



## 국내외 소비자 제품 노출평가모형을 이용한 노출량 비교

강소현<sup>1</sup> , 임미영<sup>2</sup> , 이기영<sup>1,2\*</sup> <sup>1</sup>서울대학교 보건대학원 환경보건학과, <sup>2</sup>서울대학교 보건환경연구소

## Comparison of Exposure Estimates Using Consumer Exposure Assessment Models and the Korean Exposure Algorithm

Sohyun Kang<sup>1</sup>, Miyoung Lim<sup>2</sup>, and Kiyoung Lee<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University, <sup>2</sup>Institute of Health and Environment, Seoul National University

## ABSTRACT

**Background:** Exposure assessment is an important part of risk assessment for consumer products. Exposure models are used when estimating consumer exposures by considering exposure routes, subjects, and circumstances. These models differ based on their tiers, types, and target populations. Consequently, exposure estimates may vary between models.

**Objectives:** This study aimed to compare the results of different exposure models using identical exposure factors.

**Methods:** Chemical exposure from consumer products was calculated using four consumer exposure assessment models: Targeted Risk Assessment 3.1, Consumer Exposure Model 2.1 (CEM), ConsExpo web 1.1.1, and the Korean Exposure Algorithm (primary and detailed) issued by the Ministry of Environment, No. 972 (MOE). The same exposure factors were used in each model to calculate inhalation and dermal exposures to acetaldehyde, d-limonene, and naphthalene in all-purpose cleaners, leather coating sprays, and sealants.

**Results:** In the results, TRA provided the highest estimate. Generally, MOE (detailed), CEM and ConsExpo showed lower exposures. The inhalation exposure for leather coating spray showed the largest differences between models, with differences reaching up to  $1.2 \times 10^7$  times. Since identical inputs were used for the calculations, it is likely that the models significantly influenced the estimated results.

**Conclusions:** Despite using the same exposure factors to calculate dermal and inhalation exposures, the results varied substantially based on the model's exposure algorithm. Therefore, selecting an exposure model for assessing consumer products should be done with careful consideration.

**Key words:** Exposure model, consumer product, inhalation exposure, dermal exposure, exposure assessment

Received February 7, 2024

Revised February 19, 2024

Accepted February 22, 2024

## Highlights:

- Despite using identical input to calculations, the results varied with exposure models.
- TRA provided the highest exposure estimate.
- MOE (detailed), CEM, and ConsExpo generally showed lower exposures.
- Inhalation exposure for leather coating spray varied significantly across models.

## \*Corresponding author:

Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

Tel: +82-2-880-2735

Fax: +82-2-762-2888

E-mail: cleanair@snu.ac.kr

## I. 서 론

소비자 제품의 노출평가 영역에서는 제품별 알고리즘과 입력계수를 이용하여 노출량을 간접적으로 추정하는 데에 '노출평가모형'이 활용된다. 노출평가모형은 단계(tier), 대상인구, 추정 방법 등에 따라 다양하며, 평가목적에 따라 다른 특징을 갖

는다.<sup>1,2)</sup> 노출평가 결과는 위해도 결정의 근거가 되지만, 다양한 국가 및 연구자간 서로 다른 노출평가모형을 사용하며, 노출량 추정을 위한 입력계수의 수준 역시 다양하기 때문에 결과 값이 크게 차이를 보일 수 있다.

세계적으로 소비자 제품의 노출량 추정에 사용하는 모형은 단계(tier), 대상인구, 추정 방법 등에 따라 여러 모형이 있다.<sup>1)</sup>



한국 환경부에서는 “생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정(국립환경과학원 고시(제2022-85호) 9조 3항)”을 통해 노출 알고리즘을 제공하고 있으며 이를 통해 노출량을 산정한다.<sup>3)</sup> 각 알고리즘은 일정속도 휘발, 표면 휘발, 스프레이 분사, 즉각적 배출, 일정시간 분무 등의 흡입 경로, 총 사용량 접촉, 액상형 접촉, 반 고상형 접촉, 분사 중 접촉, 섬유를 통한 접촉 등의 경피 경로, 제품의 섭취 경로로 나누어져 알고리즘이 제공된다. 다시 각 경로는 보수적인 노출평가를 할 수 있는 초기 노출평가와 실제 제품 사용환경을 최대한 반영하여 설계된 상세 노출평가로 나누어져 사용자가 적절히 선택하여 평가가 이루어지게 된다.

미국 환경보호국(United States Environmental Protection Agency, EPA)에서 배포하는 Consumer Exposure Model (CEM)은 EPA 노출계수를 이용한 선택형 노출평가 도구로 개별 소프트웨어를 이용하여 노출량을 예측할 수 있는 모델이다.<sup>4)</sup> 먼저 노출 시나리오를 선택하도록 되어있으며 6가지의 흡입 노출 모델, 4가지의 경피 노출 모델, 5가지의 경구 노출 모델이 제공되며, 기본적으로 제품을 선택하여 모델을 자동으로 선택할 수 있고, 사용자가 변경할 수 있다. 입력변수는 화학물질 특성, 제품특성, 사용환경에 대한 변수, 수용자에 대한 노출계수, 활동 패턴 등을 입력할 수 있도록 되어있다.

유럽에서 사용하는 소비자 제품 노출평가모델 중 네덜란드 국립환경보건연구원(Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM)에서 개발한 ConsExpo는 유럽연합의 화학물질 등록 및 평가법(Registration Evaluation Authorization of Chemicals, EU REACH)에서 사용하도록 규정하며, 실내 소비자제품의 인체 노출을 추정, 평가하는 데에 사용한다.<sup>5)</sup> 모델은 증기를 통한 노출, 스프레이를 통한 노출, 고체물질에서의 방출을 통한 노출 등의 흡입 노출 경로, 제품에 직접 접촉하는 경피 노출 경로, 제품에 직접 접촉하여 노출되거나 포장재를 통해 전이되어 노출되는 경구 경로로 나뉘어 있다. 각각의 알고리즘은 개별 선택이 가능하나 팩트 시트를 이용하여 기본 설정을 이용할 수 있도록 되어있다.

