

Working environment and risk assessment of Di(2-ethylhexyl)phthalate(DEHP) in workplace

Di(2-ethylhexyl)phthalate(DEHP) 취급 사업장의 작업환경 및 위해성 평가

Hyeon-Yeong Kim

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency,

서론

과학기술 발전과 더불어 화학물질은 우리의 생활에 있어 편리함을 제공 할 뿐 아니라 반도체, 전기전자, 자동차, 항공우주산업 및 더 나아가 최근 IT(information technology), BT(biotechnology technology), NT(nano technology) 등 각종 첨단산업에서도 반드시 필요한 원료 또는 기초소재로 사용되고 있다. 그러나 취급 부주의시 그 유해성으로 인한 인체건강과 환경을 해치는 주원인으로 지목되고 있다. 화학물질의 유해성 및 위험성에 가장 직접적으로 노출되고 있는 근로자를 보호하기 위해서는 사전 예방이 최우선 정책이 되어야 하지만 국내에서 유통되고 있는 4 만 5 천여 종 중 만성독성을 포함 유해성 정보가 충분히 확인된 물질은 10 %이하의 미흡함이 현실이다[1]. 따라서 최근 화학물질에 대한 유해위험성평가가 중요해지고 있는데 그 이유는 취급 근로자의 건강장해 예방을 위하여 유해물질의 분류, 작업환경 노출기준의 설정 등 작업환경 관리방안을 도출하는 과학적 근거를 마련하는데 있기 때문이다. 이를 위해서는 취급 물질의 특성, 개인별 편차, 작업방법, 노출농도, 노출기간 등 작업환경 특성에 따라 다르게 나타나므로 이러한 유해·위험 특성을 고려한 평가를 통한 작업환경관리가 필요하며[2], 산업안전보건법 제 39 조 “유해인자의 관리”에 근거하여 동법 시행규칙 제 81 조 “유해인자의 분류·관리”, “노출기준의 설정”, 동법 제 40 조 “화학물질의 유해, 성위험성 조사” 동법 제 41 조 “물질안전보건자료의 작성비치” 등의 법적 근거를 통해 유해, 위험성 미확인 물질로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 조치를 취하고 있다[3]. 이러한 관점에서 유해, 위험성 미확인 물질로부터 근로자의 건강장해를 예방하기 위해서는 이의 물질을 취급하는 작업장에 대하여 각종 유해, 위험성 자료를 토대로 유해, 위험요인의 예측(anticipation)과 인지(recognition), 노출수준 및 물질 자체의 유해성(hazards) 조사, 그리고 유해, 위험성의 관리를 위한 위험성 평가(risk assessment)의 절차 등을 통하여 근로자 건강보호를 위한 과학적인 판단 근거(decision making)를 마련해 줄 수 있을 것이다. 이를 위해서는 첫째로는 유해성의 확인(hazard

Environmental Health and Toxicology

identification)에 있다. 이를 통해 화학물질과 사람에 대한 건강영향의 관련성이 있는가? 둘째는 용량-반응평가(dose-response assessment)를 통해 노출수준과 사람에 미치는 건강 영향의 상관관계는 어떠한가? 셋째는 노출평가(exposure assessment)를 통해 작업환경에서 사람에 노출되는 화학물질의 노출수준은 어느 정도인가? 그리고 넷째로는 위험성 결정(Risk characterization)으로 위험성의 전반적 수준은 얼마나 되는가? 이다.

본 연구에서는 PVC, 플라스틱, 고무 등의 가소제, 페인트, 잉크의 용제 등 산업현장에서 다양하게 사용되며 취급 사업장 수가 많고 유해성이 강한 물질로 취급부주의 경우 사람에 노출되어 건강장해를 일으킬 수 있는 DEHP를 연구대상 물질로 하였다. 이를 위해 우선 DEHP의 유해성(h 과 국내 취급 사업장 및 사용량을 조사하고 유해성 결정을 위해 용량-반응을 평가하며 취급사업장에 대한 작업환경 측정 통해 위험성을 평가하여 작업환경 노출기준의 적정성을 검토하고 DEHP 취급 근로자의 건강장해 예방을 위한 자료로 활용하고자 하였다.

