

7. 시간에 따른 발암물질 노출수준 변화 평가(II)

Q 연구 기간	2024년 4월 ~ 2024년 10월
Q 핵심 단어	작업환경측정, Jointpoint Regression 모형, 노출평가
Q Highlights	제도개선이 실제 발암물질 노출수준의 변화에 미치는 영향에 대한 평가를 확인하기 위해 국제암연구소가 지정한 1급 발암물질을 중심으로 작업환경측정 분석자료 분석을 통하여 시간에 따른 발암물질 노출수준 변화를 정량적으로 분석하였다. 분석결과를 토대로 노출 관련 제도개선 시점과 노출수준 변화 시점을 연계하여 제도개선 효과를 평가하는 방법을 제시하였다.

1 연구배경

- 금속성 발암물질들은 폐암, 신장질환, 호흡기계 암 등의 질환의 위험성을 높인다고 알려져 있으며, 여러 분야의 작업환경에서 근무하는 근로자들은 다양한 형태의 금속성 발암물질에 지속적으로 노출되고 있다.
- 노동자를 대상으로 한 역학 연구가 점차 축적됨에 따라 발암물질과 같은 유해물질의 노출기준치가 낮아지고 있지만, 제도개선이 실제로 발암물질 노출수준의 변화에 미치는 영향에 대한 평가는 아직까지 충분히 이루어지지 않았다. 제도개선의 영향을 평가하려면 먼저 특정 발암물질의 과거 노출수준을 정량적으로 추정하고, 해당 물질과 관련된 제도개선의 연혁을 정리하는 것이 필수적이다. 이를 위해, 국제암연구소(International agency of research on cancer, IARC)가 지정한 1급 발암물질을 중심으로 작업환경 측정자료를 분석하여 시간에 따른 발암물질 노출수준 변화를 정량적으로 파악할 필요가 있다.
- 정량적 분석 결과를 토대로, 노출 관련 제도개선 시점과 노출수준 변화 시점을 연계하여 제도 개선의 효과를 평가하고, 산업 및 환경의학 전문가들이 이를 종합적으로 검토하는 과정이 필요하다.

2 주요연구내용

Q 연구결과

- 작업환경측정자료의 전처리 과정
 - 1) 2002년부터 2023년까지의 작업환경측정자료(6가크롬, 니켈, 카드뮴, 용접흄)

2) Joint Regression 모형의 개선(과거 노출수준의 변화를 탐지하기 위한 모형, 불검출 자료의 특성을 반영할 수 있도록 조정하여 기하평균, 95% 분위수를 모의실험을 통해 성능 검토 후 측정자료에 적용)

3) 발암물질의 과거 노출 추정 및 제도개선에 의한 효과 분석

- 각 유해물질별로 전처리된 전체 데이터는 물론, 주요 산업 소분류와 공정을 선별하여 Joinpoint Regression 모형을 적합시켜 과거 노출수준의 변화를 추정하였다. 분석 기간인 2002년부터 2023년까지 각 물질의 연도별 불검출률은 6가 크롬 22.4%~78.3%, 니켈 31.7%~65.5%, 카드뮴 52.2%~80.3%, 용접흙 7.9%~22.9%로 나타났으며, 용접흙을 제외한 다른 물질들은 최근 연도로 갈수록 불검출률이 증가하는 경향을 보였다.
- Joinpoint Regression 분석 결과, 용접흙의 경우 2013년 이전에 고노출수준인 95% 분위수가 고용노동부 고시 노출기준인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 추정된 반면, 나머지 물질들은 전 기간에 걸쳐 고시 기준보다 낮게 추정되었다. 4개 유해물질 모두 기하평균 노출수준과 95%분위수 노출 모두 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 6가 크롬과 니켈의 경우, 노출기준이 제도적으로 강화된 이후 1~2년 이내에 노출수준이 크게 변화하는 경향이 확인되었다. 예를 들어, 6가 크롬의 경우 2008년 1월 불용성 크롬의 노출기준이 TWA $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 에서 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 로 강화된 후, 95%분위수의 감소율이 연 7.4%에서 15.12%로 크게 증가하였으며, 그 결과 2010년에는 $0.0055\text{mg}/\text{m}^3$ 에 도달하는 데 2년이 소요된 반면, 이전 감소율인 연 7.4%로는 같은 수준에 도달하는 데 4년이 걸렸을 것이다. 이는 노출기준 강화로 인해 약 2년이 단축된 것을 의미한다. 하지만, 6가 크롬을 불용성으로 한정해서 분석했을 때는 이와 같은 감소 효과를 확인할 수 없었다. 니켈의 경우도 2016년 8월 불용성 니켈의 노출기준이 TWA $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 에서 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 로 낮아진 후, 2017년에 기하평균의 감소율이 연 9.73%에서 35.35%로 약 4배 증가한 것으로 나타났다. 그 결과 2019년에 $0.00045\text{mg}/\text{m}^3$ 에 도달하는 데 2년이 소요된 반면, 이전 감소율로는 8.5년이 걸렸을 것이다. 이는 노출기준 강화로 6.5년이 단축된 것을 보여준다. 이러한 효과는 니켈 가용성, 불용성, 금속으로 구분해서 분석했을 때도 지속적으로 관측이 되었으나, 니켈 불용성의 노출기준이 신설된 2008년 1월의 효과는 정량적으로 확인할 수 없었다.

시사점

- 1급 발암물질인 6가 크롬, 니켈, 카드뮴, 용접흙의 과거 노출수준을 추정하고 제도개선 효과를 정량적으로 평가하는 방법을 제시하는 데 중요한 의의가 있다.

3 연구활용방안

제언

- 국가 차원에서 특정 유해물질의 노출수준을 지속적으로 감시하고 작업환경측정 조사와 별개로 수행되고 있는 신뢰성 평가 사업을 개선하여 작업환경 실태조사와 유사하게 산업 구조를 반영한 표본추출을 해서 선별된 사업장을 측정할 것을 제언한다.
- 이를 통해 전국 및 지역 단위의 국가 통계를 생성할 수 있을 뿐 아니라 본 연구에서 사용하는 Joinpoint Regression 모형에 가중치를 반영하여 더 편향 없는 결과를 생성할 수 있을 것으로 기대된다.

연락처

- 연구책임자: 동국대학교 박주현 교수
- 연구상대역: 산업안전보건연구원 직업건강연구실 역학조사부 최지형
- 연락처: 052-703-0873
- e-mail: yayajju@kosha.or.kr