

작업환경측정 결과 데이터베이스를 활용한 직무노출매트릭스 구축을 위한 공정 표준화

최상준^{1,2*} · 박주현³ · 고동희⁴ · 박동욱⁵ · 김환철⁶ · 임대성⁷ · 성예지¹ · 고경윤¹ · 임지선³ · 서희경⁸

¹가톨릭대학교 보건의료경영대학원, ²가톨릭보건의료경영연구소, ³동국대학교 통계학과, ⁴가톨릭관동대학교 국제성모병원,
⁵한국방송통신대학교, ⁶인하대학교, ⁷한성보건안전기술원(주), ⁸한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Process Standardization for the Construction of Job-Exposure Matrix Using the Work Environment Measurement Database

Sangjun Choi^{1,2*} · Ju-Hyun Park³ · Dong-Hee Koh⁴ · Donguk Park⁵ · Hwan-Cheol Kim⁶ ·
Dae Sung Lim⁷ · Yeji Sung¹ · Kyoung Yoon Ko¹ · Ji Seon Lim³ · Hoekyeong Seo⁸

¹Graduate School of Public Health and Healthcare Management, The Catholic University of Korea

²Catholic Institute for Public Health and Healthcare Management

³Department of Statistics, Dongguk University

⁴Department of Occupational and Environmental Medicine, International St.Mary's Hospital,
Catholic Kwandong University

⁵Department of Environmental Health, Korea National Open University

⁶Department of Occupational and Environmental Medicine, Inha University

⁷Hansung Health and Safety Technology Co., Ltd.

⁸Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to standardize the process code of the work environment measurement database (WEMD) for the construction of a job-exposure matrix (JEM).

Methods: The standard process code (SPC) was reclassified based on process similarity and drawing upon the code used in the existing K2B. It was supplemented through review by industrial hygiene experts. In addition, an index word database related to SPC was created and used for SPC search. A pilot evaluation project was conducted by experts to evaluate the validity of the newly reclassified standard process code.

Results: A total of 70 final SPCs were developed, including 31 processes related to the construction industry. Using the Shiny program, we developed a standard code finder that can be used on the web (https://kscf.shinyapps.io/scf_app/). As a result of the pilot evaluation, it was determined that it was easier to search for standard codes than previous codes, so it was highly utilized.


Conclusions: It is expected that JEM construction using industry-process information drawing on WEMD data will be possible using the 70 newly standardized process codes.


Key words: job-exposure matrix, process standardization, work environment measurement database


*Corresponding author: Sangjun Choi, Tel:02-2258-7379, E-mail: junilane@gmail.com


Graduate School of Public Health and Healthcare Management, The Catholic University of Korea, 222 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul, 06591, Korea


Received: January 18, 2023, Revised: February 1, 2023, Accepted: February 19, 2023


 Sangjun Choi <http://orcid.org/0000-0001-8787-7216>


 Donghee Koh <http://orcid.org/0000-0002-2868-4411>


 Hwan-Cheol Kim <https://orcid.org/0000-0002-3635-1297>


 Yeji Sung <https://orcid.org/0000-0003-2267-5490>


 Ji Seon Lim <https://orcid.org/0000-0002-6642-5031>

 Ju-Hyun Park <https://orcid.org/0000-0001-9675-6475>

 Donguk Park <https://orcid.org/0000-0003-3847-7392>

 Daesung Lim <http://orcid.org/0000-0003-4190-0390>

 Kyoung Yoon Ko <https://orcid.org/0000-0001-6616-5164>

 Hoekyeong Seo <https://orcid.org/0000-0002-8069-3788>

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.

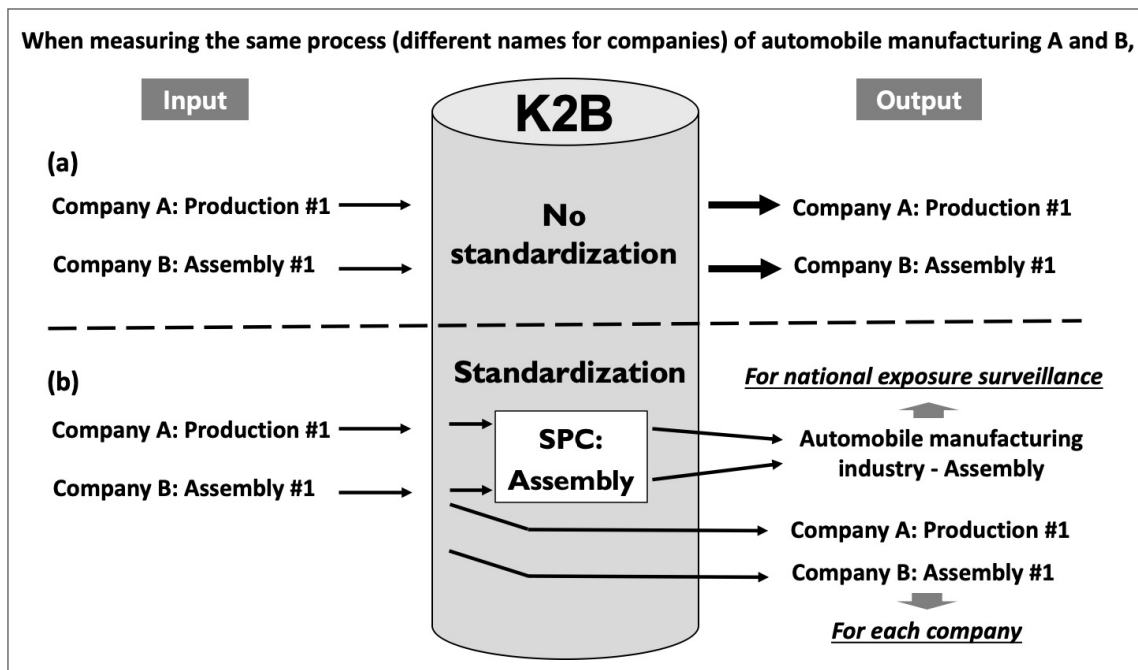
I. 서 론

국가차원에서 직업성 질환을 예방하고, 적절한 안전보건 정책을 수립하기 위해서는 상시적인 노출 감시 체계(exposure surveillance system)와 건강 감시체계(health surveillance system) 구축이 필요 하다(Rantanen et al., 2001; VIOSH, 2006). 특히 정량적인 노출 평가 자료를 활용한 직무-노출매트릭스(Job-Exposure Matrix, JEM)는 국가차원의 안전보건정책 수립 및 역학연구 등에 유용하게 활용가능하기 때문에 핀란드는 가장 먼저 FINJEM(Finnish Job-Exposure Matrix)을 개발하였고(Kauppinen et al., 2014), 독일은 MEGA(Stamm, 2001; Gabriel, 2006), 프랑스는 COLCHIC(Vincent & Jeandel, 2001)과 같은 데이터베이스를 국가 노출 감시 체계로 활용해 오고 있다.

