

## 외국 노출량 산정 프로그램(ECETOC TRA)의 국내 적용을 위한 입력변수의 보정에 관한 연구

### Evaluation of the Application of a European Chemical Risk Assessment Tool in Korea

이중한\* · 이권섭 · 홍문기

Jong Han Lee\* · Kown Seob Lee · Mun Ki Hong

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

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

#### ABSTRACT

**Objectives:** The study aim was to evaluate the application of a chemical exposure assessment tool for the Korean workplace. The Ministry of Employment and Labor in Korea (KMOEL) introduced the need for workplace risk assessments in 2011, requiring the Korean chemical industry to consider both domestic and international chemical regulation policies (e.g., estimations of exposure scenarios). Exposure scenarios are required in the European Union as part of material safety data sheets (MSDS) under the Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals (REACH) system.

**Methods:** Although many programs for the estimation of exposure have been developed worldwide, to date there is no standard for the Korean workplace. To develop programs suitable for the Korean workplace, we examined the applicability of the European Center for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals target risk assessment (ECETOC TRA), which is recommended by the European Chemical Agency (ECHA).

**Results:** To investigate the applicability of the ECETOC TRA to Korean industry, this study simulated 15 industrial processes. The predicted respiratory exposures for four processes using origin input parameters were underestimated compared to the measured respiratory exposure. Using calibrated input parameters, results for two processes were underestimated compared to the measured respiratory exposure. This result suggests that the use of calibrated input parameters reduces the differences between predicted and measured respiratory exposure.

**Conclusions:** we developed applicable exposure estimating method by modifying the ECETOC TRA program; one suggested the development of exposure estimating program that explains Korea domestic workplace exposure scenario. This study will support the introduction of exposure scenario in MSDS system and protect health of worker from hazardous chemical.

**Key words :** REACH, Risk Assessment, Exposure Scenario, Exposure Estimation Tool, ECETOC TRA

## I. 서 론

유럽연합(European Union, EU)의 신(新) 화학물질 관리 제도인 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals)는 건강 및 환경보호와 유럽 내 화학 산업계의 경쟁력 향상과 혁신을 위한 목적으로 만들어졌지만 유럽 권역뿐만 아니라

이외의 전 세계 국가와 산업계 전체에 걸쳐 많은 영향을 미치고 있기 때문에 여러 측면에서 화학물질관리 제도의 주요 변화를 주도하고 있다고 할 수 있으며 그 파급효과 또한 상당하다(지식경제부, 2010). 즉 REACH 규제와 더불어 각국에서는 자국의 화학물질관리 제도를 보완하여 해당 국가의 실정에 맞는 유사 REACH의 도입을 추진하고 있으며, 우리나라

\*Corresponding author: Jong Han Lee, 대전광역시 유성구 엑스포로 339번길 30, Tel: 042-869-0311,  
Fax: 042-863-8361, E-mail: ljhc5798@kosha.net, Received: 2012. 4. 24., Revised: 2012. 8. 17., Accepted: 2012. 8. 18.

에서도 환경부 등에서 한국형 REACH인 「화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률」을 입법예고(환경부, 2011)하고 제정을 추진하고 있다.

REACH는 신규화학물질뿐만 아니라 기존화학물질에 대해서도 등록, 평가, 허가를 요구하고 있다. 특히 10톤 이상의 화학물질에 대해서는 노출시나리오가 포함된 화학물질안전성보고서(Chemical Safety Report, CSR)를 작성하고 하위사용자에게 제공하는 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)의 부속서로 첨부하도록 하고 있다(김상헌 등, 2009). 노출시나리오를 작성하기 위해서는 고도의 전문성이 필요하지만 화학물질로부터 근로자 보호에 크게 기여할 것으로 보인다. 따라서 향후 고용노동부의 산업안전보건법에 의해 시행되고 있는 MSDS 제도에서도 노출시나리오가 추가로 요구될 것으로 예측되는 등 화학물질 관련 규제는 매우 빠른 속도로 변화하고 있어 이에 대한 대응이 필요하다. 이와 같이 국내·외적으로 화학물질관리를 위한 노출시나리오의 필요성이 부각되고 있음에도 불구하고 국내에서는 현재까지도 노출시나리오에 대한 개념이 확립되어 있지 않으며, 노출량 산정을 위한 독자적인 기법이 없이 일부 전문가들이 한정적으로 EU의 REACH에 대응하기 위해 외국에서 개발된 ECETOC TRA(European Center for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals Target Risk Assessment) 등의 노출량 산정 프로그램을 활용하여 노출평가를 수행하고 노출시나리오를 작성하고 있는 실정이다(이종한 등, 2010). 따라서 국내 화학 산업계는 유럽연합의 REACH 등에 적절히 대응하지 못할 뿐만 아니라 향후 고용노동부 등 국내에서 노출시나리오 제도 도입에 대한 필요성이 인정되더라도 기술적인 제한으로 인하여 제도 도입이 지연될 가능성도 있다.

