대한산업의학회지 제 14 권 제 1 호 (2002년 3월)
Korean J Occup Environ Med, 2002;14(1):97~106

코우크스로의 방출물에 노출된 근로자에서 발생한 폐암 증례

동국대학교 의과대학 예방의학교실, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원[1], 충북대학교 의과대학 예방의학교실[2]

임현술 · 최정근[1] · 권은혜[1] · 김 헌[2]

— Abstract —

Lung Cancer Occurring in a Worker Exposed to Coke Oven Emissions

Hyun-Sul Lim, Jung Keun Choi[1], Eun-Hye Kwon[1], Heon Kim[2]

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dongguk University
Industrial Safety and Health Research Institute, KISCO[1]
Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Chungbuk National University[2]

Objectives: We report a case of lung cancer (small cell carcinoma) occurring in a worker exposed to coke oven emissions.

Methods: We examined the chest CT and pathologic findings of the patient. We reviewed previous environmental measurements for coke oven emissions at the workers place of employment. Also we measured the airborne concentrations for coke oven emissions and total polycyclic aromatic hydrocarbons in the work area. Finally, we analyzed the 1-hydroxypyrene and 2-naphthol concentrations in the subjects urine and compared this with student controls.

Results: This case was a 56-year-old male who had worked in a coke oven plant within a steel manufacturing factory for 21 years (1977-1998). The airborne concentrations of coke oven emissions at the worksite were above the permissible exposure level (0.2 ㎎/㎥) in 45 cases (33.1%) among 136 workers. The concentrations of 1-hydroxypyrene and 2-naphthol in the subjects urine were statistically significantly elevated as compared with those of controls ($P<0.01$).

Conclusions: We confirmed that the lung cancer occurring in this patient was as an occupational disease due to exposure to coke oven emissions. To prevent occupational cancer in coke oven plant workers, we must remodel the engineering procedure, begin comprehensive medical surveillance, educate workers on risks and the benefits of smoking cessation, and increase awareness of safety regulations in the workplace.

Key Words : Lung neoplasms, Coke, 1-hydroxypyrene, 2-naphthol, Occupational health

<접수일 : 2001년 12월 5일, 채택일 : 2002년 2월 4일>

교신저자 : 임 현 술(Tel : 054-770-2401) E-mail : wisewine@dongguk.ac.kr

서 론

작업환경에 존재하는 화학물질, 물리적인자 및 미생물학적인자를 포함하는 직업성 발암물질에 폭로되어 발생하는 암을 직업성암이라고 한다(Bang, 1996). 최근 광범위하게 사용되며, 다양해진 여러 물질들은 이러한 발암 위험성을 더욱 가중시키고 있다. 우리나라에서는 1993년 석면 분진에 의한 악성 중피종이 공식적으로 직업성암으로 최초 보고되었다(박무인 등, 1995). 그 후 2000년까지 산업안전보건연구원에서 직업성암으로 인정된 것은 모두 35건이었으며, 14건이 폐암이었다. 폐암의 원인 물질로는 석면 4건, 크롬 4건, 다핵방향족화합물(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 3건, 유리규산 2건이며, 본 증례의 코우크스로의 방출물(coke oven emissions, COEs) 1건이었다(강성규 등, 2001). 현재까지 직업성암으로 진단된 경우는 몇 사례에 불과하지만 우리나라에서 발암성이 규명된 물질을 제조, 사용하거나 또는 발생하는 작업에 종사하는 근로자 수는 약 37,000여 명으로 조사되고 있으며(한국산업안전공단, 1994), 1970년부터 본격화된 산업화에 의해 발암물질에 폭로된 후 20년 이상이 경과하여 우리나라에서도 직업성암의 발생이 계속 증가할 것으로 전망된다(조수헌 등, 1994).

코우크스는 용광로에서 쇠를 녹이는데 필수적인 물질로 1차 금속제련 사업장에서 많이 이용하고 있다. 코우크스는 유연탄을 이용하여 공기를 차단한 상태로 1,100-1,200 ℃에서 17-18시간 건류하여 생성한다. 건류하는 과정에서 유연탄의 25 % 정도가 COEs라고 불리는 가스로 변화한다. 처음에는 연한 노란 색깔의 COEs가 발생하다가 4-5시간이 지나면 회색 또는 하얀색의 가스가 발생한다. 이러한 코우크스 제조과정에서 발생하는 COEs에는 발암성물질이 포함되어 있으며, 그 대표적인 물질이 PAHs이다(IARC, 1983; NIEHS, 2000). COEs는 폐암, 비뇨생식계암 및 신장암 등을 유발하는 발암물질로 우리나라에서는 코우크스를 제조한 지 약 30여 년이 지났으나 이러한 암이 보고된 적이 없었다. 1999년 P제철 코우크스 제조공장의 협력업체에서 21년간 근무하였던 근로자에서 폐암이 발생하고 역학조사를 실시하여 직업성암으로 인정되었기에 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다(IARC, 1984; IARC, 1987).