우리나라는 산업안전보건법에 의해 사업주로 하여금 작업환경측정(이하 측정)과 특수건강진단(이하 특검)을 주기적으로 실시하도록 하고 있으며, 실시 결과는 2002년부터 한국산업안전보건공단이 작업환경측정 결과 자료를 서면으로 제출받아 엑세스(Microsoft Access) 프로그램을 수기로 입력하여 전산화했고, 2010년부터 'K2B'라는 전산 시스템(<https://k2b.kosha.or.kr/index.do>)을

통해 실시 기관들이 한국산업안전보건공단으로 결과자료를 직접 입력하여 보고하고 있다. 이렇게 전산화 되어 저장된 작업환경측정 결과 데이터베이스(Work Environment Measurement Database, WEMD)는 노출감시체계로 활용 가능한 국내 최대 자료라고 할 수 있는데, 고용노동부 통계에 따르면 2021년에만 188개 측정기관이 75,377개 사업장의 640,451개 공정을 대상으로 측정이 실시되었다(MOEL, 2022). 현재 고용노동부에서는 WEMD의 실시 결과에 대한 분석 보고서를 매년 발표하고 있지만, 주로 업종별, 규모별, 관할 지방 관서별 노출기준 초과 사업장 수 혹은 초과 공정 수에 대해서만 분석하고 있으며 어떤 업종의 어떤 공정이 무슨 유해인자에 노출수준이 높고 낮은지와 같은 상세한 분석 결과는 제시되지 않고 있다.

WEMD를 노출감시체계로서 활용할 수 있도록 분석하기 위해서는 사업장 및 근로자들의 노출 특성을 파악할 수 있는 변수인 업종, 공정, 직종 등이 표준화된 코드로 분류될 수 있어야 한다. 예를 들어 Figure 1과 같이 자동차 제조 사업장 두 곳(A, B)의 조립 공정에 대해 측정기관 두 곳이 각각 측정을 실시했을 때, A 사업장 측정결과는 '생산1부'라고 입력되고 B 사업장의 측정결과는 '조립1공장'이라고 입력될 수 있는데, 이런 경우 표



K2B: KOSHA to business, SPC: standard process code

Figure 1. Conceptual diagram of K2B process standardization.

준화 없이 두 사업장의 자료가 K2B에 보고된다면 통합 분석하기 힘들어진다. 그러나 입력 단계에서 두 사업장 모두 공정 내용에 기초하여 ‘조립’이라는 표준화된 공정 명칭으로 추가 입력될 수 있도록 한다면 서로 다른 사업장에서 측정된 자료도 표준화된 공정을 활용하여 통합 분석이 가능할 것이다. 따라서 WEMD의 주요 노출변수에 대한 정확한 표준화 코드 입력이 중요하다.

현재 K2B에서 업종은 한국표준산업분류(Korea Standard Industry Code, KSIC) 코드로 입력되고, 직종은 한국표준직업분류(Korean Standard Classification of Occupations, KSCO) 코드가 활용되고 있다. 공정은 2019년까지 1,390개의 K2B 공정코드를 활용해 왔으나, 2020년부터는 측정기관 입력자들이 신규 공정코드를 만들어서 입력할 수 있도록 하여 공정코드 수가 더욱 많아지고 있고, 입력자들이 정확한 분류코드를 선택하기가 어렵기 때문에 입력 오류 발생 가능성이 큰 제한점이 있다 (Choi et al., 2022).

따라서 표준코드를 보다 정확하게 입력가능하면서도 노출감시체계로서 의미 있게 분석될 수 있도록 표준코드의 재분류 필요성이 있으며, 이에 본 연구팀은 2020년부터 2022년까지 표준공정과 표준직종을 재분류하여 최적의 코드를 개발하는 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 표준공정 코드 개발 과정과 결과를 정리하여 향후

개발된 코드를 활용하여 WEMD 분석 및 역학연구 등에 활용될 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 표준공정 코드 개발 검토 자료

본 연구에서 개발하고자 하는 표준공정 코드는 기존에 입력되어 있는 K2B WEMD에 적용할 수 있고, 향후 입력될 측정자료들에 대해서도 적용 가능하게 하고자 하였다. 따라서, 이를 위해 기존에 사용해 왔던 K2B 공정코드를 검토 대상 코드로 활용했다. 기존 표준공정 코드는 2019년 까지 1,390개의 코드(SPC₂₀₁₉)를 사용해 왔고, 2020년부터는 자율적으로 코드를 입력하도록 시스템이 변경되었다. 이에 본 연구에서는 1390개의 SPC₂₀₁₉와 2020년부터 2021년 9월 29일 시점까지 생성된 추가 코드가 합쳐진 2,807개 표준코드(SPC₂₀₂₀)를 검토 대상으로 하였다.

2. 표준공정 코드 개발 1단계

표준공정 코드 개발은 크게 2021년과 2022년에 걸쳐 2단계로 진행되었으며, 전체 개발 과정은 Figure 2에 요약하였다. 2021년 1단계에서는 SPC₂₀₁₉ 1,390개와 SPC₂₀₂₀ 2,807개를 산업위생전문가들(SC & DP)에 의

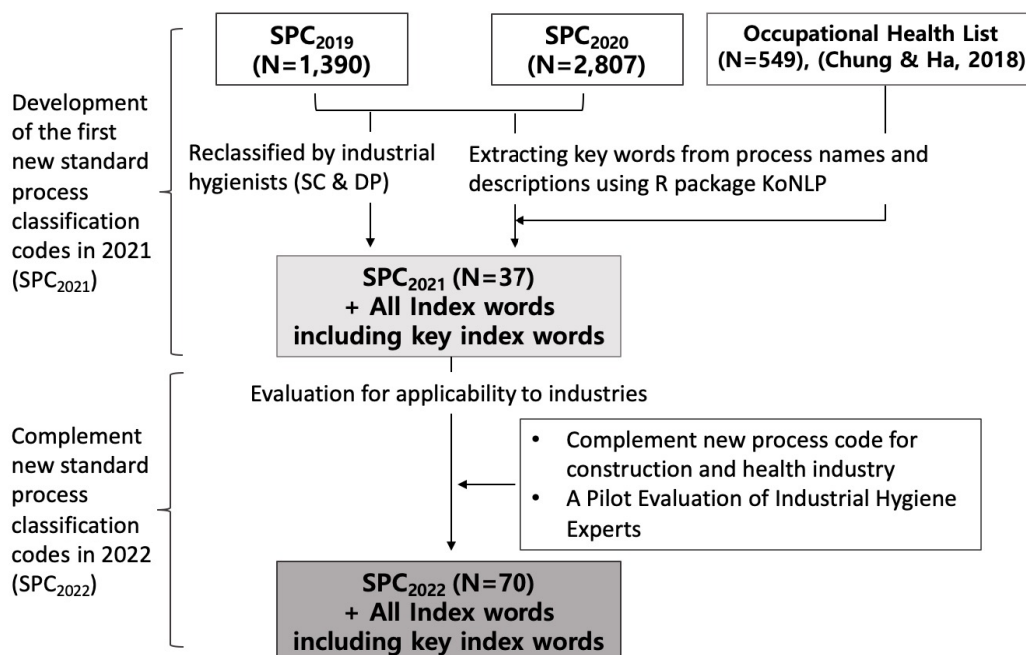


Figure 2. A schematic diagram of the standard process codes (SPCs) development.