유럽 생태독성 및 독성화학 센터(European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, ECETOC)에서 개발한 Targeted Risk Assessment (TRA) tool은 낮은 단계의 노출평가로 보수적인 추정을 하는 소비자 노출평가모델이다. 이 모델은 쉽고 간편하게 활용할 수 있도록 기본 변수들이 입력되어 있는 상태로 제공되며, 사용자에게 익숙한 EXCEL 프로그램을 기반으로 이루어져 있다. 사용하는 제품, 노출되는 화학물질, 사용자 정보만 필수적으로 입력하면 간단히 노출평가가 가능하며, 선택적으로 상세한 노출계수를 입력하여 더 상세한 노출평가를 할 수 있다.<sup>6)</sup>

Park 등<sup>7)</sup>은 스프레이 타입의 소비자 제품 사용 상황을 모사하여 에어로졸 방출을 추정하는 노출평가모델의 결과와

실측 결과를 비교하였다. 또 다른 문헌<sup>8)</sup>에서는 ConsExpo와 ConsExpo Nano 모델을 이용한 노출데이터와 실제 실험을 통해 얻은 데이터를 비교하였다. Lee 등<sup>9)</sup>은 작업환경에서 사용하는 세 가지 모델(ECETOC TRA 3.1, Stoffenmanager 7.0 및 ART 1.5)의 정확성, 정밀도 및 보수성을 비교평가 하였다. 그러나 스프레이 타입 외의 다양한 제형의 소비자 제품에 대한 환경부 노출 알고리즘 및 CEM, ConsExpo, TRA 노출평가모델의 노출량 추정 결과를 비교한 연구는 찾을 수 없었다. 이는 노출평가 연구에서 다양한 모델을 사용할 수 있지만, 이들 모델의 결과를 직접적으로 비교 분석한 연구가 제한적임을 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 노출평가모델을 이용하였을 때 노출량 계산 결과의 차이를 확인하기 위해 세 가지 생활화학제품에 대한 가상의 노출시나리오를 생성하고, 이를 이용하여 네 종류의 노출평가모델에 동일한 노출계수를 입력하여 노출평가를 실시하였다. 그리고 모델 별 결과의 차이를 비교, 고찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 노출평가 방법

각 모델의 노출 추정 값을 서로 비교하기 위해 임의의 노출 상황을 가정하여 동일한 노출계수를 입력하였다. 개별모델에서 요구되는 추가적인 변수의 경우 기본상태에서 변경하지 않았다. 노출량은 환경부 노출 알고리즘(초기평가, 상세평가)과 CEM 1.4, ConsExpo Web 1.1.1, TRA 1.3을 이용하여 추정하였다.

### 2. 노출평가 대상

#### 2.1. 연구 대상 제품

모델간 비교를 위해 환경부 노출 알고리즘과 세 가지 모델에서 전부 성인의 흡입, 경피 경로를 통한 노출평가가 가능한 제품을 대상으로 하고자 하였다. 세 모델에서 동시에 흡입, 경피 노출 알고리즘을 제공하는 제품이 다목적세정제, 가죽코팅스프레이, 틈새충전재, 향균스프레이, 주방용세제였고, 이 중 이전 연구<sup>10)</sup>에서 화학물질이 검출된 다목적세정제(액체), 가죽코팅스프레이(트리거), 틈새충전재(겔)를 선정하였다.

#### 2.2. 연구 대상 화학물질

노출평가를 위한 입력변수에는 노출되는 화학물질특성에 관련된 입력변수(제품질량비, 증기압, 옥탄올-물분배계수, 분자량)가 필요하다. 모든 모델, 제품을 가지고 노출평가를 할 때 동일한 입력변수를 입력하고자 세 연구 대상 생활화학제품에서 모두 이전 연구<sup>10)</sup>에서의 검출결과가 있는 세 가지 대상물질 아세트알데히드(acetaldehyde), d-리모넨(d-limonene), 나프탈렌

**Table 1.** Input values for exposure assessment by each chemical substance

Chemical	Acetaldehyde	D-limonene	Naphthalene
Vp (Pa)	120,256	192	11
Log Kow (-)	-0.34	4.38	3.3
Maximum concentration in the product (fraction)			
All-purpose cleaner	1.7×10 <sup>-6</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup>	4.5×10 <sup>-6</sup>
Leather finishing spray	3.8×10 <sup>-5</sup>	5.3×10 <sup>-6</sup>	1.0×10 <sup>-8</sup>
Sealant	4.5×10 <sup>-6</sup>	8.6×10 <sup>-8</sup>	5.4×10 <sup>-6</sup>

(naphthalene)을 선정하였다. Table 1에 대상 화학물질의 기존 분석 결과<sup>10)</sup> 및 노출 모델에서 사용되는 물리량<sup>11)</sup>을 요약하였다. 세 물질의 물리화학적 특성과 제품에서 분석결과의 최대 검출농도를 활용하여 노출량을 계산하였다.

2.3. 모델별 노출평가 알고리즘

제품 노출평가모델에 따른 노출 알고리즘 및 입력변수의 종류를 Table 2에 나타내었다. 환경부의 노출 알고리즘을 활용하여 노출평가를 할 때는 사용자의 판단을 통해 제품에 따라 시나리오를 선택하여 노출량을 계산하였으며, 국외 노출평가모델들은 개별 프로그램 내에 기본으로 설정되어 있는 제품별 시나리오를 이용하여 평가하였다.

2.3.1. 환경부 노출 알고리즘

환경부 노출 알고리즘에서는 다목적세정제의 경우 흡입 경로로는 표면 휘발 시나리오(초기, 상세), 경피 경로로는 총 사용량 접촉 시나리오(초기)와 액상형 접촉 시나리오(상세)를 이용하여 노출량을 추정하였다. 가죽코팅스프레이의 경우 흡입 경로로는 공기 중 분사 시나리오(초기, 상세), 경피 경로로는 총 사용량 접촉 시나리오(초기)와 분사 중 접촉 시나리오(상세)를 이용하여 평가하였다. 틈새충전제의 경우 흡입 경로로는 표면 휘발 시나리오(초기, 상세), 경피 경로로는 총 사용량 접촉 시나리오(초기)와 반 고상형 접촉 시나리오(상세)를 이용하여 노출량을 추정하였다.

2.3.2. CEM

CEM 모델은 다목적세정제와 틈새충전제가 ‘E1: Emission from Product applied to a Surface Indoors Incremental Source Model’, 가죽코팅스프레이가 ‘E3: Emission from Product Sprayed’로 서로 다른 알고리즘을 이용하여 대상물질의 공기중 농도를 계산하였다. 흡입 노출량 계산은 ‘P\_INH1: Calculation of Inhalation Dose from Product Usage’ 알고리즘을 이용했고, 경피 노출량 계산은 ‘P\_DER2a: Dermal Dose from Product Applied to Skin, Fraction Absorbed Model’을 이용했다.<sup>4)</sup>

2.3.3. ConsExpo

ConsExpo의 경우 팩트시트에서 각 제품을 선택하였을 때 제안하는 시나리오를 이용하여 노출량을 추정하였다. 다목적세정제와 틈새충전제는 ‘Exposure to vapor - Evaporation’, 가죽코팅스프레이는 ‘Exposure to spray - Instantaneous release’를 이용하여 공기중 농도를 계산, 흡입 노출량을 산출하였다. 경피 노출평가의 경우 다목적세정제는 ‘Direct product contact - Instant application’, 틈새충전제와 가죽코팅스프레이는 ‘Direct product contact - Constant rate’ 시나리오를 이용하였다.<sup>5)</sup>

2.3.4. TRA

TRA 모델은 모든 제품에 대한 노출 시나리오에서 동일한 알고리즘을 공유하며 사용자, 제품에 따라 노출계수를 조정하여 상황을 설명한다.<sup>6)</sup> 세 제품 모두 ‘Product Ingredient Fraction by Weight’, ‘Skin Contact Area’, ‘Amount Product used per Application’, ‘Dermal Transfer Factor’가 입력 가능한 노출계수였고, 가죽코팅스프레이는 스프레이 제품 시나리오가 선택되었다.

