



## 광업 역학조사

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 전 희 경 · 김 은 아

광업은 재해율이나 사망률이 높은 것으로 잘 알려져 있는 업종으로, 광부의 직업병으로는 진폐증이 가장 유명하다.

우리나라의 통계에서도 진폐증은 소음성 난청 다음으로 흔히 보고되는 직업병으로 광부하면 석탄광부폐증, 즉 진폐증을 상식적으로 떠올리게 된다. 따라서 광업근로자에서는 주로 석탄분진 같은 먼지가 문제라고 주로 생각하였다.

그러나 외국의 연구들에서는 광업 근로자들에서 폐암 발생이 증가하는 것으로 보고되고 있었고, 발암물질로는 결정형 유리규산, 크롬, 카드뮴 등의 금속, 다핵방향족탄화수소, 그리고 라돈 노출이 의심되고 있었다.

우리나라에서도 실제로 광부들에서 폐암 발생률이 높은가 하는 연구가 최병순 등에 의해 1999년 수행되었는데,<sup>1)</sup> 이 연구에서는 진

폐증자들은 일반 인구에 비해 폐암이 1.5-3.4 배 높다는 결과가 도출되었다.

이를 근거로 하여 1999년 10월 7일부터는 광부로 근무한 적이 있고, 진폐증 병형이 제 1형 이상인 자에게 원발성 폐암이 발생한 경우, 직업성암으로 인정하고 있다(노동부령 제167호, 2000).

이러한 보상기준의 변화는 광산업에 대한 인식에도 변화를 가져왔다. 그동안 광업에 대해서는 주로 석탄분진 노출수준과 소음, 진동 등만 위험요인으로 간주하고 있었다. 그러나 광업 근로자에서 폐암이 증가한다면, 발암물질에 대한 평가와 더불어, 광산근로자들의 폐암에 대해 보다 자세한 연구가 필요하다.

따라서 산업안전보건연구원은 광업근로자의 발암물질 노출수준을 보기 위하여 1999년에 광산 지역의 작업환경평가를 위주로 한 조사를 직업병 역학조사로 실시하였다.<sup>2)</sup> 무

1. 최병순, 최정근, 김성진, 임영, 고재욱 등. 진폐근로자에서 발생한 진폐증과 폐암의 관련성. 노동부 98년 용역연구, 1999

2. 최병순. 광업근로자 폐암 발생위험도 평가 연구-발암물질 노출 수준(보건분야-연구자료, 연구원 2001-27-70), 2000. 산업안전보건연구원

엇보다 발암물질의 노출에 대한 규명과 실제 폐암이 증가하는 양상이 어떠한지 연구가 필요하였다.

따라서 진폐근로자 코호트를 구축해서, 실제 광업종사자들의 폐암에 영향을 주는 요인이 무엇인지 규명하기 위한 연구를 2003년과 2004년에 실시하였다.<sup>3)4)</sup> 2004년부터는 자체 선정역학조사가 법적으로 폐지되었으므로, 폐암 발생과 관련된 조사는 직업병역학조사가 아닌 연구의 형태로 진행되었다.

### 광업 근로자의 폐암 관련 위험요인 조사

조사 대상을 선정하기 위하여, 광업권이 설정되어 있는 광산 662개(석탄광 11개, 금속광 49개, 비금속광 602개)를 검토하였다. 이 중 지역적 위치, 근로자 수, 광종, 지하작업 여부 등을 감안하여 1차로 14개 광산을 예비조사 대상으로 선정하고 조사를 실시하였다.

예비조사 결과, 광산별 폐암 발암물질의 존재 가능성, 지역적 위치, 광산의 협조 정도 등 조사 현실성을 기준으로 최종 조사대상은 7개 광산으로 확정하였다. 조사대상 광산은 지역별 지질학적 차이를 가능한 줄이기 위하여, 서로 인근 지역인 강원도 삼척

및 정선 그리고 경상북도 봉화에 위치하는 7개 광산으로 하였다.

