

코크스로 방출물 노출과 직업성 암

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 이 유 진 · 김 은 아

직업성 암을 유발하는 위험요인으로 알려진 화학적 물리적 유해요인들 중 코크스로의 방출물(cokes oven emissions, COEs)은 대표적인 발암물질로, 국제암연구소(International Agency for Cancer Research, IARC)의 group 1 발암물질에 속한다.

일찍부터 발달된 산업으로 인해 발암성 화학물질에 오래전부터 노출되어 온 선진국에 비해, 한국은 비교적 늦게 직업성 암이 보고되기 시작했는데, 1993년에 보고된 석면에 의한 악성중피종이 처음으로 산재보상에서 직업성 암으로 인정된 사례로 알려져 있다.¹⁾

이후 2000년까지 직업성 암의 산재보상 사례 수는 크게 늘지 않았지만 직업성 암 유발 발암물질의 종류는 석면, 크롬, 다핵방향족화합물, 유리규산과 함께 COEs가 직업성 폐암 유발 발암물질로 보고되는 등 발암물

질의 종류가 다양하게 나타나게 되었다.²⁾

코크스는 코크스오븐에 유연탄을 장입한 후 1100-1200℃에서 17-18시간동안 건류시켰을 때 생산된다. 코크스는 철강생산의 필수 원료로, 철광석을 용해하는 열원으로 쓰인다. 코크스를 건류하는 동안 코크스오븐에 장입되는 유연탄의 25% 정도가 CO, CO₂, H₂S, SO₂, NH₃, 방향족 탄화수소, 다핵 방향족 탄화수소(Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAH)를 포함하여 2000가지 이상의 화학물질을 형성하여 가스 및 증기, 분진 등으로 발생하게 되는데, 이러한 화학적 발생물을 코크스오븐 배출물, 즉 COEs라 부른다.

전문적으로 표현할 때, COEs란 PAHs를 포함하고 있는 증기, 고형물질 또는 분진에 흡착된 상태로 존재하는 물질로, 벤젠에 녹

1) 박무인, 최중수, 최현목, 장태일, 문익홍 등. 석면 취급의 직업력을 가진 환자에서 발생한 흉막 중피종 1예. 대한내과학회지 1995;48(4):526-30.
2) 강성규, 안연순, 정호근. 1990년대 한국의 직업성 암. 대한산업의학회지 2001;13(4):351-359.

는 물질의 총칭이다.

COE의 구성성분 중 암을 유발하는 주요 성분으로 알려져 있는 것은 PAHs로 알려진 여러 성분들이다. PAHs가 유발하는 것으로 알려진 암에서, 피부암과 방광암이 가장 강력한 상관관계를 보이고 있으며, 그 외에도 폐암, 신장암, 백혈병, 임파종, 위암 등도 유발할 수 있다.

폐암의 경우, 제철소 등의 철강산업에서 코크스오븐 작업자를 대상으로 많이 연구되었는데, 1960년대 제철회사에서 실시한 한 역학조사에 따르면 코크스오븐에서 5년 이상 일한 작업자의 폐암사망률은 기대사망률보다 3.5배 높으며 코크스오븐 상부에서 일하는 작업자의 경우 10배 더 높은 것으로 나타났다.³⁾

제철소 코크스오븐 작업자들의 COEs 등 발암물질 노출 수준이 높을 것이라는 추측은 많이 하였지만 당시까지 국내에서는 극히 일부 수행되었을 뿐이며, 특히 코크스오븐에서 COEs에 노출되는 작업을 주로 수행 하였던 협력업체 작업자들에 대한 노출평가는 제대로 이뤄지지 않았다.

1999년부터 조사되기 시작한 이들의 직업성 암 사례들은 이 근로자들에 대한 조사의 필요성을 강조하게 되었다.

한국에서 COEs가 직업성 암 관련 이슈로 떠오른 것은 1999년 말에서 2000년 초반사이로, 산업안전보건연구원은 1999년부터 직업성 암 발생에 대한 조사를 위해 국내 대형 제철소의 코크스제조부서에 대한 작업환경 평가를 실시한 바 있으며⁴⁾, 이와 관련된 직업성 암 발생 사례가 보고되기도 하였다.⁵⁾

1999년의 작업환경조사를 통해 COEs의 노출수준이 높음을 파악한 뒤, 산업안전보건연구원은 2001년에, 코크스를 제조하는 제철산업뿐 아니라 코크스를 로의 원료로 사용하는 사업체를 포함하여 후속적인 작업환경평가를 실시하였다.

이후 2006년에 안연순 등의 연구를 통해 우리나라 코크스제조업 근로자에서 실제 암 발생이 증가하였는지가 코호트연구방법론을 통해 제시되었다.⁶⁾

1999년경의 직업성 암과 작업환경 노출수준

3) Lloyd JW. Long-term mortality study of steelworkers. V. Respiratory cancer in coke plant workers. J Occup Med 1971;13(2):53-68
 4) 권은혜, 이용학, 오정룡, 최정근, 이동환. 코크스오븐 작업자들의 코크스오븐 배출물 및 다핵방향족탄화수소 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2000;10(2):53-67.
 5) 임현술, 최정근, 권은혜, 김현. 코크스로의 방출물에 노출된 근로자에서 발생한 폐암 증례. 대한산업의학회지 2002;14(1):97-106
 6) Ahn YS, Park RM, Stayner L, Kang SK, Jang JK. Cancer morbidity in iron and steel workers in Korea. Am J Ind Med. 2006 Aug;49(8):647-57.

