

작업장에서의 n-부틸 글리시딜 에테르에 대한 건강 위험성 평가 Human Health Risk Assessment of n-Butyl Glycidyl Ether from Occupational Workplaces

문형일 · 최현일 · 신새미 · 변상훈*

Hyung-Il Moon · Hyeon-Il Choi · Saemi Sin · Sang-Hoon Byeon*

고려대학교 환경보건학과

Department of Environmental Health, College of Health Science, Korea University, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to evaluate the health risk of workers exposed to butyl glycidyl ether to prevent them from developing occupational diseases.

Methods: The workplaces that coat floor with epoxy were selected and the samples were collected and analyzed with NIOSH 1616 Method. We calculate workplace reference concentration using with NOAEL estimated by the study of Anderson et al. in 1978. Risk was calculated by the ratio of exposure to workplace reference concentration. Monte-Carlo simulation was performed to derivate the median, cumulative 90%, and cumulative 95% value by using Crystal Ball.

Results: Butyl glycidyl ether is a skin, eye irritator and can result in central nervous system depression, allergic reaction. NOAEL was 38 ppm and workplace reference concentration was calculated as 0.73 ppm corrected with uncertainty factors. Geometric mean was 1.152 ppm and geometric standard deviation was 1.522 by the workplace environment measurement. The median, cumulative 90%, and cumulative 95% value of risk were calculated as 1.617, 1.934, and 2.092, respectively.

Conclusions: Not only cumulative 90% and cumulative 95% value but also the median of risk is higher than 1.0 by the risk characterization, so it can do a lot of harm to workers. Therefore, the process of derivating workplace reference concentration and the appropriacy of the uncertainty factors should be re-examined.

Key words : risk assessment, butyl glycidyl ether, workplace reference concentration, NOAEL, monte-carlo simulation

I. 서 론

산업 현장에서 사용되는 유해화학물질은 원료물질에서부터 공정상에서 발생하는 부산물에 이르기까지 매우 다양한 형태로 존재한다. 산업혁명 이후 이러한 화학물질의 사용은 꾸준히 증가하는 추세이다(Kim et al., 2012). 최근 들어 우리나라에서 유해화학물질에 대한 직업병의 발생은 2002년 1,351건에서 2005년 2,524건으로 2배 가까이 증가하였고 사업장에서 원인 규명이 어려운 유해화학물질로 인한 각종 질병이 근로자들에게 발생하고 있어 사회적 문제가 되고 있다(Byeon et al., 2012). 국내 산업현장에서 취급하는 유해화학물질은 기존 화학물질이 3만여종이고 매년 400여종의 신규화학물질이 새로 도입되고 있다(Kuk et al., 2010). 이러한 화학물질 및 위

험성에 대한 인식 부족이나 취급 부주의로 인해 우리나라에서 매년 유해화학물질과 관련한 400-500건의 노출로 인한 직접적인 피해자는 대부분 해당 화학물질을 제조 또는 취급하는 작업현장의 근로자이며, 유해성질식, 중독 등과 같은 사고가 발생하고 있다(Kim et al., 2012). 또한 2010년 전 세계 유해화학물질 취급 근로자들 중 매년 6천 8백만-1억 5천 7백만명의 직업병 환자가 새롭게 발생하고 있다(WHO, 1994).

직업병을 효율적으로 예방 및 관리하기 위해서 유해화학물질에 대한 위험성 평가의 중요성이 높아지고 있는데 그 이유는 기준 설정에 있어서 과학적 근거를 토대로 하고 있기 때문이다. 위험성 평가를 통하여 작업장 내 유해화학물질 노출이 인체에 미치는 영향에 대한 종합적이고 계량적인 정보를 제공할 수 있다. 이에 따라

*Corresponding author: Sang-Hoon Byeon, 서울특별시 성북구 정릉3동 산1번지, Tel: 02-940-2866,

Fax: 02-940-2869, E-mail: shbyeon@korea.ac.kr., Received: 2012. 12. 28., Revised: 2012. 3. 21., Accepted: 2012. 3. 22

근로자, 고용주 및 정부 간의 소통이 원활해지고 상호 간의 신뢰 획득에 기여할 수 있고 합리적 규제 기준을 제시하여 공학적이고 행정적인 관리 목표 설정이 가능해진다. 위험성 평가는 유해화학물질을 관리하는데 있어 필수 요소이므로 관련 학술단체에서는 그동안 국제적 규정 제정을 위해 많은 노력을 하였으며 위험성 평가 방법에 대한 기술 개발 및 국제적 공조가 매우 중요한 과제라 할 수 있다(Lim et al., 2012).

