한국산업위생학회지, 제24권 제3호(2014) ISSN 1226-4326(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2014: 24(3): 247-255
http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2014.24.3.247

Reviews Article

발암인자 노출감시를 위한 CAREX(CARcinogen EXposure, CAREX) 프로그램 고찰; 한계점과 활용 방안

정혜정[1] · 류승훈[2] · 장지영[3] · 김승원[3] · 하권철[4] · 고동희[5] · 김원[6] · 배현주[7] · 윤충식[8] · 이경희[9] · 이광용[10] · 곽현석[11] · 신정아[11] · 박동욱[1*]

[1]한국방송통신대학교, [2]고려대학교, [3]계명대학교, [4]창원대학교, [5]국립암센터, [6]노동환경건강연구소, [7]한국환경정책평가연구원, [8]서울대학교 보건대학원, [9]주한미군, [10]한국산업안전보건공단 산업보건연구원, [11]근로복지공단 직업성폐질환연구소

Review for CAREX(CARcinogen EXposure) Exposure Surveillance System: Limitation and Application to Korea

Hyejung Jung[1] · Seunghun Ryu[2] · Jiyoung Jang[3] · Seungwon Kim[3] · Kwonchul Ha[4] · Donghee Koh[5] · Won Kim[6] · Hyunjoo Bae[7] · Chungsik Yoon[8] · Kyonghui yi[9] · Gwangyong Yi[10] · hyunseok kwak[11] · Jungah Shin[11] · Donguk Park[1*]

[1]*Korea National Open University,* [2]*Korea University,* [3]*Keimyung University,* [4]*Changwon National University,* [5]*National Cancer Center,* [6]*Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health,* [7]*Korea Environment Institute,* [8]*Seoul National University,* [9]*Korean Service Corps Battalion,* [10]*Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA,* [11]*Occupational Lung Disease Institute.*

ABSTRACT

Objectives: We reviewed the CAREX (CARcinogen EXposure) program designed to estimate the prevalence of occupational exposure to carcinogens and summarized the advantages and limitations of this program.

Methods: All literature, including reports on CAREX and the use of CAREX, were reviewed. The keyword search term was CAREX. Additional articles were identified from references cited in articles and reviewed.

Results: An exposure information system, CAREX was developed based on data from the Finnish Institute of Occupational Health of Finland and from the US. CAREX has been applied in several countries, including in the EU, in order to estimate national exposure patterns to carcinogens. The initial exposure assessment carried out through CAREX was aimed at estimating exposures over the period of 1990−1993. To estimate the number of workers exposed to carcinogens by using CAREX, reference exposure prevalence from Finland and the United States was computed, which was then reviewed and corrected by national experts. Finally the overall number of workers exposed to carcinogens can be estimated. We found that CAREX has been used in a total of 18 countries. No Asian country has used CAREX.

Conclusions: CAREX can be applied not only to estimate the number of workers exposed to carcinogens in Korea, but also to identify high-risk industries with workers most exposed to carcinogens.

Key words : CAREX, carcinogen, exposure prevalence

*Corresponding author: Donguk Park, Tel: 02-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com
Department of Environmental Health, Korea National Open University, Ihwadong 57, Jongnogu, Seoul, Korea 110-791
Received: September 5, 2014, Revised: September 15, 2014, Accepted: September 18, 2014

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

우리나라에서 발암인자의 관리는 대부분 법적·행정적 규정에 따른 것이다. 그런 까닭에 발암인자를 발생시키는 산업의 종류, 사업장 수, 발암인자에 노출되는 근로자 수 등에 대한 통계 자료가 없다. 예를 들면 산업별, 직업별, 발암인자별 노출 근로자 규모를 파악할 수가 없는 것이다. 게다가 발암인자에 대한 노출과 건강영향을 감시하기 위한 국가 규모의 프로그램이 없는 상태이다. 현재 근로복지공단에서 승인한 업무상 질병자에 대한 통계 자료만 있을 뿐, 발암인자에 노출되어 발생하는 건강영향을 예방하는 확실한 감시 프로그램이 없다.

국가마다 산업안전보건관련법에서 발암인자의 노출 억제를 위한 법적 규정이 있다. 하지만 발암인자에 대한 노출과 건강영향을 국가가 포괄하여 감시하는 것은 법적 규정에 따른 접근과는 성격이 다르다. 법적 제도나 규제 외에 국가 규모에서 발암인자를 감시하는 프로그램을 제대로 갖추기는 어렵다. 많은 업종, 직업, 공정 등에서 발생하는 발암인자에 노출된 근로자에 대한 정보와 건강 영향을 수집하고 지속적으로 감시하는 것이 쉽지 않기 때문이다.

