

연구보고서

국내 직업성질환 역학연구를 위한 과거노출 추정

– JEM(Job-Exposure Matrix) 체계 개발

최상준·박동욱·서성철

고동희·김환철·박주현

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “국내 직업성질환 역학연구를 위한 과거 노출 추정 - JEM(Job-Exposure Matrix) 체계 개발”의 최종 연구결과 보고서로 제출합니다.

2020년 11월

연구기관 : 사단법인 한국산업보건학회

연구기간 : 2020.04.14. ~ 2020.11.30.

연구책임자 : 최상준 (가톨릭대학교 예방의학교실 부교수)

연구원 : 박동욱 (한국방송통신대학교 보건환경학과 교수)

서성철 (울지대학교 보건환경안전학과 부교수)

고동희 (가톨릭관동대학교 교수)

김환철 (인하대학교 부교수)

박주현 (동국대학교 통계학과 부교수)

연구보조원 : 마혜란 (한국산업보건학회)

박윤경 (대구가톨릭대학교)

최희은 (울지대학교)

요 약 문

연구기간

2020년 04월 ~ 2020년 11월

핵심단어

직무노출매트릭스, 작업환경측정, 공정 표준화

연구과제명

국내 직업성 질환 역학연구를 위한 과거 노출 추정 - JEM(Job-Exposure Matrix) 체계 개발

1. 연구 배경

직업성 질환의 발생을 예방하고 필요한 경우 적절한 보상을 결정하기 위해서는 발생 질환의 직업적 노출 요인을 정확히 규명하는 것이 필요하며, 이를 위해 직무-노출 매트릭스(JEM)를 구축하여 활용할 수 있다. 우리나라는 작업환경측정, 특수건강진단 등 안전보건제도에 의해 주기적으로 노출관련 정보가 생성되고 안전보건공단에 국가안전보건 데이터가 축적되고 있다. 이에 본 연구에서는 국가 안전보건 데이터를 이용하여 향후 국내 직업성 질환 역학연구에 활용할 수 있도록 JEM을 구축하는 체계를 개발하고자 하였다.

2. 주요 연구내용

○ 국외 선행 사례 검토

국외 선행 사례는 4개 국가의 시스템(핀란드 FINJEM, 캐나다 CANJEM, 독일 MEGA, 프랑스 COLCHIC/SCOLA)에 주목하여 고찰하였다. 핀란드의 FINJEM은 과거 구축해 놓은 국가차원의 정량적 노출자료와 설문조사에 의한 서베이 자료, 그리고 전문가 판단에 의한 정성적 노출자료를 통합하여 84개의 유해인자에 대해 311개의 직업군에 대한 노출분율(prevalence)과 노출수준(intensity)을 1945년부터 2000년대까지 파악할 수 있도록 구축하였다.

캐나다에서는 258개의 유해요인에 대한 노출 가능성과 노출빈도, 노출강도 등을 파악할 수 있는 CANJEM을 만들고 인터넷을 통해 공개된 프로그램을 만들어 운영해 오고 있다. CANJEM은 정량적 노출평가 자료에 기초하지 않고 과거 몬트리올 지역에서 수행되어온 4개의 역학연구 때 마다 전문가들에 의해 조사대상 집단의 직무, 공정, 작업환경 등의 정보에 기초한 정성적 판단에 기초하여 JEM을

구축하였다는 것이 특징적이다.

반면 독일과 프랑스는 우리나라의 작업환경측정 제도와 동일하진 않지만 정량적 노출평가 자료들을 국가 차원에서 데이터베이스화하고 관리해 오고 있다는 특징이 있다. 이를 위해 정량적 노출평가 자료에 대한 행정정보(시료 채취년도, 조사기관, 표준산업분류 등), 측정조건(측정일자, 측정방법, 측정시간, 측정관찰정보 등), 노출조건(작업장 유형, 환기상태 등), 분석조건(분석방법) 등을 표준화된 방법으로 수집분류 하는 작업이 필수적이었다.