유해화학물질에 대한 건강 위험성 평가는 사업장 내에 존재하는 각종 유해요인을 확인하고 그에 따른 위험성을 분석 및 평가하며 이를 관리하기 위한 적절한 방법을 결정하는 과정이다(Jung et al., 2012). 그 절차는 일반적으로 미국 국가조사위원회에서 제시한 유해성 확인(hazard identification), 용량-반응 평가(dose-response assessment), 노출 평가(exposure assessment), 위험성 결정(risk characterization)의 4단계 위험성 평가 체계를 따른다. 유럽연합(European Union, EU)에서는 신규화학물질 지침과 기존화학물질 규칙을 적용하기 위하여 위험성 평가 기술 지침서를 제공하였다(European Chemical Bureau, 2004). 지금은 REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) 법에서 이를 통합하여 사업주에게 위험성 평가를 수행하도록 하고 있다(Lim et al., 2012).

부틸 글리시딜 에테르(Butyl Glycidyl Ether, BGE)는 유연제, 대전방지제, 유사 세라마이드, 유화제, 표면처리제, lipid, 고분자물질 등에 사용할 수 있는 중간물질로서 우리나라에서는 에폭시 제조사업장, 페인트 제조사업장에서 부분적으로 사용하고 있었으며 바닥코팅업체 등에서도 사용하고 있다. BGE의 연간 사용량은 500-1,000톤이며 취급 근로자가 약 200여명 정도로 파악된다(Ministry of Environment, 2002). 한국산업안전보건연구원의 정책연구사업에 따라 2006년 화학물질 노출기준 제·개정 연구의 일환으로 수행된 BGE의 노출기준개정연구에서 BGE의 노출기준을 기존의 25 ppm에서 10 ppm으로 제안하였다(Byeon et al., 2006). 노출기준 개정의 근거로는 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준을 따랐으며 그 내용을 살펴보면 수컷 rat의 고환을 퇴화시킨다는 Anderson 등(1978년)의 동물실험 결과 무장애영향수준(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL) 38 ppm과 최저장애영향(Lowest Observed Adverse Effect Level, LOAEL) 78 ppm을 근거로 TLV- TWA를 3 ppm으로 하였다. 이러한 연구내용

과 우리나라 근로자 노출농도 수준, 그리고 사회경제적 여건을 고려하여 노출기준을 10 ppm으로 제안하였다. 그러나 이 연구는 유해성·위험성 평가를 고려하여 과학적 근거를 바탕으로 도출한 것은 아니었기 때문에 다소 미흡한 부분이 있었다.

따라서 본 연구는 유해성·위험성 평가를 고려한 BGE의 위험값과 이를 통해 BGE 사용에 따른 관리방법을 제시하여, 발생 가능한 각종 직업병을 예방하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상 사업장 선정

고용노동부에서 제공한 “작업환경실태조사” 결과자료를 근거로 BGE를 희석제로 사용하는 에폭시 바닥코팅업체 총 9개 사업장을 대상으로 하였다.

2. 시료 채취 및 분석 방법 선정

NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 “NIOSH 1616 Method”를 적용하여 시료의 채취 및 분석을 실시하였다(NIOSH, 1994). Table 1에서 나타난 바와 같이 저유량 펌프를 이용하여 0.01-1.0 L/min의 유량으로 작업환경 중 공기를 흡인하여 고체흡착관으로 채취한 다음 GC-FID (Gas Chromatography-Flame Ionization Detector)로 분석하였다.

3. 위험성 평가 과정

1) 유해성 확인

유해성 확인이란 독성 등 유해화학물질이 인체 또는 환경에 미치는 바람직하지 않은 영향을 조사하는 과정으로 이 단계에서는 실험동물을 이용한 독성시험, 사람에게 대한 역학연구, 화학물질의 체내 동태 등 물질의 유해성을 평가하기 위한 자료를 수집, 검토한다(Lee et al., 2009).