1993년, 핀란드 산업보건연구소(Finland Institute of Occupational Health, FIOH)에서는 국제 암 연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에 등록된 발암인자와 자국의 산업별 노출근로자 수를 조합하여 발암인자 노출감시 시스템(Carcinogen Exposure, CAREX) 프로그램을 만들었다(Kauppinen et al., 2014). 이는 발암물질에 노출되어 직업성 암을 얻게 된 환자 수를 추정하고, 특정 발암물질에 대한 규제의 강화 및 직업성 암의 위험이 높은 업종과 직업을 찾아 보상과 예방정책에 사용하기 위한 것이다. 현재는 유럽 15개국과 여러 나라에서 CAREX 프로그램을 각국의 산업에 적용하고 국가의 특성을 보정하여 발암인자 노출을 감시하는 프로그램으로 활용하고 있다.

이 연구에서는 외국에서 보고되었던 CAREX 프로그램의 내용들을 종합적으로 고찰하여 CAREX 프로그램의 성과와 한계점을 알아보고, 우리나라에서 발암인자를 관리하는 데 CAREX 프로그램을 활용하는 방안을 제안하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 국가별 CAREX 프로그램 고찰

구글 학술검색 프로그램(http://scholar.google.co.kr)에서 “CAREX”를 검색하여 CAREX 프로그램과 관련된 보고서와 논문, 그리고 이를 활용한 문헌을 모두 고찰하였다. 고찰한 문헌의 참고문헌 중에서 이 연구 목적과 부합하는 문헌도 함께 고찰하였다.

2. 주요 고찰 내용

고찰내용의 범위는 아래와 같다.

- CAREX 프로그램에서 추정한 발암인자의 범위(등급)
- CAREX 프로그램에서 발암인자 노출 근로자 수 추정 절차
- CAREX 프로그램을 활용한 국가 사례
- CAREX 프로그램의 발암인자 노출 감시 한계점
- CAREX 프로그램의 활용방안

III. 결 과

1. CAREX 프로그램 총괄

CAREX 프로그램은 핀란드와 미국 자료를 기준(Reference)으로 한다. 기준이 되는 두 국가의 산업별 발암인자에 노출되는 근로자 노출비율(Prevalence rate, %)을 다른 해당 국가에 적용하거나 또는 그 국가의 특성을 반영하여 각 국가별 산업별 발암인자 노출 근로자 수를 추정하는 프로그램이다. 이 프로그램을 이용하면 국가 규모에서 산업별 발암인자에 노출되는 근로자 규모(수)를 간편하게 추정할 수 있다.

핀란드 자료는 1980년대 후반과 1990년대 초반에 수행한 화학 물질 노출 조사(SUTKEA project), 1979년 축적된 발암물질 노출 근로자 등록자료 (ASA register)를 기초로 만들어졌다. 이 자료에서 부족한 경우 핀란드 직무 노출 매트릭스(FINJEM) 등 다른 정보를 보충하였다(Kauppinen et al., 2000; Kauppinen, 2001; Kauppinen et al., 2014).

미국 자료는 NOES(National Occupational Exposure Survey)이다. NOES는 1981부터 1983년까지 3년 동안 표본으로 뽑은 8명 이상의 근로자를 고용한 4,490개 사업장을 조사한 정보이다. 여기에 농업, 광업, 유

Table 1. The major contents for CAREX program

Components	Description
Agent as carcinogen	Group 1, Group 2A and Group 2B classified by IARC
Industry workforce	Total number of workers who worked at industry generating carcinogens
The number of workers exposed to carcinogen	Total number of workers who actually exposed to carcinogen higher than background level
Exposure prevalence	Exposed/employed(%)
Refinement	Characteristics by country are considered and adjusted

통업, 금융업은 포함되지 않았다. NOES에서는 노출 가능성을 화학적·물리적·생물학적 요인이 근로자에 노출될 정도로 가까이 있어야 하고, 노출 기간(Exposure duration)이 최소 기준(연간 평균으로 주당 30분 노출 또는 1년 일하는 동안 90% 이상의 주에서 주당 한 번 이상)에 만족하는 경우에 노출된 것으로 평가하였다(Seta et al., 1988; Pedersen & Sieber, 1990; Sieber, 1990).