증 례

환 자 : 정○이, 남자, 56세

주 소 : 폐암

현병력 : 평소 건강하게 지내다가 퇴직 후 7개월이 지난 1999년 3월경 집에서 벽돌보수를 하는데 몸살과 감기증세가 발생하여 개인의원에서 간단한 약만 복용하였으나 기침이 잦아지고 흉통과 호흡곤란이 동반되었다. 6월 말 내과의원에서 흉막염으로 진단받았다. 흉막염에 대한 치료를 하는 도중에도 증세가 호전되지 않고 악화되어 포항의 종합병원에서 흉부 컴퓨터단층촬영을 실시하여 폐암으로 진단을 받았다. 이에 서울에 위치한 대학병원을 방문하였고, 기관지내시경을 이용한 조직검사 및 세포검사 등을 통하여 소세포성 폐암으로 확진하였다. 회사의 안전관리자인 아들이 1999년 8월 16일 보건관리대행 산업의학 전문의에게 폐암의 치료를 문의하는 중에 산업의학 전문의가 직업성암을 의심하여 산업재해 요양을 신청하도록 유도하였다.

과거력 : 재직시인 1996년경 식욕이 감퇴하고 기침이 많아 천식을 의심하였으며, 가끔씩 가슴의 중앙 또는 좌측에 조이고 압박하는 듯한 통증이 있었다. 1996, 1997, 1998년 특수건강진단 기록을 확인한 결과 모두 정상(A)으로 판정받았다.

가족력 : 부모는 어려서 돌아가셔서 사망원인은 모른다. 형제와 자매가 고혈압의 가족력이 있었으나 암에 대한 가족력은 없었다.

사회력 : 포항에서 출생하여 계속 포항에서 살았으며, 초등학교 졸업이 최종 학력이다. 흡연은 25세부터 시작하여 폐암이 발견되기까지 30년간 하루 반 갑에서 한 갑까지 피웠다. 음주는 25세부터 시작하여 일주일에 한 번, 일회에 소주를 2/3병 정도 마셨다.

직업력 : 코우크스 제조공장에 입사하기 전에 특별한 직업은 없었으며, 군대는 육군에서 3년 동안 운전 보조 역할을 하였다. 33세인 1977년 11월 P제철 소유 코우크스 제조공장의 협력업체인 P로재에 입사하여 21년간 근무하고 1998년 2차 협력업체인 K업체에서 정년 퇴직하였다. 그 동안 이 회사는 상호와 사업주가 3번 바뀌었으나 작업은 동일하였고 증례의 작업도 동일하였다.

사업장 개요 : 코우크스 제조는 유연탄을 코우크스로까지 운반하여 투입하는 과정, 공기를 차단한 상태로 1,100-1,200 ℃에서 17-18시간 건류하는 과정 및 완성된 코우크스를 로에서 압출하여 물을 뿌려 식히거나 공기를 차단상태에서 식히는 과정(coke dry quenching, CDQ 작업)으로 이루어진다(Fig. 1, Fig. 2).

P제철의 코우크스 생산설비는 3개 공장으로 이루어져 있으며, 1 ㎞ 정도 떨어져 위치하고 있다. 1코우크스 공장은 1973년, 2코우크스 공장은 1978년, 3코우크스 공장은 1983년에 완성되어 17년부터 27년간 가동되고 있다. 코우크스로는 폭이 43 ㎝, 높이 515-670 ㎝, 길이 1,548 ㎝인 로(탄화실)가 1코우크스 공장에 174개, 2코우크스 공장에 296개, 3코우크스 공장에 75개가 연달아 있다. 코우크스 공장의 현 근로자수는 원청업체인 P제철이 150여 명, 2차 협력업체인 K업체가 40명(관리직 4명, 생산직 36명), S업체가 36명(관리직 3명, 생산직 33명)이 작업하고 있다.