연구방법

1. 대상물질

국내 유통량이 많으며 취급부주의 경우 건강장해가 우려되어 유해물질로 지정 또는 분류의 필요성이 예측되는 물질로 유해성위험성 평가위원회를 거쳐 DEHP를 연구대상 물질로 선정하였다.

2. 유해성 조사

OECD Screening Information Data Set (SIDS), IARC(International Agency for Research on Cancer), IPCS(International Program on Chemical Safety) 등 국제기구에서 발간되는 화학물질 유해성, 위험성 평가 보고서, 미국 국립산업안전보건연구원 (NIOSH) 및 미국 환경보호청 (EPA)의 Integ Rated Risk Information System (IRIS), 일본후생노동성, 유럽화학물질청 (ECHA) 등 각 국가 정부보고서 및 데이터베이스 등을 검색하고 고찰하여 해당 화학물질의 인체영향에 대한 정량 및 정성적 분석을 통해 유해성 유무를 확인하였다.

3. 유해성 결정

인체 유해영향을 인체독성시험자료 혹은 동물독성시험자료를 활용, 정량적으로 평가하여 작업장에서 화학물질 노출로 인한 근로자 위험성 결정에 활용될 독성값 (NOAEL, LOAEL, 혹은 대안 값)을 제안하였고, 발암 비발암성에 대한 유해성을 조사하였다. 따라서 평가대상 화학물질에 대하여 독성학적 역치(threshold)의 유.무를 평가하여 독성학적 역치가 있는 경우(비발암성 물질의 경우) NOAEL, LOAEL, 역치가 없는 경우(발암성 물질의 경우) 발암잠재력(CPF)을 추정하는 방법 등을 활용 하였다.

4. 노출량 평가

국내 DEHP 취급 사업장수 및 취급 량 조사는 고용노동부의 “작업환경실태조사와 환경부의 “화학물질 유통량조사”, 지식경제부 국제환경규제 사전대응 지원시스템의 자료를 활용하였다. 그리고 DEHP 취급 사업장의 작업환경 노출수준 평가를 위해 표본으로 5개 사업장(PVC, 화학물질 제조사)을 선정하여 취급 공정 별 작업환경을 측정하였다. 이를 위해 사업장을 방문 작업환경측정 자료의 분석, 현장 작업방법, 국소배기장치, 보호구 착용실태를 조사 하였으며, 그리고 작업환경측정은 고용노동부 고시 제 2011-55 호 “작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 기준” 에 따라 DEHP 취급공정을 중심으로 실시하였다.

5. 위험성 결정

독성 값 및 노출평가에서 산출된 근로자 노출량을 근거로 노출에 따른 근로자 집단에 서 유해반응의 발생률(위험도)을 산출하고 유해성위험성 평가 기법 중 하나인 몬테카를로 분석(Monte carlo simulation) 방법을 적용, 유해성을 평가하여 작업환경 관리기준의 적절성을 판단하였다. 또한 본 연구에서 DEHP 취급 근로자의 총 노출량을 산출하기 위해 사용된 몬테카를로 분석 방법은 작업환경 노출 조건에 따라 실제 근로자에게 노출량이 달라지는 점은 고려 이의 결과를 예측하기 위해 확률모형(stochastic model)을 이용하였다. 즉, DEHP 을 취급하는 작업환경의 유해성, 노출농도 및 분포, 마스크 착용여부, 노출시간에 따른 위험성을 고려 노출변수에 따른 수치적(numerical) 난수를 반복적으로 발생시켜 시뮬레이션을 통해 DEHP 의 총량을 구하였다.