CAREX 프로그램을 구성하는 핵심 내용은 발암인자의 범위, 발암인자를 발생시키는 산업에 고용된 총 근로자 수, 발암인자에 노출된 근로자 수, 발암인자 노출비율(%), 발암인자 노출수준에 대한 정의 등이다(Table 1).

발암인자의 범위는 1995년 기준 IARC의 Group 1, Group 2A, Group 2B 등급으로 분류된 139개 인자(2014년 기준 466개)였다. 모두 사람에게 암을 일으킨다고 확정되거나(Confirmed) 의심되는(Probably or possibly) 인자들이다. 발암인자를 발생시키는 산업에 고용된 총 근로자 수는 1990-1993년 국제협력개발기구(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 자료를 토대로 한 것으로 임금 근로자, 자영업자, 무급 가족종사자, 파트타임 근로자를 모두 포함하였다. 산업분류는 1968년 국제표준산업분류(International Standard Industrial Classification, ISIC, 1968) 버전2를 따랐고, 제조업과 비제조업으로 구분하여 제조업은 보통 3자리 코드까지 분류하였다. 발암인자에 대한 노출여부의 기준은 일반 사람들이 실내나 대기에서 노출될 수 있는 배경농도(Background) 이상의 수준으로 정의했다(Kauppinen et al., 2000).

Figure 1은 CAREX 프로그램을 활용하여 산업별로 발암인자에 노출되는 근로자 수를 추정하는 과정을 나타낸 것이다.

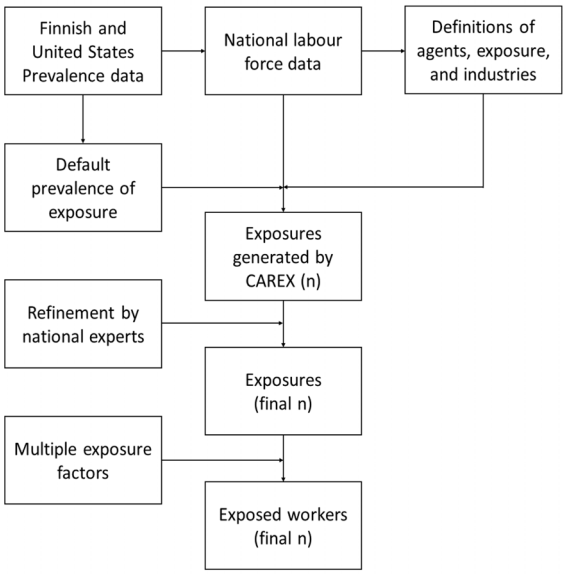

Figure 1. Process of CAREX program(Kauppinen et al., 2000) Kauppinen et al., 2000)

CAREX 프로그램을 활용하여 유럽 15개국, 에스토니아, 라트비아, 리투아니아, 체코, 코스타리카, 파나마, 니카라구아, 캐나다, 뉴질랜드에서 산업별 발암인자별 노출근로자 수를 추정하였다. 아시아권에서는 CAREX 프로그램을 활용한 국가가 보고된 바가 없다.

Table 2에 유럽연합 및 여러 나라에서 CAREX를 활용한 사례의 주요 특징을 정리하였다. 관리하고자 하는 발암인자의 수나 발암인자를 선정한 기준은 국가별로 달랐다. 발암인자에 대한 근로자 노출비율은 각 국가의 특성을 보정(Refinement)하여 최종 추정하였다. 캐나다는 2006년 당시 캐나다에 존재하는 발암물질 중 노출 측정 자료를 이용하여 평가 가능한 총 44개 발암인자에 노출되는 근로자 수를 추정했다(Peters et al.,

Table 2. Summary for the results based on CAREX program

Country	Target year	No of carcinogens	Industry Classification	No. of industry	Workforce Source	Source of Exposure Prevalence	Exposure prevalence(PR) used
EU CAREX	1990-1993	85	ISIC*, rev2, 1968	55	1990-1993 OECD	Finland SUTKEA project ASA register FINJEM United States NOES(1981~3)	Finnish and US
Estonia, Latvia, Lithuania, Czech Republic	1997	20	ISIC, rev2, 1968	33	Own Stat	Expert assessment, exposure data	Finnish and US, and refinement
Costa Rica	2000	27+ 5 Pesticides	ISIC, rev2, 1968	55	2000 Census	Own data for pesticide	Average of Finnish and US, and Refinement
Panama and Nicaragua	2011	27+ 4 Pesticides	ISIC, rev2, 1968	44	Panama 2000 Census Nicaragua 2005 Census	Own data for pesticide	Refinement by 25 experts
Canada	2006	44	NAICS**, 2002	21 (3 digit)	2006 Census	Canadian Workplace Exposure Database (CWED)	Refinement by at least two industrial hygienists
New Zealand	2006	255	ANZSIC† 3-digit	42	2006 Census	No information	No information