코우크스 제조공장은 원청업체인 P제철이 소유하

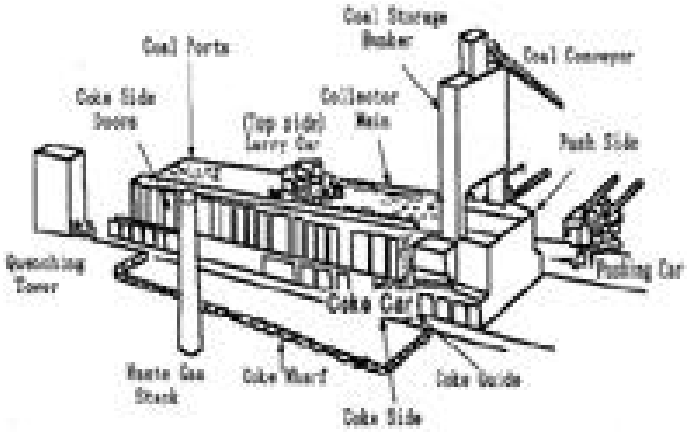

Fig. 1. Outline of coke oven plant

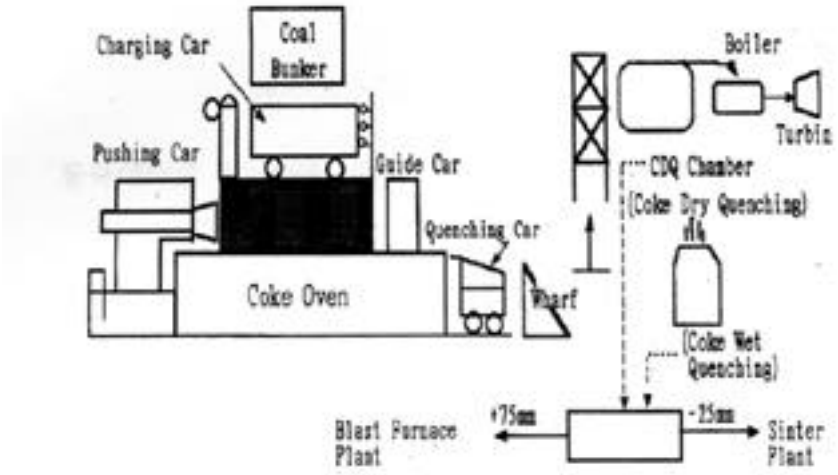

Fig. 2. Vertical view of coke oven plant

고 있으면서 전체적인 생산작업과 생산설비관리를 맡으며, 협력업체 작업자들의 작업상황을 감독하거나 작업을 지시하는 업무, 또는 장입차, 압출기 등의 운전작업을 담당하고 있다. P제철은 1차로 P로재에게 하청을 주었으며, P로재는 다시 K업체와 S업체에게 2차 하청을 주었다. 1차 협력업체인 P로재는 P제철의 작업주문에 따라 K업체와 S업체에 대하여 작업지시와 감독을 맡고 있으나 직접적으로 작업하지는 않는다. 2차 협력업체는 P제철의 작업지시로 COEs에 많이 노출될 수 있는 코우크스로의 가스누출밀봉작업, 시설보수작업, 상승관과 CDQ 청소작업, 장입보조작업, 로의 축조작업 등의 작업을 하고 있다. 작업자들의 근무시간은 8시간이며, 토요일은 오후 1시까지 근무하고 일요일은 1개월을 기준으로 격주로 근무하고 있다.

증례의 작업내용 : 증례는 1977년 입사 때부터 1998년 퇴직 때까지 보통 오전 9시부터 오후 6시까지 작업하였으며, 코우크스로의 상부작업이 대략 30 %, 하부작업이 60 %, 지하실작업은 10 %이었다. 1977년부터 1992년까지 P로재에서는 주로 코우크스로의 보수작업과 축조작업 및 해체작업을 하였다. 1993년부터 1998년까지 K업체에서는 주로 코우크스로 문의 가스누출밀봉 작업을 하였다. 그 외에도 증례의 작업은 다양하였으며, 상승관의 가스노출 밀봉작업과 철거 및 교체작업, 장입구의 카본 제거작업, 코우크스로의 문과 상승관 연와의 해체 및 축조작업, 코우크스로의 문 카본 제거작업, 작업장의 청소작업 등을 하였다.

1977년부터 1993년경까지 방독마스크는 사용하지 않고, 약국 등에서 판매하는 일반적인 인조가죽 또는 비닐마스크에 안쪽으로 헝겊이나 거즈 등을 대어 사용하였다고 한다. 1993년경 노동조합이 설립되어 코우크스로에서 발생하는 가스와 석면 등이 유해성이 있다고 제기하면서 방독마스크를 착용하기 시작하였으나, 방독마스크보다 일반 마스크를 착용하는 경우가 많았다고 한다.

과거 작업환경 측정 기록 : 코우크스로에서는 내부작업은 없으며 주로 로의 밖이나 지하실에서 잠깐씩 작업하였으므로 작업환경측정 대상에 포함되지 않는다. 그러나 P제철은 COEs에 대한 발암위험이 있다는 사실을 알고 매년 작업환경을 측정하였다. K업체와 S업체에 대한 작업환경측정은 P제철 부속의

Table 1. Airborne coke oven emissions and total polycyclic aromatic hydrocarbons concentrations by factory and date of measurement

Contents	No. of samples	COEs (㎎/㎥)				Total PAHs (㎍/㎥)		
		GM	GSD	Range	Exceeding percent (%)*	GM	GSD	Range
K factory								
Oct 15, 1999 (NIOSH method)	29	0.34	3.59	<0.01~2.24	31.0			
Nov 1, 1999 (OSHA method)	30	0.33	4.39	<0.01~1.25	46.7			
Nov 2, 1999 (NIOSH method)	26	0.29	4.78	<0.01~2.17	38.5	36.66	1.52	17.25~96.41
S factory								
Nov 9, 1999 (NIOSH method)	24	0.27	3.66	<0.01~1.36	37.5	32.05	1.54	15.59~76.90
Nov 10, 1999 (OSHA method)	27	0.32	3.46	<0.01~1.36	44.4			
Total	136	0.31	3.86	<0.01~2.24	33.1	34.37	1.53	15.59~96.41

COEs; coke oven emissions, PAHs; polycyclic aromatic hydrocarbons, GM; geometric mean, GSD; geometric standard deviation

*Percent of numbers of personal samples exceeding the occupational exposure limits (COEs>0.2 ㎎/㎥) divided by numbers of total samples

원에서 측정하였으며, 1996년부터 1999년까지 COEs에 대하여 측정한 결과는 0.01 미만~0.39 ㎎/㎥ 범위이었다. 이는 휘발성콜타르피치(Coal Tar Pitch Volitiles, 벤젠 가용물)에 대한 노동부의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥를 적용할 때 초과하는 경우가 있었다. 반면 일반분진의 노출수준은 0.37~3.3 ㎎/㎥으로 노출기준 5 ㎎/㎥(제2종 분진) 이하 수준이었다(노동부, 1998).