Table 1. Sampling and analytical method for n-butyl glycidyl ether

Sampling and analytical method	Conditions
Flow rate (L/min)	0.01-1.0
Sampler	Solid sorbent tube
Analytical instrument	GC-FID
Column	HP-5, 30m
Temperature	Injector: 230°C Detector: 280°C Oven: 100°C, 5 min
Method No.	NIOSH 1616

Table 2. Correction factors for derivating RfCwork

Steps	Categories	Korea*	US EPA**	EU ECHA***	Japan****
Quantitative correction	NOAELADJ	0.5	0.17	0.5	0.5
	NOAELHEC	1	1	1	1
Uncertain correction	Interspecies	3	3	2.5	10
	Intraspecies	5	10	5	1
	Duration	2	3	2	1
	Severity	1	1	1	1
	Quality	1	1	1	1

* Korea: 고용노동부. 화학물질의 유해성·위험성 평가에 관한 규정(고용노동부예규 제10호). 2011.

** US EPA: US Environmental Protection Agency. Risk assessment guidance for superfund volume 1: Human health evaluation manual (part F, Supplemental guidance for inhalation risk assessment. EPA-540-070-002, 2009.

*** EU ECHA: European Chemical Bureau. Technical guidance document on risk assessment. 2004.

**** 일본 후생노동성. 노동자 건강 장애 방지에 관한 리스크 평가 검토회 보고서. 2005.

본 연구에서는 주요 독성연구기관인 NTP (National Toxicology Program), IARC(International Agency for Research on Cancer), CCOHS (Canadian Center for Occupational Health and Safety), HSDB (Hazardous substances data bank) 등의 관련 논문을 조사하였으며 최신의 자료를 기준으로 하였다. 노출기준은 미국 OSHA (Occupational Safety and Health Administration), ACGIH, NIOSH와 우리 나라 고용노동부에서 제시하는 자료를 기준으로 하였다.

2) 용량-반응 평가

용량-반응 평가는 인체가 유해화학물질의 특정 용량에 노출되었을 경우, 유해한 영향이 발생할 확률이 어느 정도인가를 추정하는 단계이다. 이 단계에서는 발암성 및 비발암성 각각에 대하여 별도로 용량-반응 평가를 실시하는데 BGE의 경우, 발암성에 대한 분류를 하는 나라가 독일을 제외하고는 거의 없고 독성영향이 나타나기 시작하는 출발점(Point-Of-Departure, POD)이 존재하지 않았기 때문에 발암성 용량-반응 평가는 실시할 수 없었다.

비발암성 용량-반응 평가는 NOAEL, LOAEL 또는 BMD (benchmark dose)를 이용하여 무영향기준 농도를 정하는 과정이다. 이 과정에서는 외국기관의 수치화된 정보를 이용할 수 있는데 미국 EPA에서는 RfC (reference concentration) 또는 RfD (reference dose)를, 유럽연합의 유럽화학물질관리청(The European Chemical Agency, ECHA)에서는 유도 무영향수준(Derived No Effect Level, DNEL)을 제공하고 있다. 그런데각 기관별로 보정계수의 적용 시 Table 2와 같이 상당한 차이가 존재한

다. 따라서 보정계수의 적용에 대한 연구자 간의 편차를 줄이기 위해서 한국 산업안전보건공단에서는 미국 EPA, 유럽연합의 ECHA, 일본 후생노동성의 방법을 종합하여 우리나라에 적합한 작업장 참고농도(Workplace reference concentration, RfC_{work})를 Table 2와 같이 구하도록 제시하였다. 비발암 독성위험값 산출을 위해서 Anderson 등(1978년)의 연구에서 산정된 NOAEL을 이용하여 RfC_{work}를 계산하였다.

3) 노출 평가

노출 평가는 유해화학물질에 노출된 대상이 누구이며 어떻게 노출되었는지에 대해 보다 명확한 판단을 하기 위해 실제로 노출량을 평가하는 단계이다. 위험성 평가에서의 노출평가는 계획을 수립하고, 필요자료 수집 및 조사를 통하여 노출량을 정량화 및 비교 검증하는 단계로 진행된다. 노출평가의 목적과 가용자료의 정도에 따라서 노출평가의 대상(사업장, 공정), 노출수준 추정 방법(작업환경 측정), 노출량 정량화 방법(시간가중평균 또는 시계열 프로파일) 등 노출평가에 필요한 자료와 분석 방법을 정할 수 있다.