* ISIC: International Standard Industrial Classification
** NAICS: North American Industry Classification System
† ANZSIC: Australian and New Zealand Standard Industrial Classification

2014). 체코, 리투아니아, 라트비아의 경우 노동력 자료로 통계청의 자료를 활용하였고, 전체 55개 업종 중 33개 산업을 대상으로 하였다. 노출자료는 보고서, 논문 등이 주요 자료원이었지만, 일부 석면, 납 등 23개 물질에 대해 자체 노출분율 추정치를 만들어 사용하였다(Kauppinen et al., 2001). 코스타리카는 유럽에서 노출비율이 0.1% 미만인 물질, 의약품, 노출이 드문 발암인자는 제외하였다(Partanen et al., 2003). 뉴질랜드의 경우 IARC에 Group 1, Group 2A, Group 2B로 등록된 255개 물질과 자국의 2006년 센서스 자료를 조합하여 노출 근로자 수를 추정하였다(Mannetje et al., 2013). 니카라구아와 파나마에서는 27개 발암물질과 4개의 살충제에 대해 평가하였고, 벤지딘과 같이 유럽에서 드문 발암물질은 제외하였다(Blanco-Romero et al., 2011). 이탈리아에서는 1993년에 개발된 유럽 CAREX 프로그램의 발암물질을 토대로 자국의 노동력자료를 포함해 2005년도에 자국의 상황에 맞게 CAREX 자료를 업데이트 하였다(Mirabelli & Kauppinen, 2005). 각 국가들 마다 기본적으로 유럽과 미국의 노출비율을 사용했지만, 발암인자의 종류와 수, 노출된 근로자 수를 추정할 때는 국가의 상황을 고려한 것을 알 수 있다.

Table 3은 CAREX 프로그램을 활용하여 발암인자에 노출된 근로자 수와 노출비율을 요약한 것이다. 국가마다 추정한 발암인자의 수가 다르기 때문에 발암물질에 노출된 총 근로자 수를 비교할 수는 없다. 하지만 고용된 근로자 수에서 발암인자에 노출되는 비율이 17%~29% 범위인 것을 알 수 있다.

Table 4는 가장 많은 수의 근로자가 노출된 발암인자의 현황을 국가별로 나타낸 것이다. 여기서 총 81개의 발암인자가 정리되었고, 국가마다 많이 노출되는 발암인자가 다른 것을 알 수 있었다. 1990~1993년 유럽연합에서는 직업적으로 가장 많은 수의 근로자가 노출된 발암인자로 태양방사선(910만명), 결정형 유리규산(320만명), 디젤 엔진배출물(310만명), 라돈(270만명), 목재먼지(260만명) 등으로 보고되었다(Kauppinen et al., 2000). 캐나다의 경우 대부분 유럽연합에서 지정한 발암물질을 대상으로 하였지만, 교대 근무 등 직무 수행자체도 발암 요인으로 보고하였

Table 3. Summary for the numbers of workers exposed to carcinogen by EU country

Country	Total, exposures	Total, exposed workers	Exposed/employed(%)
Austria	1,100,000	790,000	25
Belgium	910,000	730,000	21
Germany	11,100,000	8,300,000	24
Denmark	880,000	680,000	24
Spain	4,000,000	3,100,000	25
France	6,000,000	4,900,000	23
Finland	650,000	510,000	24
Great Britain	6,600,000	5,000,000	22
Greece	1,100,000	910,000	27
Italy	5,600,000	4,200,000	24
Ireland	330,000	260,000	24
Luxembourg	63,000	48,000	25
Netherlands	1,400,000	1,100,000	17
Portugal	1,200,000	970,000	24
Sweden	1,100,000	820,000	20
Estonia	240,000	180,000	29
Latvia	320,000	260,000	28
Lithuania	600,000	470,000	28
Czech Republic	1,800,000	1,400,000	28