작업환경측정 : K업체에 대한 작업환경측정은 산업안전보건연구원에서 1999년 10월 14-15일과 11월 1-2일 2차에 걸쳐 임상적 건강조사와 동시에 실시하였으며, S업체는 1999년 11월 9-10일 2회에 걸쳐 임상적 건강조사와 같이 실시하였다. 작업환경측정은 모든 근로자를 대상으로 2회 반복 측정하였다. 측정시간은 근로자의 작업시간 전체를 포함한 1일 8시간으로 하였다. 시료채취 및 분석방법은 미국 국립산업안전보건연구소의 공정시험법(NIOSH Method No. 5023 : Coal Tar Pitch Volatiles)과 미국 노동부 산업안전보건청의 공정시험법(OSHA Method No. 58 : Coke oven emissions)을 이용하였다. 측정결과의 정확도를 높이고 오차를 줄이기 위하여 측정 전후에 적절한 보정을 실시하고 현장 공시료를 포함하였다.

K업체에 대한 1차 측정에서 COEs는 0.01 미만~2.24 ㎎/㎥(기하평균 0.34 ㎎/㎥)이었으며, 2차 측정에서는 0.01 미만~1.25 ㎎/㎥(기하평균 0.33 ㎎/㎥), 3차 측정에서는 0.01 미만~2.17 ㎎/㎥(기하평균 0.29 ㎎/㎥)이었다. PAHs는 17.25 ㎍/㎥~96.41 ㎍/㎥(기하평균 36.66 ㎍/㎥)이었다. S업체에 대하여 1차 측정한 결과 COEs가 0.01 미만~1.36 ㎎/㎥(기하평균 0.27 ㎎/㎥)이었으며, 2차 측정에서는 0.01 미만~1.36 ㎎/㎥(기하평균 0.32 ㎎/㎥)이었다. PAHs는 15.59~76.90 ㎍/㎥(기하평균 32.05 ㎍/㎥)이었다(Table 1).

노동부에서 설정한 휘발성콜타르피치의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥를 적용할 때 전체 측정 건수 136건 중 45건(33.1 %)이 노출기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 이는 측정당일 풍속이 2.2-8.0 m/sec로 기류가 빨라 노출수준이 전체적으로 과소평가 되었을 가능성을 배제할 수는 없었다. 또한 COEs는 원료와 건류시간에 따라 나오는 양이 다르다. 원료에 따라 방출량이 다르고 건류 3-4시간 후에 많이 나오고 18시간이 지나면 적게 나와 노출수준을 정확히 반영하는데 한계가 있다.

동료근로자 : 동료 근로자 40명에 대하여 역학조사를 실시하였다. 1명에서 진폐의증(1/1)이 있었으나 이 근로자는 1979-1999년까지 내화 벽돌 제조 및 보수를 한 과거 작업력이 있어 이 진폐증이 코우크스 작업에 의하여 발생하였다고 판단하기 어려웠다. 혈중요소질소(BUN) 검사에서 이상소견자 12명(30 %), 크레아티닌 검사에서 이상소견자는 3명(7.5 %), 요산 이상소견자는 5명(12.5 %), 간기능검사인 AST 이상소견자 5명(12.5 %), ALT 이상소견자 6명(15 %), Y-GTP 이상소견자 11명(27.5 %)이었으며, IgG, IgM, AFP, CEA 검사에서는 이상소견을 보인 근로자는 없었다. 소변검사에서 단백뇨 소견을 보인 근로자는 39명 중 27명으로 69.2 %로 높았으나 고열 작업장으로 인한 일시적인 영향을 배제할 수 없었다. 요당 소견을 보인 근로자는 3명(7.7 %)이었다.

Table 2. Urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol concentration by factory workers and controls

Contents	No. of spells	1-Hydroxypyrene (㎛mol/mol creatinine)		2-Naphthol (㎛mol/mol creatinine)	
		AM±ASD	GM (GSD)	AM±ASD	GM (GSD)
K factory workers*	40	6.59±7.76	3.76 (3.07)	11.17±7.62	8.92 (2.02)
S factory workers†	50	7.51±10.56	3.13 (4.92)	8.45±6.02	6.82 (1.96)
Controls	128	0.06±0.06	0.04 (2.31)	2.98±2.65	2.09 (2.36)

AM; arithmetic mean, ASD; arithmetic standard deviation, GM; geometric mean, GSD; geometric standard deviation

*$P<0.01$ by the Student's t-test, comparison between K factory workers and controls

†$P<0.01$ by the Student's t-test, comparison between S factory workers and controls

COEs의 노출정도를 평가하기 위하여 충북대학교 의과대학 예방의학교실에서 PAHs의 대사산물인 1-hydroxypyrene (1-OHP)과 2-naphthol을 소변에서 분석하였다. 대조군은 직업적으로 PAHs에 노출된 적이 없는 128명의 대학생을 사용하였다.

산술평균을 이용할 때 1-OHP은 K업체 6.59 μmol/mol creatinine, S업체 7.51 μmol/mol creatinine, 대조군은 0.06 μmol/mol creatinine로 대조군에 비하여 유의하게 높았다(P<0.01). 2-naphthol은 K업체 11.17 μmol/mol creatinine, S업체 8.45 μmol/mol creatinine, 대조군은 2.98 μmol/mol creatinine로 대조군에 비하여 유의하게 높았다(P<0.01). 기하평균을 이용할 때 1-OHP은 K업체 3.76 μmol/mol creatinine, S업체 3.13 μmol/mol creatinine, 대조군은 0.04 μmol/mol creatinine로 대조군에 비하여 유의하게 높았다. 2-naphthol은 K업체 8.92 μmol/mol creatinine, S업체 6.82 μmol/mol creatinine, 대조군은 2.09 μmol/mol creatinine로 대조군에 비하여 유의하게 높았다(P<0.01, Table 2).