노출시나리오의 작성 과정에서 노출량 산정 및 노출기준 설정 기법이 가장 기술적으로 know-how를 필요로 하는 부분으로 인정되고 있으나 실제 산업현장에서 적용하고자 할 경우 적지 않은 혼선이 발생할 것으로 예상된다. 노출시나리오 작성을 위한 노출량 산정 과정에서 주로 사용되고 있는 외국의 노출량 산정 프로그램들은 각각의 통계적 기법이 다르기 때문에 작성 로직 및 결과물도 달라질 수 있을 뿐만 아니라 국내 실태를 전혀 반영하지 못하므로 향후 국내에서 적용 가능한 노출평가 기법의 타당성과

프로그램 개발의 가능성에 대한 기초 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 외국의 대표적 노출평가도구인 ECETOC TRA 프로그램에 적용하는 입력변수들에 대하여 국내 산업현장의 실정을 고려하지 않은 상태 그대로 적용하여도 노출 예측값 산정이 적정한지의 여부를 파악하기 위해 국내 산업현장의 화학물질 취급 작업자에 대한 작업환경측정과 운전조건 조사 등의 모의실험을 실시하였다. 또한 ECETOC TRA를 통해 얻어지는 노출량 산정 예측값과 작업환경측정을 통해 얻어진 실측값을 비교하여 평가결과에 편차를 발생시키는 요인을 찾아 해당 입력변수에 대한 보정값을 제시하였으며, 추가적으로 향후 연구가 필요한 분야를 발굴하여 국내 산업현장 실정에 맞는 근로자 중심의 노출시나리오(한국형 노출시나리오) 작성을 위한 노출평가도구 프로그램 개발의 기초자료를 제공하기 위하여 실시되었다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. ECETOC TRA의 노출 예측값과 작업환경측정 결과값의 비교를 위한 모의실험

2008년 유럽화학물질청(European Chemical Agency, ECHA)에서 발표한 화학물질안전성평가 지침서에서 공식적으로 추천하고 있는 ECETOC TRA 프로그램의 국내 산업현장 적용의 적합성을 평가하기 위해 화학물질을 취급하는 11개 사업장 15개 공정의 작업자를 대상으로 고용노동부고시 제2011-55호(작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시)에 따라 작업환경측정을 실시하였으며, 8시간 시간가중 평균농도 노출기준(Time Weighted Average, TWA)으로 환산하였다. 작업환경측정 대상은 TCE 취급사업장 1개소(세척작업), IPA 취급사업장 2개소(혼합작업 및 실험), 톨루엔 취급사업장 3개소(옥내·외 도장 및 보수작업), TDI 취급사업장 1개소(타발 및 접착작업), 납 취급사업장 3개소(용해, 디핑, 배합, 도포작업), 산화철 취급사업장 1개소(혼합작업) 등 6 종류의 화학물질로 하였다. ECETOC TRA의 노출량 예측값이 해당 작업자에 대한 노출을 과소 또는 과대 평가하고 있는지 여부를 파악하기 위한 방법으로는 작업환경 측정 시에 조사된 입력변수들을 ECETOC TRA 프로그램에 적용하여 모의실험을 수행하였으

**Table 1.** Input parameters of chemical substance for predicting worker exposures

Substance Name	Input parameters					
	TCE	IPA	Toluene	TDI	Pb	Oxidized Iron
CAS Number	79-01-6	67-63-0	108-88-3	584-84-9	7439-92-1	1309-37-1
Molecular Weight	131.4	60.1	92.1	174.16	207.2	159.7
Indicative Reference Value(Inhalation) mg/m <sup>3</sup>	270	480	188	0.04	0.05	5
Basis of the Inhalation Indicative Reference Value	OEL	OEL	OEL	OEL	OEL	OEL
Solid	No	No	No	No	Yes	Yes
Dustiness	-	-	-	-	High / Medium	Low
Volatility(Pa)	7,800	4,200	3,800	10.67	-	-

**Table 2.** Categories of dustiness of solid materials

General description	Relative dustiness potential	Typical materials	TRA Values
Not dusty	1	Plastic granules <sup>a</sup> , pelleted fertilizers	Low
Slightly dusty	10 - 100 times dustier	Dry garden peat, sugar, salt	
Dusty	100 - 1,000 times dustier	Talc, graphite	Medium
Very/extremely dusty	1,000 - 10,000 times dustier	Cement dust, milled powders, plaster flour lyophilised powders,(process fumes <sup>b</sup> )	High

<sup>a</sup> Exposures to materials where a substance is contained and bound in a matrix(e.g. pigment within a plastic, filler within paint) should also be included in this category. Although the real exposure is actually determined by a combination of physical form and the bioavailability of the substance within the matrix, because the bioavailability is very low under such circumstances, then this will result in a low exposure potential.