연구결과

1. 물질의 특성 및 유통량 조사

DEHP 은 DOP; bis(2-Ethylhexyl) phthalate; Phthalic acid, bis (2-ethylhexyl) ester 로도 불리며, 물리화학적 특징으로는 점성이 있는 인화성 액체로 분자량 390.54, 비중 0.9861, 녹는점 (melting point) -46°C , 끓는점 (boiling point) 385°C , 증기압 (vapor pressure) 3.4×10^{-3} torr(25°C), 인화점 (flash point) 215°C , 폭발 하한값 (explosive limit) 0.3%, 점성도 (viscosity) 81.4 cp 이다[4].

국내 제조하거나 취급하는 사업장은 고무, 플라스틱, 화학물질 제조 등으로 229 개 사업장으로 조사되었고, 국내 유통량은 연간 831 톤으로 조사되었다. 이는 주로 염화비닐 공중합체 합성수지와 PVC 수지 가소제, 살충제, 전기 콘덴서의 유전체, 잉크 용매, 진공펌프오일로 사용된다.

2. 유해성 조사

급성경구투여에 의한 반수치사농도 LD50의 경우 mouse는 26.3 g/kg, rat의 경우는 14.2 g/kg, 33.8 g/kg, 50 g/kg이며 [5, 6, 7], 미국 NTP의 경우 F344 rat를 이용한 급성독성시험결과 20 g/kg이상으로 발표하였다 [8].

아만성독성으로는 암수 rat에 10, 50, 1,000 mg/m³농도로 일일 6시간, 주 5일, 4주 동안 흡입노출 결과 암컷의 고농도군에서 폐와 간의 무게가 증가하였으며, 노출 중지 후 8주 이내에 회복되었다. 이러한 현상은 수용체(catalase enzymes), 유기물산화효소(oxidases), 산화효소(oxidases)를 포함하고 분자 산소로부터의 과산화수소를 생산하는 세포 기관(cellular organelle) 뿐만 아니라 간의 수용체에 대한 증거는 없었으며, 1,000 mg/m³을 흡입한 수컷 rat는 세포 확산에 의해 폐포 비대를 유발하였다 [9].

또한 만성독성 및 발암성시험으로 하여 F344 rat 암컷, 그리고 B6C3F1의 암컷 및 수컷의 mouse에 103주 동안 6,000과 12,000 mg/kg 그리고 3,000과 6,000 mg/kg을 섭취시킨 결과 암수 rat에서 간세포 암의 발병률이 증가하였고, 암컷과 수컷 mouse도 발병률이 증가되었다. 수컷 rat에서도 간세포 암이나 신생물의 증가가 있었으며, 노출된 mouse 57 마리에서는 간세포 암이, 그 중 20 마리에서는 폐로 전이되었다. 수컷 mouse에서 발견된 간세포 암의 9개는 정상범위 내로 보고되었다 [8].

이러한 자료들을 통해 DEHP의 만성, 발암성의 NOAEL 값은 28.9 mg/kg(rat), 최저영향농도 LOAEL은 146.6 mg/kg(rat)로 평가되었으며, 국제암연구소(IARC)에서는 인간에서 가능한 발암성인 2B로 분류하였으며 DEHP는 rat와 mouse에서 발암성에 대한 증거가 충분하다고 결론지었다 [10]. 유전독성의 염색체 이상시험에서는 모두 음성으로 나타났으며, 소핵시험(in vivo assay)에서도 DNA의 변성이 일부 관찰되었지만 농도의존성 및 유의성이 낮아 음성적인 결과로 판정되었다 [11]. 생식독성영향의 검토에서는 rat(Sprague-Dawley)를 이용 0.1, 0.5, 1.4, 4.8, 14, 46, 359 and 775 mg/kg-day으로 투여결과 농도 의존적으로 정소에서 병변이 관찰되었으며, NOAEL은 4.8 mg/kg-day이었다. 또한 rat (Wistar)를 이용 0, 113, 340, 1,088 mg/kg-day 투여시 1,088 mg/kg 투여군 2대에서 정소의 무게 감소와 113 mg/kg군에서 국소 위축 현상이 확인되어 LOAEL은 113 mg/kg-day으로 판단하였다 [12].

