



## 클로로프렌의 유해성과 작업환경 관리

†김현영 · 임철홍

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원  
(2015년 3월 30일 접수, 2015년 5월 7일 수정, 2015년 5월 8일 채택)

## Hazards of Chloroprene and the Workplace Management

†Hyeon-Yeong Kim · Cheol-Hong Lim

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency  
(Received March 30, 2015; Revised May 7, 2015; Accepted May 8, 2015)

### 요 약

본 연구는 신발, 타이어, 접착제 제조에 많이 사용되는 클로로프렌(chloroprene)에 대해 취급근로자의 건강장해 예방을 위해 유해성을 조사하고, 취급사업장에 대해 작업환경을 측정 노출농도 및 용량반응을 통해 위험성을 평가하였다. 클로로프렌은 국제암연구소(IARC)로부터 발암추정물질(2B), 표적장기 전신독성 및 생식독성물질로 국내 취급 사업장은 27개소, 연간 약 1,300톤이 사용되었으며, 노출 위험성은 노출환경에 따라 Monte-carlo simulation을 이용하여 산출하였다. 그 결과 국소배기장치가 없으며 1일 4시간 초과 작업시 발암을 일으킬 수 있는 위험성의 평균값은 26,404로, 국소배기장치가 있으며 15분 미만의 단시간 작업 경우 2,199에 비교해 매우 높은 위험성을 보였다. 그리고 표적장기 전신독성의 경우도 169.06으로 단시간 작업 경우 4.10에 비교해 표적장기 전신독성 발생 위험이 높은 것으로 평가되어 물질의 노출시간 및 환기방식에 깊은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 클로로프렌 노출에 의한 근로자의 건강장해 예방하기 위해 국소배기장치의 가동과 방독마스크의 착용 등 노출저감을 위한 작업환경 관리의 필요성이 있었다. 특히 클로로프렌은 발암성, 생식독성 물질로 미국 산업안전보건청(OSHA)에서는 TWA를 5 ppm(18 mg/m<sup>3</sup>) 이하로 관리하고 있으며, 본 유해성조사 결과에서도 현행 노출기준 10 ppm이하에서 표적장기독성, 생식기 장해 등 생체에 미치는 영향이 있는 것으로 나타나 있어, 위험성이 강하게 예측되므로 현재 사용하고 있는 우리나라 작업환경 노출기준(TWA 10 ppm)도 5 ppm 수준으로 강화하여 근로자 건강장해 예방에 기여할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

**Abstract** - In this study, we performed risk assessment of chloroprene by hazard evaluation and workplace investigation. The chemical is used to manufacture of shoes, tires, adhesives, and classified as IARC category 2B (possibly carcinogenic to humans) and target organ systemic toxicity. It is used about 1,300 tons per year in 27 sites. It was calculated the risk of carcinogenesis with chloroprene by Monte-carlo simulation that the averages are 2,199 and 26,404 in each case of working less than 15 minutes per day with local exhaust ventilation and over 4 hours per day without local exhaust ventilation. The risk of target organ systemic toxicity are 4.10 and 169.06 with high correlation with working time to be longer and with ventilation system. Therefore, it is recommended that the local exhaust ventilation and respirators to prevent occupational cancer and target organ systemic toxicity with chloroprene. Especially it is determined that there is a need to strengthen the workplace exposure limit (TWA 10 ppm) in Korea since it is managed with TWA less than 5 ppm (18 mg/m<sup>3</sup>) by the United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) as well as it has carcinogenicity, reproductive toxicity.

**Key words** : chloroprene, hazard, risk assessment, dose-response

†Corresponding author:k89136@hanmail.net

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

화학물질은 우리 생활에 필수품으로 활용될 뿐 아니라 반도체, 전기전자, 자동차, 항공우주산업 및 더 나아가 최근 IT, BT, NT(Information Technology, Biology Technology, Nano Technology) 등 각종 첨단산업에서도 반드시 필요한 물질로 사용되고 있다. 물론 과학기술 발전과 더불어 화학물질은 인류사회의 편의를 제공하는 반면, 그 유해성으로 인한 인체건강과 환경을 해치는 주원인으로 지목되고 있지만 인공적으로 합성된 화학물질을 포함하여 최근까지 미국화학회를 통해 CAS 번호로 등록된 유기 또는 무기 물질은 8,500만종 이상으로 알려져 있으며, 국내의 유통량은 417.9백 톤에 달한다[1].