<sup>b</sup> Process fumes (e.g. rubber, welding, soldering) behave like gases and would be considered within this category if exposure to such complex mixtures are considered in any risk assessment.

며, 흡입노출에 대한 노출량 예측값을 작업환경측정 값인 TWA와 비교하였다.

## 2. 국내 산업현장 실정을 반영한 입력변수의 보정 및 노출량 산정

ECETOC TRA 프로그램으로 산정한 노출 예측값이 현장에서의 작업환경측정 실측값보다도 적게 계산되는 과소평가 여부를 판단하여 ECETOC TRA의 본래 목적인 1단계 스크리닝 기능이 충실히 수행되고 있는지 여부와 과소평가에 영향을 주는 주요 요인인 국소배기장치 효율, 작업시간, 체중 등 노출 예측값을 결정하는 입력변수에 대한 가중치 적용의 적절성 등을 검토하였다. 국내 산업현장의 작업 실태를 반영하여 보정한 가중치를 설정한 후 ECETOC TRA로 다시 모의실험을 수행해서 얻은 예측값과 작업환경 실측값을 비교하여 입력변수 보정 후의 노출 평가 과소여부를 확인하였다.

## III. 결 과

### 1. ECETOC TRA를 활용한 노출량 산정 모의실험 및 국내 적용상의 문제점

#### 1) ECETOC TRA의 노출 예측값과 작업환경측정 실측값의 비교를 위한 모의실험

모의실험을 수행한 화학물질인 TCE, IPA, 톨루엔, TDI, 납, 산화철에 대한 Input Parameter는 Table 1과 같이 정리하였으며, 분진의 발생 정도 평가는 ECETOC TRA의 기술보고서(ECHA, 2010)에서 적용하고 있는 범주(Table 2)를 참조하여 납의 경우 작업 형태에 따라 디핑 작업 시 발생하는 흡은 분진정도가 높음으로, 배터리 충전제로 사용되는 파우더는 분진정도를 중간으로 평가하였다.

각각의 현장에서 TCE, IPA, 톨루엔, TDI, 납, 산화철을 취급하는 작업과 관련된 운전조건 입력 정보는 Table 3과 같다.

**Table 3.** Input information for working condition of company using chemicals

Company name	Substance name	Process	Use	outdoor/ indoor	Ventilation	Working hour	Respiratory protection & Efficiency	Mixture	Content in Mixture
A	TCE	Wash	Industrial Using	indoor	Yes	> 4hours	No	No	100%
	IPA	Mix	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	Yes	5~25%
B	Oxidized Iron	Mix	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	No	100%
C	IPA	Laboratory	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	Yes	> 25%
D	Toluene	Paint	Expert Using	indoor	No	> 4hours	No	Yes	> 25%
E	Toluene	Repair	Expert Using	outdoor	Yes	> 4hours	No	Yes	5~25%
F	Toluene	Paint	Industrial Using	outdoor	Yes	1~4hours	No	Yes	> 25%
G	TDI	Punch	Expert Using	indoor	No	> 4hours	No	Yes	1~5%
	TDI	Adhesive	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	Yes	1~5%
H	Pb	Dissolve	Industrial Using	indoor	Yes	> 4hours	Yes & >90%	No	100%
I	Pb	Dipping	Industrial Using	indoor	Yes	15minutes~1hour	Yes & >90%	No	100%
J	Pb	Mix	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	No	100%
	Pb	Press	Industrial Using	indoor	Yes	> 4hours	Yes & >90%	No	100%
K	Pb	Mix	Industrial Using	indoor	Yes	1~4hours	Yes & >90%	No	100%
	Pb	Paint	Industrial Using	indoor	Yes	> 4hours	Yes & >90%	No	100%

**Table 4.** Predicted respiratory exposure as a result of simulation

Company name/ Substance name	Process Category	Predicted respiratory exposure (ppm)	Predicted respiratory exposure (mg/m <sup>3</sup> )	Risk Characterisation -respiratory Margin of Exposure*
A/TCE-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	50.0000	273.7500	1.0139
B/IPA-1	4-Use in batch and other process(synthesis) where opportunity for exposure arises	0.0360	0.0902	0.0002
B/Oxidized Iron-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	-	0.0015	0.0003
C/IPA-1	9-Transfer of chemicals into small containers (dedicated filling line)	3.0000	7.5125	0.0157
D/Toluene-1	11-Non industrial spraying	25.0000	95.9375	0.5103
E/Toluene-1	10-Roller application or brushing	2.1000	8.0588	0.0429
F/Toluene-1	7-Industrial spraying	105.0000	402.9375	2.1433
G/TDI-1	11-Non industrial spraying	20.0000	145.1333	3628.3333
G/TDI-2	10-Roller application or brushing	0.1200	0.8708	21.7700
H/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- High Fugacity	-	0.0250	0.0500
I/Pb-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	-	0.1000	0.2000
J/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- High Fugacity	-	0.0050	0.6000
J/Pb-2	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	-	0.0025	0.1000
K/Pb-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	-	0.0025	0.0500
K/Pb-2	7-Industrial spraying	-	0.0500	0.0500