DEHP의 사람에게 대한 인체 위험성 연구로 DEHP를 취급하는 사업장의 54명 근로자에 대해 노출량에 따라 0.1, 0.2 그리고 0.7 mg/m³농도군으로 나누어 노출농도에 따른 건강에 미치는 영향에 대해 역학조사를 실시한 결과 농도 의존성은 발견되지 않았으며, 작업과 관련된 폐 질환이나 폐 기능 시험에서도 시험물질 노출과 관련된 연관성을 보이지 않았다. 그리고 10-30년 동안 DEHP를 취급한 10명의 근로자에 대한 염색체이상 빈도 조사에서는 대조군에 비하여 염색체 이상의 증가도 낮았고, 작업환경 중 DEHP 노출 수준 (0.09-0.16 mg/m³)도 낮은 것으로 파악되었다 [11].

3. 유해성 결정

DEHP의 노출에 의한 생체 영향평가로 급성독성을 포함 아만성독성, 만성독성, 발암성시험 결과들이 있으며, 본 연구에서는 미국의 NTP [8]에서 수행한 만성발암성 시험결과를 토대로 용량반응 (Dose-response)을 평가를 하였다. NTP의 시험결과에 의하면 NOAEL 값은 28.9 mg/kg/day(rat)이었으며, 선형다단계외삽모형 (linearized multistage procedure)에 의한 위해성(risk) 산출결과 경구 노출 시 경구경사값 (oral slope factor)은 0.014 mg/kg/day 로 추정되었다. 그리고 추정된 경구경사값을 이용하여 KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency) guide(W-6-2011) “화학물질의 유해성·위험성 평가지침”에 따라 발암성의 위험성 기준농도 RfCwork(reference concentration in workplace)을 결정하였으며, Table 1 “RfCwork determine carcinogenic of DEHP” 과 같이 경구투여 독성의 28.9 mg/kg/day 을 적용하여 발암성 RfCwork 를 추정하는 Step 1 및 Step 2의 절차에 의해 최종적으로 발암성 RfCwork 가 0.006 mg/m³으로 결정되었다. 이에 비해 미국 EPA의 경구경사값(oral slope factor), 0.014 /(mg/kg/day)에 의한 발암성 RfCwork 는 0.1 mg/m³로 추정되어 적용 방법에 의한 발암성 RfCwork 의 추정값이 약 10 배 이상의 큰 차이를 보였으며, 만성독성 및 생식독성의 위험도는 0.264, 0.330 으로 평가되었다. 본 연구에서는 위험성이 높은 발암성 RfCwork 값을 기준으로 하고, 고농도에서 저 농도로의 외삽 과정의 불확실성을 최소화한 미국 EPA의 경구경사값(Oral Slope Factor)를 이용하여 추정된 발암성 RfCwork (0.1 mg/m³)을 DEHP의 발암성 용량-반응 평가 값은 0.1 mg/m³로 하였다.

4. 노출량 평가

DEHP 노출량 평가를 위해 DEHP 제조업 근로자 12명과 DEHP 취급업체 근로자 21명을 대상으로 작업환경을 측정하였다. 그 결과 Table 2와 같이 제조업의 경우 DEHP는 0.158 ± 0.306 mg/m³ 이었고, DEHP 취급업체의 경우 0.210 ± 0.257 mg/m³ 이었다. 작업환경 측정결과는 모두 노출기준(5 mg/m³) 미만으로 평가 되었으나 DEHP의 제조업체와 취급업체를 비교하여 박스플롯으로 나타낸 결과 전반적으로 DEHP 취급업체 근로자가 노출농도가 높은 수준임을 알 수 있다.