이러한 화학물질의 유해성 및 위험성에 가장 직접적이고 고농도에 노출될 수 있는 제조공정의 근로자를 보호하기 위해서는 유해성 규명과 작업환경 관리를 위한 사전 예방이 최우선 정책이 되어야 하지만 일반적으로 유통되고 있는 화학물질 약 50,000여 종 중 유해성 정보가 확인된 물질은 15 % 수준에 있다[2].

따라서 국제연합(UN)은 2020년까지 화학물질의 유해, 위험성 규명을 위해 화학물질관리전략인 SAICM(Strategic Approach to International Chemicals Management) 채택 및 각국의 이행을 권고하고 있으며, 유럽, 미국, 일본은 이를 근거로 자국 화학물질 관리의 제도 강화를 추진하고 있다. 그러나 미국의 경우 1976년 유해물질관리법(TOSCA) 시행 이후 기존 화학물질 약 8만종의 3%만 유해성 검토를 진행할 정도로 미흡하여 이에 대한 유해물질관리법 개정을 다시 추진하고 있으며, 유럽연합의 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)에서는 화학물질에 대한 안전성 입증 책임을 정부에서 제조 및 취급업체로 하는 제도를 시행하였고, 안전성 입증에 의무화하였다.

본 연구의 연구대상물질로는 사용량이 많고, 휘발성이 강하며, 독성이 강하게 예측되거나 유해성 평가 자료가 부족한 화학물질에 대해 물리·화학적 특성 및 독성규명 자료를 조사하고 취급 사업장의 근로자 노출실태를 토대로 유해 위험성을 평가(용량-반응평가)하고, 외국의 규제수준 조사를 통해 산업안전보건법상 관리 수준을 검토하여 건강장해 예방을 위한 적절한 작업환경 관리 수준을 제안하는데 목적이 있다.

따라서 본 연구 대상에는 합성고무 제조 시 중간체, 접착제, 벨트, 호스, 개스킷, 코팅제 등에 많이 사용되는(1,300톤/년) 클로로프렌(chloroprene)을 선

정하였다. 클로로프렌(CAS No. 126-99-8)은 휘발성이 강하여 취급 부주의 시 근로자에 노출 우려가 높고 독성이 강하게 예측되는 물질로 상온에서 달콤한 냄새를 내는 무색의 액체이며, 인화점은 -20℃, 끓는점 59.4℃, 25℃에서 증기압은 215 mmHg이며, 분자량은 88.54 이다. 클로로프렌의 다른 명칭으로는 2-chloro-1,3-butadiene, β-chloroprene으로 명명되기도 한다. 조사결과 국내 취급 사업장은 총 27곳이었으며 그 중 고무 제조업 7개소, 신발 제조업 4개소, 타이어 제조업, 접착제 제조업, 기타 화학제품 제조업으로 연간 1,300톤이 사용되었다. 유해위험성에 대한 GHS(Global Harmonized System) 분류에서는 피부 부식성/자극성, 심한 눈 손상/자극성으로 “구분 2”에, 발암성, 생식세포변이원성으로 “구분 1B”, 생식독성으로 “구분 1A”, 특정 표적장기독성(1회 노출)물질로 “구분 1”에 분류되었고 국내 및 미국 산업위생사회의회(ACGIH; American Conference of Governmental Industrial Hygienist)의 노출기준은 10 ppm이었다. 따라서 본 연구에서는 국내 클로로프렌 취급 사업장의 작업환경 실태를 조사하고 위험지수(hazard index)를 산출하여 건강에 미치는 위험성을 예측하고, 용량-반응에 따른 위험성 평가를 통해 클로로프렌 취급근로자에 대한 건강장해 예방을 위한 작업환경 관리 및 노출기준 제, 개정의 자료로 활용하고자 하였다[3].

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상 및 방법

클로로프렌 취급근로자의 건강장해 예방을 위해 클로로프렌에 대해 유해성을 조사하고 취급사업장에 대한 작업환경 측정 및 유해성 평가를 통하여 위험성을 예측하고 국내의 작업환경 관리기준을 비교하여 적정여부를 평가하였다. 이를 위해 클로로프렌에 대해 국내외 문헌조사를 통해 유해성을 조사하였으며 작업환경 조사는 국내 대표적 클로로프렌 취급 사업장(고무부품제조 및 타이어 제조회사) 3개소로 하였다. 시험물질 측정 및 분석방법은 미국산업안전보건청[4] method 112를, 시료채취는 고체흡착튜브(Chromosorb 106, SKC 226-111)를 이용하여 시료채취 유량 0.05 L/min(120min)으로 총 유량은 6 L로 하였다. 미국 산업안전보건청(OSHA) 화학물질 분석방법 112방법에 따랐으며, 시험물질 분석은 전자포획검출기가 장착된 가스크로마토그래프(GC/ECD CP-3800, Bruker)로 Table 1과 같은 조건으로 분석하였다.