\* value &gt; 1 : underestimation, value &lt; 1 : overestimation

모의실험 실시 결과 산정된 흡입노출평가 예측값은 Table 4와 같다. 최종 결과인 위해도 결정 부분을 보면 TCE\_A 등 4개 공정에서 위해도가 1 이상인 것으로 나타났다. 이는 해당 작업공정에 대해서는 위

해도 저감대책(Risk Management Measures, 이하 'RMM'이라 함)이 필요함을 뜻한다.

모의실험을 통해 얻어진 근로자에 대한 흡입노출 예측값은 호흡용 보호구의 효율을 반영해서 계산된

**Table 5.** Comparison of predicted and measured exposure excluded respiratory protection efficiency

Company name/ Substance name	Process Category	Predicted respiratory exposure (mg/m <sup>3</sup> )	Predicted respiratory exposure excluded respiratory protection efficiency (mg/m <sup>3</sup> )	Measured respiratory exposure (mg/m <sup>3</sup> )	Comparison of measured and predicted respiratory exposure* (measured/predicted)
A/TCE-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	273.7500	273.7500	236.1707	0.8627
B/IPA-1	4-Use in batch and other process(synthesis) where opportunity for exposure arises	0.0902	1.8030	0.0397	0.0220
B/Oxidized Iron-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0015	0.0300	0.0397	1.3233
C/IPA-1	9-Transfer of chemicals into small containers (dedicated filling line)	7.5125	7.5125	26.6677	3.5498
D/Toluene-1	11-Non industrial spraying	95.9375	1918.7500	7.4772	0.0039
E/Toluene-1	10-Roller application or brushing	8.0588	161.1750	0.1657	0.0010
F/Toluene-1	7-Industrial spraying	402.9375	402.9375	5.2699	0.0131
G/TDI-1	11-Non industrial spraying	145.1333	145.1333	0.0005	0.0000
G/TDI-2	10-Roller application or brushing	0.8708	0.8708	0.0000	0.0000
H/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- HighFugacity	0.0250	0.5000	0.1864	0.3729
I/Pb-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000
J/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- HighFugacity	0.0050	0.0050	0.0110	2.2000
J/Pb-2	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0025	0.0250	0.0310	1.2400
K/Pb-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0025	0.0500	0.0164	0.3280
K/Pb-2	7-Industrial spraying	0.0500	1.0000	0.0196	0.0196

\* value > 1 : underestimation, value < 1 : overestimation

값이므로 흡입노출 예측값 중에서 호흡용 보호구의 효율을 제외시킨 노출 예측값과 작업환경측정 실측값을 비교하였으며, 그 결과는 **Table 5**와 같다. 전체 대상 공정 15개 중 4개 공정에서의 실측값이 ECETOCTRA 프로그램을 이용하여 산정한 노출 예측값에 비해 최대 약 3.5배까지 과소평가 되었고, 11개 공정에서는 과대평가 되었다.

## 2) ECETOC TRA 노출량 산정방법의 국내 적용상의 문제점

### (1) 입력변수의 보정 필요

ECETOC TRA 프로그램의 노출량 산정에 필요한 입력변수 값 중 국소배기장치 효율, 작업시간에 따른 노출가중치, 호흡기 보호 부분에서 국내 산업현장의 실정과는 차이점이 있어 그대로 적용하여 예측값 산정 시 편차 발생에 따른 과소평가의 요인이 되고 있다.

### (2) 서양인 기준의 지표 적용

ECETOC TRA에서 반영하는 bw(body weight)는 70 kg으로 서양인 기준을 적용한 반면 한국인의 평균체중인 62.8 kg(아주대학교 예방의학교실, 2007)과는 맞지 않아 노출 예측값 산정에서 편차가 발생한다.