Table 4. The most common carcinogen exposures by country

Agent	EU	Estonia	Latvia	Lithuania	Czech Republic	Italy	Costa Rica	Nicaragua and Panama	Canada	New Zealand
Solar radiation	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Tobacco smoke, environmental	+	+	+	+	+	+		+		
Silica, crystalline	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Diesel exhaust	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Radon	+	+	+	+	+					
Wood dust	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Lead and its compounds	+	+	+	+	+				+	
Benzene	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Asbestos	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Ethylene dibromide	+	+	+	+	+					
Formaldehyde	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Poly Aromatic Hydrocarbons	+	+	+	+	+	+		+		
Glasswool	+	+	+	+	+	+				
Tetrachloroethylene	+	+	+	+	+	+		+	+	
Chromium (VI) compounds	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Sulphuric acid mist	+	+	+	+	+					
Nickel compounds	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Styrene	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Methylene chloride	+	+	+	+	+	+		+		
Trichloroethylene	+	+	+	+	+	+		+	+	
Benomyl							+	+		
Chlorothalonil							+	+		
Mancozeb, maneb, zineb							+	+		
Methyl bromide							+	+		

Agent	EU	Estonia	Latvia	Lithuania	Czech Republic	Italy	Costa Rica	Nicaragua and Panama	Canada	New Zealand
Paraquat, diquat							+	+		
Chlorophenoxy herbicides							+	+		+
Triazines							+	+		
Lead and inorganic compounds						+		+		+
Radon and decay products								+		
Man-made vitreous fibers (except ceramic fibers)								+		
Strong inorganic acid mists containing sulfuric acid						+		+		
Cobalt and compounds								+	+	
Arsenic and compounds						+		+	+	+
Ionizing radiation (X-rays, gamma, neutrons)								+	+	+
Cadmium and compounds						+		+	+	
Ethylene oxide								+	+	+
Vinyl chloride								+		
Ceramic fibers								+		
Epichlorohydrine								+	+	
Methamidophos								+		
Ultraviolet radiation(artificial sources)									+	
Polychlorinated biphenyls									+	+
Oal rar and coal tar pitches									+	
Beryllium									+	+
1,3-Butadiene									+	
Shift work with potential for circadian disruption									+	
Acrylamide									+	+
Creosotes									+	
Ethylbenzene									+	
Bitumens									+	+
Dichloromethane									+	
Toluene diisocyanates									+	
Chloroform									+	
Antominy trioxide									+	
Acetaldehyde									+	
Naphthalene									+	
Vanadium pentoxide									+	
Acronitrile									+	+
Pentachlorophenol									+	
1,4-Dioxane									+	
Refractory ceramic fibres									+	
1,2-Dichloroethane									+	
Nitrobenzene									+	
Polycyclic aromatic hydrocarbons									+	
Antineoplastic agents									+	
Marine diesel fuel										+
Occupational exposure in drycleaning										+
Occupational exposure in printing processes										+
Chlordane										+

Agent	EU	Estonia	Latvia	Lithuania	Czech Republic	Italy	Costa Rica	Nicaragua and Panama	Canada	New Zealand
ELF-EMF(Extremely low frequency electromagnetic field)										+
Chlorinated solvents										+
Gasoline engine exhausts										+
Welding fumes										+
Ethylene bromide										+
Hairdresser&barber										+
Shiftwork										+
High temperature frying (emissions from)										+
Non-arsenical insecticides										+
Painter(Occupational exposure as)										+
Involuntary smoking										+
Carpentary and joinery										+

고(Peters et al., 2014), 뉴질랜드의 경우 Marine diesel fuel이나 극저주파수 전자파(Extremely low frequency-Electronic magnetic field, ELF-EMF)와 같은 자국에서 특별히 관리하는 일부 물질도 포함하여 프로그램을 구축하고 있었다(Mannetje et al., 2013). 코스타리카를 제외하고 유럽연합에서 빈번하게 노출되는 발암인자가 다른 나라에서도 많이 노출되는 것으로 나타났다. 이 중 공통적으로 가장 많이 노출된 것으로 고찰된 인자는 디젤 배출물질(Diesel Engine Exhaust, DEE)이었다.