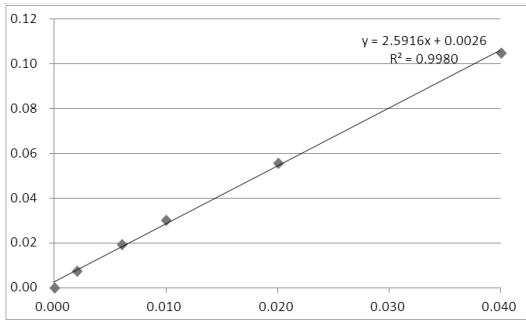
OSHA 화학물질 분석방법 112에 따른 클로로프렌

**Table 1.** Gas chromatographic analysis of the condition

Item	Analysis conditions of the test machine
Testing Machine	GC-ECD (CP-3800)
Column	DB-1 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)
Oven	40°C (hold 3min, 10°C/min) - 80°C (20°C/min) - 120°C
Injector	250°C (split: 20)
Detector	250°C

**Table 2.** Chloroprene exposure scenarios for calculating the specific conditions

Scenarios	Daily use time	Ventilation	Protection. (Efficiency)
1	15min. Under	Local exhaust and general ventilation	O (95%)
2	1hr - 4hr	Local exhaust	O (90%)
3	4hr Over	X (No local exhaust ventilation East)	X (No protection)



**Fig. 1.** The standard calibration curve of chloroprene.

표준용액의 검량곡선은 Fig. 1과 같다. 회귀방정식  $y = 2.5916x + 0.0026$ 이고, 상관계수는 0.9980이었다.

검출한계 및 정량한계는 미국산업위생사협회 AIHA(1986) 방법[5]에 의해 검량곡선을 이용하여 계산하였고 실험을 통해 농도와 면적간의 회귀방정식의 표준오차 값과 기울기 값을 이용하여 검출한계와 정량한계를 구하였다.

**2. 유해성 조사 및 용량반응 평가**

클로로프렌 취급근로자의 건강장해 예측을 위해 유해성을 조사하고 노출 및 용량반응 평가를 통하여 클로로프렌 노출근로자에 대한 위험성을 결정하고



Source: EPA Office of Research and Development

**Fig. 2.** Workplace management by evaluating the risk and hazard of chemical.

자 하였다. 이를 위해서는 Fig. 2와 같이 클로로프렌의 유해성(hazard)을 조사하고 인과관계를 규명한 후 작업환경 노출평가(Exposure assessment) 및 용량-반응평가(Dose-response assessment)를 통해 위험성을 결정(Risk characterization)하고 사회적, 경제적 요소들을 고려하여 작업환경 노출기준을 정하는 단계를 거치게 된다.

따라서 클로로프렌의 유해성 조사와 취급 사업장에 대한 작업환경을 측정하고, 취급 근로자들에 대한 노출량을 예측하고자 Table 2와 같이 작업환경 조건에 따른 노출량 산출 시나리오를 1, 2, 3으로 구분하여 가상 시나리오를 통해 일일 작업시간, 환기방식,

호흡용 보호구 착용여부 및 효율에 따라 ECETOC TRA(Targeted Risk Assessment)를 이용 노출량을 산출하였다.

그리고 클로로프렌의 위험성을 확인하기 위하여 Risk = 가상 노출량 / RfC<sub>work</sub>의 상관관계를 이용 발암성 및 표적장기 전신독성에 대한 노출시나리오별 risk를 산출 하였으며, 가상 노출시나리오별 노출 추정량과 용량-반응 평가에서 도출된 RfC<sub>work</sub>값을 이용 Crystal ball을 통한 Monte-carlo simulation (EPA/630/R-97/001, Programs of the Office of the Science Advisor, EPA, USA)을 실행하였다. 그리고 분포는 log-normal 분포로, 표준편차는 노출 추정량의 10%로 가정하여 노출시나리오에 따른 위험성을 산출하고, 작업환경 노출기준의 타당성을 평가하였다.