4) 위험성 결정

위험성 결정은 용량-반응 평가에서 도출된 RfC_{work}와 노출에 따른 근로자 집단에서 유해 반응의 발생률을 추정하는 단계이다(Lim et al., 2010).

비발암 위험성의 경우 일반 성인이 어떤 화학물질을 RfC 이하 수준으로 매일 섭취 또는 흡입하여도 인체에 악영향을 주지 않는다고 가정한다. 비발암 위험성은 비발암성 물질의 인체 노출에 따른 위험값을 산출하여 평가할 수 있는데, 일반적으로 작업장 근로자에게 해가 되

는 허용 위험성 수준을 1.0으로 정하고 있다(Lee et al., 2005).

결정론적 위험성 평가(Deterministic Risk Assessment, DRA)는 노출 변수의 단일값을 적용하여 계산하는데 이 경우, 변수값의 변화에 따라 그 결과가 달라질 수 있고 많은 불확실성을 내포하게 된다. 이러한 자료의 불확실성은 Monte-Carlo Simulation에서 확률밀도함수로 입력되어 결과에 반영된다(Jang et al., 2011). 따라서 본 연구에서는 노출 변수에 대해 확률론적 분포값을 사용하여 확률론적 위험성 평가(Probabilistic Risk Assessment, PRA)를 수행하기 위해 ‘Crystal Ball ver. 11.11’을 이용해서 log-normal 분포로 Monte-Carlo Simulation을 10,000 회 실시하여 위험값의 중앙값, 누적 90%값, 누적 95% 값을 산출하였다.

III. 연구 결과

1. 유해성 확인

BGE는 3개의 탄소 사슬과 함께 에폭시 그룹과 에테르 결합을 포함하고 있는 글리시딜 에테르의 한 종류이다(HSDB, 2006). BGE는 자극적인 냄새를 가진 무색의 액체로서 강한 산화제와 접촉하면 폭발할 수 있고 연소될 때는 일산화탄소와 같은 유독가스 및 증기가 발생한다. OSHA에서는 BGE를 Class IIA의 가연성 액체로 분류하고 있으며 미국제소방협회(National Fire Protection Association, NFPA)에서는 인화성이 중간정도인 2점을 부여하고 있다(The Information of Chemicals in Korea Occupational Safety and Health Agency, 2005). BGE의 GHS 분류는 Table 3과 같다.

BGE는 점성을 줄이기 위해서 에폭시 또는 페인트 제조 사업장에서 에폭시수지의 점도를 조정하는 희석제로 사용된다(Chen et al., 2007). 이 공정에서 BGE를 반

응기에 첨가 및 반응시킬 때 누출, 그리고 드럼 혹은 캔에 포장할 때 반자동으로 사람이 포장하기 때문에 주로 호흡기를 통해 노출될 수 있다. 그리고 바닥코팅업체에서 에폭시 수지를 이용해서 바닥코팅을 할 때 대부분의 사업장이 영세하고 장소가 밀폐되어 있으며 환기가 제대로 되어 있지 않아 노출의 가능성이 많았다. 또한 대다수 사업장에서의 근로자들이 보호장비 없이 작업을 하고 있어 호흡기나 피부를 통해서 BGE에 노출될 수 있었다.

독성학적 자료는 많지 않은 것으로 알려져 있지만 피부와 눈의 1차 자극제이고 포유동물의 돌연변이원이며 주요 건강 위험성으로 중추신경계 억제 및 알레르기 반응을 들 수 있다(NTP, 2004). 공기 중 글리시딜 에테르에 노출되면 눈 자극과 함께 고농도 노출 시에는 전신독성을 일으켜 사망에 이를 수도 있다(Xue et al., 1988). BGE의 사람에 대한 역학 연구 자료에 대해서 다음과 같이 좀 더 자세히 살펴보도록 하겠다.

