



2000년대 벤젠노출 근로자

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 김 은 아

벤젠이 백혈병을 유발한다는 것은 일찍이 1920년대부터 알려져 왔다.¹⁾²⁾

이탈리아와 터키의 신발공장에서는 벤젠에 의한 조혈기계 암의 증례가 보고되는 등,³⁾⁴⁾ 2000년대 한국의 산업보건계에서 벤젠 노출과 백혈병의 관계는 전문가들에게 상식적인 사실이었지만 관리기준을 어느 정도로 설정하는 것이 타당한가에 대해서는 아직 논란이 많은 상태였다. 그리고 급성골수성백혈병 이외에 림프성 백혈병에 대해서는 확신을 하지 못하는 문헌이 보고되고 있었다.⁵⁾

우리나라에서 벤젠에 의한 조혈기 장애 사례가 발생한 것에 대한 공식적인 기록은 1960년대 말에 나타난 재생불량성빈혈의 사례에서 찾아볼 수 있다.

담배필터의 유지성분을 제거하기 위해 사용하였던 벤젠에 노출되어 2명의 근로자가 재생불량성빈혈로 사망하고 3명에게 골수억제 소견이 나타난 것이다.⁶⁾

이후 1993-1996년까지 제철업 수질분석공, 자동차 제조업체의 도장공, 통신업체에서 벤젠을 세척제로 사용하는 근로자 등에서 백혈병이 발생하여 산업보건연구원에 조사 의뢰되었으며, 벤젠과 만성골수성 백혈병과의 인과관계에 대해 가능성이 낮게 판단되어 요양 불승인 되었으나 심사청구 과정에서 업무관련성이 인정되었다.⁷⁾

한국의 산업안전보건법에서 규정하는 벤젠 노출기준은 1970년까지만 해도 25 ppm 이었고, 이후 벤젠의 심각성에 대해 관심이 증가된 후에는 10 ppm으로 노출기준을 개정하였다.⁸⁾ 그런데 이 당시에도 선진국들의 벤젠노출기준은 1 ppm인 경우가 많았으며, 한국에서도 2000년 이후 직업성 암에 대한 사회적 관심이 증가되면서 이에 대한 고민이 시작되었다.

2000년까지 산업안전보건연구원으로 역학조사 의뢰된 벤젠 노출과 관련된 조혈기

계 암 사례들을 검토해 본 결과, 100% 벤젠을 사용한 사례가 4건에 불과하였고, 벤젠 농도를 확인하지는 못했지만 장기간 도장작업을 한 사례가 3건, 그리고 직업병 심의 의뢰 후 사후 역학조사에서 벤젠 농도를 측정 한 3건에서 기중 벤젠농도는 1-2 ppm 수준이었다.⁷⁾ 즉, 10 ppm 이하의 벤젠노출이 직업성 암을 유발할 수 있다면, 노출기준을 수정해야 하지 않느냐 하는 의견이 산업보건계에서 증가하게 되었다.

그런데 이러한 노출기준 설정을 위해서는 당시 한국 근로자들의 벤젠 노출수준을 검토할 필요가 있었다.

1994년에 보고된 한 논문에 의하면, 당시 피혁제조 및 화학제품 제조업 사업장의 평균 벤젠노출수준은 2-23 ppm이었으며, 범위는 0.1-56.9 ppm에 이르는 것으로 보고되었다.⁸⁾ 이러한 보고로 볼 때, 2000년 이후 벤젠 노출기준을 1 ppm으로 관리할 필요가 있는지, 필요가 있다고 하더라도 그것이 현실적으로 가능한 상태인지를 알기 위해서는 전국의 벤젠취급사업장에 대한 벤젠 노출수준을 검토할 필요가 있었다.

2000년에 보고된 벤젠노출사업장에 대한 역학조사는 이러한 배경에서 시작되어 “유해물질노출근로자의 건강영향에 대한 연구-벤젠 노출 근로자에 대하여”란 보고서가 출간되었다.⁷⁾

이하의 내용은 이 보고서의 주요 내용을 요약한 것이다.