해 공정의 유사성과 발생 가능한 유해인자의 노출 유사성을 고려하여 37개의 표준공정(SPC₂₀₂₁)으로 재분류하였다. 또한 각 SPC₂₀₁₉와 SPC₂₀₂₀의 공정명과 공정설명에서 R package인 KoNLP의 함수들(예, extractNoun)을 이용하여 명사 위주의 단어들을 추출하였고, 추출된 단어들 중 해당 표준공정을 가장 잘 설명해 주면서 다른 공정과 배타적인 특성을 갖는 단어들을 핵심 색인어(key index words)로 구성하였다. 또한, 핵심 색인어에 포함되지 않은 단어들과 외부 보충자료로서 산업보건일람표(Chung & Ha, 2018)의 총 549개 공정에 대한 공정명과 개요에서 추출한 단어들을 기반으로 추가 색인어를 구성하여, 소수인 핵심 색인어가 놓칠 수 있는 공정 관련 색인어들을 포함시킬 수 있도록 하였다. 예를 들어, 표준공정 ‘주입(SPC-2)’의 경우, 핵심색인어(‘주입’, ‘삽입’, ‘첨가’, ‘충전’, ‘투입’)외에, ‘용기투입’ 및 ‘측매투입’과 같은 관련 연관 단어들을 추가 색인어로 구성하였다.

3. 표준공정 코드 개발 2단계

Figure 2와 같이 표준공정 코드 개발 2단계에서는 2021년에 개발한 37개 표준공정 코드가 기존 측정이 이루어진 여러 업종별 자료에 잘 적용될 수 있는지를 검토하여 보완하고, 이후 측정/특검 기관 전문가들에게 실제 사용해보도록 시범평가를 통해 문제점을 보완하였다.

먼저 37개의 표준공정(SPC₂₀₂₁)과 색인어 DB를 이용하여 2020년에 실시되어 K2B에 보고된 총 2,934,230개의 WEMD₂₀₂₀에 표준공정(SPC₂₀₂₁)이 자동 할당되도록 알고리즘을 작성하여 적용하였다. 알고리즘은 표준공정(SPC₂₀₂₁)의 색인어 DB 단어들과 WEMD₂₀₂₀의 공정명, 단위작업장소 정보와의 일치율이 가장 높은 표준공정이 할당되도록 하였다. 자동할당된 표준공정에 대해 산업위생전문가(SC)가 검토 후 업종별 표준공정이 할당되지 못한(‘기타’로 할당된) 비율을 확인하고, 특히 기존 공정 코드들이 제조업 중심의 공정들로 구성된 것을 고려하여 ‘건설업’ 관련 공정들을 표준공정(SPC₂₀₂₁)에 추가 보완을 결정하였다. 건설업 관련 표준공정은 ‘건설산업기본법 시행령’ 별표 1에 의해 규정하고 있는 ‘공사’-‘건설산업’-‘업무분야’-‘업무내용’-‘건설공사의 예시’의 분류체계에 기초하여 유사공정을 구분하여 활용하였다.

1단계 개발된 표준공정 코드에 건설업 관련 표준공정 코드를 보완 후 개발된 코드를 측정 및 특검 기관에서 실제 활용하여 분류 타당성이 있는지를 평가하기 위해

시범사업을 실시하였다. 시범사업은 총 18개 기관(측정 기관 10, 특검기관 8)이 참여하였으며, K2B 입력 시스템에 시범사업 참여기관만 접속 가능하도록 프로그램을 만들어 접속 후 각 기관이 최근 측정 혹은 특검을 실시한 사업장 자료를 선택하여 새로 개발된 표준공정 코드로 재입력 하도록 하였다. 시범사업 종료 후 각 기관에서 새로 개발된 표준공정 코드 입력에 대한 평가 의견을 수렴하여 건강관리(SPC069)와 정비(SPC070)을 최종 보완한 2022년 표준공정 코드(SPC₂₀₂₂) 70개를 개발하였다.

4. 표준공정 코드 검색기 개발

본 연구에서 새롭게 표준화된 공정 코드에 대해 기존 K2B 입력 담당자의 표준코드 선택을 용이하게 하기 위해 통계 연산 프로그램인 R에서 바로 대화형 웹 앱(interactive web app)을 쉽게 만들 수 있게 도와주는 R package인 Shiny를 이용하여 ‘Standardized Code Finder, SCF’로 명명한 검색 도구를 개발하였다.

검색을 수행하는 연산 알고리즘은 표준공정(SPC₂₀₂₂) 색인어들과 검색 창에 입력된 ‘공정 관련 단어들, 또는 공정을 묘사하는 문장’과 얼마나 많이 일치하는지를 계산하고 핵심 색인어와 일치될 경우 ‘1’점, 추가 색인어와 일치될 경우 ‘0.5점’을 부여하여 총점이 높은 순서대로 표준공정을 결과로 제시하도록 설계되었다. 만약 여러 개의 동점인 일치 점수가 발생할 경우 핵심 색인어와 일치 수가 많은 순으로 결과가 나타나도록 하였다.

III. 연구결과

1. 표준공정 코드

2022년에 최종 개발된 표준공정 코드(SPC₂₀₂₂) 70개에 대한 정의와 핵심색인어는 Table 1에 제시하였으며, Shiny로 개발한 표준코드 검색기(SCF) 웹 사이트(https://kscf.shinyapps.io/scf_app/)에서 국문 명칭 및 정의, 색인어들을 확인 할 수 있다.

총 70개의 표준공정 코드 중 ‘SPC001 Preparation/support(준비/지원)’부터 ‘SPC037 Waste treatment(폐기물 처리)’까지는 1단계에서 기존 K2B 코드를 기반으로 재분류하여 개발하였고, 이후 2단계에서 ‘SPC038 Landscaping(조경공사)’부터 ‘SPC068 Building maintenance construction(시설물유지관리공사)’까지 31개의 건설업 관련 표준공정을 추가하였다. 건설업 관련

Table 1. Description of the final developed standard process code and key index words