BGE를 다루는 어떤 공장에서 3개월 간 고용된 8명의 근로자들에게서 피부염은 보고되지 않았다. 그러나 BGE에 대한 동물연구 도중 연구소 내 근무하는 사람은 이 물질이 눈, 코, 호흡기에 자극을 준다는 것을 발견하였다(Hine 등, 1956). 23-35세 백인 25명을 대상으로 한 BGE에 대한 피부 감각 연구에서 100% BGE 용액에 대해 모두 홍반, 부종, 소포, 그리고 외견상의 궤양을 동반한 심한 자극을 일으켰다. 10% 용액에 대해 17명, 5% 용액에 대해 8명, 2.5% 용액에 대해 1명이 반응을 하였고 1.25% 용액에 대해서는 아무도 반응을 보이지 않았다(Lea et al., 1958). 또 다른 연구에서 10% BGE 용액을 18-50세 24명의 남성에게 철폘하였을 때 19명에게서 감각 반응이 나타났다. 이 연구에서 저자는 BGE를 강한 알러젠으로 분류하였다(Kligmann, 1966). 아세트론에 0.25% BGE가 포함된 용액을 비스페놀 A 글리시딜 에테르 타입 에폭사이드 레진에 접촉성 알러지를 가지는 20명의 사람들에게 시험했을 때 3명이 알러지 반응을 나타냈다(Fregert et al., 1964). 손에 피부염이 있는 343명의 환자들에게 1985-1992년까지 패치 실험을 한 결과 BGE에 대해 아무도 양성 반응을 보이지 않았다. 그러나 이들이 과거 BGE에 얼마나 노출되었는지에 대한 자료는 없었다(Tarvainen, 1995). 1991-1996년까지 플라스틱과 폼에 노출된 310명의 환자들 중 2명이 BGE에 피부 감각 양성 반응을 보였지만 Tarvainen의 연구와 마찬가지로 과거 노출력에 대한 정보는 없었다(Kanerva et al., 1999).

Table 3. GHS classification of BGE

Health harmfulness	GHS classification
Flammable liquid	Classification 3
Acute toxicity (dermal)	Classification 3
Acute toxicity (inhalation)	Classification 4
Skin irritation	Classification 2
Eye irritation	Classification 2
Skin hypersensitiveness	Classification 1
Toxicity to reproduction	Classification 2
Carcinogenicity	Classification 2
Target organ toxicity (Once)	Classification 3
Target organ toxicity (Repeated)	Classification 1

2. 용량-반응 평가

BGE에 대한 동물 대상 아만성 혹은 만성독성 연구 중 RfC_{work}를 산출하기 위하여 자료의 제목, 출처, 노출 시간, 종말점, 실험방법 등을 종합적으로 고려했을 때 신뢰도가 가장 높은 Anderson (1978년) 등의 연구를 선정하였다. 이 연구는 기간이 비교적 긴 만성독성 연구이며 대부분의 BGE의 연구와는 달리 POD가 제시되어 있기 때문에 RfC_{work} 산출을 위한 대표 연구로 선정하였다. Rat를 대상으로 총 10주 동안 38, 75, 150, 300 ppm의 BGE에(n=10) 하루에 7시간, 일주일에 5일 전신 노출시킨 결과 75 ppm 노출군에서 10마리 중 1마리에서 반점형 위축증이 나타났다. 또한 300 ppm 노출군에서 10마리 중 5마리가 고환의 퇴화가 나타났으며, 75, 150 ppm 노출군에서 10마리 중 1마리가 각각 부조화적 수축과 고환의 위축이 나타났다. 그러나 38 ppm 노출군은 아무런 증상도 나타나지 않았다. 이를 근거로 NOAEL은 38

ppm, LOAEL은 75 ppm으로 산정하였다. 이 중 NOAEL을 POD로 하여 Table 4와 같이 제시된 보정계수 적용방안에 따라 RfC_{work}를 구하면 약 0.63 ppm이 된다.

3. 노출 평가

BGE를 희석제로 사용하는 예폭시 바닥코팅업체 작업장 9곳에 대한 작업환경측정 결과는 Table 5와 같았다.

4. 위험성 결정

BGE에 대한 확률론적 위험성 평가 결과 위험값의 중앙값, 누적 90%값, 누적 95%값은 각각 1.824, 2.043, 2.107로 산출되었다. 9개 사업장에 대한 위험값의 중앙값이 1.0을 초과하였기 때문에 BGE에 대한 근로자들의 건강 위험성이 존재한다고 할 수 있다.