2.4. 노출평가에 이용한 입력변수 데이터

노출평가모델의 비교를 위해서 각 모델에 동일한 입력변수를 이용하였다. 제품 사용 패턴에 관련한 입력변수(사용빈도, 사용시간, 사용량) 등은 이전 연구<sup>10)</sup>에서 얻은 설문 조사 결과를 기반으로 공통으로 적용할 수 있는 입력변수를 활용하였다. 사용빈도, 사용시간, 사용량은 설문조사한 결과의 평균값을 이용하였다. 그리고 인구집단(체중, 호흡률, 피부표면적), 공간(사용장소, 공간 체적, 환기율) 등에 관한 입력계수는 한국인의 노출계수 핸드북(2019)<sup>12)</sup>을 참고하여 한국 성인의 평균값을 입력하였다. Table 3에는 선택된 입력변수의 값을 요약하였다.

각 노출모델의 실행을 위해 필요한 입력계수는 공통으로 사용하는 노출계수(Table 3) 외에 다음과 같았다.

환경부 노출 알고리즘에서 다목적세정제 노출평가를 할 때 제품의 부피는 제품의 밀도를 1 g/cm<sup>3</sup>로 가정하여 119.68 cm<sup>3</sup>을 사용하였다. 모든 화학 물질이 증기압이 10 Pa 이상, 분자량이 500 g/mol 이하이므로 공기중 방출비율 1, 피부 흡수율 1

Table 2. Algorithms used to exposure assessment in each model

Model	Exposure route	Algorithm	Parameter description	Product
MOE <sup>3)</sup>	Inhalation	Inhalation exposure: $D_{inh} = C_a \times IR \times t \times n / BW$	$D_{inh}$ =average daily inhalation dose (mg/kg-d), $C_a$ =ambient concentration (mg/m <sup>3</sup> ), $IR$ =inhalation rate (m <sup>3</sup> /h), $t$ =exposure time (h/event), $n$ =use frequency (event/day), $BW$ =body weight (kg)	
	Evaporation from a surface	Primary: $C_a = \frac{A_p \times W_f \times F}{V}$	$C_a$ =ambient concentration (mg/m <sup>3</sup> ), $A_p$ =use amount of product (mg), $W_f$ =weight fraction of subject (unitless), $F$ =fraction released to air (unitless), $V$ =volume of room (m <sup>3</sup> ), $N$ =air exchange rate (event/h), $t$ =exposure time (h/event)	All-purpose cleaner, sealant
	Detailed: $C_a = \frac{A_p \times W_f \times F}{V \times N} \times \frac{[1 - \exp(-N \times t)]}{t}$			
	Spray into the air	Primary: $C_a = \frac{A_p \times W_f}{V}$	$C_a$ =ambient concentration (mg/m <sup>3</sup> ), $A_p$ =use amount of product (mg), $W_f$ =weight fraction of subject (unitless), $F_{air}$ =airborne fraction (unitless), $V$ =volume of room (m <sup>3</sup> ), $N$ =air exchange rate (event/h), $h$ =height of room (m), $t$ =exposure time (h/event), $v_s$ =Stokes' terminal velocity (m/h), $g$ =gravitational acceleration (9.8 m/s <sup>2</sup> ), $\rho$ =mass density of particle (g/m <sup>3</sup> ), $d_p$ =radius of particle at the beginning (median) (7.7 μm), $\eta$ =viscosity of air (0.0181 g/m-s)	Leather finishing spray
	Detailed: $C_a = \frac{A_p \times W_f \times F_{air}}{V} \times e^{-(N+v_s/h) \times t}$ $v_s = g \rho d_p^2 / 18 \eta$			
Dermal	Dermal exposure: $D_{der} = L_d \times abs \times n / BW$		$D_{der}$ =average daily dermal dose (mg/kg-d), $L_d$ =dermal load (mg), $abs$ =absorption rate (unitless), $n$ =use frequency (event/day), $BW$ =body weight (kg)	All-purpose cleaner, leather finishing spray, sealant
	Contact with all use amount of product	Primary: $L_d = A_p \times W_f$	$L_d$ =dermal load (mg), $A_p$ =use amount of product (mg), $W_f$ =weight fraction of product (unitless)	
	Contact with a liquid product	Detailed: $L_d = \frac{A_p \times W_f}{V_p \times D} \times TH \times A_s$	$L_d$ =dermal load (mg), $A_p$ =use amount of product (mg), $W_f$ =weight fraction of product (unitless), $V_p$ =volume of product used (cm <sup>3</sup> ), $D$ =dilution fraction (unitless), $TH$ =thickness of contact product (0.01 cm), $A_s$ =skin contact area (cm <sup>2</sup> )	All-purpose cleaner
	Contact during spraying	Detailed: $L_d = R \times tr \times W_f$	$L_d$ =dermal load (mg), $R$ =contact amount during spraying (=46 mg/min), $tr$ =duration of product use (min/event), $W_f$ =weight fraction of product (unitless)	Leather finishing spray
	Contact with a semi-solid product	Detailed: $L_d = A_c \times W_f \times A_s$	$L_d$ =dermal load (mg), $A_c$ =contact amount per area (=10 mg/cm <sup>2</sup> ), $W_f$ =weight fraction of product (unitless), $A_s$ =skin contact area (cm <sup>2</sup> )	Sealant