Standard Process Code	Standard process name	Description	Key index words
SPC001	Preparation/sup port	Process comprising the preparation of primary and secondary materials needed for the production operation of major products and services, design, utility management, various facilities and equipment management, administrative support, etc.	Engineering, marking, power, preparation, pretreatment, repair, storage, support, utility
SPC002	Filling	Process to fill specific materials into empty spaces	Adding, charging, filling, input, insertion
SPC003	Melting	Process to melt specific materials by heating	Arc furnace, cupola, electric furnace, melting, molten iron, reverbatory furnace
SPC004	Casting	Process to fill molds with molten metal and produce products	Cast iron, casting, core, desanding, die casting, mold, molding
SPC005	Rolling	Process, as a method of plastic deformation of metals, to reduce the thickness of metal and make the thickness uniform using a roll	Drawing, elongation, extrusion, rolling
SPC006	Cutting	Process comprising various works to separate and remove a part of objects using forces	Bending, cuttng, shearing
SPC007	Forging	Process to make products by pressing metals in solid state at high temperatures or at room temperature	Forging, swaging
SPC008	Grinding	Process to maintain the flatness and smoothness and to increase the luster by grinding the rough or protruding parts of an object	Buffing, grinding, polishing, sand blasting
SPC009	Forming	Process to induce shape changes on materials due to plastic deformation by applying physical or chemical external forces	Coiling, drilling, foaming, forming, lathing, planing, processing, sheet metal
SPC010	Welding	Process to bond two solid materials with heat and pressure	Fit-up, soldering, temporary joining, welding
SPC011	Bonding	Process to maintain the bonding of two different materials with the interfacial bonding force	Adhesion, attaching, bonding, joining
SPC012	Assembling	Process to assemble many parts to make one structure	Assembly, mounting, riveting
SPC013	Heat tretatment	Process to change the structure and properties of metals by controlling the heating and cooling depending on the use	Annealing, heat treatment, quenching, tempering
SPC014	Coating	Process to make more useful than the orginal material properties by coating a layer of another material on the surface of the original material	Anodizing, galvanizing, plating
SPC015	Painting	Process to add a layer of paint on to a material surface	Coating, paint, pigments, thinner
SPC016	Surface treatment	Various processes to produce surfaces for the purpose of beautification, hardening, and corrosion resistance (excluding plating and painting)	Coating, covering, surface treatment
SPC017	Cleaning	Process to remove foreign materials using water, detergent, solvent, physical energy, etc.	Cleaning, launderig, removing, washing
SPC018	Inspection	Process to check abnormalities and to straighten them such as supervision, inspection, test, analysis, experiment, evaluation, etc.	Analysis, experiment, inspection, measurement, testing
SPC019	Mixing	Process to mix more than two materials with their material properties sustained	Combination, compound, mixing
SPC020	Chemical reaction	All reaction processes in which a chemical changes to another chemical through chemical transformations	Chemistry, decomposition, oxidizing, reaction, reduction, sythesis

Table 1. Continued

Standard Process Code	Standard process name	Description	Key index words
SPC021	Separation	Process to convert a mixture using various methods to more than two different materials	Assortment, classification, distillation, extraction, filtering, recovery, separation
SPC022	Drying	Process to remove water from materials containing water	Dewatering, drying
SPC023	Crushing	Process to break or cut solid particles into smaller sizes	Crushing, pulverizing
SPC024	Digestion	Process to induce chemical changes by keeping materials in solutions	Aging, digestion, fermentation, impregnation
SPC025	Streilization	Process to sterilize microorganisms by giving physical or chemical stimulation	Antisepsis, disinfection, sterilization
SPC026	Storage	Process to gather and pile products up in a space	Loading, open-air storage, storage, warehouse
SPC027	Packaging	Entire work process to wrap and pack things	Labeling, packaging, sealing
SPC028	Transport	Entire work process to load and move things on carriages	Shipping, transfer, transport, unloading
SPC029	Mining	Process related to mining that does not correspond to other standard processes	Blasting, coal mining, digging, mining industry, tunnel
SPC030	Food processing	Entire work process related to food processing and cooking that does not correspond to other standard processes	Cooking, food, meat processing, simmering in soy sauce
SPC031	Fiber processing	Process related to fabric production that does not correspond to other standard processes	Fabrics, fiber, knitting, printing, sewing, spinning
SPC032	Shoe manufacturing	Work process related to shoe manufacturing that does not correspond to other standard processes	Shoemaking, shoes, uppers of leather shoes
SPC033	Printing	Entire work process to print words or figures on tablets on to paper or cloths using ink	Gravaria, off set, printing, thomson
SPC034	Paper/pulp manufacturing	Entire work process related to paper or pulp manufacturing that does not correspond to other standard processes	Drafting paper, paper, paper manufacturing, pulp, pulp refining
SPC035	Wood processing	Entire manufacturing process to produce products using wood	Lumber, plane, wood cutting
SPC036	Electric/electronic industry	Entire work process related to electric and electronic industry products that does not correspond to other standard processes	Electric, electronic, epitaxy, semiconductor, wafer
SPC037	Waste treatment	Entire work process related to various wastes (including waste water) management	Garbage, waste water, wastes
SPC038	Landscaping	Construction to form/improve the landscape and environment such as creation of arboreums, parks, green areas, forests according to integrated planning, management and adjustment	Construction work, landscaping, planting
SPC039	Earth/soil engineering	Construction to form ground with sand and stones or by digging ground	Construction work, earthwork, excavation, ground digging
SPC040	Paving	Construction to pave/maintain/repair such as roads, runways, plaza, industrial complexes, open-air storage area with bitumen or cement concrete, water permeable concrete, etc.	Asphalt, concrete, construction work, paving
SPC041	Boring and grouting	Construction to make holes on the ground or in structures, or to install reinforcement materials by pressure, or to fill or mix plaster	Boring, construction work, drilling, grouting
SPC042	Piling	Construction to drive in piles by 항타 or to install sand piles	Pile, piling work, stake
SPC043	Interior construction	Interior construction to make interiors of buildings fit for their uses and functions or construction to make or to install utensils and furniture to finish the interior space	Interior, architecture, construction work
SPC044	Wood construction work	Construction to install wood frame windows in buildings and to build and install wooden structures and artifacts	Architecture, construction work, lumber

Table 1. Continued

Standard Process Code	Standard process name	Description	Key index words
SPC045	Window installation	Construction to install various metallic, plastic or glass windows or doors to buildings	Architecture, building, construction work, glass, window
SPC046	Metallic structure work	Construction to build structures and artifacts with various metals	Construction work, metal structures
SPC047	Greenhouse installation	Work to install greenhouses for agriculture, forestry, and horticulture	Construction work, greenhouse
SPC048	Roofing and paneling	Work to install roofs with roofing tiles, slates, metal panels, and asphalt shingles, work to install panels on buildings	Construction work, roof
SPC049	Building assemblage	Work to assemble inner walls, outer walls and floors with panels and components manufactured in factories	Assemble building, construction work, panel
SPC050	Plastering	Work to finish by pasting mortar, plaster, stucco, soil, etc. on structures or by bonding preformed insulating material or lightweight insulating material on inner walls, outer walls and floors	Plastering
SPC051	Tiling	Work to attach tiles fabricated with clay, kaolin, and synthetic resin as main ingredients on structures	Construction work, tile
SPC052	Waterproofing	Work to waterproof, moistureproof and leakproof on civil or architectural structures, industrial facilities and waste landfill facilities	Construction work, waterproof
SPC053	Laying bricks	Work to lay or build walls or foundations of structures with cement bricks or bricks by attaching or fixing with bonding materials like mortar	Construction work, piling, stacking
SPC054	Stone	Work to construct facilities with stoneware	Construction work, masonry, stone
SPC055	Steel reinforced concrete	Work to build civil architectural structures and handiworks with steel and concrete	Concrete, construction work, steel rod
SPC056	Dismantling work	Work to dismantle structures	Construction work, demolition, dismantling
SPC057	Scaffolding	Work to install scaffolds to build buildings or to lay heavy things at high places	Construction work, scaffold
SPC058	Water and sewage	Work to install instruments for drinking water supplies or lay sewage pipes for sewage disposal	Construction work, drinking water supply, sewage
SPC059	Railroad/track construction	Work to lay rails and tracks	Construction work, railroad, track
SPC060	Steel structure	Work to make, assemble and install steel structures like bridges	Construction work, steel structure
SPC061	Under water work	Work to install underwater or seabed facilities using manpower and equipment or to dismantle facilities	Construction work, underwater
SPC062	Dredging	Work to dredge the bottom of rivers or harbors using dredging vessels	Construction work, dredging
SPC063	Elevator installation	Work to install, dismantle, replace or improve the elevators attached to buildings for transporting men and cargoes	Construction work, elevator
SPC064	Cable car installation	Work to install, maintain and dismantle cables for cable cars or lifts	Cable, cable car, construction work
SPC065	Machine facility construction	Work to assemble and install facilities for water supply, drainage, sanitation, heating and air-conditioning, ventilation, machines, plumbing	Construction work, machine facility