IV. 고 찰

지금까지의 연구에 의하면 비록 발암성에 대한 명확한 증거는 없지만 BGE가 피부와 눈의 자극제 및 돌연변이원이며 고농도 노출 시 전신독성을 일으켜 사망을 야기할 수도 있다는 점에서 유해성이 상당히 존재한다고 볼 수 있다. 본 연구에서 BGE 취급 근로자들에 대한 건강 위험성 평가 결과, 위험값의 중앙값, 누적 90%값, 누적 95%값이 모두 1.0을 초과하여 위험성이 존재한다고 할 수 있다. 산업위생학적 관점에서 관리해야 할 유해인자의 특성은 유해성 뿐 아니라 화학물질에 대한 근로자의 노출 가능성을 고려한 위험성이다(Kim et al., 2009). 위험성이 큰 물질일수록 더 자주, 더 신속하게 위험성 관리를 실시할 필요가 있고 위험성이 작은 물질에 대해서는 우선적으로 환기 체계를 개선 및 보완

Table 4. Method of derivating RfC_{work}

Steps	Categories	Values
POD	NOAEL	38 ppm
Quantitative correction	NOAEL _{ADJ}	0.5
	NOAEL _{HEC}	1
	Interspecies	3
	Intraspecies	5
Uncertain correction	Duration ≥ 4 week	6
	Duration ≥ 13 week	2
	Duration ≥ 6 month	1
	Severity	
	NOAEL, BMD	1
	LOAEL	5
	Quality	1
RfC _{work}		0.63 ppm

Table 5. Concentrations of workplace environment measurement

Workplace	Samples	GM* (ppm)	GSD**	Concentration range (ppm)
A	8	0.506	1.112	0.4511-0.588
B	8	5.332	1.467	2.7133-8.4033
C	8	1.984	1.276	1.1146-2.31
D	7	0.600	1.654	0.2721-0.9858
E	7	3.872	1.387	2.8151-6.252
F	8	3.261	1.093	2.929-3.6649
G	7	0.073	3.906	0.0039-0.2171
H	7	1.191	1.048	1.1332-1.2766
I	8	1.013	2.055	0.3015-2.6754
Total	68	1.152	1.522	-

* GM: Geometric mean ** GSD: Geometric standard deviation *** Limit of detection(LOD): 0.038 µg/sample

하고 만약 이를 통해 해결이 되지 않을 경우 보호구 지급 및 착용 요령에 대한 교육 등을 통해 대상 유해화학 물질을 더 효과적으로 관리할 수 있다.

본 연구에서는 BGE에 대한 자료의 제목, 출처, 노출 시간, 종말점, 실험방법 등을 종합적으로 고려했을 때 신뢰도가 가장 높은 연구를 선정 한 후 RfC_{work} 를 산출 하였다는 점에서 의미 있는 연구라고 생각된다. 그런데 BGE의 POD 값이 제시되어 있는 연구가 거의 없었고 선정된 연구가 30여년 전에 수행되었다는 점에서 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그리고 POD 값을 NOAEL 또는 LOAEL로 각각 선택하여 표 3과 같이 보정하였을 때 RfC_{work} 값이 서로 다르게 계산되었다. 본 연구에서는 흡입 노출로 인한 RfC_{work} 만을 산출하였지만 BGE는 피부 접촉을 통해서도 체내 흡수가 가능하다는 점을 고려할 때, 본 연구에서 산출된 위험값은 근로자의 모든 위험성을 표현하지 못하였다고 할 수 있다. 따라서 POD가 제시된 경피독성 연구를 이용한 RfC_{work} 를 추가로 산출하여 위험성 평가를 실시할 필요가 있다. 그리고 RfC_{work} 를 산출하는 과정에서도 차이가 나타날 수 있는데 각 기관별로 불확실성 계수가 다르기 때문에 어떤 기관의 보정 방식을 선택하는 지에 따라 RfC_{work} 값에 차이가 생길 수 있다(Table 2). ECHA와 후생노동성의 보정 방식은 모두 근로자의 노출조건을 반영한 용량-반응 평가방법을 제공하고 있기 때문에 EPA의 방식보다 고용노동부의 방식과 더 유사하다. 특히 ECHA에서는 EPA나 후생노동성보다 더 세부적으로 보정 방식을 제공하는데 Table 2의 종 간(interspecies) 보정의 경우 EPA는 $10^{0.5}$ 의 근사값인 3을 적용하지만 ECHA는 2.5로 제시하고 있다. 종 내(intraspecies) 보정의 경우 EPA는 10, 후생노동성은 1을 적용하지만 ECHA는 일반인과 근로자로 구분하여 10과 5로 각각 다르게 제시하고 있다. 실험 기간(duration)에 있어서도 4주 이상, 13주 이상, 6개월 이상으로 구분하여 계수를 6, 2, 1로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서 산출된 RfC_{work} 값은 위와 같은 이유에 따라 연구결과가 지속적으로 변화하고 있으며 현재까지 수행된 연구결과의 편차 또한 크기 때문에 추후 새로운 연구 또는 신뢰도 검증의 반복 등을 통하여 지속적으로 보완되어야 할 것이다.