K업체와 S업체의 코우크스로 근로자를 대상으로 하여 요중 PAHs 대사산물의 농도와 작업환경 중 PAHs 농도 사이의 상관관계를 검정하였을 때, log로 치환한 요중 1-OHP 농도가 작업환경의 기중 PAHs 농도와 유의한 상관관계를 나타냈으나(Pearson 상관계수: 0.37, P<0.01), log로 치환한 요중 2-naphthol은 이러한 유의성을 보이지 않았다(Pearson 상관계수: 0.20, P>0.05).

S업체의 과거 근로자 중 22여 년간 근무한 50세 남자에서 위암, 11여 년간 근무한 55세 남자에서 대장암이 발생하여 1998년 둘 다 사표를 제출하였다. 그 외에도 여러 종류의 악성암에 이환된 근로자가 있다는 이야기가 있었으나 공식적으로 확인하지 못하였다.

직업병 판정 경과 : 증례는 1999년 말 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 직업병심의위원회에서 21년간 발암물질인 COEs에 노출된 사실이 인정되어 직업성암으로 판정하였다.

치료 경과 : 1999년 7월 폐암으로 진단하여 서울 J병원에서 항암치료를 6회 하였다. 대구 D병원에서 항암요법 6회 및 방사선 치료 1회 시행 후 경련이 발생하여 뇌공명자기영상 촬영에서 뇌전이가 확인되어 뇌에 방사선 치료를 1회 실시하였다. 2000년 12월 12일 포항 D병원에 입원하여 보존적 치료를 받다가 2001년 1월 4일 사망하였다.

고 찰

1960년대 코우크스 제조공정에서 암의 발생이 많다는 보고 이후 많은 연구가 발표되어 COEs에 포함된 PAHs는 발암성 및 변이원성이 강한 물질로 알려져 있다(Baum, 1978; Fawell & Hunt, 1988). 1971년 Lloyd와 1972년 Redmond 등의 연구에 의하여 코우크스 제조공장에서 5년 이상 근무한 근로자의 폐암 사망률은 일반적인 폐암 사망률보다 3.5배 높으며, 코우크스로 상부에서 일하는 근로자는 10배 더 높은 것으로 보고하고 있다(Blot et al., 1983; Berger, 1992; Chau, 1993; Chen et al., 1999). 또한 코우크스 제조공장 근로자에서 30년간 추적 조사한 연구에서는 코우크스로에서 작업한 근로자들은 그렇지 않은 근로자들에 비해 호흡기계 암과 전립선 암의 발생 위험도가 각각 4.45배, 1.93배로 호흡기계와 전립선 암으로 인한 사망률이 증가한다고 보고하였다(Costantiono et al., 1995). COEs가 간에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 없는데 1993년 Chau 등은 코우크스 공장에서 퇴직한 근로자들이 간경화와 알코올 중독으로 인한 사망이 유의하게 높다 하였다. 1997년 Wu 등은 COEs에 노출되면 간 손상을 가져오고 간장 효소 AST, ALT의 상승을 가져온다고 하였다.

COEs에는 일산화탄소, 황화수소, 이산화황, 암모니아, 방향족탄화수소, PAHs, 벤젠 등 다양한 물질이 포함되어 있다. 미국 노동부 산업안전보건청의 정의에 의하면 COEs는 코우크스를 생산하는 과정에서 생기는 총 물질에서 벤젠가용물을 말하며, 전형적인 코우크스로는 80 %의 코우크스, 12 %의 코우크스로 가스, 3 %의 타르를 배출한다(NIEHS, 2000). 본 코우크스 제조공장에서 노동부에서 설정한 휘발성콜타르피치의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥를 적용할 때(노동부, 1998) 전체 작업자의 33.1 %가 노출기준을 초과하여 작업하는 것으로 조사되었다. 또한 1992년경부터 코우크스로 문을 고정형에서 스프링형으로 바꾸어 노출수준을 낮추기 위한 대대적인 개선이 있었다는 사실을 감안할 때 이 사업장에 21

년간 근무하였던 증례가 1977년부터 1992년 사이에 작업할 때는 이보다 높은 수준에 노출되었다고 추정할 수 있다. 또한 PAHs는 호흡기를 통한 흡수보다 피부를 통한 흡수가 많다는 보고가 있다(Kandus et al., 1972; Storer et al., 1984; Van Rooij et al., 1993).