Table 1. Continued

Standard Process Code	Standard process name	Description	Key index words
SPC066	Gas facility construction	Work corresponding to the work contents for gas facility installation works	Construction work, gas facility
SPC067	Heating construction	Work to install steel boilers, cast iron boilers, hot water boilers, hot water boiler for briquets, wood burning boilers for homes, solar heat condensers, 1st grade pressure vessels, 2nd grade pressure vessels and pipes to be attached	Construction work, heating
SPC068	Building maintenance construction	Work to daily inspect, maintain, improve, repair, and reinforce facilities in order to preserve the functions and increase the convenience and safety of users after facility construction is completed, excluding the following works	Construction work, maintenance management
SPC069	Healthcare	Various medical treatment, examination, surgery, and nursing activities performed by health care workers to patients and protected subjects (However, medical tests such as pathology tests and X-rays are classified as 'SPC018 Inspection').	Diagnosis, medical examination, treatment
SPC070	Maintenance	Process including works to maintain and manage facilities, machines, equipment, and components	Maintenance, repair

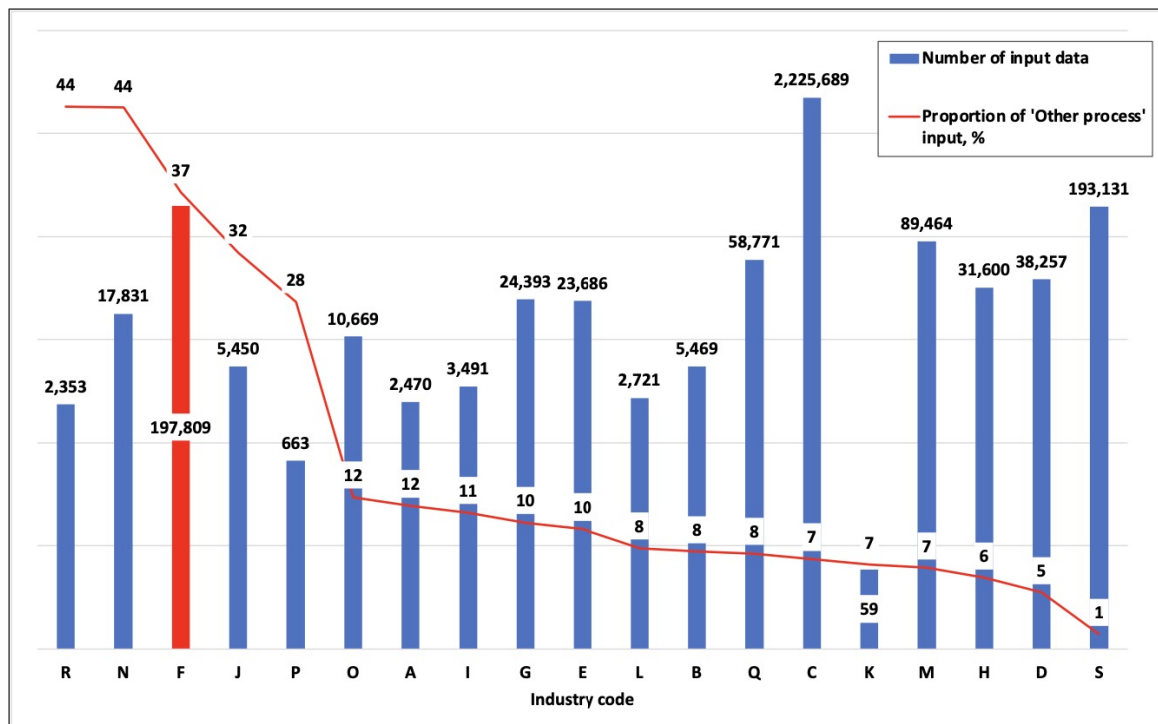


Figure 3. Comparison of 'other process' proportions by industry as a result of applying SPC₂₀₂₁ to 2020 work environment measurement data(A: Agriculture, forestry and fishing, B: Mining and quarrying, C: Manufacturing, D: Electricity, gas, steam and air conditioning supply, E: Water supply, sewage, waste management, materials recovery, F: Construction, G: Wholesale and retail trade, H: Transportation and storage, I: Accommodation and food service activities, J: Information and communication, K: Financial and insurance activities, L: Real estate activities, M: Professional, scientific and technical activities, N: Business facilities management and business support services; rental and leasing activities, O: Public administration and defence; compulsory social security, P: Education, Q: Human health and social work activities, R: Arts, sports and recreation related services, S: Membership organizations, repair and other personal services).

표준공정을 추가한 이유는 1단계에서 개발한 37개 표준공정을 2020년에 실시된 측정자료(n=2,934,230)에 적용해 본 결과 Figure 3과 같이 제조업 다음으로 가장 많은 측정(n=197,809)이 실시되고 있는 건설업에서 1단계 개발된 표준공정으로 적용할 수 없는 '기타 공정' 비율이 37%로 높았기 때문이다.

2. 시범사업 평가 결과

2022년에 총 18개 측정, 특검 기관 전문가들을 대상으로 1단계에서 개발된 37개 표준공정 코드에 건설업 관련 31개를 보완한 총 68개 표준공정 코드를 이용하여 최근 실시한 측정, 특검 사업장 결과에 적용하도록 한 시범사업 평가 결과를 요약하면 Table 2와 같다.

평가에 참여한 측정/특검 기관은 각각 2021년부터 2022년까지 측정 혹은 특검을 실시한 사업장 504개와 707개를 대상으로 총 2,133개, 3,016개 자료에 대해 표준공정 코드를 재입력 하였다. 평가가 실시된 사업장의 산업분류 결과 총 21개의 한국표준산업분류 10차 개정안의 대분류 중 측정기관은 15개, 특검기관은 17개로 비교적 다양한 산업이 포함되도록 평가되었다. 적절한 표준코드를 선택하지 못하고 '기타'로 입력한 경우는 측정기관의 경우 27건(1.3%)으로 낮았고 특검기관의 경우

491건(16.3%)으로 측정기관보다 많았다. 그러나, 기존에 사용해 온 K2B 표준공정 코드의 경우 '기타' 입력 수가 1,627개(54.0%)였던 것과 비교하면 기타 입력 비율이 37.7% 포인트 감소하였다. 측정/특검 기관이 시범사업에서 입력한 표준공정의 빈도가 높은 순으로 비교해보면 Figure 4와 같다. 측정기관은 '검사(inspection)' > '성형(forming)' > '용접(welding)' > '준비/지원(preparation/support)' 순이었고, 특검기관은 '준비/지원(preparation/support)' > '검사(inspection)' > '성형(forming)' > '조립(assembling)' 순이었다.

