

BENZENE(3)

연세대학교 보건대학원 교수 / 김치년

CAS 번호 : 71-43-2

동의어: Benzol; Phenyl hydride

분자식(Molecular formula): C₆H₆

BEI 권고수준

Determinant	Sampling Time	BEI	Notation
S-Phenylmercapturic acid in urine	End of shift	25 µg/g creatinine	B
t,t-Muconic acid in urine	End of shift	500 µg/g creatinine	B

비직업적 벤젠의 노출

차량을 포함한 운송수단의 배출물질과 담배연기 두 가지가 일반대중의 비직업적 벤젠 노출의 주요경로이다. 차량을 포함한 운송수단의 벤젠 배출은 가솔린의 증발에 의한 것이고, 국가마다 벤젠 함유량은 다르지만 일반적으로 가솔린에 벤젠이 1~5% 함유되어 있으며 자동차의 배기가스에서 나온다.³⁾ 벤젠과 다른 방향족 탄화수소는 담배의 열분해 동안에 형성되어 배출되기도 한다.⁴⁾ 부류 담배연기(side-stream smoke, 345-529 µg/cigarette)는 주류 담배연기(main-stream smoke, 6-68 µg/cigarette, 필터를 통한 담배연기) 보다 더 많은 벤젠을 함유한다.

미국항공우주국(NASA)에서는 재료와 제품 5,000개 중 약 400개를 검사하였고, 0.1 ~ 140 µg/g 사이의 벤젠 증기를 방출하는 것으로 확인하였다.⁵⁾ 페인트, 접착제, 마킹 펜, 고무제품, 테이프 등이 벤젠을 방출하는 것으로 확인하였고, 실내공기 중 벤젠농도에 영향을 줄 것으로 예측하였다.

벤젠은 인간 생활의 환경 어디에나 존재할 수 있다. 벤젠의 평균 실내농도는 흡연자가 없는 200가구에서는 7 µg/m³이고 거주지에 흡연자가 한 명 또는 그 이상인 300가구에서는 10 µg/m³이었다.⁶⁾

3가지의 독립적인 방법을 이용하여 평가한 미국 내 일반적인 비흡연자 인구집단의 경우 벤젠의 장기간 평균 일일 흡입량은 63 µg/day와 73 µg/day(최고치 149-222 µg/day)로 추정하였다.⁷⁾ 평균 흡연자(20 cigarettes/

day)들의 벤젠 노출은 600 ~ 800 $\mu\text{g}/\text{day}$ 로 계산되었다. 근로자 벤젠 노출 농도가 TWA 10 ppm이면 노출량이 50 mg/day라고 할 수 있고, TWA 0.5 ppm 농도에 노출된다고 가정하면 노출량이 2,500 $\mu\text{g}/\text{day}$ 로 산출된다.

벤젠의 TLV-TWA

벤젠에 대한 TLV-TWA 0.5 ppm과 TLV-STEL 2.5 ppm 그리고 A1(인간에서 확인된 발암성 물질)의 경고주석이 1997년에 채택되었다. TLV 설정은 근로자가 직업적 벤젠 노출에 의해 암(백혈병)의 초과위험을 예방하는데 근거를 두었다. 권고된 TLV는 모든 경로의 직업적 벤젠 노출을 고려하고 만성적 직업성 노출과 관련있는 사람들의 백혈병 초과 위험의 상대위험도 값에서 결정되었다.

생물학적 노출지표의 요약

벤젠의 직업적 노출평가를 위한 생물학적 지표는, 혈액, 소변, 호기 내에 노출된 상태의 벤젠(원래 화합물)과 소변에서의 다양한 벤젠 대사물질에 기반을 둔다.^{1), 2)}

혈액 내 벤젠 분석은 민감도와 특이도가 높은 방법이지만 혈중 벤젠은 노출 당시 또는 최근 노출에 영향을 많이 받는 지표이다. 혈액 중 벤젠은 반감기가 짧기 때문에, 분석 농도는 가장 최근 노출을 반영한다. 근무 교대 전에 가져온 혈액시료는 근무시간 동안과 이전 근무의 노출을 평가하는데 좋은 방법이지만 분석 시 더 큰 민감도가 요구된다.

