

벤젠의 과거노출추정 (Job-Exposure Matrices, JEM) 연구

제공/산업안전보건연구원

연구책임자 : 박동욱(한국방송통신대학교)

연구기간 : 2013. 3. 13 ~ 2013. 10. 31

등록번호 : 2013-연구원-1204

1960년대 이후 산업발달, 노동특성 등을 감안할 때 벤젠을 포함한 발암물질 등 위험물질에 대한 과거 노출뿐만 아니라 질병과 업무관련성 규명 요구는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 유해인자에 대한 과거 노출을 평가하는 도구로 유해인자에 대한 노출 시기, 노출 업종, 노출 직업과 직무 등을 조합한 매트릭스(job exposure matrix, JEM)가 많이 활용된다. 우리나라에서는 JEM을 구축하여 유해인자 노출과 건강영향 감시, 과거 노출농도 추정, 업무관련성 평가 등을 산업보건 영역에서 활용한 적이 없다. 벤젠 등 주요 발암물질에 대한 노출평가 JEM을 구축하고 나아가서는 JEM별 정량적인 노출농도를 추정하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 궁극적 목적은 벤젠의 과거노출을 추정하기 위한 JEM을 구축하고 JEM 특성별로 벤젠 노출수준을 추정하는 것이다. 이를 달성하기 위한 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 첫째, 우리나라에서 벤젠 발생 관련 산업/업종 등의 변천과정을 산업보건측면에서 정리하고 고찰한다.
- 둘째, 우리나라 벤젠 노출에 따른 산업재해 승인 자료를 시기, 업종, 직무 등으로 분류하여 정리한다. 이 결과들을 벤젠 JEM 구축 자료의 활용도와 연계한다.
- 셋째, 국내 벤젠 관련 노출 논문 및 보고서/작업환경측정결과에서 보고된 벤젠 노출수준을 노출 시기, 업종, 직업 등을 통합하고 표준화하여 JEM을 구축한다.
- 넷째, JEM 특성별로 과거 벤젠 가중 평균 노출농도를 추정하고 분석한다.

다섯째, 국외에서 벤젠 노출 주요 업종, 공정, 직무, 시기별 JEM별로 벤젠 평균 노출수준을 고찰하여 본 연구 결과와 비교하거나 본 연구에서 부족한 특정 시기, 업종, 직업, 직무의 노출수준을 보충한다. 마지막으로 벤젠의 벌크 중 농도의 변화를 문헌에서 보고된 시기별, 제품 특성별로 구분하고 비교한다.

국내에서 벤젠 노출을 보고한 33개 문헌을 대상으로 측정(노출)시기, 업종, 직종별로 분류하고 조합하여 JEM을 구축하였다. 업종은 문헌에서 보고한 자료를 바탕으로 대-중-소-세 분류까지 4단계로 계층화하여 분류하였다. 분류는 우리나라 통계청 제9차 개정 한국표준산업분류(KSIC)를 이용하였다. 직종코드는 통계청 고시 제2007-3호(2007. 7. 2)로 확정·고시한 제6차 한국표준직업분류(KSCO)를 활용하였다. 업종 및 직종은 훈련 받은 산업위생전문가 4명이 먼저 분류하고 산업위생분야 교수가 최종 분류를 결정하였다. 대상 자료에 업종과 직종을 파악할 수 있는 관련 검색어(예; 공정명-옴셋 인쇄, 생산 제품명-자동차 타이어, 취급 물질명-에나멜 시너 등)를 통계청에서 제공하는 on-line 검색 사이트의 검색 창에 입력하여 각 분류코드의 정의와 제시된 업종 및 직종 예를 참고하여 가장 적합한 분류코드를 부여하였다.

연구 결과는 다음과 같다.

국내 벤젠 취급/노출 주요 산업의 변화

국내에서 벤젠을 제조하는 산업의 변화과정을 조사하여 앞으로 벤젠에 대한 과거 노출 재구성을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 현재 우리나라는 5개의 원유정제공장(정유공장)과 9개의 석유화학공장에서 벤젠을 제조하고 있다. 원유정제공장은 1964년 대한석유공사, 1967년 호남정유, 1968년에는 경인에너지가 설립되었다. 이후에 2개 회사가 추가로 참여하여 현재는 5개 회사가 가동되고 있다. 석유화학산업은 1970년대에 울산 석유화학단지가 가동되기 시작하여, 1980년대는 울산, 여수단지의 완공으로 석유화학산업이 본격적으로 성장하였다. 1980년대 말부터 1990년대 중반까지는 석유화학산업의 투자 자유화에 따라 울산, 여수단지 내 기존 설비의 증설과 신규 기업의 진입이 활발해졌다. 또한 이 시기는 대산단지가 완공되면서 지금의 3개 석유화학단지 체제가 구축되었다.