### (3) 지표 참조값 계산의 어려움

노출기준이 설정되어 있는 물질의 경우는 그대로 노출기준과 비교하여 노출량 평가를 하면 되지만 노출기준이 설정되어 있지 않은 물질의 경우에는 노출무영향수준(Derived No-Effect Level, 이하 'DNEL'이라 함)값, 무관찰영향수준(No Observed Adverse Effect Levels, 이하 'NO(A)EL'이라 함)값 등을 계산하여 입력하여야 하므로, 일반 사업장에서 업무관계자가 NO(A)EL 값, 평가인자(AF; Assessment Factor)값 등을 찾아서 계산을 통해 DNEL값을 입력하기에는 많

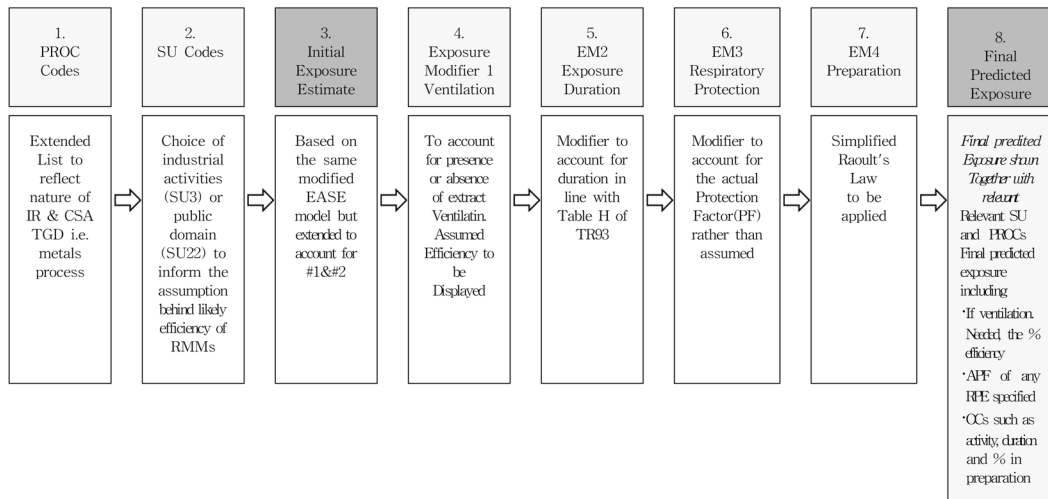


Fig. 1. Structure for predicting worker exposures based on simulation.

은 어려움이 있다.

## 2. 국내 산업현장 적용을 위한 ECETOC TRA의 입력변수의 보정 및 노출량 산정 기법

### 1) 국내 적용을 위한 ECETOC TRA의 입력구조 및 단계별 노출량 산정 기법

국내 산업현장에 적용 가능한 노출량 산정 기법의 프로그램 구성은 ECETOC TRA와 동일하게 하였으나 입력변수는 한국인 특성을 반영하여 Fig. 1과 같은 구조로 보정하였다.

ECETOC TRA의 입력구조에 의한 단계별 노출량 산정 기법은 다음의 8단계의 방법으로 보정된 값을 적용하여 산정하였다.

#### ① 1 단계 : PROC(Process Category) Code

노출량 산정 기법 1단계인 PROC Code를 선택하는 부분에 있어서는 현재로서는 ECETOC TRA에서와 같이 REACH의 공정 분류기준에 따른 PROC Code 1~25c를 동일하게 적용할 수밖에 없다. 즉, 국내 산업현장의 실정에 맞는 PROC Code를 선택하려면 국내 작업장의 공정 분류기준에 따른 각 공정별 노출 예측값 등에 대한 연구가 추가로 선행되어야 하기 때문이다.

#### ② 2 단계 : SU(Sector of Use) Code

노출량 산정 기법 1단계에서와 같은 이유로 ECETOC TRA 프로그램과 동일하게 산업적 용도(SU Code 3) 인지 공공 분야의 전문적 사용(SU Code 22)인지를 선택하도록 하였다. 이는 RMM의 효용성을 높이고

초기 노출 예상값 및 국소배기장치 효율 등을 결정할 때 영향을 준다.

#### ③ 3 단계 : 초기 노출 평가

초기 노출 평가는 ECETOC TRA를 기본으로 하여 1단계의 PROC와 2단계인 SU에 따라서 노출값을 결정하지만 국소배기장치 효율은 국내 산업현장의 실정에 맞게 보정하여야만 하며, 휘산도 결정 기준은 ECETOC TRA 프로그램과 동일하게 설정하였다.

#### ④ 4 단계 : 입력변수 1 국소배기장치 효율

ECETOC TRA에서는 국소배기장치의 효율을 80~98%로 높게 책정해 놓았으나 국내 산업현장의 경우 기존 송풍기 효율에 관한 조사 결과에 따르면 송풍기 정격 유량 대비 측정 유량이 평균 62.6%(김태형 등, 2006) 국내 실정에서는 국소배기장치의 효율이 많이 미흡하므로 여유율을 고려하여 ECETOC TRA 설정값의 50%로 보정하였다.