즉 DEHP 제조 및 취급하는 사업장의 작업환경측정결과는 0.191 ± 0.271 mg/m³ 이었고, 범위는 불검출 - 0.9903 mg/m³ 이었으며 측정 결과가 대수정규분포를 하는지 입증하기 위해 Shapiro & Wilk 검정한 결과 Figure 1과 같이 대수정규분포도는 일직선을 형성하고 있어 유의하게 대수정규분포를 보였다.

5. 위험성 결정

위험도는 작업환경 노출수준의 측정값을 위험성의 기준농도 값 RfCwork로 나눈 것으로 즉, 위험도 = 측정값 (mg/m³) / RfCwork (mg/m³)로 하여 계산하였다. Table 1에서와 같이 발암성의 RfCwork는 0.1 mg/m³이었으며, 이를 토대로 위험성을 산출한 결과 DEHP의 취급 사업장에서의 DEHP 노출로 인한 발암 위험도는 평균 1.3이었으며, 누적 95%값의 발암 위험도는 7.9로서 위험도 1을 초과하였다. 그리고 DEHP는 잘 알려진 내분비계 장애영향 유발 물질로서 생식독성 위험도를 추정된 결과, 만성 독성 위험도와 유사한 경향성을 보이고 있었다. 이에 DEHP의 고농도 노출 작업자의 경우 직업성 암 발생의 위험성이 높게 나타났으며, 만성독성 및 생식독성 유발의 경우도 잠재적 위험 가능성은 나타내었다. 또한 DEHP 노출 작업장에서의 발암 위험도에 대한 확률 분포 값은 Fig. 2에서와 같이 중앙값이 0.6이며, 발암성 RfCwork를 초과하는 잠재적 노출 근로자 수는 35%로 추정되었다. 그러나 DEHP의 만성독성 및 생식독성의 경우 RfCwork를 초과하는 잠재적 근로자 수는 각각 5% 및 7% 수준으로 추정되었다. 따라서 국내 DEHP 노출 작업자 중 고농도 노출군에서는 일부 발암의 위험성이 높게 나타났으며, 만성 및 생식독성의 잠재적 위험의 경우 1보다 낮게 예측되었다.

고찰

DEHP는 상온에서 점성의 액체이며 미세한 냄새를 내며 점화원이 있을 경우 증기는 화재의 위험이 있다. 유해성 조사에서 급성경구독성의 반수치사농도 LD50은 14.2 - 50 g/kg으로 GHS 분류기준에 의하면 급성독성물질 4류(300 < ATE ≤ 2,000 mg/kg) 이상에 해당되어 급성독성은 대체로 낮은 것으로 평가되었다. 그러나 만성발암성 평가시험에서 폐와 간장의 변성, 정소의 위축, 그리고 간세포 암이 확인되었으며, NOAEL 값은 28.9 g/kg, LOAEL 값은 146.6 g/kg으로 생식독성과 발암성이 있는 물질로 평가되었고, IARC에서도 흰쥐와 생쥐시험에서 발암성에 대한 증거가 충분하여 사람에서 가능한 발암성 2B 물질로 분류하였다. 이는 DEHP의 흡수에 의한 대사과정에서 (mono(2-ethylhexyl) phthalate, mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate)가 생성되며 간장에 영향을 주는 물질로 간암에 연관되어 있음이 밝혀져 [8] 있으므로 DEHP 취급시 호흡기나 피부로 흡수되지 않도록 취급에 주의가 요망되는 물질이었다. 그리고 유전독성에서는 염색체 이상이나 SCE(자매염색체교환 시험) 변화는 모두 음성으로 나타났으며, 소핵 유도를 측정하는 in vivo assay에서 일부 양성을 보였고, in vitro assays에서는 염색체 이상이 양성으로 나타났다. 따라서 유전독성시험에서는 DEHP에 대한 시험이 완벽하게 이루어지지 않았지만 DEHP의 생체의 시험에서의 양성반응은 세포 유전에 영향을 줄 수 있는 물질로 평가하였다 [11]. DEHP를 취급하는 사업장에 대한 작업환경측정 결과에 대해 대수정규분포에 대한