광업 근로자가 노출될 수 있는 폐암 발암물질 중 실제 가장 중요하게 알려진 요인은 라돈 및 그 자핵종이었는데, 이것의 농도를 파악하기 위하여 지하광산을 주요 대상으로 하였다. 그리고 우리나라 석회석광업의 중요성을 감안하여 노천 석회석광산도 1개 포함시켰다.

### 1. 높은 라돈의 노출수준

조사 결과, 평균 라돈 농도는 자연환경에 의존하고 있는 건운모광산과 연/아연광산인 경우, 각각 210과 100 pCi/L로, 강제 환기가 이루어지고 있는 석탄광산의 10 및 15와 지하 석회석광산의 2 pCi/L에 비하여 월등히 높았다. 철광산의 경우, 10 pCi/L 자연 환기에 의존하고 있는데도 불구하고 비교적 낮은 결과를 나타내었다.

결과적으로 지하 석회석광산 이외 5개 광산 모두 우리나라 과학기술부 고시에서 방사선 작업 종사자 이외에 대해 규정하고 있는 3 pCi/L를 초과하고 있었다.

평균 라돈농도 및 방사평형인자를 통한 라돈 자핵종의 농도는 광산별로 최소 0.007 WL(지하 석회석광산)부터 최대 0.18 WL

3. 최병순. 진폐근로자 코호트를 통한 폐암 발생 예측에 관한 연구 I (보건분야-연구자료 연구원 2003-11-42), 2003. 산업안전보건연구원  
4. 최병순. 진폐근로자 코호트를 통한 폐암 발생 예측에 관한 연구 II (보건분야-연구자료 연구원 2004-87-581), 2004. 산업안전보건연구원

(연/아연광산)까지 분포하여 평균 0.127 WL로 지하 석회석광산을 제외하고는 미국 환경보호청이 권고하고 있는 라돈 자핵종 농도 0.02 WL과 거의 같거나 모두 초과하고 있었는데, 이들 근로자들이 해당 광산 이외에 일반 환경에서도 추가로 노출된다는 점을 감안하면 상당한 노출수준이었다.

또한 이러한 농도의 라돈 자핵종에 노출되는 근로자들이 30년간 매월 170시간씩 지하갱에 체류한다고 가정하였을 때, 누적 노출량이 최소 2.7 WLM부터 최대 64.8 WLM로, 평균 45.9 WLM가 되어, 1988년 4개 지하광업 근로자 코호트를 종합하여 분석한 결과에 의한 누적 노출량 WLM당 폐암 초과 상대위험도가 1.34%씩 증가한다고 적용할 경우, 폐암 위험도가 61.5% 추가되는 것으로 추정되었다.

한편 누적 노출량 WLM당 540 mrem의 유효선량을 적용하여 환산할 경우, 이들 광산 근로자들이 피폭되는 연간 평균 유효선량이 최소 49 mrem(지하 석회석 광산)으로부터 최대 1,166 mrem(연/아연광산)까지로, 평균 827 mrem으로 나타나, 우리나라 원자력법 시행령의 방사선작업 종사자가 아닌 일반인의 경우, 연간 100 mrem(1 mSv)으로 유효선량 한도가 규정되어 있는 것에 비추어 보면 지하 석회석광산을 제외하고는 최소 1.2배, 최대 11.6배에 달하고 있다.

## 2. 다핵방향족탄화수소의 대사물질인 1-hydroxypyrene(1-OHP)

7개 광산 생산직 근로자 119명과 대조군 21명(사무직 근로자 9명 및 연구진 12명) 등 총 140명에서 원래 비흡연자 및 금연자를 합한 현재 비흡연자와 흡연자들 간에는 소변 중 1-OHP 농도 차이가 없었으나 직업적으로 디젤(경유)엔진 연소물질에 노출되는 근로자들에서는 노출되지 않는 근로자들에 비하여 유의하게 높았는데, 디젤엔진 연소물질 노출 여부에 따른 흡연 여부는 차이가 없었다( $p=0.488$ ).

