

시간에 따른 발암물질 노출 수준 변화 평가(1)

연구기간 2023년 05월 ~ 2023년 11월

핵심단어 작업환경측정, Joinpoint Regression, 노출평가

Highlights

- 1) 작업환경측정자료의 전처리 과정
- 2) Joinpoint Regression 모형의 개선
- 3) 발암물질의 과거노출 추정 및 제도개선에 의한 효과분석

1 연구배경

- 여러 산업현장, 특히 제조업에 근무하는 노동자의 경우 다양한 화학물질을 다루고 있고 그로 인해 직무와 관련된 유해물질에 지속적으로 노출되고 있음.
- 노동자를 대상으로 한 역학연구의 과학적 근거가 축적될수록 암을 유발하는 유해물질의 노출 기준치가 낮아지고 있으나 노출 관련 제도 개선이 발암물질 노출 수준의 변화에 미치는 영향에 대한 평가는 현재까지 이루어지지 않고 있음.
- 제도 개선의 영향을 평가하기 위해서는 먼저 특정 발암물질의 과거 노출 수준에 대한 정량적 추정과 더불어 연혁에 따른 해당 물질과 관련된 제도 개선의 정리가 필수적임.
- 여러 유해인자 중에서도 국제암연구소(International agency of research on cancer, IARC)가 지정한 1급 발암물질을 대상으로 작업환경측정자료 분석을 통하여 정량적으로 시간에 따른 발암물질 노출 수준의 변화를 파악하는 것이 필요함.
- 정량적 분석 결과를 바탕으로 노출 관련 제도 개선 시점과 노출수준의 변화시점을 연계하여 제도개선의 효과에 대하여 산업/환경의학 전문가의 종합적인 검토가 필요함.

2 주요연구내용



연구결과

- 작업환경측정자료의 전처리 과정
 - 2002년부터 2022년까지의 작업환경 측정자료에서 벤젠, 포름알데히드, 석면을 분석 대상으로 하였음

- 해당 기간 동안 변경된 표준산업분류와 공정을 정리하여 산업별, 공정별 결과를 생성할 수 있도록 하였으며, 탐색적 자료 분석을 통해 노출수준에 영향을 미칠 수 있는 요소들(예, 측정 시간 등)의 분포를 살펴본 후 노출 기준을 중심으로 하여 잠재적으로 이상치에 해당하는 자료를 전처리 작업으로 제거한 뒤 분석에 적합한 자료를 생성하였음.

○ Joinpoint Regression 모형의 개선

- 과거 노출 수준의 변화점을 찾기 위해 미국 국립암연구소(US NCI)가 개발한 Joinpoint Regression 모형을 불검출 자료의 특성을 반영하면서 평균뿐 아니라 분위수를 추정할 수 있는 모형으로 개선하였고, 모의실험을 통해 여러 상황에서 모형의 성능을 평가한 후 전처리된 작업환경측정자료에 적합하였음.

○ 발암물질의 과거 노출 추정 및 제도개선에 의한 효과분석

- 벤젠, 포름알데히드, 석면 각각의 전체 자료 뿐 아니라 각 유해물질이 주로 취급되는 산업 소분류와 공정을 선별하여 Joinpoint Regression 모형을 적합해서 과거 노출 수준의 변화를 추정하였음.
 - 추정에 앞서 자료 분석 기간인 2002년부터 2022년까지 벤젠, 포름알데히드, 석면의 연도별 불검출률은 각각 3.7%~96.4%, 3.0% ~36.4%, 0.0%~82.5%이고, 석면을 제외한 벤젠과 포름알데히드는 최근 연도에 가까울수록 불검출률이 높아지는 경향이 관측되었음.
- Joinpoint Regression 분석 결과로써, 벤젠, 포름알데히드, 석면 모두 높은 노출수준에 해당하는 95%분위수가 고용노동부 고시 노출 기준보다 낮게 추정되는 것을 확인했음. 2009년 이후 사용이 전면 금지된 석면을 제외하고 벤젠과 포름알데히드는 전체 자료를 분석했을 때 2002년 이후 최근 연도까지 평균 노출수준 뿐 아니라 95%분위수 노출도 지속적으로 감소하는 것을 확인하였음. 또한, 두 물질 모두 노출 기준이 제도적으로 낮아진 연도이후 1~2년 내 노출 수준이 급격하게 변화하는 경향을 보였음. 특히, 벤젠은 비교적 최근인 2016년 하반기에 노동부 노출기준이 TWA 1ppm에서 0.5ppm으로 낮아졌고, Joinpoint Regression 분석 결과로써 2017년에 95%분위수의 감소율이 변경되었는데 2015년부터 2017년까지 매년 약 13%씩 감소하던 추세가 2017년부터 2019년까지 매년 약 57% 급격히 감소하는 추세로 변경되었음. 추세 변경으로 인해 2017년부터 벤젠의 2019년 95%분위값인 0.012ppm에 도달하는 데는 2년이 걸린 데 반해 기존의 감소율인 13%씩 감소를 하면 같은 노출수준에 도달하는데 12년(2029년)이 걸리므로

강화된 노출 기준의 효과로써 약 10년이 단축된 것을 확인하였음. 포름알데히드의 경우 2007년을 기점으로 95%분위수의 감소 폭이 6.6%에서 24.8%로 크게 증가하였는데, 이는 2007년 6월에 TWA 1ppm에서 0.5ppm으로 변경된 영향으로 해석할 수 있음.



시사점

- 과거 누적 노출수준 추정 및 제도개선 효과의 정량적 평가 방법 제시
 - 1급 발암물질인 벤젠, 포름알데히드, 석면을 대상으로 산업소분류 및 공정별로 지난 20년간의 평균(산술, 기하) 노출수준과 높은 노출(95%분위수) 수준을 추정하였음.
 - 추후 직업적 노출로 인한 업무관련성 판단의 과학적 근거 및 역학연구에서 누적 노출수준을 추정하는 데 활용될 수 있음
 - 발암물질의 제도고시가 산업현장에 반영되어 실제적 개선효과가 발생할 때까지 걸리는 시간 및 노출 농도 감소를 정량적으로 분석하는 방법을 처음으로 제안하였음
 - 추후 유사 유해화학물질들의 제도 개선 시 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 과학적 기반 마련

3

연구활용방안



활용방안

- 발암물질의 제도 고시가 산업현장에 반영되어 실제적 개선 효과가 발생할 때까지 걸리는 시간 및 노출 농도 감소를 분석하는 방법을 개발함으로써 추후 유사 유해화학물질들의 제도 개선 시 효과를 질적 및 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 기대함.
- 추정된 발암물질의 과거 노출수준을 이용해서 추후 직업적 노출로 인한 산업재해 판단의 과학적 근거 및 역학연구에 활용될 것으로 기대함.

☒ 연락처

- 연구책임자: 동국대학교 박주현 교수
- 연구상대역: 산업안전보건연구원 직업건강연구실
중부권역학조사팀 윤민주
- 연락처: 032-510-0756
- e-mail: mjmj@kosha.or.kr