호기 중 벤젠은 혈액의 벤젠 농도를 반영한다. 근무 후 샘플링의 적용에 같은 문제가 나타난다. 이 방법의 장점은 혈액 채취처럼 근로자들이 꺼리지는 않지만 시료채취의 정확한 방법과 분석방법이 아직 확실하게 정립되지 않았다.

소변 중 벤젠(원래 노출물질)이나 대사물질의 시료채취는 채취시간에 따른 농도 변동은 적지만 소변의 배설률 변화 때문에 부가적인 농도 변동이 있다. 작업 종료 후 소변 시료의 증가된 벤젠농도는 대상 TLV 범위에서 벤젠노출의 민감한 지표이다. 하지만 측정의 정량적 해석은 아직까지 불확실한 측면이 있고 분석 및 평가 방법에 표준화가 요구된다. 결과적으로 소변 중 벤젠에 대한 생물학적 지표를 설정하기 위한 자료가 아직까지는 불충분하기 때문에 결정되지 않았다.

혈액 중 페놀, 카테콜, 퀴놀 그리고 1,2,4-benzene-triol은 벤젠 노출에 대한 특이도가 낮고 낮은 농도의 노출범위에서는 민감도가 충분하지 않다. 현재 헤모글로빈과 알부민 부가체(adduct)는 일반적인 생물학적

모니터링에 적용하기 어려우며 그 이유는 복잡한 분석방법과 민감도가 제한적이기 때문이다.

최근 소변 중 t,t-Muconic acid와 S-Phenylmercapturic acid에 대한 고성능액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC)와 가스크로마토그래피-질량분석(gas chromatography-Mass spectrometry, GC-MS)의 방법이 개발되어 아주 낮은 농도 범위의 벤젠 노출에도 생물학적 모니터링이 가능하게 되었다. 소변 중 S-Phenylmercapturic acid 분석법이 t,t-Muconic acid 분석법보다 더 복잡한 기술이 요구된다.

TLV-TWA 0.5 ppm에서 소변 중 t,t-Muconic acid와 S-Phenylmercapturic acid는 작업장 노출의 민감도가 높은 지표로 제시될 수 있다. 두 생물학적 지표는 현재 직업적으로 노출되지 않는 사람의 소변에서는 아주 낮은 농도로 평가된다. 흡연자들은 비흡연자보다 더 높은 수준을 보이며, 이것은 아마도 TLV 범위에 가까운 노출정도와 생물학적 수준 사이의 관계에 영향을 미칠 수도 있다.

생물학적 노출지표는 하루 노출이 끝난 시점에서 채취된 소변에서 t,t-Muconic acid와 S-Phenylmercapturic acid를 정량하는 것을 권장한다. 이들 물질의 정량은 마지막 근무동안의 노출지표를 원칙적으로 하지만 체내에 더 오래 남아있는 벤젠에 의해 영향을 받을 수도 있다. 🐼

참고문헌

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Benzene. In: Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th ed. ACGIH, Cincinnati, OH (2001).
2. Hamilton, A.: General Review: Benzene (Benzol) Poisoning. Arch. Path. Lab. Med. 11:434-454, 601-632 (1931).
3. International Programme on Chemical Safety: Benzene. Environmental Health Criteria 150. World Health Organization, Geneva (1993).
4. Yardley-Jones, A.; Anderson, D.; Parke, D.V.: The Toxicity of Benzene and Its Metabolism and Molecular Pathology in Human Risk Assessment. Br. J. Ind. Med. 48:437-444 (1991).
5. National Aeronautics and Space Administration: Spacecraft Maximum Allowable Concentrations. NASA, Johnson Space Center, Houston, TX (1990-1999).
6. Wallace, L.A.: Major Sources of Benzene Exposure. Environ. Health Perspect. 82:165 (1989).
7. Hathemer-Fray, H.A.; Travis, C.C.; Land, M.L.: Benzene: Environmental Partitioning and Human Exposure. Environ. Res. 53:221 (1990).