시범사업에 참여한 총 18명의 측정/특검 기관 전문가들로부터 신규 표준코드 사용과 관련하여 장점과 단점에 대한 의견 수렴 결과 장점은 기존의 코드보다 유사한 여러 공정/직종을 재분류하여 기존보다 쉽게 선택할 수 있었다는 점이였다. 또한 관련 색인어 DB를 활용하여 검색되기 때문에 표준코드 검색이 빠르고 쉬워졌다는 의견이 많았다. 그러나 신규코드가 너무 간소화되어 세부 공정이나 직종 특성을 파악하기에는 제한점이 있을 수 있다는 의견이 있었다. 색인어 DB가 있어 검색이 용이한 반면, 해당 공정에 대한 구체적인 정보(관련 검색어)를 정확히 모를 경우엔 적절한 검색어를 선택하지 못해 검색이 어려운 경우가 발생한다는 지적

Table 2. Summary of pilot evaluation results

Category		WEMI(n=10)	SHEI(n=8)
Number of workplaces		504	707
Number of industries	Section	15	17
	Division	44	58
	Group	86	128
	Class	134	186
	Sub-class	196	253
Number of data		2,133(100%)	3,016(100%)
Monitoring or health examination year	2021	608(28.5%)	1,063(35.2%)
	2022	1,525(71.5%)	1,953(64.8%)
Other' or non-input data	Old SPC	0(0.0%)	1,627(54.0%)
	New SPC	27(1.3%)	491(16.3%)
Pros on the new SPC input system	• It is easier to find code because it is classified as similar process and the process name and related index words are searched together.		
Cons on the new SPC input system	• New code is too simplified to identify detailed characteristics of process.		
	• It is difficult to find SPC when process-related search terms are not known.		
	• It is difficult to find appropriate SPC for various tasks such as nursing, patient transfer, etc. of health care workers.		
	• It is difficult to select appropriate SPC when one worker performs two or more process tasks.		

WEMI: work environment monitoring institution, SHEI: special health examination institute, SPC: standard process code

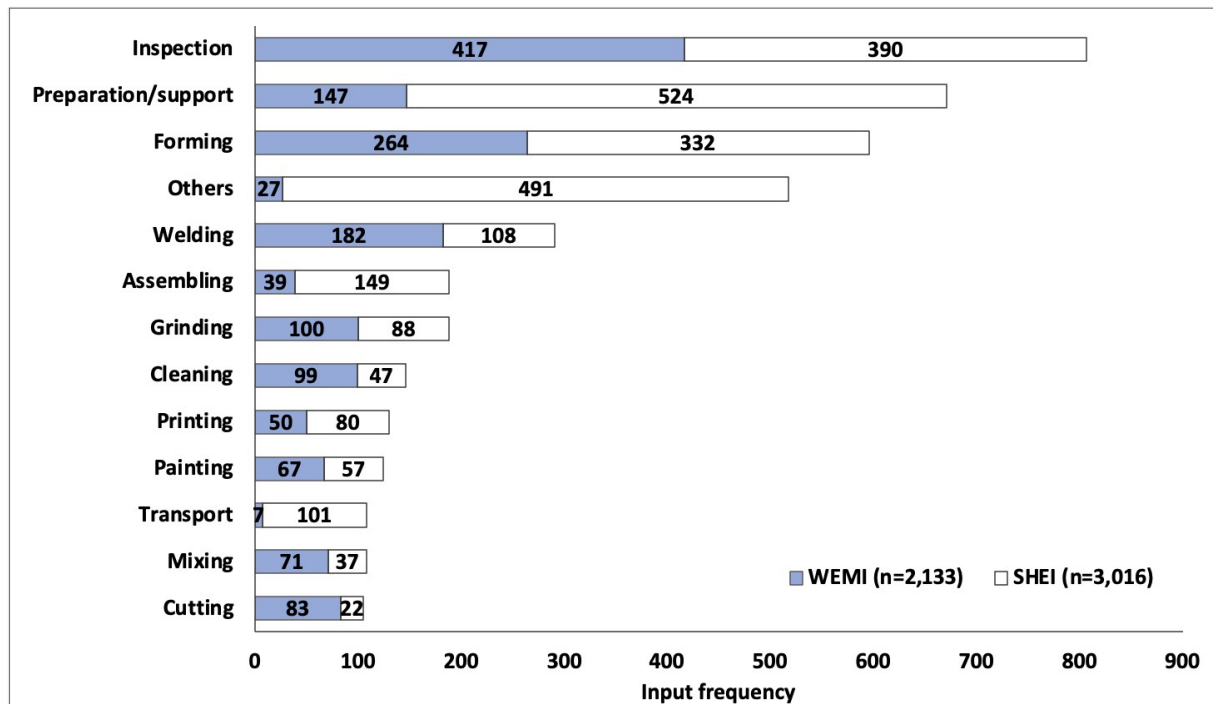


Figure 4. Comparison of standard processes with high input frequency in pilot evaluation results(WEMI: work environment monitoring institute, SHEI: special health examination institute).



Figure 5. Standard process search screen of standardized code finder developed in this study.

도 있었다. 또한 한 작업자가 2가지 이상의 공정 업무를 수행할 경우 하나의 공정만 선택하게끔 되어 있어 개선이 필요하다는 의견이 많았다.

3. 표준코드 검색기 개발

본 연구에서 개발한 최종 표준공정(SPC₂₀₂₂)을 보다 쉽게 검색하고 찾을 수 있도록 도움을 주기 위해 통계

프로그램 R의 대화형 앱 개발 패키지인 Shiny로 표준 코드 검색기(SCF)를 개발하였으며, 웹 사이트(https://kscf.shinyapps.io/scf_app/)에서 확인 할 수 있다. SCF는 Figure 5와 같이 표준코드의 개발 배경과 방법 등의 개요를 설명한 'SCF 설명' 탭(tab)과 개발한 표준 공정과 표준직종(표준직종에 대한 내용은 별도 논문으로 발표 예정)을 색인어와 함께 확인할 수 있는 '표준공

정목록', '표준직종목록' 탭, 그리고 표준공정 검색이 가능한 'SCF결과' 탭으로 구성되어 있다. Figure 5는 SCF결과 시트에서 검색어 '전기용접'으로 검색했을 경우 표준공정명과 색인어들과의 일치 정도에 따른 점수 부여 알고리즘에 의해 일치점수가 높은 순서로 표준공정이 나타난 검색결과를 보여주고 있다. 표준공정명 'SPC010 용접'이 가장 일치점수가 높은 공정이며, 해당 공정에 대한 설명글을 검색자가 참고하여 '전기용접'은 'SPC010 용접'으로 할당하는 것이 가장 적절한 선택이라고 결정할 수 있도록 도움을 준다.