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. 유해성 조사

국내외 문헌을 통해 클로로프렌의 피부 또는 흡입 노출에 의한 생체에 미치는 유해성자료를 조사하였다. 미국 환경보호청에서 실험동물을 이용한 흡입 독성연구에서 동물 중 F344/N인 랫드와 B6C3F1인 마우스를 이용 0, 12.8, 32, 80 ppm에서 일일 6시간, 주 5일, 2년간 반복노출의 만성/발암성 흡입독성시험결과 80 ppm군에서 랫드의 구강 내 편평상피 유두종 및 여포 세포 비대증 발생률의 유의한 증가를 확인하였다. 그리고 마우스의 경우 후상피 위축, 선종성 증식, 이형성 발생률의 증가와 간, 폐, 비장, 비장 등에서 시험물질(클로로프렌)의 독성에 의한 병변과 발암이 확인 되어 클로로프렌을 발암성 등급 R(reasonably anticipated to be a human carcinogen)로 분류하였다. 이를 토대로 국제암연구소(IARC)에서는 발암성 2B(possibly carcinogen to human) 등급으로 분류하고, 단위위험(UR; Unit Risk) 값은 0.5 mg/m<sup>3</sup>, 무유해영향농도(NOAEL; No Observed Adverse Effect Level)는 2 mg/m<sup>3</sup>, 생식독성(아만성 노출)의 NOAEL은 33 ppm(랫드)으로 평가했다 [6,7]. Dong 등(1989)은 마우스를 이용한 0, 2.9, 19.2, 189 mg/m<sup>3</sup>의 농도로 7개월간 반복노출 시험에서 노출 농도 증가에 따라 폐종양 발생률 증가를 확인 하였고, 최저영향농도(LOAEL; Lowest Observed Adverse Effect Level) 값은 2.9 mg/m<sup>3</sup>로 제시 하였다[8]. Trochimowicz 등(1998)의 연구에 의하면 Wistar 랫드를 이용 0, 10, 50 ppm에서 24개월 반복 노출결과 사망률이 노출농도에 따라 증가하고, 50 ppm군에서 유선종양과 편평상피암 발생률의 유의성 있는 증가를 보였다[9]. 이와 다른 생식독성 시험으로 랫드

를 이용 10, 33, 100 ppm에서 13주간 반복 노출한 발달독성/최기형성의 생식독성 시험결과 무영향농도(NOEL; No Observed Effect Level)는 F0(어미) 33 ppm, F1(새끼)는 10 ppm이었으며, 100 ppm에 노출된 F0, 33 ppm 이상의 농도에 노출된 F1에서 각각 성장 장애 및 100 ppm에 노출된 암컷의 간 및 난소의 무게 증가가 있었다[10]. 그리고 유전독성시험에서는 C57BL/6 마우스를 이용 노출농도 최대 1 ppm에서 염색체이상시험(Chromosomal aberration) 결과 양성반응을 보였으며[11], Himmelstein 등(2001)의 Sal. typhimurium TA100, TA1535, TA97A, TA98을 이용 0-69 mM농도에서 Ames test결과 양성반응을 보였으나, 중국 햄스터(Chinese hamster) V79를 이용 0.175 mM농도에서 소핵시험(Micronucleus test)에서는 음성반응을 보인 결과를 발표했다[12]. 또한 Pell (1978)은 사람에 대한 클로로프렌의 유해성 영향 관련성을 확인하기 위해 클로로프렌을 취급하는 근로자에 대한 역학조사 결과 일부 근로자에서 암 발생의 관련성이 있음을 보고하였다[13].

클로로프렌에 대한 근로자 건강관리를 위한 국내·외 작업환경 노출기준을 보면 고용노동부 고시 제2013-38호 “화학물질 및 물리적 인자의 노출기준”에는 TWA 10 ppm(35 mg/m<sup>3</sup>), 미국 산업위생사회의회(ACGIH)에서는 TWA 10 ppm(35 mg/m<sup>3</sup>), 미국 산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 TWA 25 ppm(90 mg/m<sup>3</sup>, 피부), 미국 산업안전보건청(OSHA)에서는 TWA 5 ppm(18 mg/m<sup>3</sup>, 피부)로 규정하고 있었다.