#### ⑤ 5 단계 : 입력변수 2 작업시간

국내 산업현장의 경우 외국에 비해 1일 정규근로 시간인 8시간 이상 근무하는 경우가 많으므로 이 경우를 추가하여 가중치를 Table 6과 같이 보정하였다.

#### ⑥ 6 단계 : 입력변수 3 호흡기 보호

ECETOC TRA 프로그램에서의 호흡용 보호구 효율은 2 종류(90% 효율, 95% 효율) 밖에 선택이 되지 않으나, 실제 국내 산업현장에서 사용되고 있는 보호구의 효율은 다양하므로 종류를 구분하지 않고 각각의 효율에 따라 그 역치를 가중치로 부여하였다(예 : 85% 효율 → 0.15). 향후 보호구 효율에 관한 추

**Table 6.** Factors applied to duration of activity.

Duration of activity	Exposure modifying factor
> 8 hours	1.5
4~8 hours	1
1~4 hours	0.6
15 minutes ~ 1 hour	0.2
< 15 minutes	0.1

가 연구를 통해 보호구 종류에 따른 효율을 결정하여 보정하는 것도 필요하다.

⑦ 7 단계 : 입력변수 4 혼합물

노출평가 대상 물질이 혼합물인 경우, 함유량에 따른 가중치는 ECETOC TRA 프로그램과 동일하게 부여하였다.

⑧ 8 단계 : 최종 노출 예측

최종 노출 예측은 ECETOC TRA에서와 마찬가지로 최초 노출 예측값에 입력변수의 보정치를 적용하여 계산하게 되지만 서양인의 경우 평균체중을 70 kg으

로 적용하도록 설정한데 반하여 한국인 평균 체중은 한국 노출계수 핸드북에서 제시하고 있는 62.8 kg으로 보정하였다.

가중치가 곱해진 노출 예상값을 최초에 입력한 OEL 값(Occupational Exposure Limits) 등의 참조치와 비교하여 노출안전역(MOE; Margin of Exposure)을 계산하고 최종 노출 예측을 하였다.

**2) ECETOC TRA의 노출 예측값과 작업환경측정 실측값의 비교 결과**

국내 산업현장의 실정을 반영한 입력변수로 보정한 후에 ECETOC TRA 프로그램을 이용해서 모의실험을 한 노출예측값과 작업환경측정을 통해 얻어진 실측값을 비교한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7의 결과에서 보면, 보정된 입력변수를 적용하였음에도 전체 대상공정 15개 중 2개 공정에서는

**Table 7.** Comparison of predicted and measured exposure

Company name/ Substance name	Process Category	Predicted respiratory exposure (mg/m <sup>3</sup> )	Predicted respiratory exposure excluded respiratory protection efficiency (mg/m <sup>3</sup> )	Measured respiratory exposure (mg/m <sup>3</sup> )	Comparison of measured and predicted respiratory exposure* (measured/predicted)
A/TCE-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	273.7500	273.7500	236.1707	0.8627
B/IPA-1	4-Use in batch and other process (synthesis) where opportunity for exposure arises	0.1803	3.6060	0.0397	0.0110
B/Oxidized Iron-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0030	0.0600	0.0397	0.6617
C/IPA-1	9-Transfer of chemicals into small containers (dedicated filling line)	15.0250	15.0250	26.6677	1.7749
D/Toluene-1	11-Non industrial spraying	95.9375	1918.7500	7.4772	0.0039
E/Toluene-1	10-Roller application or brushing	16.1175	322.3500	0.1657	0.0005
F/Toluene-1	7-Industrial spraying	805.8750	805.8750	5.2699	0.0065
G/TDI-1	11-Non industrial spraying	145.1333	145.1333	0.0005	0.0000
G/TDI-2	10-Roller application or brushing	1.7416	1.7416	0.0000	0.0000
H/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- High Fugacity	0.0500	1.0000	0.1864	0.1864
I/Pb-1	13-Treatment of articles by dipping and pouring	0.2000	0.2000	0.0000	0.0000
J/Pb-1	25c-Hot work operations with metals -pt>mp- High Fugacity	0.0100	0.0100	0.0110	1.1000
J/Pb-2	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0050	0.0500	0.0310	0.6200
K/Pb-1	5-Mixing or blending in batch processes (multistage and/or significant contact)	0.0050	0.1000	0.0164	0.1640
K/Pb-2	7-Industrial spraying	0.1000	2.0000	0.0196	0.0098

\* value > 1 : underestimation, value < 1 : overestimation

여전히 예측값이 실측값에 비해 과소평가 되었고, 13개 공정에서는 목적대로 과대평가 되었다. 또한 예측값과 실측값의 비도 가장 과소 예측된 값이 실측값의 1.7배로써 두 값의 차이가 많이 줄어들었지만 이는 국내 산업현장의 작업 공정을 ECETOC TRA 프로그램에서 사용하는 PROC Code에 그대로 적용하는데서 나타나는 요인으로 판단된다.