벤젠 노출로 인한 산업재해 인정 자료 분석

벤젠 JEM 구축 필요성과 활용도에 대한 정보를 제공하기 위하여 국내 벤젠 노출로 인한 직업병 발생사례를 정리하였다. 1994년부터 2012년까지 악성 림프조혈기계 질환이 업무상 질병으로 승인된 사례(소송 승소사례 포함)는 87건으로 이 중 76건이 벤젠(포름알데히드, 납 등 복합적으로 노출된 경우 포함) 노출에 의한 질환이다. 이 76건에 대해 노출된 업종과 직종을 검토하였다.

벤젠에 노출되어 림프조혈기계 질환이 발생한 76명 중 80% 이상 고농도 벤젠에 노출된(또는 노출가능성이 높은) 경우(원유정제 및 석유화학제품 생산 및 설비 보수 작업 등에 종사한 근로자는 95% 이상 고농도 벤젠 및 벤젠 함량이 다양한 석유화학제품에 동시 노출됨)는 원유 정제 및 석유화학제품 생산 장치 운전원 및 공무원서 근로자 7명, 원유 정제 및 석유화학제품 생산 공장의 건설이나 보수를 담당하는 배관 및 제관공 4명, 연구원 4명(의약품 제조 사업장 연구원 1명 포함), 발전업 종사 시험분석원 1명, 도금공장 세척작업자 1명 등 17명이었다.

나머지는 벤젠을 함유한 혼합물질에 노출된 근로자들로 도장작업 중 도료 및 희석제에 함유된 벤젠에 노출된 근로자가 21명, 타이어 제조 중 시멘트 및 유기용제에 함유된 벤젠에 노출된 근로자 8명, 세척액에 포함된 벤젠에 노출된 근로자 6명, 코크스 오븐 배출물, 접착제에 포함된 벤젠에 노출된 근로자가 각각 4명, 인쇄 작업 중 노출된 근로자가 4명이었다. 또, 주물작업 중경화제의 열분해 시 발생한 벤젠에 노출된 근로자 3명(1명은 벤젠이 포함된 도료를 이용한 도장작업도 수행), 휘발유 포함 벤젠에 노출된 근로자가 3명이었다. 기타 폐수 처리, 수지 생산, 석유화학공장 공무, 제관, 반도체 제조, 용접 중 벤젠이 함유된 화학물질에 노출된 경우가 각각 1명이었다.

다음으로 2000년부터 2012년까지 근로복지공단에서 벤젠에 의한 산업재해로 인정한 경우에 대해 원시자료를 검토하였다. 총 59명의 자료를 검토하였는데 분석결과 근로복지공단 원시자료의 한계 때문에 노출의 구체적 형태를 알기 힘들고, 전산화 이전의 자료가 포함되어 있어 기존 안연순에 의한 연구가 더욱 포괄적이라는 결론을 내리게 되었다.

2011년과 2012년도 조혈기계암 감시체계 자료 중 관련성이 높은 경우를 검토한 결과, 관련성이 확실한 경우는 2건, 관련성이 높은 경우는 7건으로 총 9건이었다. 9명의 직업력은 모직회사의 직물 오염제거용으로 벤젠 사용 1건, 자동차 도장과 세척 1명, 타이어 제조과정 2명, 목재가공과 본드 사용 2명, 자동차 정비 도장 1명, 석유정유공장 배관작업 1명, 코크스 오븐 수리점검 1명이었다. 감시체계 결과는 기존 연구와 근로복지공단 원시자료에서 분석한 업종, 직종과 유사하였다.

벤젠 건강관리 수첩 발급 연도별 현황(2003~2012년, 총 722건)을 보면, 업종별 발급현황은 유기화학제품제조업이 433건으로 가장 많았고, 다음으로 합성수지제조업(125건), 석유정제품 제조업(114건) 순이었다.

작업환경측정 결과에 근거한 벤젠 JEM별 노출 수준 추정

2002년부터 2011년까지 측정된 공기 중 벤젠의 작업환경측정 결과는 총 18,434건의 시료 수로 구성되어

있으며, 이중 신뢰성을 고려하여 395개를 결측치로 처리하고, 나머지 18,039개를 통계분석하였다. 과거 10년간 측정된 벤젠의 평균 노출 수준은 0.11 ppm이었으며, 연도별로는 2006년이 0.69 ppm으로 가장 높게 나타났으며, 최고 노출 수준도 2006년에 측정된 약 127 ppm 이었다. 노출기준과 비교했을 때 2003년 하반기 이후 전체 시료 수 중 노출기준을 초과하는 경우는 2006년에 4.57%로 가장 높았으며, 2010년과 2011년의 경우는 초과율이 0.01% 이하로 나타났다.