코크스 제조공장의 협력업체에서 21년간 근무하였던 56세 남자 C씨에서 폐암이 발생하였다. C씨는 1977년 11월 국내 주요 제철소의 코크스 제조공장의 협력업체에 입사하여 21년간 근무하였다. C씨의 작업은 COEs에 노출이 심한 작업인 코크스로의 가스노출밀봉작업, 시설보수작업, 상승관 청소, 작업보조, 축로작업 등이었는데, 1977-1993년까지는 방독마스크 없이 일하였고, 축로작업 중에는 석면 등의 유해요인에 노출되기도 하였다. C씨는 25세부터 하루 반갑에서 한 갑 정도의 흡연력이 있었지만, 작업환경에서 COEs의 노출가능성 등을 볼 때, 업무와 관련된 폐암으로 추정되었다.

당시, 산업안전보건연구원의 한 부서로 있던 창원소재 산업역학조사팀은 C씨가 근무하였던 제철소의 코크스오븐 관리업체인 K사 및 S사에 대해 작업환경평가를 실시하였다. 작업환경평가는 COEs와 PAH의 노출수준을 세부적인 작업종류별로 평가하였다.

그 결과, 코크스로 작업자들의 COE의 노출수준은 기하평균 0.31 mg/m^3 (범위: $0.01 - 2.24 \text{ mg/m}^3$)로, 고용노동부에서 설정한 휘발성 콜타르 피치의 노출기준인 0.2 mg/m^3 과 비교해 보았을 때 전체 작업자 136명 중 45명(33.1%)이 노출기준을 초과하는 수준으로 나타났다.

총 PAHs의 노출수준은 기하평균 $34.37 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (범위: $15.59 - 96.41 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)로 고용노동부의 휘발성 콜타르 피치의 노출기준(0.2

mg/m^3)을 초과하지 않았다. 그러나 30% 이상의 근로자에서 COEs의 노출수준이 높았다는 것으로 보아, 이 근로자들이 장기간 노출되어 온 발암물질 노출이 상당한 수준이었을 것으로 추정되었다.

한편, 직무별로 COE 노출수준 및 PAH 노출수준은 다르게 나타났다.

COEs 노출수준이 가장 높았던 작업은 탄화실 몰타르 스프레이 작업(기하평균 0.80 mg/m^3 , 범위: $0.01 - 0.86 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)이었으며, 다음으로 로단 낙탄처리 작업(기하평균 0.69 mg/m^3 , 범위: $0.01 - 1.14 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), door sealing 및 strip 조정(기하평균 0.36 mg/m^3 , 범위: $0.01 - 2.24 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)과 door 청소작업, sole flue 연소방지작업 순이었는데, 주로 코크스로단에서 이뤄지는 작업에서 높은 COE 노출수준을 보였다. 직무별로 PAH 노출이 가장 높은 작업은 장입보조작업으로 PAH는 $43.47 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 이었다.

2001년의 역학조사에서 나타난 작업환경 노출수준

2001년에 산업안전보건연구원은 코크스 제조업 2개 업체를 다시 조사하고, 이와 함께 코크스를 로의 원료로 사용하는 2개 업체를 선정하여 COEs와 PAHs 노출수준을 평가하였다. 코크스제조업은 코크스로공장의

현장작업자 각 30명을 선정했으며, 코크스 사용사업장은 전기로 내부의 환원제 및 열원재로 사용하는 사업장 1개 업체의 102명, 용해로의 열원으로 사용하는 사업장 1개 업체의 20여명을 조사대상으로 선정하였다.

작업환경평가 결과, 코크스제조 사업장의 COEs 노출수준은 기하평균 0.032 mg/m³(범위: 0.014-0.096 mg/m³)로, 이전의 조사결과에 비해 낮은 COEs 노출수준을 보였다.

코크스 제조시 작업자들의 조사기간 동안 주요 업무별 COEs 노출수준은 노상작업(0.034 mg/m³), door sealing strip-ping(0.037 mg/m³), door 보수(0.033 mg/m³), 연소실 air flap size 조정(0.033 mg/m³), sole flue 연소방지작업(0.047 mg/m³), 급유, 급지(0.017 mg/m³), door 연와교체 및 재축조(0.040 mg/m³)로 나타났다.

COEs 노출수준이 상당히 낮아진 것은, 조사 당시 코크스로의 주요 업무들이 대부분 자동화되었기 때문인 것으로 추정되었다.

