

작업환경측정과 노출평가 프로그램(ECETOC TRA) 비교에 따른 위해성 평가에 관한 연구

고 원 경* · 이 영 섭*

*서울과학기술대학교 에너지환경대학원 · **서울과학기술대학교 안전공학과

A Study on the Risk Assessment by Comparing Workplace Environment Measurement with Exposure Assessment Program(ECETOC TRA)

Won-Kyoung Ko* · Young-Seop Yi**

*Dept. of Safety Engineering, Graduate School of Energy and Environment, Seoul National
University of Science and Technology

**Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Abstract

This study was conducted to compare the value of the working environment measurement with the expected exposure value drawn by using a program, thereby going to investigate whether it is available to the risk assessment of domestic workplace. We used the ECETOC TRA program which is one of the exposure predictive models. Four kinds of substances were measured in two workplace which was exposed to organic solvents and one kind of substance was measured in three workplace which was exposed to dusts and then an exposure assessment of chemical risk factors was conducted. The result value of the working environment measurement, solid substance exceeded standard in one site, and it was found that the other solid and liquid substances were within the standard. The value of the exposure assessment program showed the same result; it was higher than the value of the working environment measurement, suggesting that due to its nature, the exposure assessment program is run only on the worst situation. Therefore, it was found that when the exposure assessment program is used, variables should be substituted only after accurately assessing the workplace and it is a good idea to assess the risk beforehand with the exposure assessment program in the case of the workplace which employs no more than 5 people and where it is hard to assess the working environment.

Keywords : Risk assessments, Exposure assessment program, Workplace environment measurement

1. 서론

현대사회에서 화학물질은 획기적인 편의를 제공하는 반면 그 유해성은 국민건강과 환경을 해치는 주요 원

인이 되었으며, 산업재해 현황분석[1] 중 ‘특정 화학물질 중독’에 의한 업무상 질병이 증가 추세를 보이는 것도 같은 이유이다. 또한 화학물질에 대한 노출은 제품 생산에서부터 소비까지 모든 과정에서 이루어짐에 따

† 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 (일부)지원으로 수행되었습니다.

† Corresponding Author : Young-seop Yi, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongreung-dong, Nowon-gu, Seoul. M·P: 010-5215-7077, E-mail: ysyi@seoultech.ac.kr

Received July 20, 2013; Revision Received September 6, 2013; Accepted September 11, 2013.

라 화학물질에 대한 위해성의 관심도 크게 증대되었다. 이에 근로자 건강 보호를 위하여 세계 각국은 유해화학물질들에 대해 법규나 지침 등을 통하여 엄격하게 관리·평가해 나가고 있다. 이중 하나로 2007년 신화학물질 관리제도(REACH, Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)를 발효하였다[2]. REACH는 EU에서 연간 1톤 이상 제조 또는 수입되는 화학물질(Substances)에 대해 등록을 의무화하는 제도이며[3], 그중 고위험성 물질(SVHC, Substances of Very High Concern)을 크게 3~4가지로 분류하여 등록 후 별도의 평가를 받아야 한다[4]. 물질등록 시 요구되는 시험 항목은 물리화학적 특성, 인체독성 및 생태독성으로 크게 세 분야가 있고[2], 등록에 필요한 자료 중 핵심을 이루는 화학물질안전성 보고서(CSR, Chemical Safety Report)는 화학물질안전성평가(CSA, Chemical Safety Assessment)를 보고하는 문서로 CSR 준비를 위해서는 화학물질 제조·수입하는 유럽 기업은 CSA를 수행한다[5]. 각 화학물질에 대한 CSA는 크게 위해성 평가(Hazard Assessment)와 노출평가(Exposure Assessment)의 두 과정으로 구성되는데, 위해성 평가는 실험을 통하여 이루어고 노출평가 방법(Exposure estimation tool)은 초기 노출 시나리오(initial ES)와 확보된 물질정보 및 자료(information and substance data)에 기초하여 인체(근로자, 소비자) 및 환경에 대한 노출 평가 및 위해성 평가(risk assessment)를 실시하는 소프트웨어를 사용한다. 인체 노출 형태는 흡입(inhalatory), 피부(dermal), 경구(oral)의 세 가지를 고려하였고, 노출대상은 근로자, 환경 및 소비자로 분류하여 Tier 1, 2의 단계별 틀을 사용하였다[3]. 자세한 것은 <Table 1>에 나타내었다[6-12].