업종별로는 총 412개의 업종에서 근로자의 벤젠 노출 수준을 평가하고 있었으며, 작업환경측정이 가장 많이 이루어진 업종은 석유화학계 기초화학물질 제조업으로 사업장 수는 75개, 평균 농도는 약 0.10 ppm으로 나타났다. 두 번째로 노출평가가 많이 이루어진 원유정제처리업은 사업장 수가 54개였으며, 평균농도는 0.02 ppm으로 나타났다. 또한 근로자들의 평균 벤젠 노출수준이 노출기준인 1 ppm을 초과하는 업종은 금속파스너 및 나사제품 제조업 2.08 ppm, 합성수지선 건조업 1.86 ppm 등 5개의 업종으로 나타났다.

문헌에 근거한 벤젠 JEM 노출수준 추정

문헌에 보고된 측정시기(노출시기), 업종, 직종(직업)을 단계별로 임의 분류하여 JEM을 구축하고 JEM별 통합 벤젠 노출수준을 추정했다. 업종은 대분류/중분류/소분류/세분류/세세 분류로 분류해서 JEM을 구축하고 직종과 직업은 문헌에서 제시한 정보를 따로 분류하지 않고 그대로 활용했다. 본 연구에서 구축된 벤젠 JEM의 업종별 직종은 벤젠에 노출될 가능성(확률, probability)이 존재한 환경으로 간주할 수 있다.

벤젠 노출시기별로 보고서에 기록된 업종과 직종을 조합한 JEM별 통합 벤젠 노출수준을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

1984년 이전에는 모든 분류의 JEM에서 10 ppm이상의 매우 높은 통합된 노출수준을 나타냈다. 1990~1999년대에는 벤젠 노출이 평가된 측정 수가 다른 시기에 비해 적었다. 대부분의 JEM에서 통합 벤젠 노출수준은 현재 노출기준 1 ppm이하로 낮았지만 다만 신발제조업/ 인쇄업/ 접착테이프 제조업/ 페인트 제조업 등의 직종에서 벤젠 통합 노출수준은 벤젠 노출기준 1 ppm을 초과한 것으로 나타났다. 따라서 이 시기에서 JEM별 노출수준을 그대로 과거 노출자료로 활용하는 데는 주의를 기울여야 한다.

2000년대에는 석유화학제품 제조업을 중심으로 세탁업, 자동차 제조업, 자동차 정비업, 인쇄업 등에서 벤젠 노출 조사가 이루어졌다. 서비스업(세탁업)의 세탁 직무(2.3 ppm), 석유화학제품 제조업에서 정비(3.6 ppm과 6.8 ppm), 시료채취(15.3 ppm), 운송(1.3 ppm) 등에서 벤젠 노출이 높았다.

특히, 2005~2009년에 조사된 석유화학제품 제조업 통합 평균 벤젠 노출수준은 4.6ppm으로 노출기준 1

ppm을 4배 이상 초과하는 수준을 나타냈다.

2010년 이후에 조사된 석유화학제품 제조업의 도장, 배관, 비계, 운전, 정비 등 직무에서 벤젠 통합 노출수준은 노출기준 이하였고 이러한 수준은 이전 2000년대보다 낮은 값이다. 반면 자동차 제조업에서 접착(5.8 ppm), 도장(4.2 ppm), 시험(5.1 ppm), 정비(2.7 ppm), 혼합(4.9 ppm) 등의 직무에서는 높은 벤젠 노출수준을 나타냈다. 2010년 이후 자동차 제조업에서 평가된 통합 벤젠 노출수준은 다른 시기보다 높았다. 이외에도 2010년부터 조사된 벤젠 노출산업과 직종은 건설업, 선박제조업에서 용해와 운전(1.9 ppm), 선철주조업, 스피커콘지제조업, 연구, 의약품 화합물 및 항생물질제조업, 인쇄업 등이었다.

본 연구의 최종목표인 노출 시기, 산업, 직업 3개 기본 노출변수를 매트릭스로 조합하여 총 110개의 벤젠 JEM을 구축하였다. 노출시기별로 세 분류까지 분류한 산업과 문헌에서 기록된 직업을 조합하여 구축한 JEM 결과이다. 직업 타이틀은 문헌에 보고된 정보 부족으로 표준으로 분류하는데 한계가 있어 연구자가 판단하여 정하였다.