당시까지 국외 연구에서 보고되었던 COEs의 노출수준은 Fannick(1972) 2.08 mg/m³, Jackson(1974) 0.06-1.00 mg/m³, Evelyn(1993) 0.031-1.4 mg/m³, Chen(1997) 0.185-0.515 mg/m³으로 조사되었고, 국내에서는 윤충식과 백남원(1993)이 32.01 mg/m³, 이송권 등(1997)이 0.038 mg/m³(범위: 0.023-0.101), 이종천 등(2001)이 0.19 mg/m³으로 보고하였다.

이러한 노출수준에 비교해 볼 때, 우리나라 코크스제조업 근로자의 COEs 노출수준은 직업성 암 발생이 문제시되어 자동화 작업이 시작된 2000년을 기점으로 노출수준이 감소된 것으로 판단되었다.

PAHs 노출수준도 이전과는 다른 양상을 보였다. 2000년 조사에서 코크스 제조업의 총 PAHs 노출수준은 기하평균 0.005 mg/m³, 범위 0.001-0.591 mg/m³으로 나타났는데, 이 역시 1999년의 노출수준에 비해서는 상당히 낮은 수준으로 나타났다.

반면, 코크스 사용 사업장에서의 총 PAHs 노출수준은 기하평균 0.011 mg/m³, 범위 0.001-0.591 mg/m³으로 코크스 제조 사업장에 비해 다소 높은 수준을 보였다.

이는 코크스 사용 근로자 중에 탭핑작업자의 총 PAHs(기하평균 0.141 mg/m³, 범위: 0.041-0.591 mg/m³)이 높았기 때문으로 판단되었다. 그런데, 코크스는 제조과정에서 장시간 유연탄의 건류시 PAHs를 포함한 가스 및 증기 성분들이 배출되기 때문에 생산된 코크스를 사용하는 사업장에서의 PAHs 노출수준은 코크스 사용에 기인한 것이라기 보다 전기로에서 용해되는 철광석 및 각종 부원료들의 고온 용해과정에 기인된 것으로 추정되었다.

탭핑작업자를 제외한 전기로 주변 작업자(반장, 조종, 정련 등)의 총 PAHs 노출수준은 코크스 제조 사업장의 총 PAHs 노출수준

과 유사하거나 낮은 수준을 보였다. 일부 텀핑 작업자의 경우 휘발성 톨타르 피치의 노출 기준(0.2 mg/m^3)을 초과하는 것으로 나타났다.

국내 제철업 근로자 코호트의 암 발생 위험


Ahn 등(2006)이⁶⁾ 우리나라 제철업 근로자 코호트를 구축하여 암발생 위험률을 제시한 것은 국내 최초의 제철업코호트 연구로, 당시까지 의문시되었던 직업성 암 분야의 궁금증들의 일부를 해결하기 시작한 시도였다.

이 연구는 44,974명의 근로자들에 대해 1988-2001년까지 추적조사를 통해 표준화 암 발생률을 조사하였는데, 14년간의 추적 조사기간 동안 총 464례의 암 발생을 관찰하였다. 모든 암 발생에 대한 비교위험도는 0.87로 건강근로자효과를 보여주었는데, 폐암의 경우 0.58, 위암의 경우 0.78, 간암은 0.83으로 일반인구보다 낮은 암 발생률을 보였다. 한편, 폐암의 경우, 협력업체와 모기업이 달랐는데, 협력업체의 폐암 발생률은 모기업보다 2.3배 높은 것으로 나타났으며, 림프조혈기계질환은 3.46배, 위암은 1.66배 높은 것으로 나타나, 실제 일반 인구에 비교했을 때 보다 위험률이 다르게 나타남을 보여주었다.

이 연구를 통해 Ahn 등(2006)등은 한국의 제철업 근로자에서 암 초과 발생 위험이 존재한다고 추정하였고, 보다 정확한 연구를 위해서는 환자대조군 연구 등의 시도가 필요함을 주장하였다.

맺음말

COEs는 고전적인 발암물질이라 할 만큼, 잘 알려진 직업성 발암 물질이고, COEs에 고농도로 노출되는 업종은 제철업으로, 한국에서 노출수준이 비교적 높은 근로자군은 일부 사업장의 특정 공장으로 생각되었다.

산업안전보건연구원은 1999년 제철업의 암 발생 사례를 관찰하면서 이들 사업장에 대한 COEs 노출수준을 조사하여, 공정자동화를 통한 노출수준 감소에 대해서도 평가할 수 있었다. 그러나 COEs의 주요 발암성분 중 하나인 PAHs에 노출되는 근로자는 코크스를 제조하는 업종 뿐 아니라 코크스를 로의 연료로 사용하는 다양한 사업장에서 노출될 수 있으며, 노출수준이 제철업과 유사하거나 높을 수 있음을 발견하였고, 이러한 사업장에서 근로자의 PAHs 노출에 대한 위험이 존재함을 제시하였다. 

6) Ahn YS, Park RM, Stayner L, Kang SK, Jang JK. Cancer morbidity in iron and steel workers in Korea. Am J Ind Med. 2006 Aug;49(8):647-57.