## IV. 고 찰

EU의 REACH 규제 시행의 가속화와 더불어 화학물질에 대한 노출평가의 중요성이 증대되고 있으며, 노출평가 결과를 근거로 한 MSDS의 작성 및 부속서로서 노출시나리오의 첨부이 요구되고 있다(CEFIC, 2005). 근로자에 대한 화학물질 정보전달의 목적으로 국내에서 시행되고 있는 MSDS 제도에서도 화학물질의 위해성·위험성 평가 결과를 근거로 한 노출평가 및 노출시나리오의 작성이 현안적인 과제로 부각되고 있다(이종한 등, 2011). 따라서 현재 산업안전보건법에서 관리되고 있는 MSDS 제도에서도 EU REACH에 의한 노출시나리오의 MSDS 부록서 첨부 등의 도입 및 시행이 불가피할 것으로 예측된다.

국내·외적으로 화학물질 관리를 위한 노출시나리오의 필요성이 부각됨에 따라 국내 산업현장에서 보다 편리하게 사용할 수 있는 노출평가도구의 개발이 요구되지만 아직까지는 특별한 대안 없이 주로 외국에서 개발된 노출평가도구를 이용하고 있기 때문에 이에 대한 국내 사업장 적용의 적합성 여부 평가와 입력변수들에 대한 적정성 검토가 필요하다.

현재 외국에서 개발된 노출평가도구로는 ECETOC TRA, Stoffenmanager, RISKOFDERM, ConsExpo, EUSES와 CHASAR 등이 있으나 노출시나리오 작성을 위한 노출량 산정 기법 개발에 관한 연구(이종한 등, 2010)에서 이들에 대한 특성을 비교한 결과 화학물질 취급 근로자의 주요 노출 경로인 흡입 노출량 산정에 대해 비교적 쉽게 수행할 수 있으며, 2008년 유럽화학물질청(European Chemical Agency, ECHA)에서 화학물질 안전성평가 지침서 작성 시 공식적으로 활용하도록 권장하고 있는 ECETOC TRA 프로그램을 사용하였다.

ECETOC TRA 프로그램은 ECETOC에서 개발한

위해도 평가도구로서 가장 큰 장점으로 꼽히는 것은 정보입력에 따른 노출산정 과정이 투명하여 사용자가 직관적으로 결과를 확인하고 필요한 조치를 취할 수 있다는 점이다(최은경 등, 2011). 이와 같은 이유로 본 연구에서는 ECETOC TRA 프로그램의 입력변수 및 노출량 결정 인자들에 대하여 국내 산업현장의 화학물질 취급 근로자에 대한 노출량 산정 및 평가 관련 모의실험을 수행하였다. 그 결과, 외국 사업장 실태를 반영한 국소배기장치 효율 등의 입력변수와 서양인 기준의 지표표를 적용하는데서 오는 편차 발생 등의 이유로 국내에 그대로 적용하기에는 어려움이 따른다. 이를 보완하기 위해서는 노출량 산정에 영향을 미칠 수 있는 다양한 변수들에 대하여 지속적인 연구를 통해 국내 실정에 적합한 지표표를 개발해서 노출시나리오 작성 프로그램에 삽입하면 정확성과 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 다만, 노출량 산정을 위한 입력변수가 더욱 많아지게 되면 복잡성도 증가하게 되어 일반 사업장에서 사용하는데 어려움을 줄 수 있으므로 꼭 필요한 입력변수들만을 관련 개발하여 사용하여야 할 것이다. 또한 ECETOC TRA 프로그램 운용에서 사용되는 개념인 산업용과 전문가용의 구분 및 REACH의 공정 분류 방법인 PROC Code에 대한 구분이 국내의 일반 사업장에서 객관적으로 결정하기 어려운 부분이 있으므로 국내 실정에 맞는 분류와 그에 따른 노출값에 대한 지속적인 연구를 통해 국내의 실태를 반영해야 할 것이다.

우선적으로 ECETOC TRA 프로그램에 의한 예측값과 작업환경측정 결과에 따른 실측값의 차이를 발생하게 하는 입력변수에 대한 추가 연구를 통해 국내 사업장에서의 적용이 적합하도록 노출량 산정 및 평가가 가능한 프로그램을 개발·보급하여야 할 것이다. 이를 위해서는 사업장에서 DNEL값 등의 지표 참조값을 쉽게 구할 수 있도록 별도의 DB구축 내지는 표준 노출시나리오, 노출 설명 자료집, RMM 등의 구축을 위한 프로그램 개발 등도 수행되어야 할 것이다(이종한 등, 2007).