○ 작업환경측정/특수건강진단 자료를 이용한 JEM 구축 체계 개발

납의 2015년, 2016년 측정/특검 자료를 이용하여 두 자료의 연계 분석 및 자료 특성 검토를 통해 JEM 구축 체계를 1) 자료의 변수 선택, 2) 분석 자료의 선택/배제 기준, 3) 공정 표준화, 4) 공정 표준화 결과 평가와 JEM 활용 방향, 5) 자료 분석(불검출 자료 처리 방법과 자료 분석 방법) 등의 단계로 연구 하였고 매뉴얼을 작성하였다.

특히 공정 표준화와 정확도 평가를 수행하였다. 기존 5자리 코드 1392개를 2자리 코드 36개로 재분류할 수 있었고(공정 표준화1), 이렇게 재분류된 코드의 정확도 검증을 위해 측정기관이 측정 시 수집된 정보를 서술식으로 입력한 ‘공정명’과 ‘단위작업장소’ 정보에 기초하여 ‘자동코딩방식’의 알고리즘에 의해 재 코딩(공정 표준화2)한 후 공정 표준화1과 표준화2를 비교하여 일치도 확인을 통해 정확도를 평가하였다. 납 측정자료에 적용해 본 결과 전체 자료의 48%(23,615/47,575)는 공정 정보의 정확도가 높다고 확인되었고, 20.2%(9,605/47,575)는 기관의 입력 정보가 부족하여 자동코딩방식에 의해 표준 공정 할당이 불가능하였다. 그리고 자료의 30% 정도는 공정 표준화1과 표준화2의 차이를 보이는데, 보다 정확한 공정명을 확인하기 위해서는 전문가의 검토가 추가적으로 필요하였다. 그러나 전문가가 수작업으로 검토하기에는 자료의 수가 많을수록 불가능하기 때문에 다빈도 코드 우선 할당 등 보다 정교한 머신 러닝 방식을 활용해 볼 필요가 있으며, 이는 추가 연구가 필요한 영역이다.

○ 작업환경측정 자료를 이용한 JEM 시범 구축

납의 2015년과 2016년 측정 자료를 활용하여 시범적으로 JEM 구축을 시도한 결과 총 131개 중분류의 표준 산업(3-digit)과 신뢰도가 검증된 공정별 납 노출수준 분석을 통해 총 274개의 업종-공정 군에 대한 JEM을 시범구축 하였다.

산업-공정별 납 JEM 결과 가장 높은 수준을 보였던 ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’에 대해 세부 공정별 납 농도 수준을 비교하면 ‘주조’ 공정이 가장 노출수준이 높다는 것을 확인할 수 있었고, ‘주조’ 공정을 가지고 있는 산업별 노출수준을 비교하면 ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’ 다음으로 ‘1차 비철금속 제조업’, ‘일차전지 및 축전지 제조업’ 순으로 납 노출이 높은 산업임을 확인할 수 있다.

○ 문헌 연구자료를 이용한 JEM 시범 구축

납의 공기 중 노출 농도에 대해 보고된 총 14개 문헌에서 8,305개 시료의 자료를 활용한 결과 15개 표준산업별 납 노출 수준을 확인할 수 있었다. 산업별 납 농도(WAM) 수준을 높은 순서 대로 비교해 보았을 때, ‘1차 금속 제조업’ ($490 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 가장 높았고, 다음으로 ‘일차전지 및 축전지 제조업’ ($281.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘내화 비내화 요업제품 제조업’ ($256.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업’ ($253.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업’ ($103.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘일반 목적용 기계 제조업’ ($66.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘제강업’ ($63.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 공기 중 납 노출기준($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였다. 그러나 문헌 연구 자료를 기반으로 구축된 JEM은 15개 업종에 국한되어 있어 측정자료를 이용한 JEM이 131개 업종인 것과 비교할 때 활용범위가 좁은 한계가 있다.