최근 연구에서는 COEs 중 공기 중에 있는 벤젠가용물(Benzene Soluble Fraction : BSF)의 측정이 전체 PAHs, pyrene, benzo(a)pyrene의 농도와 유의한 상관관계를 보이고 있어 공기 중 BSF의 측정이 PAHs를 대변한다고 할 수 있다(Chen et al., 1999). 생물학적 모니터링의 경우 여러 생물학적 표식자가 있는데 pyrene은 총 PAHs 농도와 pyrene의 상관성이 매우 높고, PAHs 하루 총 흡수량 중 가장 많은 양(23 %)이 흡수되기 때문에 이를 환경평가에 이용하는 경우가 많다(Jongeneelen et al., 1990). Pyrene은 대부분 1-hydroxypyrene glucuronide (1-OHPG)나 1-OHP의 형태로 소변으로 배설되므로 이들을 측정하여 흡수된 PAHs의 양을 측정하게 된다(Buchet et al., 1992; Strickland & Kang, 1999). 그러나 pyrene은 호흡기뿐만 아니라 소화기로도 흡수가 가능하므로 노출경로에 따른 PAHs의 노출정도를 정확히 반영하지 못한 반면에 naphthalene은 대부분 호흡기를 통해 흡수되므로 그 대사물인 요중 2-naphthol을 이용한 측정법이 개발되어 사용되고 있다(강종원 등, 2000; Kim et al., 1997). 1-OHP가 코우크스로 근로자들에서 2-naphthol 보다 PAHs의 직업성 노출에 대해 좀 더 좋은 표식자인 반면에 2-naphthol은 PAHs의 비직업성 노출에 좀 더 민감도가 높다고 한다(Kim et al., 2001; Nan et al., 2001). 증례가 작업한 코우크스로 근로자의 요중 1-OHP와 2-naphthol 농도가 대조군에 비교하여 유의하게 높아 PAHs에 노출되었다고 추정할 수 있다. 또한 조선소 근로자에 비하여도 높았다(김헌 등, 1999).

담배가 1-OHP 농도에 미치는 영향은 관련이 있다는 보고와 없다는 보고가 있다(이송권 등, 1997). 음주가 미치는 영향에 대해서는 Jongeneelen 등(1990)은 음주는 pyrene 대사와 관계가 없다고 하였지만 반면에 Wu 등(1997)은 과음을 하는 코우크스로 근로자에서 그렇지 않은 근로자보다 요중 1-OHP 농도가 낮아 음주가 벤젠가용물의 독성 역동경로를 변화시킬 것이라고 한다. 흡연과 음주가 pyrene 대사 과정에 미치는 영향에 관해서는 더 많은 연구가 필요하다.

증례는 25세부터 시작하여 폐암이 발견되기까지 하루 반 갑에서 한 갑까지 흡연하였다. 흡연은 COEs 못지 않게 발암성이 있는 것으로 잘 알려져 있다. 석면과 같은 발암물질에 노출되면서 흡연을 하는 경우 폐암 발생은 발암물질에 따라 상승작용을 하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2001). 그러므로 증례는 흡연에 의해서만 폐암이 발생하였다고 할 수 없다. 기타 발암에 영향을 미칠 수 있는 환경영향, 식습관 등의 요인은 증례의 경우에서 PAHs에 의한 발암성보다 미미하다고 판단된다. 또한 유전적 소인은 개인적 요인이므로 발암에 미치는 영향을 따질 필요가 없다. 그 이유는 증례가 발암의 유전적 소인을 갖고 있다고 하더라도 발암의 자극물질인 COEs 또는 PAHs에 자극되지 않았더라면 암은 발생하지 않았을 것이라는 것이다. 또한 증례는 1977년 입사한 후부터 1993년까지 방진마스크가 지급되지 않았거나 일반적인 면마스크를 착용하였으므로 체내 흡수량도 많았을 것으로 추정할 수 있다.

노출기준은 작업환경에 대한 개선방향에서 작업조건을 제시한 것일 뿐이지 암에 대한 노출기준은 아니다. 이러한 노출기준이 우리나라에서는 제철소의 COEs의 노출기준을 동일 성분 물질인 휘발성콜타르피치의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥를 적용하고 있으며, COEs에 대한 별도의 노출기준은 없다. 반면, 미국 노동부 산업안전보건청에서는 COEs의 노출기준을 0.15 ㎎/㎥으로 정하고 있다(OSHA, 1976). PAHs에 대하여도 마찬가지이다. 노동부의 화학물질 노출기준에는 PAHs 16가지 중 Naphthalene이 10 ppm (50 ㎎/㎥)으로 노출기준이 제시되어 있을 뿐이다. 노동부와 미국 정부산업위생전문가협의회에서는 Chrysene과 Benzo(a)pyrene을 발암성 의심물질(A2)로 규정하고 있을 뿐 그 외의 PAHs에 대한 노출기준은 따로 없는 실정이다(노동부, 1998; OSHA, 1976; ACGIH, 1999).

증례가 작업하였던 공장의 총 PAHs의 노출수준은 기하평균은 36.66 ㎍/㎥로 조사되었으며, 16가지의 PAHs 노출수준을 합하여 휘발성콜타르피치의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥과 비교할 때 이 기준을 초과하지는 않았다. 하지만 작업환경측정에 의한 노출정

도는 발암물질에 노출될 수 있는 정도를 가늠할 수 있는 방법이다. 비록 COEs는 동일 성분물질인 휘발성콜타르피치 노출기준 0.2 ㎎/㎥에 비교하면 이 사업장의 평균 0.31 ㎎/㎥은 상당히 초과하고 있다고 말할 수 있을 것이며, 미국 노동부 산업안전보건청에서 정하고 있는 COEs의 노출기준 0.15 ㎎/㎥에 비하면 2배에 해당하는 농도이다.

또한 탄화실의 몰타르 살포작업은 COEs의 노출수준이 0.8 ㎎/㎥이며, 로단에서 낙탄처리 작업은 87.5 %의 작업자가 노출기준을 초과하고 있다. 코우크스 문의 가스누출 밀봉작업과 Strip 조정, 문청소작업은 기하평균이 0.36 ㎎/㎥으로 비교적 높은 수준을 보였으며, 이 공장에서 최고로 높은 2.24 ㎎/㎥의 노출수준을 보인 작업도 바로 이 작업이었다. 따라서 증례는 평균보다 높은 수준의 PAHs에 노출되고 있었다고 추정된다. COEs에 노출되는 정도는 코우크스 생산 공정과 직무에 따라 서로 다르다는 보고가 있으며 코우크스로 상부의 장입차, 코우크스로 개폐에 근무하는 근로자들이 COEs에 가장 많이 노출된다고 한다(이송권 등, 1997; Costantiono et al., 1995).