각각의 장·단점을 보면 EUSES는 환경 및 인체노출에 대한 노출산정이 가능하나 입력변수가 다른 모델에 비해 상대적으로 많아 모델 사용에 어려움을 겪고 예측 결과가 매우 보수적이다. EMKG는 독일 산업안전보

건연구원(BAuA)에서 개발한 독일 유해물질관리규정에 부합하는 작업장 노출평가로 특정화되는 초기 노출평가 모델(Tier 1)이다. ConsExpo는 화장품, 페인팅 제품, 가정용 살충제 등의 소비자 제품 노출량을 계산하기 위한 모델이다. Stoffenmanager와 RISKOFDERM은 Tier 2 모델로서 Tier 1을 거쳐 보다 상세한 작업장 노출 평가를 지원하는 틀이다[2]. 마지막으로 ECETOC TRA는 스크리닝 단계에서 위해성이 있다고 우려가 되는 경우에 대해 근로자, 소비자, 환경에 대해 위해도를 산출하며, 정보입력에 따른 노출산정과정의 투명하여 사용자가 직관적으로 결과를 확인할 수 있어 제조자/수입자는 흡입에 의한 작업자노출을 평가하는 도구로 많은 사용자들이 ECETOC TRA 모델을 선호한다[12]. 이러한 노출평가 프로그램들의 국내 사용 시 현재 시행하는 화학물질 위해성 평가의 방법에도 도움이 될 것으로 사료된다.

또한 국내의 경우 산업안전보건법 제42조 작업환경 측정제도를 통해서 유해화학물질에 대해 노출을 평가하고 작업환경을 관리하고 있으며, 산업안전보건법상 규정하는 작업환경측정대상 물질은 182종, 노출기준이 설정된 화학물질은 721종으로 되어있다[13]. 그러나 국내 사용되는 화학물질은 약 4만 여종이며, 물질안전보건자료((MSDS, Material safety data sheet)는 5만 여종이므로 사업주는 근로자가 노출되는 모든 화학물질에 대한 관리가 현실적으로 힘들고, 소규모 사업장의 작업환경측정 및 관리에도 어려움이 있다. 이를 해소하기 위하여 노출평가 모델을 사용하여 근로자의 건강장해를 미연에 방지하고 유해위험요인을 찾아내어 사업장을 관리할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 선진외국의 노출평가 모델 중 장·단점, 선호도 결과 등의 비교에 따라 ECETOC TRA 모델을 이용하여 노출평가 결과값과 실제 작업환경측정 결과값을 비교하여 오차 범위를 확인하고, 국내 적용가능성 여부를 알아보고자 한다.

<Table 1> Major exposure estimation tools and their update[3]

Tools	Information on target, exposure pathway and tier 1, 2			Latest version / remarks
	Worker	Consumer	Environment	
ECETOC TRA	Tier 1 (inhalatory/dermal)	Tier 1 (inhalatory, dermal, oral)	Tier 1	Ver. 2010(2010) Integrated to Chesar(2010.6)
EUSES	Tier 1 (inhalatory, dermal, oral)	Tier 1 (inhalatory, dermal, oral)	Tier 1	Ver. 2.1(2008) Integrated to Chesar(2010.6)
ConsExpo	-	Tier 1, Tier 2 (inhalatory, dermal, oral)	-	Ver. 4.1(2006) REACH considered
EMKG/COSHH-BAuA	Tier 1 (inhalatory)			Ver. 2.1(2008)
Stoffenmanager	Tier 2 (inhalatory)			Ver. 4.0(2009) REACH and CHS considered (2010.5)
RISKOFDERM	Tier 2 (dermal)			Ver. 2.1(2010) REACH considered