IV. 고 찰

본 연구는 국내 최대 정량적 노출 데이터베이스인 K2B WEMD를 국가노출감시체계로 활용할 수 있게 하기 위해 주요 노출변수 중 하나인 '공정'의 정보를 표준화하고자 하였다. Choi et al.(2019)은 2014년부터 2016년까지 대한산업보건협회에서 측정한 화학적 인자에 대해 측정된 180개 사업장 자료를 활용하여 161개 공정으로 표준화를 시도한 바 있다. 그러나 이는 국내 전체 측정 자료를 대상으로 하지 못하였고, K2B에 입력된 측정/특검 결과의 노출 정보 입력 실태에 대한 평가와 측정결과를 전산에 입력하는 단계에서 입력 오류를 최소화하기 위한 원인 평가 등이 실시되지 못한 한계가 있다.

작업환경측정은 산업안전보건법에 의해 주기적으로 이루어지기 때문에 표준공정 코드는 기존에 입력되어 있는 K2B의 측정자료에도 적용 가능해야 하고, 향후 입력되는 측정결과에서도 입력자들이 표준코드를 쉽게 선택할 수 있도록 개발될 필요가 있다. 이에 본 연구진은 기존에 사용해 온 K2B의 표준공정 코드의 입력 오류가 발생할 수 있는 주요 원인에 대해 연구한 바 있으며(Choi et al., 2022), 그 결과 기존 공정코드가 너무 세분화 되어 있고, K2B 입력 시스템의 검색 방법이 공정명과 일치하는 경우만 검색이 되는 검색 시스템의 제한점이 있음을 확인하였다. 따라서 표준공정 코드 개발은 기존에 활용되어 온 K2B 코드를 기반으로 유사성에 기초해서 재분류 하고, 개발된 코드의 특성을 나타내는 색인어 데이터베이스를 만들어 검색이 용이하게 하고자 하였다(Figure 2).

기존 K2B 코드만을 기반으로 만든 37개(SPC₂₀₂₁) 코드를 건설업에 적용하는데는 한계가 있음을 확인했다

(Figure 3). 2020년 건설업 측정자료(n=197,809) 중 표준공정(SPC₂₀₂₁)과 매칭 결과 할당되지 못한 72,999개 자료(37%)의 경우 '기타' 혹은 '기타공정' 등 특정 공정명으로 분류되지 않은 경우가 31%였고, '가설공사', '미장', '형틀', '터파기' 등 주로 공사명으로 입력된 경우가 많았다. 이에 본 연구에서 건설업에 적합한 표준공정 분류에 공사명을 활용하고자 하였다. '건설산업기본법' 제8조(건설업의 종류)에서는 건설업을 크게 종합공사 시공 업종과 전문공사 시공 업종으로 구분하고 구체적인 종류 및 업무범위 등은 '건설산업기본법시행령' 별표 1에 의해 규정하고 있다. 별표 1의 내용은 크게 종합공사와 전문공사로 구분되는 '공사', 보다 구체적인 산업 개념의 '건설업종', 건설산업 내에서 보다 세부적인 공사명으로 구분되는 '업무분야'와 해당 업무분야 내에서 다시 업무내용에 따라 구분되는 '업무내용' 등 대-중-소-세분류의 개념으로 구분되어 있었다. 최종 업무내용에 대해서는 건설공사의 예시에 유사 공사명 등이 설명되어 있다. 본 연구에서는 건설산업기본법에서 분류하고 있는 '공사'-'건설산업'-'업무분야'-'업무내용'-'건설공사의 예시'의 분류체계에 기초하여 유사 공정을 구분하고 건설업 관련 표준공정으로 활용하였다. 중복이 되지 않도록 건설공사를 구분하고, 각 건설공사 별 업무내용에 제시된 유사 공사명 등을 색인어로 활용하였다. 이렇게 건설업에 적용 가능한 31개의 표준공정을 추가하여 68개 코드를 만들고 시범평가를 실시하였다. 시범평가 이후 보건산업 관련 'SPC069 건강관리' 코드와 'SPC070 정비' 코드를 추가하여 최종 70개의 표준공정 코드(SPC₂₀₂₂)를 완성하였다.

시범평가 결과 측정기관의 경우 기존 K2B 표준공정 코드 입력 결과에서는 '기타' 공정 입력이 한건도 없었는데, 이는 2021년부터 측정기관이 표준공정 코드를 8xxxx 번호의 형태로 임의로 생성할 수 있도록 했기 때문이다(Choi et al., 2022). 이렇게 임의로 생성되어 입력된 기존 코드 수는 1,242개(58.2%)였다. 따라서 '기타' 공정 입력은 없었으나, 지나치게 많고 상호 유사하며 중복되었던 표준공정이 대량 만들어졌었다. 신규 코드는 이러한 유사한 코드들을 대폭 간소하게 표준공정 코드로 재분류 하였고, 27건 정도만 신규 코드 할당이 어려웠던 것으로 확인되었다. 특검기관의 경우 '기타' 코드 입력 비율이 측정기관보다 높는데, 이는 표준공정을 입력하기 위해 참고할 수 있는 부서정보와 공정명 정보가 자세하지 않은 경우가 많았기 때문으로 판단

되며, 또한 특검기관의 입력자는 측정기관과 달리 해당 사업장을 방문하여 부서 - 공정에 대한 정보를 확인할 수 없기 때문에 정확한 정보에 기초한 표준공정 코드 입력이 어렵다고 판단된다. 그럼에도 불구하고, 기존 표준공정코드 입력 때는 '기타' 입력 비율이 54.0%였지만, 신규코드의 경우엔 16.3%로 37.7%p 감소하여 기존 코드 보다 신규코드의 활용도가 높다고 할 수 있다.

시범평가에 참여한 기관 전문가들은 신규 표준공정코드 입력 시스템이 기존 코드 입력 시스템보다 간소화되고 검색 방식이 색인어를 활용하기 때문에 보다 효율적이라고 평가하였다(Table 2). 기존 K2B의 표준코드 검색 시스템은 검색창에 입력한 단어와 공정명이 일치하는 경우만 검색되어 찾을 수가 있었던 반면(Choi et al., 2022), 시범사업에서는 표준공정명 뿐만 아니라 관련 검색어와도 일치되는 경우 검색자가 해당 공정들을 찾을 수 있도록 시스템을 바꾸었다. 그러나 여전히 검색 시스템의 효율성을 더욱 제고하기 위한 문제제기도 있었다. 시범사업에서 활용했던 검색 시스템은 입력한 검색어의 어절 단위로 표준공정명과 색인어와의 일치 여부를 비교하였기 때문에 검색창에 띄어쓰기 여부에 따라 다른 검색결과가 나타나게 된다. 예를 들어, '전기용접'이라는 단어를 검색창에 입력하면 색인어 DB에 '전기', '용접'이라는 각각의 단어가 있음에도 '전기용접'이라는 단어와 일치된 결과는 없는 것으로 나타나게 되어 적절한 표준공정을 찾기가 어렵게 된다. 만약 '전기 용접'을 띄어 써서 검색할 경우엔 '전기', '용접'의 어절로 색인어와 비교하여 표준공정을 찾을 수 있다. 이러한 검색 알고리즘을 향후엔 수정될 필요가 있을 것이다.