Table 2. Continued 1

Model	Exposure route	Algorithm	Parameter description	Product
CEM <sup>b)</sup>	Inhalation	<p>E1: Emission from product applied to a surface indoors incremental source</p> $\frac{\partial C_{air}}{\partial t} = -AER \times C_{air} - \frac{ER(t)}{V}$ $ER(t) = ER(0) \times e^{-kt}$ $k = \frac{\ln 10 \times (MW \times VP)^{0.9546}}{145 \times 60}$ $C_{sat} = \frac{VP \times MW \times CF_1 \times CF_2}{R \times T}$	<p><math>\frac{\partial C_{air}}{\partial t}</math>=change in concentration with time (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hr}</math>), <math>AER</math>=air exchange rate, equivalent to <math>Q_0x/Vx</math> (<math>\text{hr}^{-1}</math>), <math>C_{air}</math>=airborne concentration (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), <math>ER(t)</math>=emission rate at time <math>t</math> (<math>\mu\text{g}/\text{hr}</math>), <math>V</math>=volume of room (<math>\text{m}^3</math>), <math>ER(t)</math>=emission rate at time <math>t</math> (<math>\text{mg}/\text{min}</math>), <math>ER(0)</math>=initial emission rate at time 0 (<math>\text{mg}/\text{min}</math>), <math>k</math>=first-order rate constant for emissions decline (<math>\text{min}^{-1}</math>), <math>t</math>=elapsed time (<math>\text{min}</math>), <math>MW</math>=molecular weight of the chemical (<math>\text{g}/\text{mol}</math>), <math>VP</math>=vapor pressure of chemical (<math>\text{Torr}</math>), <math>C_{sat}</math>=saturation concentration in air (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>), <math>VP</math>=vapor pressure (<math>\text{Torr}</math>), <math>MW</math>=molecular weight (<math>\text{g}/\text{mol}</math>), <math>CF_1</math>=conversion factor, 133 <math>\text{Pa}/\text{Torr}</math>, <math>CF_2</math>=conversion factor, 103 <math>\text{mg}/\text{g}</math>, <math>R</math>=universal gas constant, 8.314 <math>\text{m}^3 \cdot \text{Pa}/\text{mol} \cdot \text{K}</math>, <math>T</math>=temperature (<math>\text{K}</math>)</p>	All-purpose cleaner, sealant
		<p>E3: Emission from product sprayed</p> $\frac{\partial C_{air}}{\partial t} = -AER \times C_{air} - \frac{ER(t)}{V}$ $ER(t) = ER_1(t) + ER_2(t)$ $ER_1(t) = \frac{M \times WF \times CF \times f}{t_a} \times [1 - H(t)]$ $ER_2(t) = \frac{M \times WF \times CF}{t_a} \times [(1 - e^{-k(t-t_{start})}) - ((1 - e^{-k(t-t_{start}-t_a)}) \times H(t))]$	<p><math>\frac{\partial C_{air}}{\partial t}</math>=change in concentration with time (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hr}</math>), <math>AER</math>=air exchange rate, equivalent to <math>Q_0x/Vx</math> (<math>\text{hr}^{-1}</math>), <math>C_{air}</math>=airborne concentration (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), <math>ER(t)</math>=emission rate at time <math>t</math> (<math>\mu\text{g}/\text{hr}</math>), <math>ER_1(t)</math>=emission rate at time <math>t</math> from initial aerosolized product (<math>\text{mg}/\text{min}</math>), <math>ER_2(t)</math>=emission rate at time <math>t</math> from secondary surface-contacted product (<math>\text{mg}/\text{min}</math>), <math>M</math>=mass of product used (<math>\text{g}</math>), <math>WF</math>=weight fraction of chemical in product (unitless), <math>CF</math>=conversion factor (1,000 <math>\text{mg}/\text{g}</math>), <math>f</math>=fraction of product emitted to air (unitless), <math>t_{start}</math>=time of start of application (<math>\text{min}</math>), <math>t_a</math>=application time (<math>\text{min}</math>), <math>k</math>=first-order rate constant for emissions decline (<math>\text{min}^{-1}</math>), <math>t</math>=time (<math>\text{min}</math>), <math>H(t)=0/1</math> value used to indicate if product is actively in use (<math>H(t)=0</math> if <math>t-(t_{start}+t_a) &lt; 0</math>, <math>H(t)=1</math> if <math>t-(t_{start}+t_a) &gt; 0</math>)</p>	Leather finishing spray
		<p>P_INHI: Calculation of inhalation dose from product usage</p> $ADR = \frac{C_{air} \times Inh \times FQ \times D_{ac} \times ED}{BW \times AT \times CF_1}$	<p><math>ADR</math>=potential acute dose rate (<math>\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}</math>), <math>C_{air}</math>=concentration of chemical in air (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>), <math>Inh</math>=inhalation rate (<math>\text{m}^3/\text{hr}</math>), <math>FQ</math>=frequency of product use (events/day), <math>D_{ac}</math>=duration of use (<math>\text{min}/\text{event}</math>), acute, <math>ED</math>=exposure duration (days of product usage), <math>BW</math>=body weight (<math>\text{kg}</math>), <math>AT</math>=averaging time (days), <math>CF_1</math>=conversion factor (60 <math>\text{min}/\text{hr}</math>)</p>	All-purpose cleaner, leather finishing spray, sealant
	Dermal	<p>P_DER2a: Dermal dose from product applied to skin, fraction absorbed model</p> $ADR = \frac{SA}{BW} \times FQ_{ac} \times FR_{abs} \times Dil \times WF \times ED_{ac} \times CF_1$	<p><math>ADR</math>=amount retained on the skin (<math>\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{event}</math>), <math>FT</math>=film thickness (<math>\text{cm}</math>), <math>\rho</math>=density of formulation (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>), <math>FracRemove</math>=fraction of product removed by washing or wearing (unitless), <math>ADR</math>=potential acute dose rate (<math>\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}</math>), <math>AR</math>=amount retained on the skin (<math>\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{event}</math>), <math>SA</math>=surface area to body weight ratio (<math>\text{cm}^2/\text{kg}</math>), <math>FQ_{ac}</math>=frequency of use, acute (events/day), <math>FR_{abs}</math>=absorption fraction (unitless), <math>Dil</math>=product dilution fraction (unitless), <math>WF</math>=weight fraction of chemical in product (unitless), <math>ED_{ac}</math>=exposure duration, acute (days), <math>CF_1</math>=conversion factor (1,000 <math>\text{mg}/\text{g}</math>), <math>AT_{ac}</math>=averaging time, acute (days)</p>	All-purpose cleaner, leather finishing spray, sealant

Table 2. Continued 2

Model	Exposure route	Algorithm	Parameter description	Product
ConsExpo <sup>5)</sup>	Inhalation	Inhalation exposure: $A_{abs} = f_{abs} \times C_{air} \times Q_{inh} \times t$	$A_{abs}$ = inhaled substance enters the system circulation through the lung alveoli, $f_{abs}$ = absorption fraction, assumed to be known from experimental studies. Set to 1 as worst case, if no information is available (fraction), $C_{air}$ = concentration of the substance in the (inhaled) air (kg/m <sup>3</sup> ), $Q_{inh}$ = inhalation rate of the exposed person (m <sup>3</sup> /s), $t$ = exposure time (s)	All-purpose cleaner, sealant
	Exposure to vapour - Evaporation	$\frac{dA_{air}}{dt} = K \times S \times \frac{M}{RT} \times (P_{eq} - P_{air}) - Q \times V_{room} \times C_{air}$	$A_{air}$ = mass substance in the room air (kg), $A_{prod}$ = mass substance in the product (kg), $P_{eq}$ = equilibrium vapour pressure (Pa), $P_{air}$ = actual vapour pressure (Pa), $V_{room}$ = room volume (m <sup>3</sup> ), $Q$ = room ventilation rate (number of air changes per time) (1/s), $A_{tot}$ = total amount of product used (kg), $T_{app}$ = application time (s), $w_f$ = weight fraction substance in product (fraction), $K$ = the mass transfer coefficient defined above (m/s), $S$ = surface area of the product (m <sup>2</sup> )	
	Exposure to spray - Instantaneous release	$\frac{dA_{prod}}{dt} = -K \times S \times \frac{M}{RT} \times (P_{eq} - P_{air}) + A_{tot}/T_{app} \times w_f$	$C_{air}$ = concentration of the substance in the (inhaled) air (kg/m <sup>3</sup> ), $A_o$ = released mass of the spray (kg), $w_f$ = weight fraction substance in product (fraction), $V_{room}$ = room volume (m <sup>3</sup> ), $q$ = room ventilation rate (number of air changes per time) (1/s)	Leather finishing spray
	Direct product contact - Instant application	$C_{air} = \frac{A_o \times W_f}{V} \times e^{-qt}$	$D$ = amount of product per kg of body weight (external dose) (kg/kg), $A_{prod}$ = amount of product applied to the skin (kg), $w_f$ = weight fraction of the substance in the product (fraction), $W_{body}$ = body weight of the exposed person (kg)	All-purpose cleaner
	Direct product contact - Constant rate	$D = A_{prod} \times w_f / W_{body}$	$D$ = amount of product per kg of body weight (external dose) (kg/kg), $R$ = rate at which the product applied to the skin (kg/s), $t$ = loading time (s), $w_f$ = weight fraction of the substance in the product (fraction), $W_{body}$ = body weight of the exposed person (kg)	Leather finishing spray, sealant
TRA <sup>6)</sup>	Inhalation	$Exposure = \frac{PI \times A \times FQ \times F \times DF \times ET \times IR \times 1,000}{V \times BW}$	$PI$ = product ingredient (g/g), $A$ = amount product used per application (g/event), $FQ$ = frequency of use (events/day), $F$ = fraction released to air (g/g), $DF$ = dilution fraction (unitless), $ET$ = exposure time (hr), $IR$ = inhalation rate (m <sup>3</sup> /hr), conversion factor (=1,000 mg/g), $V$ = room volume (m <sup>3</sup> ), $BW$ = body weight (kg), $Exposure$ (mg/kg/day)	All-purpose cleaner, leather finishing spray, sealant
	Dermal	$Exposure = \frac{PI \times CA \times TF \times FQ \times TL \times D \times 1,000}{BW}$	$PI$ = product ingredient (g/g), $CA$ = contact area (cm <sup>2</sup> ), $TF$ = transfer factor (unitless), $FQ$ = frequency of use (events/day), $TL$ = thickness of layer (cm), $D$ = density (g/cm <sup>3</sup> ), conversion factor (=1,000 mg/g), $BW$ = body weight (kg), $Exposure$ (mg/kg/day)	All-purpose cleaner, leather finishing spray, sealant