3. 연구 활용방안

본 연구를 통해 국가 안전보건데이터를 활용하여 직업성 질환 역학연구를 위한 과거노출 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 연락처

- 연구책임자 : 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실 부교수 최상준
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 최보화
 - ☎ 052) 703. 0873
 - E-mail passionin01@kosha.or.kr

차 례

I. 서론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목표	4
II. 연구내용 및 방법	5
1. 연구체계	5
2. 연구 방법	7
III. 연구결과	21
1. 국외 JEM 고찰	21
2. 작업환경측정-특수건강진단 자료 연계 분석 방법	29
3. 측정-특검 자료 연계 방법의 적정성 평가	46
4. 측정-특검 자료의 연계분석 결과	48
5. 불검출(left-censored) 자료 분석방법 검토	52
6. 작업환경측정 자료를 이용한 JEM 시범 구축	63
7. 납 노출 관련 문헌 자료를 이용한 JEM 구축	92
IV. 결론 및 제언	104
참고문헌	108

Abstract	112
----------------	-----

부 록	115
-----------	-----

[부록 1] 혼합모형 함수 (mix.LNs)	116
[부록 2] K2B 표준공정 코드 재 분류 - 공정 표준화1	124
[부록 3] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 산업(중분류)별 납 농도	144
[부록 4] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 공정(2-digit)별 납 농도 - 기타 공정 제외	152
[부록 5] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 공정(2-digit)별 납 농도- 기타 공정 제외, 정확도 검증 G1, G2	155
[부록 6] 표준산업(중분류) - 표준공정(2-digit) 납 노출농도	157
[부록 7] 혼합모형을 이용한 산업(한국표준산업분류 중분류)별 납 노출 분포 분석 결과	178
[부록 8] 문헌 자료를 이용한 납 JEM	188
[부록 9] JEM(Job-Exposure Matrix) 구축 매뉴얼	199

표 차 례

<표 I-1-1> 국내 직업성질환 역학연구/과거 노출 추정 관련 연구 목록 ..	2
<표 II-2-1> 국가별 노출감시체계 요약(VIOSH, 2006)	8
<표 II-2-2> 노출 재구성에 활용되는 자료 특성에 따른 신뢰도(Sahmel et al., 2010)	12
<표 II-2-3> 개별 근로자의 과거 노출 평가에 활용되는 자료 특성에 따른 질적 수준(Chung et al., 2015)	13
<표 III-2-1> 분석대상 납 특수건강진단자료 유해인자별 수검자수	30
<표 III-2-2> 작업환경측정 자료의 주요 변수	31
<표 III-2-2> 특수건강진단 자료의 주요 변수	37
<표 III-2-3> 납의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 사업장 순번 1 이상이 있는 상위 10개 산업	43
<표 III-2-4> 다양한 키 값의 매칭 방법	45
<표 III-4-1> 납의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 주요 변수별 연계 현황	48
<표 III-4-2> 납의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 주요 변수별 연계 분석 결과 요약	50
<표 III-5-1> M1 모형을 가정하였을 때 여러 검열 비율에서 bias와	

rMSE의 결과	58
<표 III-5-2> M2 모형을 가정하였을 때 여러 검열 비율에서 bias와 rMSE의 결과	60
<표 III-6-1> 표준산업 중분류 별 납 노출수준($n > 10$, X0.95상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80
<표 III-6-2> 표준공정 2-digit(신뢰도 검증된 Group1,2 공정) 별 납 노출 수준($n > 10$, X0.95상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	81
<표 III-6-3> 산업-공정(신뢰도 검증된 Group1,2 공정) 별 납 노출수준 ($n > 10$, GM 상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	82
<표 III-6-4> 산업별 납 노출수준(X0.95 상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	88
<표 III-7-1> 공기 중 납 농도 분석 대상 문헌연구 자료의 기본 특성	93
<표 III-7-2> 산업별 납 가중산술평균 농도 비교(14개 문헌자료 분석)	100

그림 차례

[그림 II-1-1] 조사 설계 모식도.	5
[그림 II-1-2] 조사 참여자와 역할.	6
[그림 II-2-1] 노출 재구성(exposure reconstruction)을 위한 7단계 프레임(Sahmel et al., 2010).	7
[그림 II-2-2] 빅 데이터를 활용한 직업성 코호트 구축 설계모형 (이상길 등, 2018).	14
[그림 II-2-3] 국민건강보험공단 DB, 특수건강진단 DB. 작업환경측정 DB의 연계 흐름(이상길 등, 2019).	15
[그림 II-2-4] JEM구축 대상 노출자료원 특성 비교	17
[그림 II-2-5] 직업성 코호트에 적용 가능한 유사노출그룹 단계.	18
[그림 II-2-6] 캐나다 석면 노출자료를 이용한 trend analysis 결과 (Chung et al., 2015).	20
[그림 III-3-1] FINJEM의 주요 구성(Kauppinen, 2014).	21
[그림 III-1-2] FINJEM 구축에 활용된 자료원	22
[그림 III-1-3] CANJEM의 구성 요소	24
[그림 III-1-4] 독일 BG-BGIA의 유해물질 측정시스템	26
[그림 III-2-1] 납 작업환경측정 자료의 변수별 빈도분석 결과.	33
[그림 III-2-2] 작업환경측정자료 기중 납의 분포.	36