본 연구의 대상 화학물질인 BGE에 대한 국내 노출 기준은 거의 모든 근로자에게 건강장해가 없도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 이 물질의 노출기준 이하의 농도에 노출된 몇몇 근로자에게서 개인의 감수성

의 차이로 인하여 건강장해가 발생할 가능성이 있다는 점을 고려하여 노출량을 단일값으로 제시하는 것보다는 Monte-Carlo Simulation을 통한 확률론적 위험성 평가를 수행하는 것이 보다 바람직할 것으로 생각된다. 또한 BGE에 주요 기관의 노출기준이 다른 경우가 있는데 각 기관별 노출기준 설정의 근거에 대한 과학적 평가를 통하여 우리나라의 노출기준과 비교함으로써 구체적인 차이의 근거, 개정의 필요성, 현재 노출기준의 타당성을 평가하는 추가 연구가 필요하다. 더 나아가서, 우리나라에서 제정하고 있는 화학물질의 노출기준에 대한 기술적 및 경제적 적용 가능성 등을 면밀히 검토하여 우리나라 상황에 맞는 노출기준 설정을 위한 신뢰성을 확보해야 한다.

V. 결 론

본 연구에서 BGE를 희석제로 사용하는 에폭시 바닥 코팅업체에 대한 작업환경측정 결과를 바탕으로 위험성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동물 대상 흡입독성 연구에서 38 ppm으로 산정된 NOAEL을 불확실성 계수를 이용하여 보정한 결과 RfC_{work} 가 0.63 ppm으로 산출되었다.
2. BGE를 취급하는 9개 사업장에서 총 시료 68개의 작업환경측정 결과 기하 평균(GM)은 1.152 ppm, 기하 표준편차(GSD)는 1.522로 산출되었다.
3. BGE에 대한 확률론적 위험성 평가 결과 위험값의 중앙값, 누적 90%값, 누적 95%값은 각각 1.824, 2.043, 2.107로 산출되었다.

따라서 위험값의 중앙값이 일반적으로 작업장 근로자에게 해가 되는 허용 위험성 수준인 1.0을 모두 초과하므로 BGE에 대한 근로자들의 건강 위험성이 존재한다고 할 수 있다. 그러므로 작업장 근로자에 대한 BGE 노출을 최소화할 수 있도록 산업위생관리를 철저히 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

Chen, L.J., Lebetkin, E.H., Nwakpuda, E.I., Burka, L.T.. Metabolism and disposition of n-butyl glycidyl ether in F344 rats and B6C3F1 mice. Drug metabolism and disposition. 2007; 35(12).
 Cheol-Hong Lim, Jeong-Sun Yang, Sang-Yong Park. A Harmonized Method for Dose-response Risk Asses-