**Table 3.** Input values for exposure assessment by each product

Category	Input parameter	Product		Description	Reference
		Unit	Value		
<b>All-purpose cleaner</b>					
Use characteristics	Dilution fraction	-	1.00	Not diluted	-
	Use amount	g	119.68	Average value from survey data	10)
	Use frequency	event/day	0.05		10)
	Use time	h/event	0.29		10)
User characteristics	Inhalation rate	m <sup>3</sup> /h	0.61	Average value	12)
	Body weight	kg	64.5		12)
	Surface area	cm <sup>2</sup>	832.9		12)
Environmental factors	Use environment		Bathroom		-
	Room volume	m <sup>3</sup>	9.3		12)
	Air exchange rate	1/h	2.0		12)
Chemical properties	Weight fraction of acetaldehyde	-	1.69×10 <sup>-6</sup>	Maximum value from chemical analysis data	10)
	Weight fraction of d-limonene	-	1.33×10 <sup>-5</sup>		10)
	Weight fraction of naphthalene	-	4.50×10 <sup>-6</sup>		10)
<b>Leather finishing spray</b>					
Use characteristics	Use amount	g	5.70	Average value from survey data	10)
	Use frequency	event/day	0.006		10)
	Use time	h/event	0.24		10)
User characteristics	Inhalation rate	m <sup>3</sup> /h	0.61	Average value	12)
	Body weight	kg	64.5		12)
	Surface area	cm <sup>2</sup>	832.9		12)
Environmental factors	Use environment		Bedroom		-
	Room volume	m <sup>3</sup>	30.3		12)
	Air exchange rate	1/h	1.0		12)
Chemical properties	Weight fraction of acetaldehyde	-	3.84×10 <sup>-5</sup>	Maximum value from chemical analysis data	10)
	Weight fraction of d-limonene	-	5.30×10 <sup>-6</sup>		10)
	Weight fraction of naphthalene	-	2.36×10 <sup>-1</sup>		10)
<b>Sealant</b>					
Use characteristics	Use amount	g	2.56	Average value from survey data	10)
	Use frequency	event/day	0.005		10)
	Use time	h/event	0.29		10)
User characteristics	Inhalation rate	m <sup>3</sup> /h	0.61	Average value	12)
	Body weight	kg	64.5		12)
	Surface area	cm <sup>2</sup>	208.2		12)
Environmental factors	Use environment		Living room		-
	Room volume	m <sup>3</sup>	33.3		12)
	Air exchange rate	1/h	0.5		12)
Chemical properties	Weight fraction of acetaldehyde	-	4.49×10 <sup>-6</sup>	Maximum value from chemical analysis data	10)
	Weight fraction of d-limonene	-	8.58×10 <sup>-8</sup>		10)
	Weight fraction of naphthalene	-	5.38×10 <sup>-6</sup>		10)

을 적용하였다.<sup>13)</sup>

CEM에서는 near-field 옵션을 적용하지 않아 실내공기가 균질한 농도임을 가정하였고, 배경 중 화학물질의 농도는 0으로

가정하였다. 가스상 물질 전달계수, 피부 투과계수는 모델내에서 화학물질의 물리화학적 특징을 입력하고 Estimate 버튼을 눌러 자동으로 계산되는 값을 사용하였다. 아세트알데히드의

가스상 물질 전달계수는 4.25 m/hr, 피부 투과계수는  $7.22 \times 10^{-4}$  cm/hr, d-리모넨은 각각 2.64 m/hr,  $7.20 \times 10^{-2}$  cm/hr, 나프탈렌은 각각 2.72 m/hr,  $6.67 \times 10^{-2}$  cm/hr로 적용되었다.<sup>4)</sup>

ConsExpo에서는 제품별로 필요한 노출계수를 팩트 시트를 통해 제안하고 있다. 물질이동계수를 두 가지 식을 통해 계산할 수 있다. 다목적세정제의 경우 Thibodeaux 식, 틈새충전제는 Langmuir 식을 이용했다. 제품의 방출 표면적은 다목적세정제의 경우 9 m<sup>2</sup>, 틈새충전제는 0.003 m<sup>2</sup>이 이용되었으며, 대상 화학물질 이외의 제품의 평균 분자량은 각각 36 g/mol, 3,000 g/mol이 적용되었다. 가죽코팅스프레이의 경우 초기 입경분포를 중간값 7.7 μm 변동계수 1.9로 입력하였다.<sup>14,15)</sup>

TRA에서는 user input 탭에 있는 해당 제품에 필요한 필수 입력값(증기압, 제품사용여부), 선택 입력값(물질중량비, 피부 접촉면적, 제품 사용량, 피부흡수율)만을 입력하였다.

### III. 결 과

#### 1. 흡입 노출 추정치의 비교

노출모델과 환경부의 상세, 초기 알고리즘을 이용하여 세 제품에 대해 아세트알데히드, d-리모넨, 나프탈렌의 흡입 노출을 추정한 결과는 Fig. 1에 나타났다.