본 연구결과가 새로운 화학물질 정보전달 수단인 노출시나리오 제도의 국내 도입 시 필요한 새로운 노출평가도구 프로그램 개발 등 화학물질 정보제공 체계 개선의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.



## V. 결 론

국내·외적인 화학물질 규제 정책에 대응하고자 선진 외국에서 개발되어 사용 중인 노출평가도구 중에서 ECETOC TRA를 선택, 국내 산업현장에서의 적용가능 여부를 파악하기 위해 국내 사업장에서 화학물질 취급 작업자에 대한 모의실험을 실시하고 문제점을 보완하여 근로자 중심의 한국형 노출시나리오 작성을 위한 노출량 산정 기법을 제시함으로써 향후 새로운 화학물질 정보전달 도구로서의 노출시나리오를 국내에 시행하기 위해 필요한 자료를 제공하기 위해 실시한 본 연구결과는 다음과 같다.

1) ECETOC TRA에 사용되는 입력변수를 국내 실정대로 보정하지 않고 산정한 노출 예측값과 현장에서 측정된 작업환경측정 결과값을 비교 평가한 결과 일부 공정에서의 노출 예측값이 실제 측정값에 비해서 14.2%정도로 나타나는 등 과소평가되는 경향이 있어 ECETOC TRA의 본래 목적인 1단계 스크리닝 기능을 충실히 수행하지 못하는 것으로 나타났다.

2) 과소평가의 주요인으로는 노출예측값을 결정하는 주요 입력변수의 가중치가 국내 산업현장의 실정과 맞지 않아서 발생하는 것으로 판단되었고 특히, 국소배기장치 효율과 작업시간에 따른 노출 가중치 및 작업자의 체중과 호흡보호구의 효율 등이 국내의 현실과 차이가 있어 ECETOC TRA 프로그램 그대로를 국내에 적용하기에는 한계가 있었다.

3) 개선방안으로는 국소배기장치 효율을 ECETOC TRA에서 적용하는 입력변수의 50%로 보정하였고, 국내 산업현장 실정을 반영하여 초과근무시간에 대한 가중치를 8시간 이상인 경우 1.5로추가하였다. 호흡용 보호구에 대한 입력변수는 사용 중인 보호구의 효율에 따라 그 역치를 가중치로 부여 하였으며 작업자의 평균체중은 서양인 기준인 70 kg에서 한국 노출계수 핸드북에서 제시하는 한국인 평균인 62.8 kg으로 보정하였다.

4) 보정된 입력변수를 적용하여 다시 모의실험을 실시한 결과 실측값과 예측값 사이의 오차가 상당부분 줄어들었으며, 전체 15개 공정 중에서 13개 공정은 과대평가로 산정되었고 2개 공정에서 있어서는 여전히 과소평가로 나타났다. 이는 국내 산업현장의 작업공정을 ECETOC TRA에서 사용하는 PROC Code

를 그대로 적용한데서 편차가 발생되었기 때문으로 판단되며, 이를 보완하기 위해서는 국내 산업현장의 작업형태를 ECETOC TRA의 PROC에 적합하게 분류하는 것에 대한 추가 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- 고용노동부. 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2011-55호). 2011
- 김상현, 김준원. 노출시나리오 작성과 검토. KIST Europe. 2009
- 김태형, 김정만, 원정일, 하현철. 유해화학물질 사용 중·소규모 사업장 산업환기 실태조사 및 개선에 관한 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 2006년 연구결과보고서. 2006
- 아주대학교 예방의학교실. 한국 노출계수 핸드북. 2007
- 이종한, 한규남, 이권섭. 한국형 노출시나리오의 제도화 및 사업장 적용방안 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 2011
- 이종한, 한규남, 조지훈. 노출시나리오 작성을 위한 노출량 산정 기법 개발에 관한 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 2010
- 이종한, 이권섭, 이진수 등. 노출시나리오 제도 도입 및 서비스 방안에 관한 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 2007
- 지식경제부. REACH 해설집. 국제환경규제기업지원센터. 2010
- 최은경, 김준원, 김상현 등. 유럽 신화학물질관리제도의 eSDS에 첨부되는 노출시나리오 작성법 개발 동향. 청정기술 제17권 제4호. 2011년 12월
- 환경부. 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률 입법예고. 2011
- CEFIC. Safety Data Sheets requirements under REACH, Contract Number 22551-2004-12 FISC ISP BE. 2005
- ECETOC TRA [cited 2012 April]. Available from: URL:<http://www.ecetoc-tra.org/public/login/index.asp>
- ECHA, Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.14: Occupational exposure estimation. 2010
- EUSES [cited 2012 April]. Available from: URL:<http://eusesconsortium.org/>
- Stoffenmanager 4.5 [cited 2013 April]. Available from: URL:<http://www.stoffenmanager.nl/>