[그림 III-2-3] 납 특수건강진단 자료의 변수별 빈도분석 결과.	39
[그림 III-2-4] 특수건강진단 혈중 납의 분포.	42
[그림 III-6-1] 작업환경측정 보고서의 보고 항목.	64
[그림 III-6-2] K2B 5-digit 공정코드의 특성과 2-digit 코드로 재 분류(공정 표준화1) 예.	68
[그림 III-6-3] 측정기관 입력정보를 이용하여 자동 할당된 공정코드(공정 표준화2) 예.	71
[그림 III-6-4] 공정 표준화1과 표준화2 결과 비교 예.	73
[그림 III-6-5] 납의 작업환경측정자료(전체)의 공정코드 표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.	76
[그림 III-6-6] 납의 작업환경측정자료(기타 공정 제외)의 공정코드 표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.	77
[그림 III-6-7] 납의 작업환경측정자료(기타 공정)의 공정코드 표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.	78
[그림 III-6-8] ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’의 공정별 납 노출 농도 비교 예.	84
[그림 III-6-9] ‘주조’ 공정에 대한 산업별 납 노출 농도 비교 예.	85
[그림 III-6-10] LOD 미만 자료 처리방법에 따른 상위 20개 산업별 납 기하평균(GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 농도 비교.	89
[그림 III-6-11] LOD 미만 자료 처리방법에 따른 상위 20개 산업별 납 95 백분위수($X_{0.95}$, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 농도 비교.	90
[그림 III-6-12] 불검출율에 대한 LOD 미만 자료 처리방법에 따른 납	

농도 비 비교.	91
[그림 III-7-1] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(15개 산업, N=8,305).	102
[그림 III-7-2] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(일차전지 및 축전지 제조업, N=6,519).	102
[그림 III-7-3] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업, N=1,172).	103

I. 서론

1. 연구배경

직업성 질환의 발생을 예방하고 필요한 경우 적절한 보상을 결정하기 위해서는 발생 질환의 직업적 노출 요인을 정확히 규명하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 상시적인 노출요인과 건강영향을 모니터링 할 수 있는 국가 감시체계가 필요하다. 특히 초기 노출 후 긴 잠복기를 갖는 암(cancer)과 같은 만성 질환자의 노출 요인을 규명하기 위해서는 질환자의 직무력에 따른 과거 노출 평가(retrospective exposure assessment)가 필요하며, 시기별 노출 수준을 파악할 수 있는 체계가 필요하다.

직업적 요인에 따른 질병과의 연관성 연구에서 Reed와 Harcourt(1941)가 노출 평가를 위해 최초로 직무-노출매트릭스(Job-Exposure Matrix, JEM) 방법을 소개하였으며, Hoar 등(1980)과 Partanen 등(1985)이 직업적 유해인자의 영향에 대한 역학연구에서 노출 평가방법으로 JEM을 사용한 이후 역학연구에서 과거 노출을 추정하는 방법으로 많이 사용되고 있다.

핀란드 산업보건연구소(Finnish Institute of Occupational Health, FIOH)는 국가 차원의 노출평가 자료를 활용하여 1945년 이후부터 모든 직업적 노출요인에 대해 FINJEM(Finnish Job-Exposure Matrix)을 개발하여 국가 노출 감시체계로 활용해 오고 있다. 이렇게 개발된 FINJEM은 발암성 물질에 대해 유럽연합의 타 국가들과 협력 연구를 통해 새로운 발암성 물질에 대한 노출력 DB인 CAREX(CARcinogen EXposure)를 개발하기도 하였다. CAREX는 유럽연합(EU)의 'Europe Against Cancer Program'의 지원에 의해 만들어진 발암물질에 대한 국제적 노출정보 시스템으로서, 국가별, 발암물질별, 산업별로 분류된 노출자료와 노출된 근로자의 추정치를 제공한다.