전반적으로 TRA가 흡입 노출량을 가장 크게 추정하였고, 다른 모델과 큰 차이를 보였다. 환경부의 초기 노출 알고리즘은 TRA를 제외하고 나머지 모델보다 흡입 노출량을 대부분 크게 추정하는 경향을 보였다. ConsExpo와 환경부 상세 노출 알고리즘은 전반적으로 비슷한 수준의 흡입 노출량 결과를 나타냈다. 다목적세정제 사용시 나프탈렌의 흡입 노출량에서 환경부 상세 노출 알고리즘이 ConsExpo에 비해 127배 크게 추정하였고, 틈새충전제 사용시 d-리모넨의 흡입 노출량 추정에서는 ConsExpo가 581배 크게 추정하였다.

다목적세정제를 사용할 때의 흡입 노출량은 세 가지 물질 모두에서 TRA가 가장 높게 추정하였다. 그 결과는 다른 모델에 비해 두 자리에서 네 자리 수 범위의 배율로 크게 나타났다. 아세트알데히드의 경우 CEM이 가장 낮은 흡입 노출량을 출력하였으며, TRA에 비해 72배 작은 결과를 보였다. D-리모넨과 나프탈렌의 흡입 노출량 추정 결과 ConsExpo가 가장 낮은 결과를 나타냈고, TRA에 비해 각각 288배, 4,133배 작은 결과를 추정하였다.

가죽코팅스프레이를 사용할 때의 흡입 노출량은 세 물질에서 모두 ConsExpo가 가장 작으며, TRA가 가장 높게 추정하였다. 그 결과는 세 물질 모두 약  $1.2 \times 10^7$ 배가량 차이를 보였다. 다른 제품과 달리 가죽코팅스프레이 사용시 CEM을 이용한 흡입 노출량 추정 결과는 환경부 초기 노출 알고리즘을 이용한 계산과 유사한 경향을 보인다.

틈새충전제를 사용할 때의 흡입 노출량 또한 세 가지 물질 모

두에서 TRA가 가장 높게 추정하였고, 그 결과는 다른 모델에 비해 여섯 자리 수 배율로 크게 차이가 났다. 아세트알데히드와 d-리모넨의 경우 환경부의 상세 노출 알고리즘이 가장 낮은 흡입 노출량 계산 결과를 보였으며, TRA에 비하여 약  $1.6 \times 10^5$ 배 작았다. 나프탈렌의 경우 ConsExpo가 가장 낮은 결과를 나타냈고, 약  $3.3 \times 10^5$ 배 작은 결과를 추정하였다.

#### 2. 경피 노출 추정치의 비교

세 종류의 노출모델과 환경부의 상세 노출 알고리즘을 통해 세 제품에 대해 아세트알데히드, d-리모넨, 나프탈렌의 경피 노출을 추정한 결과는 Fig. 2에 나타났다. 경피 노출량 또한 전반적으로 TRA가 결과를 크게 추정하였으나, 흡입 노출량에 비해

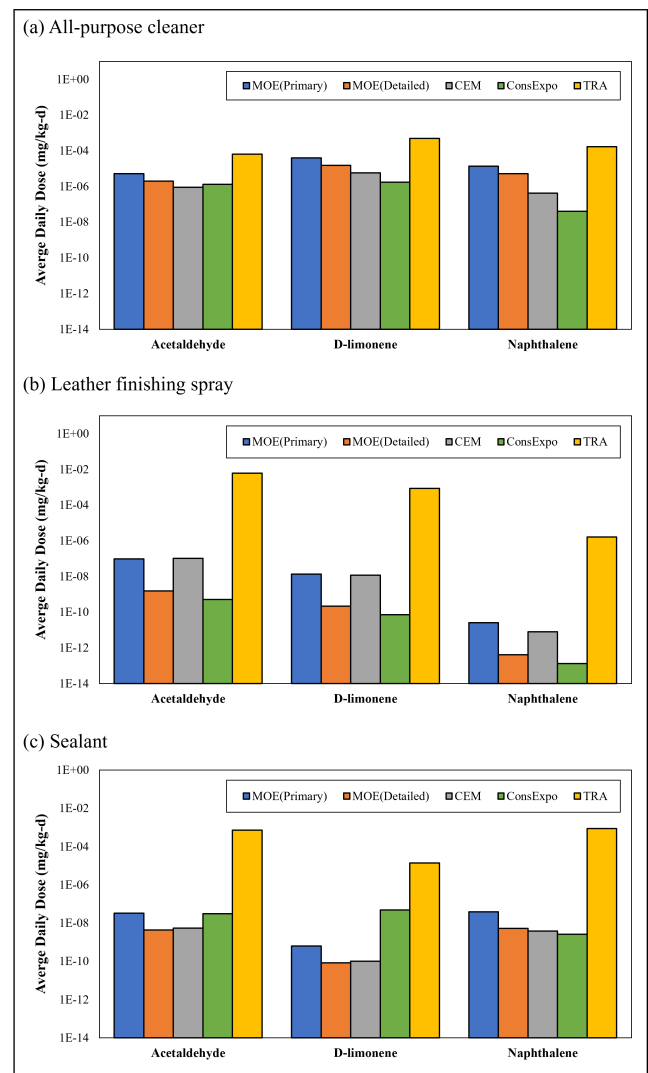
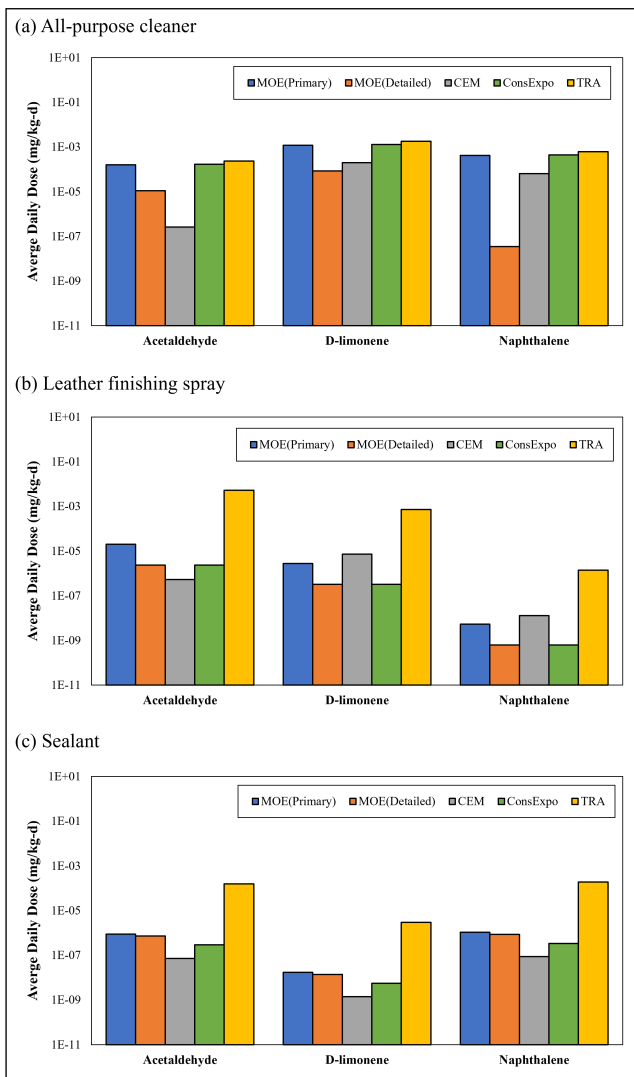


Fig. 1. Inhalation exposure estimates using the consumer exposure assessment models and the exposure algorithm of Korea (mg/kg-d). The vertical axis is shown as logarithmic scale intervals.