- sment Based on the Hazard & Risk Evaluation of Chemicals (HREC) According to the Industrial Safety and Health Act (ISHA). *J Korean Soc Occp Envir Hyg.* 2012; 22(3): 175-183.
- European Chemical Bureau. Technical guidance document on risk assessment. 2004.
- Fregert, S., Rorsmann, H.. Allergens in epoxy resins. *Acta Allergol.* 1964; 19: 296.
- Hazardous substances data bank(HSDB). n-Butyl Glycidyl Ether: Chemical/Physical Properties. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>. 2006.
- Hine, C.H., Kodama, J.K., Wellington, J.S., Dunlap, M.K., Anderson, H.H.. The toxicology of glycidol and some glycidol ethers. *AMA archives of industrial health.* 1956; 14: 250-264.
- Hyeon-Yeong Kim, Yang-In Hwang, Won-Kwen Kuk. Hazards and Workplace Management of Ammonium nitrate. *J Korean Soc Occp Envir Hyg.* 2012; 22(3): 175-183.
- Je Bong Lee, Jin Sup Shin, Mi-Hye Jeong, Yeon-Ki Park, Geon-Jae Im. Operator exposure risk assessment of benzimidazole fungicides on Korean agricultural condition. *The Korean Journal of Pesticide Science.* 2005; 9(4): 347-353.
- Kanerva, L., Jolanli, R., Alanko, K., Estlander, T.. Patch test reactions to plastic and glue allergens. *Acta Derm Venereol.* 1999; 79(4): 296-300.
- Kligmann AM. The identification of contact allergens by human assay III. The maximization test-a procedure for screening and rating contact sensitizers. *J Invest Dermatol.* 1996; 47: 393-409.
- Lea WA, Block WB., Cornish HH: The irritating and sensitizing capacity of epoxy resins. *Arch Dermatol.* 1958; 78: 304-308.
- Ministry of Employment and Labor. Regulations on Risk Assessment of Chemicals (Regulations of Ministry of Employment and Labor No. 10). 2011.
- Ministry of Environment. Findings on the Amount of Distribution of Chemicals. 2002.
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH): n-Butyl Glycidyl Ether Method 1616. NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM). Fourth Edition. 1994.
- National Toxicology Program(NTP). n-Butyl glycidyl ether (BGE) [CAS No. 2426-08-6]. Review of toxicological literature. National Toxicology Program(NTP), NIEHS, Research Triangle Park, NC. 2004.
- Sang-Hoon Byeon, Ho-Chun Choi, Ho-Jeong Park, Cheol-Min Lee, Seung-Gil Lee. Risk Assessment of Hazardous Chemical Substances in 2012 (I). Occupational Safety & Health Research Institute Report. 2012.
- Sang-Hoon Byeon, Young-Hwan Kim, Jae-Wook Choi, Jong-Ryeul Sohn, Kyung-Hwan Moon. A Review on Chemical Occupational Exposure Limits. Occupational Safety & Health Research Institute Report. 2006.
- Tarvainen, K.. Analysis of patients with allergic patch test reactions to a plastics and glues series. *Contact Dermatitis.* 1995; 32(6): 346-351.
- The Information of Chemicals in Korea Occupational Safety & Health Agency. GHS MSDS. n-Butyl glycidyl ether. 2005.
- Won-Kwen Kuk, Kyung-Seok Song, Mu-Hyuk Lim, Cheol Min Lee, Jin-Shik Kim. A Study on the Assessment of Hazardous Properties of the Chemicals (I). Occupational Safety & Health Research Institute Report. 2010.
- Woo Jin Jung, Chi Nyon Kim, Jong Uk Won, Ki Youn Kim, Jae Hoon Roh. Health Risk Assessment for Workers Exposed to Diazinon Insecticide. *J Korean Soc Occp Envir Hyg.* 2012; 22(2): 100-106.
- World Health Organization (WHO). Declaration on Occupational Health For All. http://www.who.int/occupational_health/publications/declaration/en/index.html. 1994.
- Xue, B., Lei, ZM.. The study of immunotoxicity of butyl glycidyl ether. *Chinese journal of preventive medicine.* 1988; 22(1): 11-13.
- Yong Cheol Jang, Sung Woo Lee, Yong Seung Shin, Hee Kap Kim, Jong Hyun Lee. Human Health Risk Assessment of Benzene from Industrial Complexes of Chungcheong and Jeonla Province. *Korean Society of Environmental Impact Assessment.* 2011; 20(4): 497-507.
- You-Mi Lee, Huun-Nam Kim, Ji-Hye Lee, Jae-Hyoun Kim. Studies for Risk Assessment of Cosmetic Ingredients. *The Korean Journal of Beauty Design.* 2009; 5(2): 175-191.
- Young-Mi Kim, Hyun-Wook Kim. The assessment of health risk and subjective symptoms of printing workers exposed to mixed organic solvents. *J Korean Soc Occp Envir Hyg.* 2009; 19(3): 270-279.
- Young-Wook Lim, Ji-Yeon Yang, Hyeon-Su Kim, Yong-Jin Lee, Shin-Young Lee. A Study on the Assessment of Hazardous Properties of the Chemicals (II). Occupational Safety & Health Research Institute Report. 2010.