본 연구에서 구축한 벤젠 JEM과 JEM별 노출수준은 과거 노출을 평가하고자 하는 노출 시기, 업종, 직업에 직접 적용할 수 있는 근거가 될 수 있다. 벤젠 노출을 추정하려는 시기, 산업, 직종 등을 본 연구의 JEM결과와 비교하여 일치 정도 및 자료의 신뢰도가 높다고 판단되면, 과거 노출정보로 그대로 적용할 수 있다. 예를 들면, 1990년대 이전과 2000년대 이후 측정 수가 충분한 일부 JEM의 벤젠 노출수준은 과거 노출수준으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 활용할 수 있는 특정 JEM을 파악하기 위해서는 자료 수, JEM에 구축된 노출정보(산업/직업) 등을 고려해야 한다.

본 연구에서 JEM 구축에 기본 변수인 업종과 직업, 직무에 대한 정보가 없거나 부족한 경우가 많았다. 왜냐하면 각종 산업보건활동 결과와 연구문헌에서 산업과 직업, 특히 직업에 대한 표준분류 내지는 관련된 정보의 기록이 부족하거나 없었기 때문이다.

현재 작업환경측정과 특수건강진단 제도를 통해서 유해인자에 대한 노출과 건강영향을 감시하고 있지만 국가가 통합적으로 들여다 볼 수 있는(감시할 수 있는) 핵심 노출 변수가 없거나 이에 대한 정보가 부족하거나 수집하는 체계가 부족하다. 벤젠을 포함한 주요 유해 인자에 대한 노출수준과 건강영향을 국가가 체계적으로 감시할 수 있도록 제도 개선이 필요할 것으로 판단된다. 또한 핵심 유해인자 노출변수인 산업, 직업, 직종, 공정 등을 표준으로 관리하기 위한 체계 도입이 필요하다.

본 연구에서 노출시기, 업종, 직종(직업/직무)을 조합하여 구축한 벤젠 JEM을 활용할 수 있는 정보와 자료는 2종류이다. 첫째, 벤젠에 노출된 노출 시기, 산업, 직업, 직종이다. 즉, 본 연구에서 JEM으로 구축된

시기별 산업과 직업/직종에 근무한 경우 적어도 벤젠 노출 확률/가능성(probability)이 있는 것으로 판단할 수 있다. 둘째, 벤젠 노출 가능성이 있는 JEM별로 추정된 정량적인 벤젠 노출수준이다. 노출 시기(측정시기), 산업, 직종 JEM별 과거 벤젠 노출수준으로 활용할 수 있다.

구체적인 활용방안 및 기대성과는 다음과 같다. 질병과 벤젠 노출 관련 직무, 환경 등의 연관 여부를 판정하는데 과거 노출 근거 자료로 활용할 수 있다. 특히 벤젠 노출로 인한 직업병으로 인정받은 업종과 직종을 본 연구에서 구축된 JEM별 노출수준과 비교하여 업무 관련성 판정 시 벤젠 노출 JEM 및 노출수준 등에서 직/간접적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또, 벤젠 노출을 평가하기 위한 국가(고용노동부) 감시 자료로 활용할 수 있다. 본 연구에서 규명한 벤젠 노출 산업과 직업을 대상으로 벤젠 노출 근로자 수, 노출수준, 노출빈도, 벤젠 취급량 등을 감시할 수 있는 정보로 활용될 수 있다. 즉, 본 연구결과를 향후 국가 유해인자 노출 및 국가의 건강영향 감시 체계 수립 기초자료로 활용할 수 있다.

특정시기, 특정 산업, 특정 직업이나 직무 등을 대상으로 벤젠 노출 또는 관련 질병의 원인을 규명하기 위한 역학조사에서 특정 JEM에 대한 과거 노출자료를 이용하는데, 이때 노출 가능성(probability)과 노출수준(exposurelevel)을 추정하는 데 활용될 수 있다.

본 연구방법/과정/단계 등은 향후 국가가 감시해야 할 주요 변이원성/발암성/생식독성 물질과 인자에 대한 JEM을 구축하는 데 직접적으로 활용할 수 있다.

본 연구결과를 활용하는데 주의할 점이나 한계점은 다음과 같다. 벤젠의 노출 시기, 노출 산업, 노출 직업을 코딩하고 표준화하고 분류하여 JEM을 구축하는 과정에서 분류오류(mis-classification)가 생길 수 있다. 특히 직업을 표준으로 분류하는데 필요한 직무, 공정 등에 대한 자료가 없거나 충분하지 않은 경우가 많아 분류오류 가능성이 있을 수 있다.

문헌 정보에 근거한 JEM별 벤젠 노출수준도 각 JEM의 특성(시료 수, 조사방법, 자료분포 등)에 따라 노출수준을 대표하는 데 한계가 있을 수 있다. 특히 시료 수가 적은 노출 시기(1994-1999년 자료)의 JEM별 노출수준을 그대로 과거 노출자료로 활용하는 데는 주의를 기울여야 한다. 🍷