#### 2. 노출 및 용량반응 평가

자동차용 고무제품 및 타이어 제조사 등 3개 사업장을 대상으로 클로로프렌을 취급하는 계량, 배합, 정련, 압출, 성형공정에 대한 작업환경을 측정할 결과 모두 10 ppm이하의 불검출로 나타났다. 그러나 작업환경 관리 및 취급 부주의에 의한 노출 우려가 있으므로 이를 고려 ECETOC TRA(Targeted Risk Assessment)를 이용 노출량을 추정하였다. 작업시간 및 국소배기장치 가동, 보호구 착용 등 작업방법에 따라 근로자의 건강에 영향을 미치므로 Table 2의 노출시나리오와 같이 시험물질의 일일 사용시간, 환기 방식, 호흡용 보호구 착용 여부 및 효율에 따라 노출량을 구분하여 시나리오별 노출량을 산출하였다. 그 결과 시나리오 1의 경우 1.84 mg/m<sup>3</sup>, 시나리오 2의 경우 7.38 mg/m<sup>3</sup>, 3의 경우 22.1 mg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 즉, 추정 노출량은 노출시간과 국소배기 장치의 가동여부, 방독마스크 착용여부에 따라 현저한 영향이 있었다. 그리고 유해성은 미국 환경보호

청(NTP) 연구[6]의 랫드와 마우스를 이용한 만성/발암성시험의 장기간 노출에 따른 생체에 미치는 유해성과 표적장기, 유해농도 및 독성종말점(toxicological endpoints) 결과를 토대로 클로로프로렌의 용량-반응을 평가하였다. 이를 산출하기 위하여 출발점(POD; Point Of Departure) 값은 만성흡입시험에서 적용된 노출농도 값이며, 일반적 미국 성인을 기준으로 한 작업조건에 따른 위험도( $UR_{workplace}$ ) 값을 한국인 작업 상황으로 변환하기 위해 노출시간 및 인종간의 차이(호흡량, 체중)와 노출시간 및 기간에 대해 보정하였다. 그리고 실험동물을 이용한 만성/발암성시험[5]에서 얻은 클로로프로렌의 유해성 값  $UR$ 은  $0.5 \text{ mg/m}^3$ 이며  $RfC_{work}$ (reference concentration in workplace) 값을 산출하면,

$$CF = \frac{\left( \frac{\text{미국 성인 1일 호흡량}}{\text{한국 근로자 8시간 호흡량}} \times \frac{\text{미국 성인 연 노출일}}{\text{한국 근로자 연 노출일}} \times \frac{\text{미국 성인 노출기간}}{\text{한국 근로자 노출기간}} \right) / \left( \frac{\text{미국 성인 체중}}{\text{한국 근로자 체중}} \right)}{\left( \frac{20m^3}{10m^3} \times \frac{365days}{260days} \times \frac{70years}{40years} \right) / \left( \frac{70kg}{60kg} \right)} = 4.2$$

$$UR_{workplace} = UR/4.2$$

$$UR_{workplace} = 0.5 \text{ per mg/m}^3 / 4.2 = 0.12 \text{ per mg/m}^3$$

이를 토대로  $RfC_{work}$ 는  $10^{-4} \times 1/0.12 \text{ per mg/m}^3 = 8.33 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3$

즉, 최종적으로 산출된  $RfC_{work}$  값은 발암성의 흡입 노출의 경우  $8.33 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3$ , 표적장기 전신독성(반복노출)의 흡입 노출의 경우  $0.13 \text{ mg/m}^3$ , 생식독성의 흡입 노출의 경우  $0.67 \text{ mg/m}^3$ 으로 산출되었다.

### 3. 위험성 평가 및 작업환경 관리

클로로프로렌의 노출에 의한 발암성 및 표적장기 전신독성 발생의 위험성(risk)을 산출하였다. 가상 노출량과  $RfC_{work}$ 의 관계를 이용 Table 2의 노출 시나리오별 위험성(risk)을 산출하였으며, 가상 노출시나리오별 노출 추정량과 용량-반응 평가에서 도출된  $RfC_{work}$ 의 분포와 표준편차를 활용 Crystal ball 을 통한 Monte-carlo simulation을 실행하였다. 분포는 log-normal 분포로, 표준편차는 노출 추정량의 10%로 가정하여 Fig. 3과 같이 노출시나리오에 따라 클로로프로렌의 Monte-carlo simulation 결과를 나타내었다.