Ⅳ. 고 찰

근로자가 발암인자에 노출되는 특성과 수준을 평가하는 것은 발암물질에 대한 노출을 줄이고 억제하기 위한 구성 요인들을 알 수 있기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. 노출특성(인자)이란 산업, 직업, 직무, 환기 수준, 작업 방법 등 발암인자의 발생에 영향을 미치는 원인에 대한 정보로서 그 종류가 아주 다양하다. 사업주는 직접 고용한 근로자를 대상으로 발암인자의 노출특성과 노출수준 등을 구체적으로 평가하고 감시할 수 있는 가장 직접적이고 가까운 사람이기 때문에 사업주의 의지만 있다면 발암인자의 발생과 노출에 영향을 미치는 사업장 곳곳의 환경과 작업 특성을 평가하고 노출을 억제하는 조치를 취할 수 있는 프로그램을 만들 수 있다. 하지만 국가 수준에서는 개별 사업장의 모든 근로자에 대해 발암물질의 노출특성과 노출수준을 파악하고 수집하는 것이 매우 어렵기 때문에 사업주처럼 모든 사업장을 대상으로 발암인자의 노출특성을 정밀하게 파악하고 감시하는 것이 불가능하다.

국가 규모에서 노출을 감시할 때는 포괄적인 유해인자에 대한 노출경향, 질병 발생 양상 등을 감시할 수 있는 표준 변수를 감시한다. 보통 유해인자와 건강영향에 대한 국가 감시변수로 사용하는 것은 산업, 직업, 직무 등이다. 산업・직업별로 유해인자의 질병 양상과 위험에 노출된 근로자의 규모와 특성을 파악하면 국가가 특정 산업, 직업, 유해인자 등에 대한 대책에 개입하거나 관리해야 할 우선 사업을 결정할 수 있기 때문에 유해인자를 적절하게 제어하고 예방하는데 활용할 수 있다.

우리나라에는 발암인자에 노출되는 근로자의 규모를 파악할 수 있는 구체적인 감시 프로그램이 없다. 정기적으로 모든 사업장을 방문하여 수행하는 산업보건사업인 작업환경일제조사, 작업환경측정, 특수건강진단, 건강관리수첩 등의 제도가 발암인자를 감시하는 제도라고 볼 수 있지만, 이러한 제도를 통해서는 국가가 감시할 수 있는 구체적인 감시 대상, 규모, 자료를 제대로 확보할 수 없는 한계가 있기 때문에 국가 규모에서 발암인자에 노출되는 근로자를 감시하기 위한 자료를 구할 수가 없다. 따라서 우리나라 산업보건사업은 위험에 노출되는 근로자의 규모를 파악하고, 노출을 줄이며, 노출에 따른 건강위험도 함께 감시할 수 있는 프로그램이나 제도로 발전해야 한다.

유럽 CAREX는 핀란드와 미국에서 발암인자의 산업별 노출비율을 개별 국가에 적용하고 이를 보정하여

개략적인 노출 근로자 수를 추정한 단순한 프로그램이다(Kauppinen et al., 2006). 우리나라에도 CAREX 프로그램을 활용한 자료를 적용하여 개략적인 산업별 · 발암인자별 노출 근로자 수를 추정할 수 있다. 이를 이용해 발암인자 노출을 억제해 건강위험을 감시할 수 있는 정책을 만들거나 사업의 우선 순위를 결정할 수 있는 효과를 거둘 수 있다.

다만, 우리나라가 CAREX 프로그램을 활용하여 발암인자에 노출되는 근로자 수를 추정할 때는 아래와 같은 한계점을 인식하고 보정하여 가능하면 불확실성을 줄이는 전략이 필요하다.

첫째, 발암인자 노출시기에 따른 보정이 필요하다. CAREX 프로그램 자료의 기준 시기는 1990~1993년이다. 시기별로 발암인자 노출비율에 영향을 미쳤던 법적 요인이 있었는지 살펴보아야 한다. 예를 들면 석면, 벤젠 등에 대한 법적 금지 또는 제한 조치 등은 산업별 발암인자의 노출비율뿐만 아니라 노출수준에도 변화를 초래할 수 있기 때문이다. 또한, 국가마다 특정 발암인자의 법적 관리수준에 차이가 있으므로 발암인자 노출비율, 노출수준의 차이를 초래할 수 있는 요인들을 시기별로 파악하여 보정해야 한다. 하지만 구체적인 보정방법을 보고한 문헌이 없어 참조하기가 어렵기 때문에 CAREX 프로그램과 비교하여 발암인자 노출비율에 영향을 미쳤을 변화요인을 보정하는 전략을 개발하고 그 과정을 기록하는 것이 필요하다.