우리나라는 <표 I-1-1>과 같이 2005년부터 발암성 물질에 대한 직업적 노출 코호트 구축을 위한 연구와 벤젠, 트리클로로에틸렌 등에 대한 JEM 구축 연구가 수행된 바 있고, 납, 실리카, 벤젠 등의 노출인구 수를 추정하기도 하였으며, 최근에는 건강보험 빅데이터와 특수건강진단 자료를 이용한 직업성 질환 코호트를 구축 운영하고 있다. 그러나 건강보험 빅데이터와 특수건강진단 자료를 활용한 직업성 질환 위험도를 평가하는데 있어, 노출 특성을 반영하는 산업/직종 분류가 통일되지 못한 한계점과 유해물질 노출 수준과 연계되어 평가되지 못하는 제한점을 갖고 있다. 따라서 이러한 제한점을 개선하기 위한 산업, 직종, 시기별 유해인자에 대한 노출 수준을 기 구축된 코호트와 연계하여 평가할 수 있는 JEM 체계 개발이 필요하다.

<표 I-1-1> 국내 직업성질환 역학연구/과거 노출 추정 관련 연구 목록

참여 연구자	연구 년도	연구과제명	발주기관
안연순, 이정오	2005	발암성물질 노출 근로자 코호트 구축에 관한 연구I	산업안전보 건연구원
고동희, 안연순	2006	발암성물질 노출 근로자 코호트 구축에 관한 연구II	산업안전보 건연구원
하권철, 박동욱, 윤충식, 최상준	2007	산업별·공정별 유해도 매트릭스 적용 및 리스크 평가 연구	산업안전보 건연구원
하권철, 윤충식, 백도현	2008	화학물질 직종 및 임무별 매트릭스에 대한 리스크 평가 연구	산업안전보 건연구원
박동욱, 강동묵, 김수근, 윤충식, 최상준, 하권철	2013	벤젠의 과거노출추정 (Job-Exposure Matrics, JEM) 연구	산업안전보 건연구원
유계묵, 전희경, 이혜지	2014	트리클로로에틸렌의 직무노출 매트릭스 구축 연구	산업안전보 건연구원

참여 연구자	연구 년도	연구과제명	발주기관
임종한, 김환철, 고동희, 김수근, 신명희, 심영목, 전성수, 최창민, 원종욱, 김세규, 정준원, 류정선, 김철수, 남해성, 조덕연, 정성수, 윤덕현	2015	직업성 폐암, 신장암, 조혈기계암 직업성 노출에 대한 환자대조군 연구	산업안전보 건연구원
고동희, 박동욱, 최상준, 김환철, 박주현, 정혜정	2016	납, 실리카, 벤젠 노출 인구 추정 도구 개발 및 시범 적용	산업안전보 건연구원
김종은, 강동목, 김기연, 김주영, 김치년, 김형렬, 김환철, 남해성, 박원주, 예병진, 원종욱, 유철인, 이미영, 이승은, 임종한, 채홍재, 한성호, 한준희, 김성현, 김세규, 김여경, 김영철, 김윤성, 나승원, 도영록, 류정선, 민영주, 신명희, 심영목, 오성용, 유승수, 윤덕현, 이민기, 이현규, 정성수, 정준원, 조덕연, 조수희, 최원일, 최창민	2016	직업성 암 관리체계	산업안전보 건연구원
이상길, 박재오, 고동희, 박동욱, 최상준, 김환철, 박주현, 정혜정	2016	발암물질 노출 추정도구 개발	산업안전보 건연구원
임종한, 김환철, 고동희, 김수근, 신명희, 심영목, 전성수, 최창민, 원종욱, 김세규, 류정선, 남해성, 정성수, 정달영	2016	직업성 암 환자-대조군 연구	산업안전보 건연구원
이상길, 김은아, 이경은, 엄희수, 신무영, 윤민주, 전교연	2018	빅데이터를 활용한 직업성 질환 코호트 구축	산업안전보 건연구원
윤진하, 유기봉, 이완형	2018	국민건강보험공단 자료를 활용한 직업코호트 구축	산업안전보 건연구원
이상길, 이경은, 윤민주, 성정민, 전교연, 신무영	2019	빅데이터를 활용한 직업성 질환 코호트 운영	산업안전보 건연구원