Fig. 3과 같이 Monte-carlo simulation 결과를 이용해 클로로프로렌의 위험성을 산출한 결과는 Table 3

과 같았다. 노출시간, 국소배기장치 가동여부, 호흡용 보호구 착용 여부 등 시나리오에 따라 분석한 결과 장기간(일일 4시간 이상) 노출되는 시나리오 3의 경우 발암을 일으킬 수 있는 위험성 평균값은 26,404로 나타났다. 그리고 국소배기장치가 가동되고 호흡용 보호구 착용, 단시간(15분 이하) 노출의 시나리오 1의 경우 평균값 2,199에 비교해 발암성을 일으킬 수 있는 매우 높은 위험성을 보였다. 또한 표적장기 전신독성의 경우도 시나리오 3의 경우 169.06이었으나 시나리오 1의 경우 14.10으로 시나리오 1에 비해 표적장기 전신독성 발생의 위험성이 높게 나타나 클로로프로렌의 노출량 및 작업환경에 따른 위험성이 깊은 상관관계가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 클로로프로렌 노출에 의한 근로자의 직업성 암 또는 표적장기 전신독성을 예방하기 위해서는 화학물질 노출시간을 최대한 저감하고, 국소배기장치 또는 전체 환기장치의 가동으로 작업장 내 유해물질의 농도를 최대한 줄여 근로자에 노출량을 최소화 하여야 한다. 이와 더불어 방독마스크 등 호흡용보호구 착용 등으로 유해물질인 클로로프로렌의 체내 흡입을 최대한 억제할 필요가 있는 것으로 나타났다.

국내외 클로로프로렌의 법적 규제를 보면 우리나라 산업안전보건법에는 TWA  $10 \text{ ppm}(35 \text{ mg/m}^3)$ 으로 규제하고 있으며, 미국 산업위생사회의(ACGIH)에서는 TWA  $10 \text{ ppm}$  이하, 미 산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 TWA  $25 \text{ ppm}$  이하(피부), 미국 산업안전보건청(OSHA)에서는 TWA  $5 \text{ ppm}$ , 이하(피부)로 규제하고 있다. 또한 위험성 분류에서도 산업안전보건법에 의해 노출기준설정물질, 위험물안전관리법에 의해 제4류 제1석유류로 지정되어 있으나 유해화학물질관리법으로는 지정되어 있지 않다. 그러나 클로로프로렌은 전반적으로 유해성이 높고 국내 취급사업장 및 취급량이 많기 때문에, 위험성도 매우 높은 물질이다. 특히 발암성의 경우는 가상 시나리오 상의 노출이 가장 낮은 수준에서도 risk의 평균값이 2,000을 상회하므로 위험성이 상당히 높았다. 또한 표적장기 전신독성 및 생식독성의 경우도 risk의 평균값, 누적 90%, 95% 값 모두 1을 초과하였다. 클로로프로렌이 생식세포 변이원성 구분 1B, 발암성 구분 1B, 생식독성 구분 1A인 CMR(Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) 물질임에도 CMR 물질이 아닌 과황산암모늄 (ACGIH TLV:  $0.1 \text{ mg/m}^3$ ) 또는 위험성이 상대적으로 낮은 포름아미드 (ACGIH TLV:  $15 \text{ mg/m}^3$ )보다 노출기준이 높다(ACGIH TLV:  $35 \text{ mg/m}^3$ ). 또한 작업환경 측정결과 현행 노출기준인  $10 \text{ ppm}$ 을 넘지 않았으나 무유해영향농도(NOEL; No Observed Adverse Effect Level)는  $2 \text{ mg/m}^3$

Table 3. Risk calculation results of chlorprene

		Median	90%	95%
Carcinogenic	1	2,199.10	2,499.51	2,592.65
	2	8,801.26	9,992.88	10,361.50
	3	26,404.65	30,012.24	31,067.66
Target organ Systemic toxicity	1	14.10	16.06	16.69
	2	56.47	64.27	66.62
	3	169.06	192.06	199.59