제철용 코우크스를 제조하는 업무는 건강관리수첩 교부대상 업무로 이·퇴직한 근로자가 건강관리수첩을 제시하는 경우 한국산업안전공단이 비용을 부담하여 매년 1회 무료로 건강진단을 실시하여야 한다(노동부, 2001). 그러나 조사 대상 모든 근로자는 이러한 사실을 모르고 있었으며, 증례와 이번 조사에서 확인한 위암 및 대장암 환자도 건강관리수첩 교부없이 퇴직한 상태이었다. 앞으로 발암물질을 취급하는 근로자에 대한 이·퇴직 후 건강진단이 강화되어야 하며, 코우크스를 제조하는 업무에 종사한 전?현직 모든 근로자에 대한 암 발생과 관련한 역학조사가 필요하다.

증례는 P로재와 K업체에 입사하기 위한 채용시 건강진단에서 흉부방사선사진 소견상 이상이 없었고, 21년간 코우크스 제조공정에서 COEs에 노출되었으며, 현재의 작업환경측정 결과로 판단할 때 노출기준을 초과하여 노출되는 경우도 있다고 판단되며, 과거에는 현재보다 더 높은 농도에 노출되었다고 추정된다. 근무기간과 암의 잠복기를 고려할 때 의학적으로 타당하며, 흡연을 하였으나 발암물질과 동시에 노출되는 경우 암유발에 상승작용이 있으므로, 흡연과 COEs가 폐암발생을 가중시키는 요인으로 작용하였다고 판단된다. 이상의 결과로 증례의 폐암은 코우크스 제조공정에서 발생하는 COEs에 의하여 발생한 직업성암이라고 판단할 수 있다.

요 약

목 적 : 소세포성 폐암으로 진단받은 56세 남자에 대하여 과거 21년간 코우크스로에서 근무한 작업력과 폐암과의 관련성을 파악하고자 하였다.

방 법 : 증례에 대한 의무기록과 흉부컴퓨터단층촬영 및 조직검사, 세포검사를 검토하였다. 증례의 작업 내역, 과거 작업환경측정 결과를 파악하였고 작업환경측정과 동료근로자에 대한 역학조사를 실시하였다. 작업환경측정은 산업안전보건연구원에서 모든 근로자를 대상으로 2회 반복 측정하였으며, 측정시간은 근로자의 작업시간 전체를 포함한 1일 8시간으로 하였다. 시료채취 및 분석방법은 미국 국립산업안전보건연구소의 공정시험법과 미국 노동부 산업안전보건청의 공정시험법을 이용하였다. 측정결과의 정확도를 높이고 오차를 줄이기 위하여 측정 전후에 적절한 보정을 실시하고 현장 공시료를 포함하였다. 동료근로자 40명에 대하여 역학조사를 실시하였고 COEs의 노출정도를 평가하기 위하여 PAHs의 대사산물인 1-OHP와 2-naphthol을 소변에서 분석하였다.

결 과 : P제철 부속의원에서 1996년부터 1999년까지 COEs에 대하여 측정한 결과는 0.01-0.39 ㎎/㎥ 범위로 휘발성 콜타르피치물질에 대한 노동부의 노출기준인 0.2 ㎎/㎥를 적용할 때 초과하는 경우가 있었다. 1999년 산업안전보건연구원에서 작업환경을 직접 측정한 결과 전체 측정 건수 136건 중 45건(33.1 %)이 노출기준을 초과하였다.

동료 근로자 40명에 대한 역학조사에서 특별한 COEs에 의한 건강장해를 발견하지 못하였다. K업체와 S업체의 근로자에 대하여 충북대학교 의과대학 예방의학교실에서 측정한 요중 1-OHP와 2-naphthol은 대조군인 대학생에 비하여 유의하게 높았다 ($P<0.01$).

결 론 : 증례는 21년간 코우크스 제조공정에서 COEs에 노출되었으며, 현재 작업환경측정 결과로 판단할 때 노출기준을 초과하여 노출되는 경우도 있다고 추정되며, 흡연은 COEs가 폐암 발생을 가중시

키는 요인으로 작용하였다고 추정된다. 그러므로 증례의 폐암은 코우크스 제조공정에서 노출된 COEs와 관련이 있다고 생각하여 직업성암으로 판단하였다.

참고문헌

강성규, 안연순, 정호근. 1990년대 한국의 직업성암. 대한산업의학회지 2001;13(4):351-359.

강종원, 조수헌, 김헌, 강대희, 이철호. 일반 인구집단에 대한 대기중 총먼지의 생물학적 노출지표로서 요중 1-hydroxypyrene 및 2-naphthol의 유용성. 예방의학회지 2000;33(3):306-312.

김헌, 임현술, 강종원, 이호익, 김용대 등. 직업과 생활습관, 그리고 CYP1A1, GSTM1, GSTT1 유전자 다형성이 요중 1-hydroxypyrene과 2-naphthol 농도에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1999;11(4):546-556.

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제97-65호, 1998.