**Fig. 2.** Dermal absorption exposure estimates using the consumer exposure assessment models and the exposure algorithm of Korea (mg/kg-d). The vertical axis is shown as logarithmic scale intervals.

그 차이는 크지 않았다.

다목적세정제를 사용할 때의 경피 노출량은 세 가지 물질 모두에서 TRA가 가장 높게 추정하였으나, 대부분의 다른 모델과 결과의 차이가 크지 않았다. 아세트알데히드의 경우 CEM을 이용한 경피 노출량 추정 결과가 가장 작았으며 TRA에 비해 901배 작은 결과를 보였다. D-리모넨과 나프탈렌의 경피 노출량 추정 결과 환경부의 상세 노출 알고리즘이 가장 낮은 값을 보였으며, TRA의 계산 결과와 각각 22배, 17,907배 차이를 보였다.

가죽코팅스프레이를 사용할 때의 경피 노출량은 세 가지 물질 모두에서 TRA가 가장 높게 추정하였고, 대부분의 다른 모델과 계산 결과에 큰 차이를 보였다. 아세트알데히드의 경우 CEM이 가장 낮은 경피 노출량 계산 결과를 보였으며, TRA의 결과와 10,029배 차이가 났다. 가죽코팅스프레이의 경피 노출

량 계산 결과는 환경부의 상세 노출 알고리즘과 ConsExpo가 동일한 결과를 출력하였으며, d-리모넨과 나프탈렌 경피 노출량 추정 결과에서 가장 작은 값을 출력하였다. 환경부 상세 노출 알고리즘과 ConsExpo에서 계산한 d-리모넨과 나프탈렌 경피 노출량은 TRA에 비해 2,253배 작았다.

틈새충전제를 사용할 때의 경피 노출량은 세 물질에서 모두 CEM이 가장 작으며 TRA가 가장 높게 추정하였다. 그 결과는 세 물질에서 모두 2,140배가량 차이를 보였다.

## IV. 고 찰

세 가지 소비자 제품 노출평가모델과 환경부 노출 알고리즘을 통한 화학물질 노출량 추정 값을 비교하였을 때, 같은 제품에 대한 노출 추정 결과 사이에서도 사용하는 노출평가모델에 따라 결과 값이 최대  $1.2 \times 10^7$ 배 까지도 차이가 날 수 있었다. TRA 모델은 모든 제품 및 화학물질에 대한 흡입 및 경피 노출에서 가장 보수적인 값을 출력하였다. 모델 간 노출량의 차이는 가죽코팅스프레이의 흡입 노출에서 가장 크고, 틈새충전제의 흡입 노출에서 그 다음으로 큰 경향을 보였다. 환경부의 상세 노출 알고리즘과 ConsExpo의 계산 결과는 화학물질에 따라 다르지만 대체로 비슷한 수준이며, 가죽코팅스프레이의 경피 노출에서는 완전히 동일하였다. CEM은 가죽코팅스프레이의 흡입, 경피 노출에서 다른 제품에서의 결과와 달리 비교적 큰 결과를 나타냈다.

가죽코팅스프레이와 같이 분사되어 휘발되는 제품에서의 입력변수를 설정하는 방법에는 노출평가모델 간 차이가 있었다. 환경부의 노출 알고리즘은 초기평가의 경우 공기중 대상 물질의 농도를 계산할 때 전체 실내 공간안에 모든 제품의 총 사용된 제품이 균질하게 분사되어 노출된 상황을 가정하고, 상세평가의 경우, 공간에서의 환기율, 분사된 액적의 침강속도, 액적에서 화학물질의 방출비율을 모두 고려하여 평가한다. CEM은 분사된 제품의 적은 비율이 즉시 흡입 경로를 통해 노출되고, 제품에 적용된 일부가 기화하여 노출된다고 가정한다.<sup>4)</sup> ConsExpo의 경우 환경부의 상세 노출 알고리즘과 거의 유사한 노출 알고리즘으로 계산이 되나, 액적의 크기에 따른 흡입 노출 여부를 고려하여 조금 더 상세한 결과를 제공한다.<sup>14)</sup> TRA의 경우 환경부의 초기 알고리즘과 동일하게 사용된 양의 100%가 공기중에 균질하게 분사하여 노출된다고 가정하여 계산한다.<sup>6)</sup>

흡입 노출 알고리즘에서 계산에 활용되는 노출계수 중에는 대상 화학물질의 특성에 따라 값이 정해지는 입력변수들이 존재한다. 환경부 노출 알고리즘의 경우 표면 휘발 흡입 노출에서 공기중 방출비율을 대상 화학물질의 증기압을 기준으로 고정된 값을 제공한다. 이는 TRA에서 화학물질의 증기압에 따라 달라지는 공기중 방출비율 입력값과 동일하다. CEM은 노출 알고리즘에 따라 물질의 증기압과 분자량을 이용하여 가스상

질량 전달계수를 추정하여 계산에 이용한다.<sup>4)</sup> ConsExpo는 같은 노출 알고리즘에도 제품에 따라 화학물질의 물질이동계수를 계산하는 식이 다르게 사용된다.<sup>14)</sup> 본 연구에서는 다목적제 정제의 경우 제품의 matrix가 물일 경우에 적합한 Thibodeaux 식, 틸새충전제는 matrix가 고형제일 경우에 적합한 Langmuir 식을 이용하였다. Langmuir 식의 경우 Thibodeaux 식에 비해 물질이동계수가 크게 계산되는 경향이 있다. 그래서 틸새충전제의 흡입 노출평가에서 식이 거의 동일한 환경부의 상세 노출 알고리즘에 비해 노출량이 비교적 크게 추정되었다.