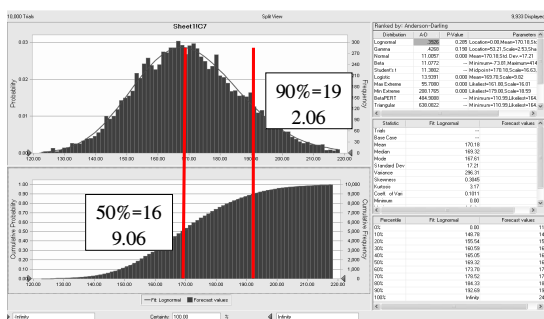
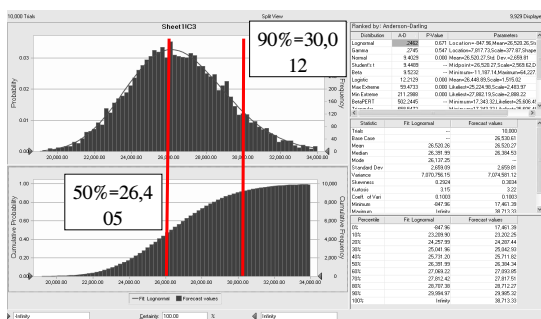
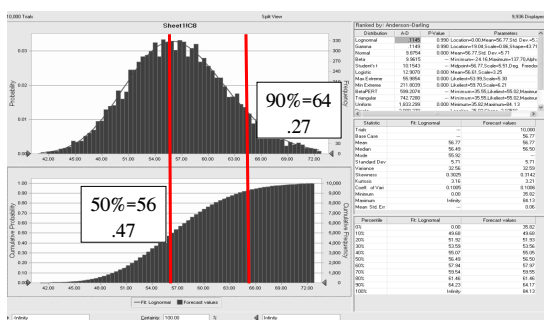
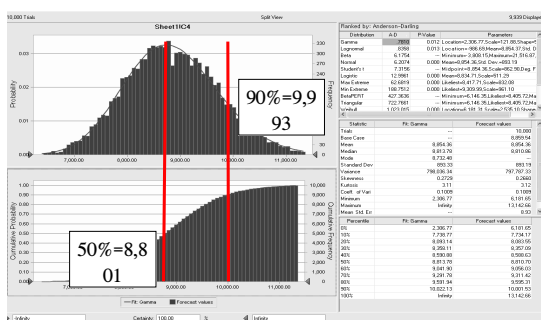
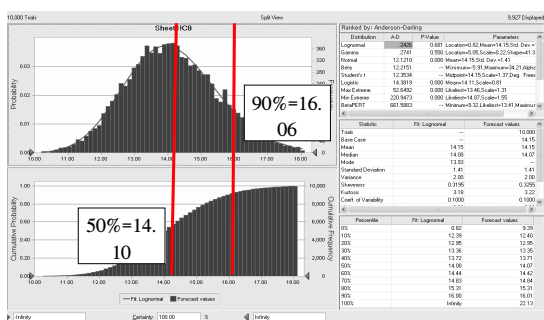
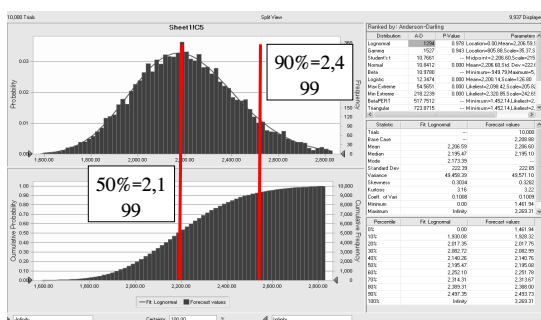


Fig. 3. Determined by each of the risk scenarios.

(0.57 ppm) 생식독성(아만성 노출)의 NOAEL은 33 ppm(랫트)[6, 7]이며, Dong 등(1989)은 마우스를 이용한 0, 2.9, 19.2, 189 mg/m<sup>3</sup>의 농도로 7개월간 반복노출 시험에서 노출 농도 증가에 따라 폐종양 발생률 증가를 확인 하였고, 최저영향농도(LOAEL; Lowest Observed Adverse Effect Level) 값은 2.9 mg/m<sup>3</sup>로(0.82 ppm) 제시하여[8] 현행 노출기준 10 ppm 이하에서도 생체에 유해영향을 나타내는 것으로 조사되었다. 따라서 클로로프렌의 강한 유해성과 작업방법에 따라 생체에 미치는 위험성을 고려 취급 근로자의 건강장해 예방을 위해 현행 산업안전보건법에서의 작업환경 노출기준 10 ppm을 미국의 산업안전보건청(OSHA)에서의 작업환경 노출기준 5 ppm 수준 이상으로 강화가 필요한 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