2. 연구방법

본 연구는 유기용제 노출 사업장과 분진 노출 사업장을 대상으로 실시하였다. 평가대상 물질 등의 자세한 사항은 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> The outline of investigation

Division	Work process	Measured substance	samples (NO)
Solid	Glass product Manufacturing industry	Crystalline quartz(SiO ₂)	6
	Metal oxide Manufacturing industry	Crystalline quartz(SiO ₂)	8
	Cast iron foundry	Crystalline quartz(SiO ₂)	3
liquid (Organic solvent)	Chemical product Manufacturing industry	Toluene	10
		Xylene	10
	General Hospital	Isopropyl alcohol	8
		Formaldehyde	8

2.1 작업환경측정 방법

공기 중 노출평가는 예비조사를 통해 기본적인 근무 환경 특성에 대해 조사하였고, 작업특성과 취급물질 조사를 통해 평가대상 물질을 선정하였다. 근로자는 유해 화학물질이 발생 가능한 각각의 다른 공정에서 작업하는 근로자를 대상으로 개인별 시료 채취를 하였으며, 대상물질별 측정 및 분석방법은 다음과 같다.

1) 공기 중 호흡성 분진의 결정형 석영 시료채취 및 분석방법은 한국산업안전보건공단 Method No.83번과 미국국립산업안전보건연구소의 공정시험법(NIOSH method, 7602)을 이용하였다. 시료채취 매체는 nylon cyclone과 공극이 5 µm인 PVC membrane filter를 사용하였으며 유량은 1.7 L/min으로 4시간 이상을 실시하였다. 시료 채취 전, 후 1차 표준 유량 보정기를 이용하여 보정하였으며, 측정은 결정형 석영이 주로 발생하는 사업장에서 근무하는 근로자를 대상으로 개인시료 포집을 실시하였다. 채취한 시료는 데시케이터에 1일 동안 보관한 후, NIOSH method, 7602를 이용한 퓨리에변환 적외선 분광기(FTIR, Fourier transform infrared spectroscopy)를 이용하여 분석하였다.

2) 공기 중 유기용제의 시료 채취 및 분석방법은 안전보건기술지침 KOSHA GUIDE의 시료채취 및 분석지침을 이용하였다. 시료채취 매체는 흡착관을 사용하였으며, 유량은 2L/min 으로 4시간 이상을 포집하였다. 분석은 이황화탄소(CS₂) 1mL를 주입하여 탈착 후 가스 크로마토그래피(GC, Gas chromatograph)를 이용하여 정량분석을 하고, 포름알데히드는 고속액체 크로마토그래피(HPLC, High performance liquid chromatography)를 이용하여 정량분석 하였다.

2.2 노출평가 프로그램 방법

노출평가 프로그램 중 유럽화학물질 생태독성 및 독성센터(ECETOC, European Center for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals)의 TRA(Targeted risk assessment)[14]를 이용하여 노출 평가값을 얻었다. 이 프로그램의 구성은 먼저 MSDS의 자료를 통해서 물질의 기본 자료를 입력하고, 25개의 프로세서 카테고리 중 작업환경측정 결과서와 측정 시 살펴본 작업공정에 대한 사항들을 정확하게 적용하여 입력한다. 자세한 사항은 <Figure 1>에 나타내었다.