노동부. 근로자건강진단실시기준. 노동부고시 제2001-45호, 2001.

박무인, 최종수, 최현묵, 장태일, 문익홍 등. 석면 취급의 직업력을 가진 환자에서 발생한 흉막 중피종 1예. 대한내과학회지 1995;48(4):526-530.

이송권, 남철현, 노병의, 이영세, 조기현. 요중 1-OH-pyrene을 이용한 PAH 환경근로자들의 노출평가 및 위생조치에 의한 총 노출량 감소효과. 한국산업위생학회지 1997;7(2):264-278.

조수헌, 고경심, 권호장, 김동현, 하미나 등. 1994년도 직업병 예방을 위한 연구용역 최종보고서: 우리나라 직업성암 발생에 관한 예측과 관리방안. 1994.

한국산업안전공단. 1993년제조업체작업환경실태조사. 1994.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist. Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1999: BEI 169-174.

Bang KM. Epidemiology of occupational cancer. Occup Med 1996;11(3):467-485.

Baum EJ. Occurrence and surveillance of polycyclic aromatic hydrocarbons, In polycyclic aromatic hydrocarbons and cancer. Academic press Inc., 1978;45-70.

Berger J, Manz A. Cancer of the stomach and the colon-rectum among workers in a coke gas plant. Am J Ind Med 1992;22(6):825-834.

Blot WJ, Brown LM, Pottern LM, Stone BJ, Fraumeni JF Jr. Lung cancer among long-term steel workers. Am J Epidemiol 1983;117(6):706-716.

Buchet JP, Gennart JP, Mercado-Calderon F, Delavignette JP, Cupers L et al. 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.

Chau N, Bertrand JP, Mur JM, Figueredo A, Patris A et al. Mortality in retired coke oven plant workers. Br J Ind Med 1993;50(2):127-135.

Chen ML, Mao IF, Wu MT, Chen JR, Ho CK et al. Assessment of coke oven emissions exposure among coking workers. Am Ind Hyg Assoc J 1999;60(1):105-110.

Costantiono JP, Redmond CK, Bearden A. Occupationally related cancer risk among coke oven workers: 30 years of follow-up. J Occup Environ Med 1995;37:597-604.

Fawell JK, Hunt S. Environmental toxicology-organic pollutants. New York : John Wiley and Sons, 1988;241-269.

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Overall evaluation of carcinogenicity. Supplement 7. France : IARC, 1987.

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans. Polycyclic aromatic hydrocarbons. Part 1. Chemical, environmental and experimental data. Vol. 32. France : IARC, 1983.

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Polynuclear Aromatic Compounds. Part 3. Industrial exposures in aluminum production, coal gasification, coke production and iron and steel founding. Vol. 34. France : IARC, 1984.

Jongeneelen FJ, van Leeuwen FE, Oosterink S, Anzion RB, van der Loop F et al. Ambient and biological monitoring of coke oven workers: determinants of the internal dose of polycyclic aromatic hydrocarbons. Br J Ind Med 1990;47(7):454-461.

Kandus J, Masek V, Jach Z. Determination of the content of benzo(a)pyrene of workers clothes and underclothing in a pitch manufacturing plant. Arbeitsmed 1972;22:138-142.

Kim H, Cho SH, Kang JW, Kim YD, Nan HM et al. Urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol concentrations in male Koreans. Int Arch Occup Environ Health 2001;74(1):59-62.

Kim H, Kim YD, Lee H, Kawamoto T, Yang M et al. Assay of 2-naphthol in human urine by high performance liquid chromatography. J Chromatogr B Biomed Sci Appl 1999 12;734(2):211-217.

Lee PN. Relation between exposure to asbestos and smoking jointly and the risk of lung cancer. Occup Environ Med 2001;58(3):145-153.

Lloyd JW. Long-term mortality study of steelworkers. V. Respiratory cancer in coke plant workers. J Occup Med 1971;13(2):53-68.

Nan HM, Kim H, Lim HS, Choi JK, Kawamoto T et al. Effects of occupation, lifestyle and genetic polymorphisms of CYP1A1, CYP2E1, GSTM1 and GSTT1 on urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol concentrations. Carcinogenesis 2001;22(5):787-793.

National Institute of Enviromental Health Sciences. 9th report on carcinogens. Research Triangle Park, NC, U.S. : Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program, 2000.

Occupational Safety and Health Administration. Final occupational safety and health standard for exposure to coke oven emission. Federal register 1976;41:46742-46793.

Redmond CK, Ciocco A, Lloyd JW, Rush HW. Long-term mortality study of steelworkers. VI. Mortality from malignant neoplasms among coke oven workers. J Occup Med 1972;14(8):621-629.

Storer JS, Deleon I, Millikan LE. Human absorption of crude coal tar products. Arch dermatol 1984;120:874-877.

Strickland P, Kang D. Urinary 1-hydroxypyrene and other PAH metabolites as biomarkers of exposure to environmental PAH in air particulate matter. Toxicol Lett 1999;108(2-3):191-199.

Van Rooij JG, De Roos JH, Bodelier-Bade MM, Jongeneelen FJ. Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin : Difference between anatomical sites and individuals. J Toxicol Environ Health 1993;38:355-368.

Wu MT, Kelsey KT, Mao IF, Wypij D, Liu HW et al. Elevated serum liver enzymes in coke oven and by-product workers. J Occup Environ Med 1997;39(6):527-533.