고무제조 및 접착제로 많이 사용되는 클로로프렌의 국내 취급 사업장은 27개소로 연간 약 1,300톤이 사용되고 있으며, 배합, 압출, 성형 공정 등에 작업환경을 측정된 결과 모두 노출기준(TWA 10ppm) 미만으로 측정되었다. 그러나 문헌조사 결과 클로로프렌은 유해성이 강하고 취급부주의에 의한 노출 가능성을 고려 노출시간과 환기, 보호구 착용 등 작업방법 및 환경의 시나리오에 따라 Monte-carlo simulation을 하여 클로로프렌의 위험성을 산출하였다. 그 결과 시나리오 3(4시간 이상 노출 및 국소배기장치 없음)의 경우 발암을 일으킬 수 있는 위험성의 평균값은 26,404로, 시나리오 1(15분 단시간 노출, 국소배기장치 가동, 보호구 착용)의 경우 평균값 2,199에 비교해 매우 높은 위험성을 보였다. 또한 표적장기 전신독성은 시나리오 3의 경우 169.06이었으나 시나리오 1의 경우 14.10으로 시나리오 1에 비교해 시나리오 3의 경우가 표적장기 전신독성을 일으킬 수 있는 위험성이 높은 것으로 평가되어 시험물질의 노출량 및 작업환경에 따라 위험성이 증가하는 깊은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 클로로프렌 노출에 의한 근로자의 직업성 암과 표적장기 전신독성을 예방하기 위해서는 화학물질 노출시간을 최대한 저감하고, 국소배기장치 또는 전체 환기장치의 가동으로 작업장 내 시험물질의 농도를 최대한 줄여야 할 필요성이 있었으며, 더불어 방독마스크 등 호흡용보호구 착용 등으로 체내 흡입을 최소화할 필요가 있는 것으로 나타났다. 특히 클로로프렌은 발암성과 생식독성이 있는 CMR(Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) 물질이며, 각 국가마다 노출기준이 다르지만 미국 산업안전보건청에서는 유해성에

따른 근로자 건강장해 보호를 위해 작업환경 노출기준 농도를 5 ppm(18 mg/m<sup>3</sup>) 이하로 강화 관리하고 있으며, 본 유해성조사에서도 10 ppm이하에서 생식기 장애 등 생체에 미치는 영향이 있었으며 유해성평가 결과 노출시간 또는 국소배기장치 가동여부 등 작업환경 조건에 따라 위험성이 높게 나타났으므로 우리나라의 현행 작업환경 노출기준(TWA 10ppm)도 5 ppm 수준으로 점차 강화할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

#### REFERENCES

- [1] Chemical Management Association, Survey of chemical substances in circulation, Chemical Management Association, (2012)
- [2] Joint government departments(Ministry of Education, Science and Technology, Ministry of Knowledge Economy, Ministry of Environment, Ministry of Employment and Labor), "Management of chemicals in the human health and environmental hazards decrease the level of advanced countries", National Chemicals Management Master Plan(2011-2020), (2011)
- [3] Byeon S.H., Choi H.C., and Park H.J., hazard · risk assessment of toxic chemicals. Occupational Safety and Health Research Institute, (2010)
- [4] OSHA, "Occupational Safety and Health Act", USA, (1990)
- [5] AIHA, General procedures for limit of detection calculations in the industrial hygiene chemistry laboratory Appl Ind Hyg 1(3):153-155 Burkart-JA, (1986)
- [6] NTP. "Toxicology and carcinogenesis studies of chloroprene (CAS No. 126-99-8) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies)", Research Triangle Park, NC, (1998)
- [7] NTP. *Report on carcinogens* 11th ed, Research Triangle Park, NC, (2005)
- [8] Dong Q.A., Xiao B.L., Hu Y.H., and Li S.Q., "Short-term test for the induction of lung tumor in mouse by chloroprene", *Biomed Environ Sci*, 2, 150-153, (1989)
- [9] Trochimowicz H.J., Loser E., Feron V.J., Clary J.J., and Valentine R., "Chronic inhalation toxicity and carcinogenicity studies on β-chloroprene in rats and hamsters", *Inhal Toxicol*, 10,

443-472, (1998)

- [10] Appelman L.M., and Dreef-van der Meulen H.C., *Reproduction study with beta-chloroprene vapour in rats (Report No. 6225)*, Zeist, Netherlands, (1979)
- [11] Sanotskii I.V., "Aspects of the toxicology of chloroprene: Immediate and long-term effects", *Environ Health Perspect*, 17, 85-93, (1976)
- [12] Himmelstein M.W., Gladnick N.L., Donner E.M., Snyder R.D., and Valentine R., "In vitro genotoxicity testing of (1-chloroethenyl) oxirane a metabolite of beta-chloroprene" *Chem Biol Interact*, 703-713, (2001)
- [13] Pell S., "Mortality of workers exposed to chloroprene", *J Occup Environ Med*, 20, 21-29, (1978)