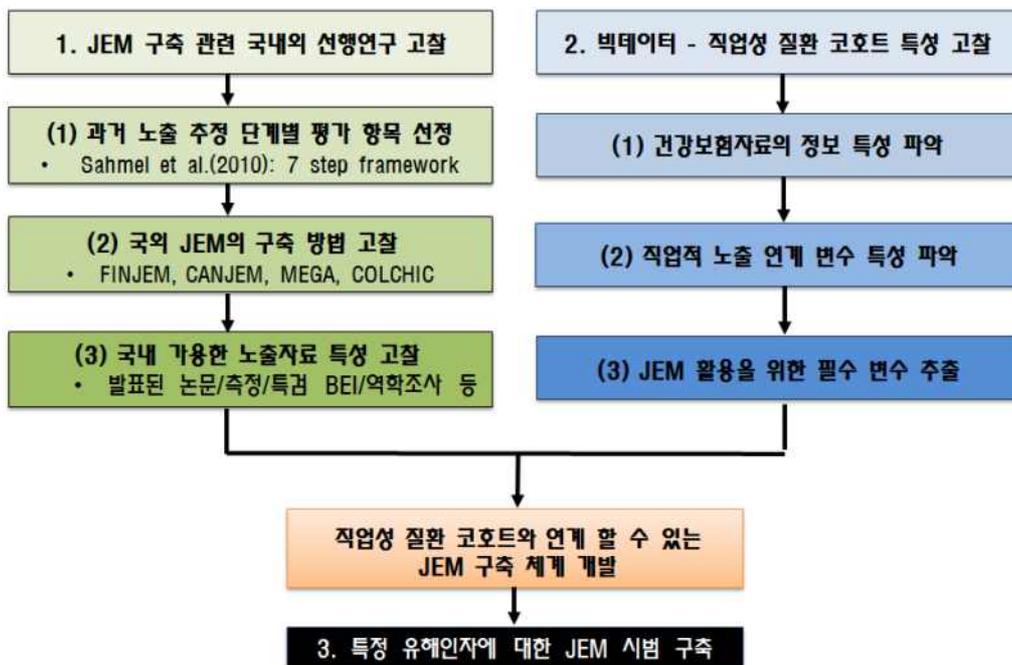
2. 연구목표

본 연구의 최종 목표는 국내 가용한 노출자료를 활용하여 유해인자별 시기별, 산업, 직종에 따른 노출수준을 정량적으로 평가할 수 있는 JEM 구축 체계를 개발하는 것이다. 또한 기 구축되어 있는 직업성 질환 코호트와 노출 요인별 JEM이 연계되어 직업성 질환 위험군 분석 및 특정집단에서의 질병 발생 위험도를 평가할 수 있는 방법을 개발하고 특정 유해요인을 선정하여 JEM을 시범 구축하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구체계