벤젠 취급 실태

1999년에 한국산업안전보건공단이 실시한 작업환경실태조사에 의하면, 당시 한국에서 벤젠을 제조하는 사업장의 수는 15개소였고, 벤젠을 사용하는 사업장은 102개소 그리고 벤젠이 발생하는 사업장은 19개소로 파악되었다. 벤젠이 제조되는 15개 사업장은, 원유 정제처리과정에서 벤젠을 제조하는 사업장이 5개소, 석유화학계 업체에서 스티렌단량체를 합성하는 사업장 5개소, 석탄화합물제조업 2개소, 합성수지제조업 2개소 및 제철업 1개소이었다.

이 조사에 의한 벤젠 생산량은 총 360만 톤이 생산되고 있고, 사용량은 102만 톤 정도이었다. 한편, 당시의 통계청 산업생산연보에 의하면 벤젠의 연간 생산량과 출하량은 각각 70만 톤, 40-50만 톤으로 작업환경조사 자료와는 차이가 있었다.

작업환경실태조사에 의한 벤젠을 제조, 사용, 발생하는 사업장의 노출 근로자 수는 각각 451명, 446명, 37명으로 총 934명으로 파악되었다. 하지만 한국산업안전보건공단에서 실시한 제조업체 작업환경 실태조사에

서는 소규모 사업장에 대한 조사가 많이 누락되어 있을 것을 감안해야하였다.

연구진은 작업환경실태조사에서 벤젠을 사용하고 있는 업체 102개를 구분해 보았는데, 주로 의복제조업, 인쇄업, 신발제조업, 석유화학제품제조업, 자동차수리업, 의약제품제조업 등이었다. 만일 이들 사업장에서 벤젠을 사용하고 있다면 표준산업분류의 세세분류에 의한 동종업체에서도 벤젠을 사용할 가능성은 매우 높다고 할 수 있다.

작업환경실태조사가 포괄하는 사업장 중 유사한 의복제조업, 인쇄업, 신발제조업, 석유화학제품제조업, 자동차수리업, 의약제품제조업 등의 사업장 수는 6,219개소, 근로자는 96,182명이었다. 따라서 저자들은 6,219개소의 근로자들도 벤젠노출가능성을 배제하기는 어려울 것이라고 판단하였다.

작업환경측정 결과

역학조사에서는 벤젠을 제조, 사용, 발생하는 사업장 중 5개 사업장 6개 공정, 61명의 근로자에 대해 작업환경측정을 실시하였다.

벤젠을 제조하는 사업장의 주요 공정개요는 조경유(유연탄에서 발생하는 열 증기를 냉각시킨 오일)를 받아 밀폐공정에서 조벤

젠(순도 95-97%)으로 분리하는 것이었다. 이 공정에서 작업자들은 주 조정실에 근무하며 하루 근무 중 1-2시간을 기계 장치를 점검하면서 옥외에서 벤젠에 노출되고 있었다. 생산된 벤젠은 탱크로리를 이용하여 반출되고 있었다.

역학조사에서는 벤젠공정에 근무하는 근로자 2명씩 3교대 6명에 대해 조사를 하였다. 벤젠을 사용하는 사업장으로는 벤젠을 합성하여 점도제(카보머)를 생산하는 공정 1곳과 벤젠을 합성하여 MDI의 원료인 MDA를 합성하는 공정 2곳을 조사하였다.

카보머 생산 공정은 배치공정이었으며, MDA 생산공정은 연속공정이었다. 벤젠이 발생하는 사업장은 신사화 및 숙녀화를 제조하면서 접착제를 사용하는 신발공장 1곳과 2도 읍셋 인쇄하는 인쇄사업장 1곳을 조사하였다.

작업환경측정 결과, 당시 노동부 노출기준인 10 ppm을 초과하는 사업장은 없었다. 벤젠제조공정의 기중 벤젠농도는 평균 0.139(±0.152) ppm이었고 외국의 노출기준인 1 ppm을 초과하는 근로자도 없었다. 벤젠 사용공정에서, 배치공정으로 이루어지는 점도제 제조공정의 기중 벤젠농도는 1.079(±1.4175) ppm으로 1 ppm을 초과하는 근로자가 전체 17명 중 5명이었다.