이러한 검색 효율성 제고를 고려하여 본 연구에서 개발한 표준코드 검색기(SCF)의 검색도구에서는 검색 알고리즘을 다음과 같이 변경하였다. 기존 K2B 검색 시스템은 검색창에 입력한 검색어가 색인어들 중에 일치되는 것이 있는지 찾았으나, SCF의 경우 색인어 DB의 모든 단어들을 검색창에 입력한 검색어와 일치되는 것이 있는지 찾도록 하였다. 즉 검색 방향을 반대로 한 것이다. 이렇게 하면 Figure 5와 같이 '전기용접'으로 검색하더라도 색인어 DB에 있는 '전기', '용접'이라는 단어들이 '전기용접'과 비교하여 부분 일치되는 것이 나타나기 때문에 일치 점수를 부여하고 관련 표준공정을 제시할 수 있는 것이다. 이에 SCF를 측정, 특검 기관 종사자와 사업장 보건관리자들에게 사용해 보도록 보급한다면 향후 보다 정확한 표준공정 코드 결정이 가능할

것으로 기대한다.

국내 측정 및 특검 자료를 활용하여 석면(Choi et al., 2017), 벤젠(Koh et al., 2015), 납(Koh et al., 2017; Koh et al., 2018)과 20개 인체 발암물질(human carcinogens)(Koh et al., 2021a; Koh et al., 2021b)에 대한 노출인구 비율(exposure prevalence)과 노출강도(exposure intensity) 추정 연구들이 수행된바 있다. 그러나 선행 연구들은 모두 산업별 노출 특성을 평가하였고 구체적인 노출 특성을 파악할 수 있는 공정 정보를 추가로 활용하지 못한 제한점이 있다. 이에 Park et al.(2022)은 본 연구 1단계에서 개발한 표준공정 37개 코드를 2015년부터 2016년까지 측정된 납 자료에 적용하여 산업-공정을 조합한 총 583개의 유사노출그룹에 대한 JEM을 시범 구축한 바 있다. 이 연구에서는 산업 정보만 활용했을 때보다 산업과 공정을 함께 조합하여 활용할 때 유사노출그룹 별 대비도(contrast)가 높아지기 때문에 표준공정의 활용도가 높다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 본 연구 결과 개발한 표준공정을 작업환경측정 자료 및 각종 역학연구 자료에 노출변수로 활용하여 JEM 구축이 가능할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 국내 최대 정량적 노출평가 자료인 작업환경측정 자료를 국가노출감시체제로 활용하기 위해 대표적인 노출변수인 공정을 표준화 하고자 하였다. 기존 K2B 시스템에서 활용해 온 표준공정 코드를 기반으로 공정 유사성에 기초하여 재분류하고, 측정, 특검 기관 전문가들의 평가를 거쳐 총 70개의 표준공정 코드를 개발하였다. 시범사업을 통해 개발된 표준공정 코드의 활용 가능성이 높음을 확인하였고, 활용도를 더욱 높이기 위해 웹 기반 표준코드 검색기(SCF)를 개발하였다. 향후 본 연구 결과 개발한 표준공정을 작업환경측정 자료 및 각종 역학연구 자료를 활용한 JEM 구축 시 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2022년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 학술용역 지원 사업에 의해 수행되었으며, 시범사업에 참여해 준 측정, 특검 기관 종사자분들께 감사드립니다.

References

- Choi S, Jeong JY, Im S, Lim D, Koh DH et al. The standardization of work environment measurement information for constructing exposure surveillance system. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2019; 29(3):322-335
- Choi S, Kang D, Park D, Lee H, Choi B. Developing asbestos job exposure matrix using occupation and industry specific exposure data (1984-2008) in Republic of Korea. *Saf Health Work*. 2017;8(1): 105-115. doi: 10.1016/j.shaw.2016.09.002.
- Choi S, Koh DH, Park JH, Park D, Kim HC et al. Evaluation of the input status of exposure-related information of working environment monitoring database and special health examination database for the construction of a national exposure surveillance system. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2022;32(3):231-241
- Chung E, Ha K. Development of occupational and industrial health guide and occupational health summary for manufacturing plant. Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency; 2018.
- Gabriel S. The BG measurement system for hazardous substances(BGMG) and exposure database of hazardous substances(MEGA). *Int J Occup Safety and Ergonomics* 2006;12(1):1014-104
- Kauppinen T, Uusitalo 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;58(3):380-396
- Koh DH, Jeon HK, Lee SG, Ryu HW. The relationship between low-level benzene exposure and blood cell counts in Korean workers. *Occup Environ Med*. 2015;72(6):421-7. doi: 10.1136/oemed-2014-102227.
- Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Choi S et al. Combining lead exposure measurements and experts' judgment through a bayesian framework. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(9):1054-1075. doi: 10.1093/annweh/wxx072.
- Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Choi S et al. Estimation of lead exposure prevalence in Korean population through combining multiple experts' judgment based on objective data sources. *Ann Work Expo Health*. 2018;62(2): 210-220. doi: 10.1093/annweh/wxx106.
- Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Jung H et al. Estimation of lead exposure intensity by industry using nationwide exposure databases in Korea. *Saf Health Work*. 2021(a);12(4):439-444. doi: 10.1016/j.shaw.2021.07.008.
- Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Choi S et al. Development of Korean CARcinogen EXposure: An initiative of the occupational carcinogen surveillance system in Korea. *Ann Work Expo Health*. 2021(b); 65(5):528-538. doi: 10.1093/annweh/wxaa135.
- MOEL(Ministry of Employment and Labor). 2021 work environment measurement results. 2022.
- Park JH, Choi S, Koh DH, Lim DS, Park D et al. A pilot establishment of the job-exposure matrix of lead using the standard process code of nationwide exposure databases in Korea. *Saf Health Work*. 2022;13(4):493-499. doi: 10.1016/j.shaw.2022.09.001.
- Rantanen J, Kauppinen T, Toikkanen J, Kurppa K, Lehtinen S et al. Work and health country profiles: country profiles and national surveillance indicators in occupational health and safety. People and Work-Research reports 44. Finnish Institute of Occupational Health.; 2001. p. 8-19
- Stamm R. MEGA-Database: one million data since 1972. *Appl Occup and Environ Hyg* 2001;16(2): 159-163
- Vincent R, Jeandel B. COLCHIC-occupational exposure to chemical agents database: current content and development perspectives. *Appl Occup Environ Hyg*. 2001 Feb;16(2):115-21. doi: 10.1080/104732201460190.
- VIOSH Australia at the University of Ballarat. International review of surveillance and control of workplace exposures : NOHSAC Technical Report5: Wellington.; 2006. p. 36-69

<저자정보>

최상준(교수), 박주현(교수), 고동희(교수), 박동욱(교수), 김환철(교수), 임대성(대표), 성예지(대학원생), 고경윤(대학원생), 임지선(대학원생), 서희경(연구원)