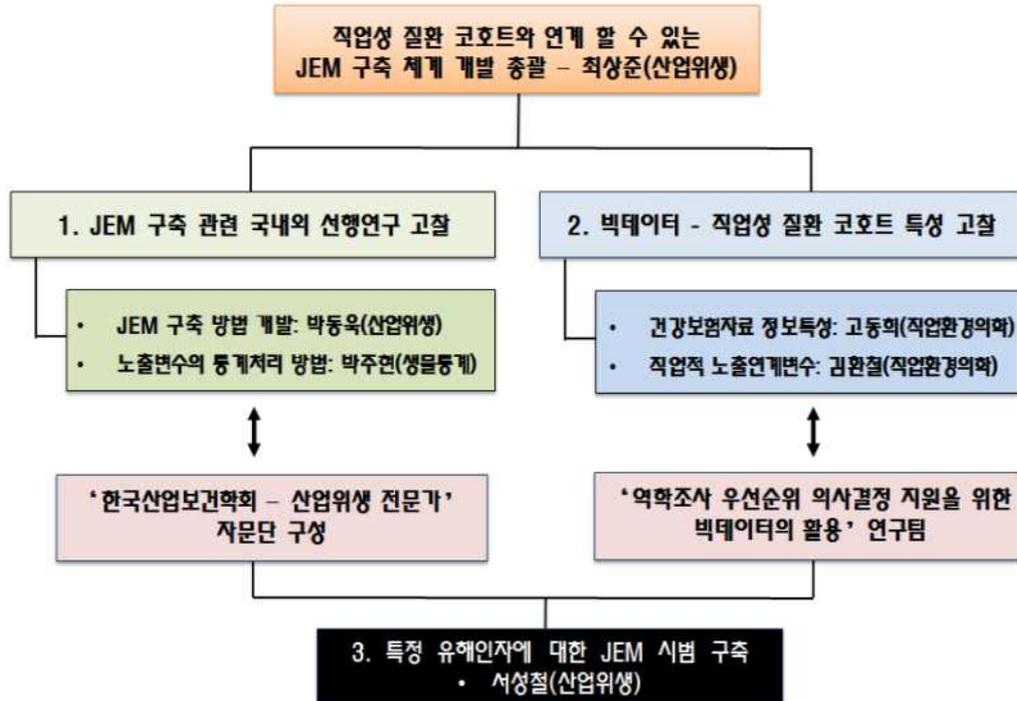
본 연구는 [그림 II-1-1]과 같이 1. JEM 구축 체계 개발, 2. 빅데이터-직업성 질환 코호트 특성 고찰 후 3. 빅데이터-직업성 질환 코호트에 적용 가능한 JEM 구축 체계를 활용한 특정 유해인자에 대한 JEM 시범 구축 등 세 가지 영역으로 설계하여 진행하였다.



[그림 II-1-1] 조사 설계 모식도.

본 연구의 참여 연구진은 20년 이상의 산업위생 전문가 3인과 직업환경의학 전문가 2인, 통계 전문가 1인으로 [그림 II-1-2]와 같이 연구 영역별 역할을

배분하여 연구를 수행하였다.



[그림 II-1-2] 조사 참여자와 역할.

또한 연구진은 2020년 빅데이터-직업성 질환 코호트를 이용하여 ‘역학조사 우선순위 의사결정 지원’방안을 연구하는 연구팀과도 연계하여 JEM의 빅데이터 활용 방안을 높일 수 있는 방법을 함께 모색하고자 하였다.

2. 연구 방법

1) JEM 구축 체계 개발

(1) 과거 노출 추정 단계별 평가 항목 선정

Sahmel et al.(2010)은 직업성 질환에 의한 위험도 평가를 위한 역학연구에서 과거 노출의 재구성(exposure reconstruction)의 중요성을 강조하면서 [그림 II-2-1]와 같은 7단계 프레임틀을 제안하였다.

본 연구에서는 과거 노출 재구성을 통한 JEM구축 체계를 구성하는데 이 7단계 프레임틀의 활용도가 매우 높다고 판단하며, 각 단계별 세부 평가 항목을 정리하여 JEM구축의 표준 체계를 만들고자 하였다.



[그림 II-2-1] 노출 재구성(exposure reconstruction)을 위한 7단계 프레임틀(Sahmel et al., 2010).

(2) 국외 JEM 구축 방법 고찰

국가 차원의 노출감시체계 자료를 활용하여 JEM을 구축하여 활용해 오고 있는 국외 JEM 구축 방법을 고찰함으로써 우리나라 JEM 구축 체계 개발에 활용할 수 있는 방법론을 정리하고자 하였다.

주요 국가별로 정량적인 노출자료, 설문자료, 등록 자료 등을 활용하여 <표 II-2-1>와 같이 다양한 노출감시체계를 구축하고 있으며, 이들 중 정량적인 노출자료를 중심으로 구축하고 있는 핀란드의 FINJEM과 독일의 MEGA, 프랑스의 COLCHIC의 구축 방법을 중심으로 고찰하였다. 또한 최근에 역학연구자료를 기초로 구축된 캐나다의 CANJEM도 고찰하였다.