최소분산불편추정법(minimum variance unbiased Estimate, MVLE)을 계산한 결과 1.411 mg/m³, 신뢰구간(land`s "exact" confidence limits)은 0.584 - 32.60 mg/m³, 95% 백분위수 점추정치(95th percentile point estimate)는 4.720 mg/m³ 으로 노출기준 5 mg/m³ 이하였다. 이는 DEHP 취급 근로자에 대한 작업환경측정결과가 노출기준 초과확률은 5%이하로 보이나 95% 백분위수 추정치의 상위 신뢰한계가 22.348 mg/m³ 로 노출기준을 초과하였다. 또한 노출의 얼마만큼의 분율이 노출기준을 초과할 것인지 알기 위해 초과분율(exceedance fraction)을 계산해 보면, 초과분율은 4.795 %이며 신뢰구간은 1.774 에서 11.303 이었다. 이러한 결과들을 종합해 보면 DEHP 의 노출기준 5 mg/m³ 은 안전기준으로 적용 가능하다고 판단되었다. 그리고 유해성에 대한 용량-반응 평가를 통한 위험성 평가에서 만성독성 및 생식독성의 위험도는 0.264, 0.330 이었으나 발암성의 위험도는 안전기준 1 을 초과하는 1.3 으로 평가되었다. 따라서 독성의 영향 지표에 따라 위험도는 달라질 수 있으나 DEHP 의 발암 위험도 경우는 노출기준 보다 낮은 농도에서도 위험성이 존재하였다. 따라서 취급 근로자 건강장해 예방을 위해 노출기준 5 mg/m³ 이하의 작업환경 관리가 요망되며, 가능한 호흡기나 피부를 통한 노출의 최소화를 위해 DEHP 취급장소에는 국소배기장치의 가동 및 호흡용 보호구 착용 등 작업방법과 작업환경 관리에 주의가 필요하였다.

참고문헌

- [1] Ministry of Environment, Minister of Employment and Labor., National Chemicals Management Plan(2011-2020)-Reduce the risk of human health and the environment with chemicals management 2011;3-5
- [2] Beon SH, Choi HC, Park HJ et al., Risk Assessment of Toxic Chemicals(I), OSHRI 2012;12-82
- [3] Ministry of Employment and Labor, Occupational health and safety statute book, Ministry of Employment and Labor 2014;250-262
- [4] Kim CN, No JH, Woen JW et al., Risk Assessment of Toxic Chemicals(II), OSHRI 2012;151-153
- [5] Krauskopf LG. Studies on the Toxicity of Phthalates via Ingestion. Environ. Health Perspect 1973;3:61-72
- [6] Calley D, Autian J, Guess WL. Toxicology of a Series of Phthalate Esters. J. Pharmacol. Sci 1966;55:158-162
- [7] Singh AR, Lawrence WH, Autian J. Teratogenicity of Phthalate Esters in Rats. J. Pharm. Sci 1972;61:51-55

[8] Carcinogenesis Studies of 4,4'-Methylenedianiline Dihydrochloride (CAS No. 13552-44-8) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Drinking Water Studies), NTP Technical Report No. 248. North Carolina: NTP; 1983;1-182.

[9] Klimisch HJ, Gamer AO, Hellwig J, et al. Di(2-ethylhexyl) Phthalate: A Short-Term Repeated Inhalation Toxicity Study Including Fertility Assessment. Food Chem. Toxicol 1992;30(11):915-919

[10] Thiram, In: Occupational Exposures in Insecticide Application, and Some Pesticides, International Agency for Research on Cancer monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 53. Lyon: IARC; 1991;403-422.