<Figure 1> ECETOC TRA Program Source Input

2.3 자료처리 및 분석

조사 대상 물질별 측정 결과는 Microsoft Excel 프로그램을 이용하여 정리한 후 기초통계량을 산출하였으며, 노출평가 프로그램의 결과값과 작업환경측정의 결과값에 대한 유의성 여부를 검정하기 위하여 쌍대-t검정(Paired T 검정)을 MINITAB 소프트웨어를 이용하여 실시하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 작업환경측정 결과

고체상 물질과 액체상 물질의 작업환경측정결과 평균과 표준편차, 범위는 <Table 3>과 같다. 고체상 물질은 유리제품 제조업, 금속산화물 제조업, 선철주물제조업의 결정형 석영(SiO₂)은 각각 0.0261mg/m³, 0.196mg/m³, 0.0104mg/m³ 이었으며, 액체상 물질의 톨루엔, 자일렌, 이소프로필 알코올, 포름알데히드는 각각 0.0875ppm, 1.231ppm, 2.0091ppm, 0.0601ppm이었다. 고체 물질인 결정형 석영(SiO₂)의 허용기준은 0.05mg/m³으로 유리제품 제조업, 선철주물제조업의 경우 허용기준 이내였으나, 금속산화물 제조업의 경우 평균 0.196mg/m³으로 허용기준을 초과한 것으로 나타났다. 이는 몇몇 그라인딩과 원자재 적재 등의 공정에서 결정형 석영이 높은 발생률을 나타내고 있었기 때문이다. 액체상 물질의 경우 4가지 물질 모두 허용기준 이내로 나타났다.

<Table 3> Results of the workplace environment measurement

	N	Substance	mean	s.d	Range
Solid, mg/m ³	6	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.0261	0.012	0.0128 ~ 0.0468
	8	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.196	0.1245	0.03 ~ 0.41
	3	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.0104	0.0006	0.0457 ~ 0.0165
liquid (Organic solvent), ppm	10	Toluene	0.0875	0.0372	0.0474 ~ 0.1848
	10	Xylene	1.231	0.2899	0.6864 ~ 1.6042
	8	Isopropyl alcohol	2.0091	1.6171	0.569 ~ 4.718
	8	Formaldehyde	0.0601	0.1101	0.0061 ~ 0.3318

3.2 노출 평가 프로그램 결과

고체상 물질과 액체상 물질의 노출평가 프로그램 분석결과 평균과 표준편차, 범위는 <Table 4>과 같다.

고체상 물질은 유리제품 제조업, 금속산화물 제조업, 선철주물제조업의 결정형 석영(SiO₂)은 각각 0.033mg/m³, 0.305mg/m³, 0.0157mg/m³ 이었으며, 액체상 물질의 톨루엔, 자일렌, 이소프로필 알코올, 포름알데히드는 각각 0.28ppm, 2.23ppm, 2.446ppm, 0.211ppm이었다.

<Table 4> Results of the exposure assessment program

	N	Substance	mean	s.d	Range
Solid, mg/m ³	6	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.033	0.009	0.025 ~ 0.049
	8	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.352	0.207	0.025 ~ 0.63
	3	Crystalline quartz(SiO ₂)	0.0157	0.008	0.02 ~ 0.0061
liquid (Organic solvent), ppm	10	Toluene	0.28	0.32	0.08 ~ 1.03
	10	Xylene	2.23	0.447	1.1 ~ 2.5
	8	Isopropyl alcohol	2.446	1.889	0.71 ~ 5.5
	8	Formaldehyde	0.211	0.252	0.008 ~ 0.52

3.3 고체상 물질과 액체상 물질에 대한 비교 분석 결과

고체상 물질에 대한 작업환경측정 결과값과 노출평가 프로그램 결과값을 비교 분석한 결과 아래 <Table 5>와 같다. 노출 프로그램 결과값이 작업환경측정 결과값에 비해 모두 높은 결과를 나타내었다. 이는 노출 프로그램의 경우 최악의 시나리오 즉, 근로자의 최대 노출을 기반으로 만들어졌기 때문이라고 사료된다. 각각의 결과 값에 대해 쌍대-t검정(Paired T 검정)을 실시한 결과 유리제품 제조업과 선철주물제조업에서는 유의한 차이가 없었으나, 금속산화물 제조업의 경우 P-Value 값이 0.002로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 위의 결과는 프로그램 입력 시 25개의 프로세서 카테고리 중 금속산화물의 공정과 유사한 공정을 찾는 것, 호흡보호구 착용 유·무와 시간 등의 입력 변수에 영향을 받은 것으로 사료되며, 따라서 프로세서의 다양화가 필요할 것으로 사료된다. 사업장의 정보가 정확하지 않으면 노출 예측 결과값에 다소의 차이가 발생하므로 정확한 공정의 정보 확보와 판단이 중요할 것이다.