〈표 1〉 작업장별 작업환경측정 결과

노출형태	업종	측정수	평균(ppm)	표준편차	노출기준 초과수	
					10 ppm	1 ppm
발생	읍셋인쇄	4	0.017	0.0121	0	0
	제화	7	0.080	0.0581	0	0
사용	MDA 제조	9	0.010	0.0044	0	0
	니트로벤젠 제조	18	0.919	2.8764	0	2
	카보머 제조	17	1.079	1.4175	0	5
제조	BTX	6	0.139	0.1520	0	0
	평 균	61	0.597	1.7622	0	7

MDA를 합성하는 공장은 각각 0.919(\pm 2.8764) ppm, 0.010(\pm 0.0044) ppm으로, 같은 공정이면서도 기중 벤젠농도는 큰 차이를 보였다. 벤젠 발생 사업장은 제화공정에서 0.08(\pm 0.0581) ppm이었고, 읍셋인쇄는 0.017(\pm 0.0121)로 매우 낮은 농도이었다. 전체적으로는 0.597(\pm 1.7622) ppm으로 노출기준 10 ppm보다는 매우 낮은 수준이었다.〈표 1〉

생물학적 모니터링

생물학적 모니터링에서 요중 미론산을 검사한 57명의 평균 요중 미론산의 농도는 1.05(\pm 0.685) mg/L이었다.

요중 미론산은 벤젠을 사용하는 카보머 제조 사업장에서 1.47(\pm 0.799) mg/L로 가장 높았고, 벤젠을 분리하는 BTX 공정에서 1.14(\pm 0.611) mg/L이었다. 벤젠을 사용하는 업체인 MDA 합성사업장에서는 요중 미

론산이 각각 0.98(\pm 0.692), 0.87(\pm 0.321) mg/L로 나타났다. 벤젠 발생 사업장의 요중 미론산의 농도는 0.60(\pm 0.235), 0.46(\pm 0.064) mg/L이었다.

혈액학적 검사 및 코멧검사

기중 벤젠농도를 저농도(0.1 ppm 이하), 중간농도(0.1-1.0 ppm), 고농도(1 ppm 이상)로 구분하여 각각 26명, 28명, 7명의 근로자에 대해서 혈액검사 결과를 비교하였다.

적혈구 검사에서 헤모글로빈, 적혈구 수, 헤마토크릿, MCV, MCH, RDW에서 기중 벤젠농도에 따른 평균치의 차이는 없었다. MCHC만이 농도수준에 따른 유의한 차이를 보였다($F=4.182$, $p<0.05$). 백혈구 검사에서는 백혈구 수, 중성백혈구 수, 림프구 수, 단핵구 수에서 기중 벤젠농도에 따른 차이는 없었다. 혈소판 수에서는 혈소판 수, MPV, P-CLR에서 기중 벤젠농도에 따른

유의한 차이가 있었으나 PDW는 유의한 차이를 보이지 않았다.

Comet assay는 세포의 핵 내의 DNA가 변형되는 정도를 감지하여 세포의 손상정도를 감지하는 기법으로, 손상정도를 립프구의 tail moment라는 값으로 표현한다. 이 역학조사에 참여한 근로자들에 대한 조사 결과, 기중 벤젠농도가 증가할수록 립프구의 tail moment 값이 증가하는 유의한 상관관계를 보였다.

역학조사의 결론

2000년까지 우리나라에서 벤젠에 의한 직업성 암의 보상 사례는 주로 도장작업이나 세척작업에서 벤젠에 노출된 사례들이었는데, 이 사례들의 작업 중 벤젠 노출 정도는 대부분 2000년 당시의 노출기준인 10 ppm 이하이었다.

전국역학조사 결과, 벤젠 노출정도는 벤젠을 제조하는 공정보다는 사용하는 공정에서 많이 일어나고 있으며, 같은 공정이라도 사업장에 따라 큰 차이를 보였다. 그리고 당시 기중 벤젠농도는 노출기준인 10 ppm 이하에 크게 미치지 못하는 1 ppm 수준으로 관리되고 있었다.

이 보고서에서 저자들은 2000년 현재 한

국의 벤젠 노출기준 10 ppm⁹⁾이, 일본을 제외한 대부분의 선진국의 노출기준은 1 ppm에 비해 높다고 판단하였다.

당시 일본 산업위생학회에서도 1998년에 벤젠노출기준을 1 ppm으로 권고¹⁰⁾하고 있었고 일본도 곧 노출기준을 변경할 것으로 예상된다고 하였다.

