polycyclic aromatic hydrocarbons absorbed on soot particles. Atmospheric environment 1981;15:91-94
- Dankovic D A, Wright C W, Zangar R C, Springer D L : Complex mixture effects on the dermal absorption of benzo (a)pyrene and other polycyclic aromatic hydrocarbons from mouse skin. T. Appl. Toxicol. 1989;9(4):239-244
- Davies G M, Hodgkinson A, Divetta P : Measurement, analysis of occupational exposure to coke oven emissions. Ann. Occup. Hyg. 1980;30(1):51-62
- Fannick N, Gonshor L, Shockley J J : Exposure to coal tar pitch volatiles at coke ovens. Am Ind. Hyg. Ass. J. 1972;33:461-468
- Gibbs G W : Mortality of aluminum reduction plant workers, 1950 through 1977. J. Occup. Med. 1985;27:761-770
- Grandjean P : skin penetration : Hazardous chemicals at work, London, Taylor & Francis Ltd, 1990
- International Agency for Research on Cancer : IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Polynuclear aromatic compounds. part 3 : Industrial exposure in aluminum production, coal gasification, coke production, and iron steel founding 34, France, IARC, Lyon, 1981
- Jacob J, Grimmer G, Raab G, Schmoldt A : The metabolism of pyrene by rat liver microsome and influence of various monooxygenase inducers. Xenobiotica. 1982;12(1):45-43
- Jongeneelen F J : Biological exposure limit for occupational exposure to coal tar pitch volatiles at coke ovens. Int. Archs. Occup. Environ. Health 1992;63:511-516

- Jongeneelen FJ, Anzion RBM, Henderson P Th : Determination of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine. *J. chromatography* 1987;413:227-232
- Kandus J, Masek V and Jach Z : Determination of the content of benzo(a)pyrene of workers clothes and under-clothing in a pitch manufacturing plant. *Zentralbl. Arbeitsmed.* 1972;22:138-141
- Leinster P, Evans M J : Factors affecting the sampling of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons a review. *Ann. Occup. Hyg.* 1986;30:481-495
- Lesage J, Perrault G, Durand P : Evaluation of workers exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1987;48:753-759
- Lloyd J W, Ludia J F E, Redmond C K, Geiser P B : Long term mortality study of steel workers. IV. Mortality by work area. *J. Occup. Med.* 1970;12:151-157
- Nick H, James P Hughes, Michael L Fischman : Chemical hazards of the workplace, Philadelphia, J.B Lippincott company, 1988, 159-161
- NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health : Method No.5506, Polynuclear aromatic hydrocarbons, NIOSH manual of analytical methods, 4th ed., Cincinnati, OH, DHHS(NIOSH) publication. 1994, No.84-100
- Peterson Jack E : Industrial Health 2nd edition. Cincinnati, OH, ACGIH Inc., 1994, 161-172
- Storer J S, Deleon I, Millikan L E : Human absorption of crude coal tar products. *Arch. Dermatol.* 1984;120:874-877
- Tjoer 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
- Tolos William P, Shaw Peter B, Lowry Larry K, Mackenzie Barbara A, Deng Jou-Fang, Markel Harry L : 1-pyrenol : A biomarker for occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1990;5(5):303-309
- VanRooij J G M, De Roos H C, Bodelier-bade M M, Jongeneelen F J : Absorption of polycyclic aromatic Hydrocarbons through human skin : Differences between anatomical sites and individuals. *J. Toxicol. Environ. Health* 1993;38:355-368
- VanRooij J G M, Bodelier-Bade Monika M, Hopmans Piet M J, Jongeneelen F J : Reduction of urinary 1-hydroxypyrene excretion in coke-oven workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons due to improved hygienic skin protective measures. *Ann. Occup. Hyg.* 1994;38(3):247-256
- Williams P L, Burson J L : Industrial toxicology, Newyork, Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1985, 238-239