## 3. 분진 노출수준

2개 석탄광산의 총분진 농도는  $18.9 \text{ mg/m}^3$ , 호흡성 석탄분진은  $5.14 \text{ mg/m}^3$ 로 노출 기준을 초과하고 있었으나, 호흡성 결정형 유리규산은  $50.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 로 노출기준 미만이었다. 기타 광산의 분진 및 유리규산 농도는 모두 노출기준 미만이었다. 섬유상 분진을 석면이라고 가정하더라도 모두 백석면 및 청석면의 노출기준 미만이었고, 중금속은 크롬, 카드뮴, 니켈, 납, 철, 구리 등 8종을 측정하였는데, 모두 검출 한계 미만이거나 검출되더라도 모두 노출기준에 훨씬 미치지 못하였다.

따라서 이 역학조사 결과로 볼 때, 다른 발암물질보다는 라돈의 노출이 폐암의 발생에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 파악되었다.

## 진폐근로자 코호트를 통한 폐암 발생 예측에 관한 연구

광산업 근로자의 폐암 발생률에 미치는 영향을 보기 위해서, 우선 1999년부터 2000년까지 노동부와 근로복지공단을 통한 진폐증자의 자료를 수집하였다.

이를 중앙암등록본부에 조회하여 폐암 발생여부를 확인하였다. 비교인구의 발생률은 중앙암등록본부의 1997-2000년간의 폐암 발생 건 수를 토대로 폐암발생률을 산출하여 사용하였다.

이 연구 결과, 폐암 발생률은 진폐 1형에서 10만 명 당 236.9, 2형에서 271.0, 3형에서 182.9, 대음영 진폐에서 116.5로 나타났다. 이를 연령별 발생률을 나누어 보면, 40대에서 54.1로 일반인구의 3.6배, 50대에서 176.2로 2.2배, 60대에서 298.5배로 일반인구보다 현격히 폐암발생위험이 증가되어 있음을 볼 수 있었다.

2004년에는 조사기간을 1993년에서 2002년까지의 진폐심사 대상 근로자로 확대하였다. 비교인구의 발생률은 해당기간동안 중앙암등록본부의 폐암 건 수를 통해 구하였다. 연구 결과, 진폐증이 있는 비광업 근로자는 일반인구보다 폐암 발생률과 폐암으로 인한 사망률이 유의하게 높게 나타났다. 특히 지상광업 근로자는 진폐증이 있는 없든

폐암 발생률 및 폐암으로 인한 사망률이 일반 인구와 차이가 없었다.

그러나 지하광업 근로자는 진폐증 유무와 관계없이 폐암으로 인한 사망률이 일반인구보다 유의하게 높았다.

진폐증 병형이 1형이나 2형인 경우, 그리고 상대적으로 연령이 낮은 50대와 60대에서 특히 폐암발생률과 사망률이 일반인구보다 유의하게 높았다.

이 연구 결과, 비광업 근로자라고 하더라도 진폐증을 유발할 수 있는 물질에 장기간 고농도로 노출될 경우, 폐암이 호발할 수 있는데, 광업 근로자의 경우에는 진폐증의 유무가 중요한 것이 아니라 지하에서 작업하면서 노출되는 라돈 등 특정 폐암 발암물질이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

## 맺는 말

산업안전보건연구원은 1999년의 역학조사와 2003년, 2004년의 연구를 통해 진폐증자에서 발생하는 폐암의 업무관련성을 명확히 하게 되었다.

뿐만 아니라, 실제 광업 근로자에서 노출되는 폐암관련 발암물질은 라돈이 가장 문제가 되며, 이는 주로 지하광산 작업자에서 존재하는 위험이라는 사실을 확인할 수 있게 되었다. ☞