둘째, CAREX 프로그램에는 구체적인 노출특성, 노출수준, 노출변수(직업, 직무 등) 등에 대한 정보가 없고 산업별 · 발암인자별 노출근로자 수에 대한 추정치만 있다. CAREX에는 배경농도 이상의 노출이 일어나는 산업만이 나타나 있고 실제 발암인자를 발생시키고 근로자 노출이 일어나는 공정, 직업 등에 대한 정보는 나타나 있지 않다. 구체적인 노출특성을 알기 위해서는 추가로 발암인자에 노출되는 근로자 수가 많은 특정 산업을 대상으로 발암인자에 노출되는 공정, 노출수준 등 노출특성을 추가로 조사해야 한다. 예를 들어, 디젤 배출물질에 대한 노출이 가장 많은 산업은 광업이다. 대부분의 국가에서는 광업에서 일하는 근로자의 50% 이상이 디젤 배출물질에 노출되는 것으로 추정했다. 캐나다의 경우 교대 근무 등 직무 수행자체도 발암 요인으로 보고하였지만, 어떤 공정이나 직무에서 노출될 수 있는지는 분류하지 않았다(Peters et al., 2014). 모든 업종에서 발암인자에 노출되는 구체적인 공정, 직무 등을 파악하여 노출수준까지 평가하는 추가 관리가 뒤따라야 한다.

셋째, 산업분류기준이 국가별로 다를 수 있기 때문에 CAREX에서 산업을 분류하는 기준이 동일한지 살펴보고 차이가 있다면 이를 보정해야하며 특히 시기별로 산업분류의 차이를 반드시 고려해야 한다. CAREX 프로그램에서 적용한 산업분류기준은 ISIC 버전 2(1968년 개정)였다. 이 후에도 국제표준이 두 차례 더 개정되어 현재는 ISIC 버전 4가 적용되어 분류기준도 달라졌다. 미국과 라트비아, 리투아니아의 경우 산업분류는 UN의 ISIC 버전3을 거쳐 ISIC버전2로 변환되었는데, 이 과정에서의 오류를 줄이기 위해 코드의 특이도를 최대화 하는 방식을 취했다(Kauppinen et al., 2001; Kauppinen et al., 2006). 체코의 경우 노동력 자료가 NACE 버전1로 되어있어, ISIC 버전2로 변환되면서, 80% 이상의 임금노동자를 커버하는 산업위생 자료를 모아 카렉스를 추정하는데 사용 하였다. 우리나라는 산업관련 통계자료의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위하여 국제 표준 산업분류에 기초한 한국 표준 산업분류를 제정하였으며, 국제 표준 산업분류의 개정과 국내 산업구조 및 기술변화를 반영하기 위해 주기적으로 개정하고 있다. 현재는 국제 표준산업분류 4차 개정내용을 반영한 9차 한국표준산업분류를 적용하고 있다. 시기에 따른 산업분류에서 노출분율의 차이를 어떻게 보정할 것인가도 매우 중요하며 필요한 경우 현장 표본조사를 통해서 보정을 해야 한다.

넷째, 근로자에 대한 고용 형태와 근로자 센서스 형태가 국가마다 다를 수 있기 때문에 정확한근로자 수와 여러 고용 형태(정규직, 비정규직, 파트타임, 인턴 등)가 모두 포함되었는지 파악해야 한다. 시기별로 고용된 근로자 수에 대한 기준이 다를 수 있다. CAREX 프로그램의 기준 시기인 1990~1993년에는 근로자 1인 이상의 사업체를 조사하는 『사업체 기초 통계조사』가 실시되기 전이었으므로, 당시 산업별 근로자 통계는 『직종별 사업체 노동력 조사』자료를 통해 확인할 수 있으나, 이 조사는 10인 이상의 근로자를 고용하고 있는 사업체를 대상으로 하였기 때문에 모든 근로자가 포함된 통계자료는 아닌 것으로 판단된다. 또한 『사업체 기초 통계 조사』도 농업, 임업, 어업과 국제기관 등은 제외되므로 산업별 근로자

수를 가장 신뢰있게 파악할 수 있는 다른 통계조사 자료를 활용해야 한다. 우리나라에서 고용 근로자 수에 대한 통계는 10인 이상이었고 현재는 5인이므로 직접 활용하기에 역시 한계가 있다. 근로자 수 통계에서 국가 간 고용형태, 고용 근로자 기준 등의 차이에 따라 보정하고 이를 설명해야 한다.