[11] Garberg P, Hogberg J, Lundberg I, et al. National Institute of Occupational Health (NIOH) Sweden and U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Basis for an Occupational Health Standard: Di(2-ethylhexyl) Phthalate (DEHP). Arbete Och Halsa 1989;25:1-53

[12] Wolfe GW, Layton KA. Multigeneration reproduction toxicity study in rats (unaudited draft): diethylhexylphthalate: multigenerational reproductive assessment by continuous breeding when administered to Sprague-Dawley rats in the diet (TRC study No 7244-200). Maryland: Therimmune Research Corporation; 2003.

표와 그림

Table 1. RfC_{work} determine carcinogenic of DEHP

| The calculation process of RfC | | RfC_{work} | |
|----------------------------------|---|-------------------------------|---|
| The calculation process of RfC | | T25 (Oral) | SF (Oral) |
| POD | Relevant Dose descriptor | 28 mg/kg/day (Mouse, oral) | 0.014 / (mg/kg/day) (Mouse, oral, LMS) |
| Step 1 | Route-specific bioavailability 50% oral / 100% inhalation | 0.5 | $IUR = (SF \cdot IR / BW)$ $= 0.014 \cdot 20 / 70$ $= 0.004 / (mg/m^3)$ $UR(worker) = IUR / CF$ $= IUR / 4.2$ $= 0.004 / 4.2 / (mg/m^3)$ |
| Step 1 | Adjustment for route $0.8 \ell / min / kg, 8h = 0.384$ $m^3 / kg / 8hr$ | $1 / 0.384$ | $IUR = (SF \cdot IR / BW)$ $= 0.014 \cdot 20 / 70$ $= 0.004 / (mg/m^3)$ $UR(worker) = IUR / CF$ $= IUR / 4.2$ |

Environmental Health and Toxicology

| | | | |
|----------------|--|---|--|
| | | | $= 0.004/4.2/(\text{mg}/\text{m}^3)$ |
| Step 1 | Activity rest/light activity | 6.7/10 | $\text{IUR} = (\text{SF} \cdot \text{IR} / \text{BW})$ $= 0.014 \cdot 20 / 70$ $= 0.004/(\text{mg}/\text{m}^3)$ $\text{UR}(\text{worker}) = \text{IUR} / \text{CF}$ $= \text{IUR} / 4.2$ $= 0.004/4.2/(\text{mg}/\text{m}^3)$ |
| Step 1 | Occupational lifetime exposure $7/5 * 70/40 = 2.45$ | 2.45 | $\text{IUR} = (\text{SF} \cdot \text{IR} / \text{BW})$ $= 0.014 \cdot 20 / 70$ $= 0.004/(\text{mg}/\text{m}^3)$ $\text{UR}(\text{worker}) = \text{IUR} / \text{CF}$ $= \text{IUR} / 4.2$ $= 0.004/4.2/(\text{mg}/\text{m}^3)$ |
| Step 1 | Step 1 correction summary | $282 * 0.5 * 1/0.384 * 6.7/10 * 2.45$ $= 59.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ | $\text{UR}(\text{worker}) = 0.001/(\text{mg}/\text{m}^3)$ |
| Step 2 | allometric scaling | 4 | $\text{RfC}_{\text{work}}(\text{mg}/\text{m}^3) = (1 \times 10^{-4}) / \text{UR}(\text{worker})$ $(1 \text{ mg}/\text{m}^3) : \text{UR}(\text{w}) = X$ $(\text{mg}/\text{m}^3) : (1 \times 10^{-4})$ |
| Step 2 | low dose extrapolation (10^{-4} risk) 1/2,500 for T25 1/1,000 for DMDL10 1/100 for BMDL1 | 2,500 | $\text{RfC}_{\text{work}}(\text{mg}/\text{m}^3) = (1 \times 10^{-4}) / \text{UR}(\text{worker})$ $(1 \text{ mg}/\text{m}^3) : \text{UR}(\text{w}) = X$ $(\text{mg}/\text{m}^3) : (1 \times 10^{-4})$ |
| Step 2 | Step 2 correction summary | $59.9 / (4 * 2,500) = 0.006$ mg/m^3 | $(1 \times 10^{-4}) / 0.001 = 0.1$ mg/m^3 |
| Final decision | | $\text{RfC}_{\text{work}} : 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ | |

Table 2. DEHP process of making and using a comparison of exposure concentration

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Manufacturing process of DEHP | Handling process of DEHP |
|-------------------------------|--------------------------|

Environmental Health and Toxicology

| | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------|
| Sample No.(n) | 12 | Sample No.(n) | 21 |
| Max | 0.9903 | Max | 0.9903 |
| Min | Non detected | Min | 0.0196 |
| Lange | 0.99004 | Lange | 0.9707 |
| Rate in excess of exposure limits(%) | 0.000 | Rate in excess of exposure limits(%) | 0.000 |
| Average | 0.158 | Average | 0.210 |
| Median value | 0.035 | Median value | 0.099 |
| Standard deviation(s) | 0.306 | Standard deviation(s) | 0.257 |
| Geometric mean(GM) | 0.014 | Geometric mean(GM) | 0.118 |
| Geometric standard deviation(GSD) | 22.522 | Geometric standard deviation(GSD) | 2.910 |

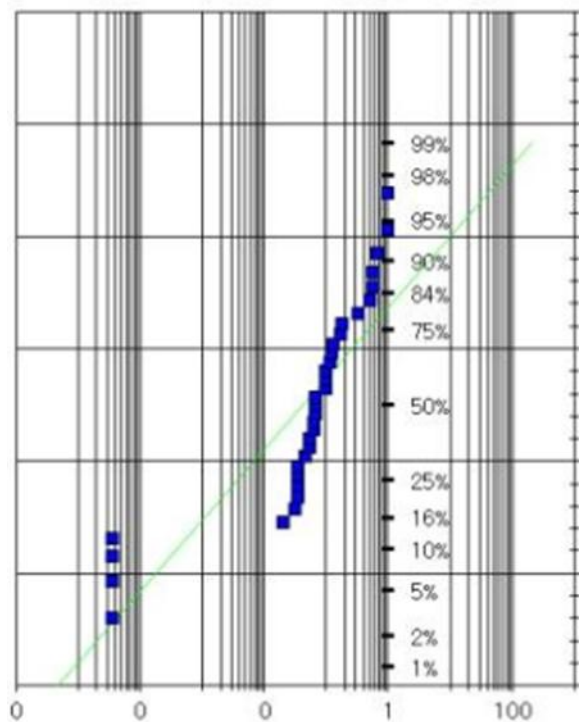


Figure 1. DEHP handling the work environment of the process probability distribution of the number of measurements.

Environmental Health and Toxicology

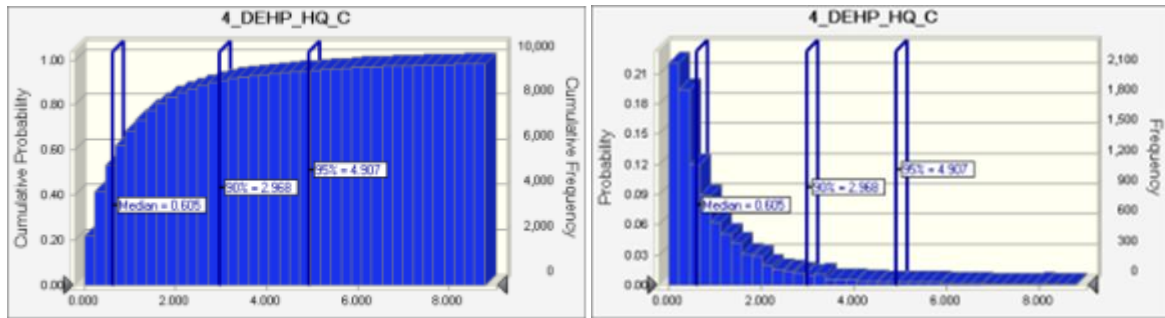


Figure 2. Workers affected by human probability value of the carcinogenic risk of DEHP.