<Table 5> Compare Workplace environment measurement with Exposure assessment program for the solid material

Division	Work process	Measured substance	N	Workplace environment measurement value	Exposure assessment program value	Mean value difference	T-Value	P-Value
				mean	mean			
Solid, mg/m ³	Glass product Manufacturing industry	Crystalline quartz (SiO ₂)	6	0.0261	0.033	-0.007	-4.23	0.008
	Metal oxide Manufacturing industry		8	0.196	0.352	-0.156	-4.74	0.002
	Cast iron foundry		3	0.0104	0.0157	-0.005	-2.20	0.159

<Table 6> Compare Workplace environment measurement with Exposure assessment program for the liquid material

Division	Work process	Measured substance	N	Workplace environment measurement value	Exposure assessment program value	Mean value difference	T-Value	P-Value
				mean	mean			
liquid (Organic solvent), ppm	Chemical product Manufacturing industry	Toluene	10	0.0875	0.28	-0.194	-1.90	0.089
		Xylene	10	1.231	2.23	-0.998	-12.29	0.001
	General Hospital	Isopropyl alcohol	8	2.0091	2.446	-0.437	-3.37	0.007
		Formaldehyde	8	0.0601	0.211	-0.331	-2.00	0.086

액체상 물질에 대한 작업환경측정 결과값과 노출평가 프로그램 결과값을 비교 분석한 결과 아래 <Table 6>과 같다. 노출 프로그램 결과값이 작업환경측정 결과값에 비해 모두 높은 결과를 나타내었고, 각각의 결과값에 대해 쌍대-t검정(Paired T 검정)을 실시한 결과 세 가지 물질에서는 유의한 차이가 없었고, 자일렌의 경우 P- Value 값이 0.001으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 종합병원의 경우 작업환경이 거의 비슷하였으나 화학제품 제조업의 경우 다양한 공정을 가지고 있었다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 고체·액체 모두 공정의 입력 변수를 얼마나 정확하게 결정하는 것이 노출 프로그램 사용의 주안점이라 하겠다. 또한 노출 평가 프로그램들 사용 시 평균적으로 결과값이 작업환경측정 결과값보다 높게 나타난 것으로 보여지기 때문에 만약 프로그램을 이용하여 사업장의 위험성 평가 시 이점을 감안하여 사용하는 것이 좋다고 사료된다.

4. 결론

본 연구는 작업환경측정 결과값과 외국의 노출평가 프로그램 중 ECETOC TRA를 이용한 결과값을 비교하여 국내 사업장의 위험성 평가 시 사용가능성 여부를 연구하고자 하였다. 작업환경측정 결과값 중 고체상

물질의 경우 금속산화물제조업에서 허용기준을 초과한 것으로 나타났으며, 나머지 고체상 물질 및 액체상 물질들은 허용기준 이내로 나타났다. 노출평가 프로그램의 결과값도 같은 결과를 보였다. 노출평가 프로그램 결과값의 경우 작업환경 측정값보다 모두 높은 결과값을 보였는데, 노출평가 프로그램은 정확성보다는 개략적인 상태를 반영하는 것이기 때문에 실측값보다 높게 평가되는 것이라고 생각되며, 최악의 상황을 전제로 구동하는 프로그램의 특성이 반영된 것으로 사료된다.