저자들은 벤젠에 대한 노출기준의 역사적 변천에 대해 다음과 같이 고찰하고 있다.

“미국산업위생가협회(ACGIH)는 1940년대 처음 100 ppm으로 정하였다가 1987년 10 ppm으로 줄였고, 1997년부터는 0.5 ppm으로 낮추어 권고하고 있다. 미국 노동부(OSHA)에서는 1971년부터 벤젠에 대한 허용기준을 설정하여 관리하고 있는데 처음에는 10 ppm으로 하였으나, 1 ppm에서 10 ppm 사이에서도 백혈병의 발생이 증가한다는 역학적인 보고로 인해 1980년대 후반에 1 ppm으로 낮추었다. 그러나 화학 회사 측의 강력한 반발로 연방대법원에서 증거가 충분치 않다는 이유로 1980년에 이 법은 발효되지 못하였다. 이후 10 ppm 이하에서도 백혈병이 발생한다는 많은 역학적인 자료를 토대로 1987년에 1 ppm으로 낮추어지게 되었다.”¹¹⁾¹²⁾

이러한 고찰을 바탕으로 저자들은 다음과 같이 권고한다.

우리나라에서 법적인 벤젠 노출기준은 10 ppm인데, 실제 이를 초과하는 사업장은 거의 없고 대부분 이보다 훨씬 낮은 수준인 1 ppm 을 목표로 관리하고 있다. 그러나 우리나라에서도 10 ppm 이하의 벤젠에 노출된 근로자에게 백혈병이 발생하고 있으므로 근로자의 건강보호를 위해서는 노출기준을 1 ppm 수준으로 낮추어야 할 것이다.

2003년 이후, 한국의 벤젠 노출기준은 1 ppm으로 낮추어 졌고, 이 기준에 따라 현재 까지 관리되고 있다.

화학물질의 노출기준을 변경하는 작업은

근로자의 건강장해에 대한 문헌고찰과 국내·외 관리기준에 대한 고찰이 기본적으로 필요한 사항이지만, 그와 더불어 해당 화학물질의 노출실태를 객관적으로 파악하는 작업도 매우 중요하다.

산업안전보건연구원의 벤젠노출사업장에 대한 역학조사는 당시 주요 산업현장에서 실제 10 ppm에 훨씬 미치지 못하는 벤젠 노출수준을 보이고 있음을 밝혔고, 1 ppm의 벤젠노출수준이라는 규제가 우리사회에서 불가능한 것이 아님을 시사하여 산업보건 정책을 개선하는 과정에서 중요한 역할을 한 사례로 볼 수 있다. 📌

☞ 참고 문헌

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ATSDR, Toxicological Profile of Benzene. 2007. p 1-382.
2. International Agency for Research on Cancer. "IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Some industrial chemicals and dyestuffs." World Health Organization International Agency for Research on Cancer. Lyon France. 1982:94-148
3. Vigliani EC, Saita G. Benzene and leukemia. N Eng J Med. 1964;271:872-876
4. Landrigan PJ. Benzene and blood: one hundred years of evidence. Am J Ind Med. 1996;29:225-226
5. Landrigan PJ. Benzene and blood: one hundred years of evidence. Am J Ind Med. 1996;29:225-226
6. 정규철. 직업병관리. 대한산업보건협회 30년사. 1993
7. 강성규. 유해물질노출근로자의 건강영향에 대한 연구 -벤젠 노출 근로자에 대하여 (보건분야 연구자료. 연구원 2001-30-73). 2000. p1-53.
8. Kim E A, Lee W J, Son M, Kang S K. Occupational Lymphohematopoietic Cancer in Korea. J Korean Med Sci. 2010 ;25(Suppl):S99-S104.
9. 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제97-65호. 1998.1.5
10. Kaneko T, Wang PY, Sato A. Development of occupational exposure limits in Japan. Int J Occup Med Environ Health. 1998;11(1):81-98
11. Feitshans IL. Law and regulation of benzene. Environ Health Perspect 1989;82:299-307
12. Austin H, Delzell E, Cole P. Benzene and leukemia. A review of the literature and a risk assessment. Am J Epidemiol 1988;127(3):419-439