마지막으로 CAREX 프로그램을 활용하여 추정한 발암인자에 노출되는 근로자 수가 많은 특정 산업을 결정하고, 이를 대상으로 발암인자 노출 및 건강영향 감시 전략을 세워야 한다. 구체적인 발암인자 노출공정을 파악하고, 노출수준을 평가한 뒤 노출을 억제할 수 있는 방법 등을 마련하는 연구와 사업을 추진해야 한다.

V. 결 론

이 연구에서는 산업별 발암인자 노출 근로자 규모를 추정하는 데 CAREX 프로그램을 활용할 수 있는 것으로 확인했다. CAREX 프로그램을 통해 추정된 결과를 근거로 국가가 우선적으로 집중해야 할 주요 산업과 발암인자 등을 끌어낼 수 있다. 즉, 발암인자에 가장 많이 노출되는 근로자가 일하고 있는 산업을 알 수 있는 것이다. CAREX 프로그램의 결과를 근거로 파악한 가장 위험한 산업을 대상으로 발암인자에 노출되는 공정과 노출수준 등을 구체적으로 정밀하게 평가하는 과정이 뒤따라야 한다.

References

Blanco-Romero, LE, Vega, LE, Lozano-Chavarría, LM, Partanen, TJ. CAREX Nicaragua and Panama: Worker exposures to carcinogenic substances and pesticides. Int J Occup Environ Health 2011;17(3):251-257

Kauppinen, T. Finnish occupational exposure databases. Appl Occup Environ Hyg 2001;16(2):154-158

Kauppinen, T, Pajarskiene, B, Podniece, Z, Rjazanov, V, Smerhovsky, Z, Veidebaum, T, Leino, T. Occupational exposure to carcinogens in Estonia, Latvia, Lithuania and the Czech Republic in 1997. Scand J Work Environ Health 2001;343-345

Kauppinen, T, Toikkanen, J, Pedersen, D, Young, R, Ahrens, W, Boffetta, P, Hansen, J, Kromhout, H, Blasco, JM, Mirabelli, D. Occupational exposure to carcinogens in the European Union. Occup Environ Med 2000; 57(1):10-18

Kauppinen, T, Uuksulainen, S, Saalo, A, Mäkinen, I, Pukkala, E. Use of the Finnish Information System on Occupational Exposure (FINJEM) in Epidemiologic, Surveillance, and Other Applications. Ann Occup Hyg 2014;met074

Kauppinen, T, Vincent, R, Liukkonen, T, Grzebyk, M, Kauppinen, A, Welling, I, Arezes, P, Black, N, Bochmann, F, Campelo, F. Occupational exposure to inhalable wood dust in the member states of the European Union. Ann Occup Hyg 2006;50(6):549-561

Mannetje, At, Pearce, N, McLean, D, Douwes, J, Dryson, E, Walls, C, Ellison-Loschmann, L, Blair, A, Kromhout, H, Slater, T, Boffetta, P (2013). Workplace exposure to carcinogens in New Zealand (HRC 08/569). Centre for Public Health Research, Massey University.

Mirabelli, D, Kauppinen, T. Occupational exposures to carcinogens in Italy: an update of CAREX database. Int J Occup Environ Health 2005;11(1):53-63

Partanen, T, Chaves, J, Wesseling, C, Chaverri, F, Monge, P, Ruepert, C, Aragón, A, Kogevinas, M, Hogstedt, C, Kauppinen, T. Workplace carcinogen and pesticide exposures in Costa Rica. Int J Occup Environ Health 2003;9(2):104-111

Pedersen, DH, Sieber, WK. National occupational exposure survey. Vol III. Analysis of management interview responses. Cincinnati, Ohio: US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health; 1990. (Publication No. 89-103.)

Peters, CE, Calvin, BG, Hall, AL, Davies, HW, Demers, PA. CAREX Canada: an enhanced model for assessing occupational carcinogen exposure. Occup Environ Med 2014;oemed-2014-102286

Seta, JA, Sundin, DS, Pedrsen, DH. National occupational exposure survey. Vol I. Survey manual. Cincinnati, Ohio: US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health; 1988. (Publication No. 88–106.)

Sieber, WK. National occupational exposure survey. Vol II. Sampling methodology. Cincinnati, Ohio: US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health; 1990. (Publication No. 89-102.)