경피 노출량 추정에서는 환경부의 노출 알고리즘은 초기평가의 경우 모든 사용량이 경피 노출이 되었다고 가정하여 보수적인 계산을 할 수 있도록 한다. 상세평가의 경우, 제형에 따라 피부에 접촉하는 질량을 고정값으로 제공하고, 피부를 통한 흡수율을 대상물질의 분자량, 옥탄올-물 분배계수 기준으로 고정된 값을 이용하도록 하였다. 또한 피부 접촉 두께는 식에서 제품에 상관없이 0.01 cm로 고정된 값을 제공하였다.<sup>13)</sup> CEM의 경우 옥탄올-물 분배계수와 화학물질의 분자량을 이용하여 피부 투과계수를 추정한다. ConsExpo에서 instant application 노출 알고리즘의 경우, 환경부의 총 사용량 접촉과 같은 입력계수를 이용하며, Constant rate 노출 알고리즘의 경우 피부에 접촉하는 제품의 양을 입력계수로 사용하는데, 제품의 제형에 따라 고정된 값을 사용할 수 있도록 팩트 시트에 제공하고 있다.<sup>5,14)</sup> TRA모형을 이용한 경피 노출 추정의 경우 제품 밀도, 제품이 피부에 남는 두께와 같은 노출계수를 제품 선택 시 고정값으로 설정되어 계산되도록 한다. 또한 피부 전달계수의 경우 기본값을 1로 두어 보수적인 추정이 가능하도록 한다.<sup>6)</sup>

기존 문헌<sup>16)</sup>에서 여러 노출평가모형을 통해 에어로졸 타입 제품의 흡입 노출평가를 실시한 결과를 보면, CEM이 가장 큰 노출량을 추정하였고, TRA가 그 다음, 환경부 상세 노출 알고리즘, ConsExpo 순으로 노출량 추정 결과가 작았다. 가정된 노출 상황이 다르기 때문에 노출량의 직접 비교는 불가하지만, 본 연구에서 비슷한 상황인 가죽코팅스프레이의 흡입 노출 결과와 비교하였을 때 환경부의 상세 노출 알고리즘과 ConsExpo가 비슷한 수준의 노출량을 추정하였으며, CEM, TRA는 상대적으로 큰 결과 값을 보인 유사한 결과를 보고하였다. 또 다른 기존 연구<sup>9)</sup>에서는 작업장의 유기용제에 대한 노출모형을 이용한 평가를 실시했는데, 본 연구와 비슷하게 다른 모델들에 비해 TRA가 노출량을 크게 추정하는 결과를 보였다.

본 연구는 서로 다른 소비자 노출평가모형을 통해 추정된 노출량을 비교하였으나 가상의 시나리오를 사용하였기에 어떤 모델이 실제 노출량에 가까운 값을 추정하였는지는 확인할 수 없다. 실제 노출량과의 검증은 추가적인 실험 연구를 통해 진행될 수 있을 것이다. 이러한 노출평가 방법의 고찰을 통해 적절한 소비자 노출평가모형을 사용하는 것은 위해성평가에서 불확실성을 줄여 결과의 신뢰도를 높일 수 있도록 한다. 이 연구

는 세 가지 소비자 제품, 세 가지 화학물질에 대한 평가에 한정되므로 다른 노출상황에서의 모델간 정확도의 차이 역시 추후 연구를 통해 검토해 볼 필요가 있다.

## V. 결 론

흡입 및 경피 노출 경로를 통해 화학물질 노출이 가능한 세 가지 생활화학제품을 대상으로 같은 노출계수를 사용하여 환경부 노출 알고리즘 및 국외 3가지 노출평가모형을 이용해 노출량을 추정하고 그 값을 서로 비교한 결과 노출평가모형에 따라 노출량 추정 값이 크게 차이 날 수 있음을 확인하였다. 노출평가모형을 활용한 소비자 노출평가에 있어 평가 대상 제품의 특징과 평가 목적에 따라 평가자의 신중한 선택이 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생활화학제품 안전관리기술개발사업의 지원(RS-2021-KE001353)을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## References

1. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IPCS). IPCS risk assessment terminology. Part 1: IPCS/OECD key generic terms used in chemical hazard/risk assessment. Part 2: IPCS glossary of key exposure assessment terminology. Geneva: World Health Organization; 2004.
2. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Guidelines for exposure assessment. Washington, D.C.: EPA; 1992 May. Report No.: EPA/600/Z-92/001.
3. National Institute of Environmental Research. Exposure calculation formula (related to Article 9-3). Regulations on the subject and method of risk assessment of consumer chemical products. Available: [https://dlib.nier.go.kr/NIER/cop/bbs/selectNoLoginBoardArticle.do?menuNo=13001&bbsId=BBSMSTR\\_000000000031&nttId=30410&Command=READ](https://dlib.nier.go.kr/NIER/cop/bbs/selectNoLoginBoardArticle.do?menuNo=13001&bbsId=BBSMSTR_000000000031&nttId=30410&Command=READ) [Accessed 23 February 2024].
4. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Predictive models and tools for screening chemicals under TSCA: consumer exposure models 1.5. Washington, D.C.: EPA; 2017.
5. Dam-Deisz WDC, Schuur AG. ConsExpo Web. Consumer exposure models - model documentation: update for ConsExpo Web 1.0.2. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM); 2017. Report No.: RIVM Report 2017-0197.

6. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals (ECETOC). Addendum to TR114: technical basis for the TRA v3.1. Brussels: ECETOC; 2014 Jun. Technical Report No. 124.
7. Park J, Yoon C, Lee K. Comparison of modeled estimates of inhalation exposure to aerosols during use of consumer spray products. *Int J Hyg Environ Health*. 2018; 221(6): 941-950.
8. Delmaar C, Meesters J. Modeling consumer exposure to spray products: an evaluation of the ConsExpo Web and ConsExpo nano models with experimental data. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2020; 30(5): 878-887.
9. Lee S, Lee K, Kim H. Comparison of quantitative exposure models for occupational exposure to organic solvents in Korea. *Ann Work Expo Health*. 2019; 63(2): 197-217.
10. Lee K. COnsumer products exposure and risk assessment. Seoul: Korea Environmental Industry & Technology Institute; 2016 Jun. Report No.: 20130011370001.
11. Kim S, Chen J, Cheng T, Gindulyte A, He J, He S, et al. PubChem 2023 update. *Nucleic Acids Res*. 2023; 51(D1): D1373-D1380.
12. National Institute of Environmental Research (NIER). Korean exposure factors handbook. Incheon: NIER; 2019.
13. National Institute of Environmental Research. General exposure factors (related to Article 9-5). Regulations on the subject and method of risk assessment of consumer chemical products. Available: [https://dlib.nier.go.kr/NIER/cop/bbs/selectNoLoginBoardArticle.do?menuNo=13001&bbsId=BBSMSTR\\_000000000031&nnttId=30410&Command=READ](https://dlib.nier.go.kr/NIER/cop/bbs/selectNoLoginBoardArticle.do?menuNo=13001&bbsId=BBSMSTR_000000000031&nnttId=30410&Command=READ) [Accessed 23 February 2024].
14. Bremmer HJ, Blom WM, van Hoeven-Arentzen PH, Prud'homme de Lodder LCH, van Raaij MTM, Straetmans EHF, et al. Pest control products fact sheet - to assess the risks for the consumer: updated version for ConsExpo 4. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM); 2016. Report No.: RIVM Report 320005002.
15. Meesters JAJ, Nijkamp MM, Schuur AG, Te-Biesebeek JD. Cleaning products fact sheet - default parameters for estimating consumer exposure: updated version 2018. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM); 2018. Report No.: RIVM Report 2016-0179.
16. Park J, Yoon C. Model algorithms for estimates of inhalation exposure and comparison between exposure estimates from each model. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2019; 29(3): 358-367.

#### 〈저자정보〉

강소현(대학원생), 임미영(연구교수), 이기영(교수)