두 평가 방법의 비교를 위해서 물질의 형태별로 쌍대-t검정(Paired T 검정)으로 분석한 결과 고체상 물질의 경우 한 업종에서 유의한 차이를 나타내었고, 액체상 물질의 경우도 하나의 물질에서 유의한 차이를 나타내었다. 이 결과를 미루어 노출평가 프로그램 사용 시 작업장의 공정 특성과 작업장 정보를 정확히 살펴서 변수 대입해야 하겠다. 또한 더 많은 다양한 공정에 예측 프로그램을 적용하는 연구가 필요할 것으로 보여진다.

현재 사업장에서는 작업환경측정 시 측정 결과값에 대한 허용기준 초과 여부에만 관심을 기울이고 있다. 근로자가 유해인자에 얼마만큼 노출이 되었는지를 확인하는 것도 중요하지만, ECETOC TRA와 같은 노출 예측 프로그램을 이용하여 유해인자에 대한 노출을 미리 예측하고 위험을 인지하여 사전에 예방하는 것도 중요하다고 사료된다. 또한 5인 이하 사업장의 작업환

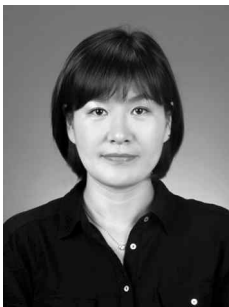
경이 열악한 사업장에서도 작업환경을 사전에 평가를 실시하는 것도 근로자들의 직업병 예방을 위해서 좋은 방법이 될 수 있다고 사료된다. 따라서 작업장의 다양한 위해성 평가를 위해서 ECETOC TRA 노출 예측 프로그램뿐만 아니라 더 많은 종류의 노출평가 프로그램에 대해 여러 사업장의 적용가능성 여부에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Korea Occupational Safety Health Agency (2011), Industrial Accident Statistics.
- [2] Ministry of Environment (2009). "Technical Guidance Documentation on preparing TD & CSR for REACH". Korea Institute of Science and Technology. 091-071-063
- [3] Eun Kyung Choe, Jongwoon Kim, Sang Hun Kim, Sung Won Byun (2011). "Technical Review on Methodology of Generating Exposure Scenario in eSDS of EU REACH". CLEAN TECHNOLOGY, 17(4). P285~299
- [4] The European Parliament and the Council of the European Union. (2006). "Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals (REACH)". Official Journal of the European Union, L396. Regulation (EC) No 1907/2006.
- [5] Guidance for the Implementation of REACH (2008). "Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment Part B: Hazard Assessment," Vers.1.1, European Chemicals Agency, Helsinki, October. 2008.
- [6] <http://www.ecetoc.org/tra>. version 3.
- [7] <http://esis.jrc.ec.europa.eu/index>
- [8] <https://www.stoffenmanager.nl/>
- [9] <http://focus.jrc.ec.europa.eu/sw/index.html>
- [10] <http://chesar.echa.europa.eu/>
- [11] Guidance for the Implementation of REACH. (2010). "Chesar User Manual Part 0: Introduction," European chemicals Agency, Helsinki, July, 2010
- [12] Guidance for the Implementation of REACH, (2010) "Chesar User Manual Part 3: Assessment," European chemicals Agency, Helsinki, July, 2010
- [13] ECHA (2008). "Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment_ Chapter R.7.2.6."
- [14] Ministry of Employment and Labor, Occupational Safety and Health Acts, 2012.
- [15] Addendum to ECETOC Targeted Risk Assessment Report No. 93. 2009

저 자 소 개

고 원 경



가톨릭대학교 산업보건대학원 보건학 석사, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 안전공학과 박사과정
관심분야 : 산업보건, 산업위생학, 안전공학 등

주소: 서울시 노원구 공릉동 서울과학기술대학교 안전공학과

이 영 섭



U. of So. Ca 산업위생학 석사, 호서대학교 안전공학박사, 서울과학기술대학교 안전공학과 교수
관심분야: 산업위생학, 건설안전 등

주소: 서울시 노원구 공릉동 서울과학기술대학교 안전공학과