<표 II-2-1> 국가별 노출감시체계 요약(VIOSH, 2006)

Country	Name of system	Surveillance method	Owner of system
Germany	MEGA database	Exposure database	Berufsgenossenschaften (BGS)
France	Systeme de Collete des Donnees (COLCHIC)	Exposure database	Health insurance fund (CRAM) and the French national research and safety institute (INRS)
Finland	Finnish Job-Exposure Matrix (FINJEM)	Exposure database	Finnish Institute of Occupational Health (FIOH)
Italy	Studio Italiano Rischio Occupazionale da HIV	Exposure database	
Sweden	Swedish work environment survey	Workforce systems (labour force survey)	Statistics Sweden

Country	Name of system	Surveillance method	Owner of system
UK	National Exposure Database (NEDB)	Exposure database	Health and Safety Executive (HSE), UK
	Estimation and Assessment of Substance Exposure (EASE)	Other (developed from published literature)	Health and Safety Executive (HSE), UK
	Workplace Health and Safety Survey C\ (WHASS)	Workforce systems (labour force survey & workplace observation)	Health and Safety Executive (HSE), UK
	Occupational Skin Surveillance System (EPIDERM)	Routine surveillance system	University of Manchester
	Quick Exposure Check	Workforce systems (workplace observation)	Robens Centre for Health Ergonomics, EIHMS, University of Surrey
Denmark, Sweden, Finland, Iceland	Nordic occupational skin questionnaire	Workforce systems (labour force survey)	Nordic Council of Ministers owns copyright of the questionnaire
	Nordic Questionnaire on working life and health	Workforce systems (labour force survey)	Danish National Institute of Occupational Health (AMI)
Europe	European Survey of Working Conditions (ESWC)	Workforce systems (labour force survey & workplace observation)	European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions

Country	Name of system	Surveillance method	Owner of system
USA	Duke Health and Safety Surveillance System	Comprehensive surveillance system incorporating job exposure matrix	Duke University health system
	Pesticide Exposure Surveillance in Texas	Exposure database	
	Hydrocarbon Solvent Exposure Database	Other (developed from published literature)	Exxon Mobil Biomedical Sciences
	National Occupational Exposure Survey (NOES)	Workforce systems (labour force survey)	National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)
	National Exposures at Work Survey	Workforce systems (workplace observation)	National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)
Canada	National Dose Register	Register	Radiation Protection Bureau of Health Canada
	National Surveillance of Occupational Exposure to HIV	Routine surveillance system	Canadian Needle stick Surveillance Network
Singapore	National database for Noise and Chemical Exposure	Exposure database	Ministry of Manpower

(3) 국내 가용한 노출자료 특성 고찰

유해인자별 국내에서 가용한 모든 노출평가 자료의 특성을 고찰함으로써 각 자료의 성격과 신뢰성, 활용 가능성, 적절한 통계적 처리 방법 등을 조사하였다.

주요한 자료원은 peer-review되어 출판된 문헌에 보고된 자료와 2002년부터 안전보건공단 K2B 전산 시스템에 의해 수집되어 있는 작업환경측정 자료, 특수건강진단 자료, 기타 역학연구 자료를 포함한 미 출판 자료 등이 있다.

Sahmel et al.(2010)과 Chung et al.(2015)은 과거 노출의 재구성에 있어 자료원의 특성에 따라 신뢰성의 수준을 각각 <표 II-2-2>과 <표 II-2-3>와 같이 제시하고 있다. 따라서 JEM구축을 위해 활용되는 자료의 특성에 따라 자료의 질(quality)와 신뢰도의 수준을 고려하여 pooling 하고 평가하는 방법을 구축할 필요가 있으며, 각 자료의 장, 단점과 활용 시 고려할 점들을 정리함으로써 JEM구축 체계에 반영될 수 있도록 하고자 하였다.

<표 II-2-2> 노출 재구성에 활용되는 자료 특성에 따른 신뢰도(Sahmel et al., 2010)

자료 특성	신뢰 정도
<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative personal exposure measurements for applicable scenarios • Quantitative personal exposure measurements for similar scenarios during similar time periods • Medical or biological monitoring data for the substances of interest in an applicable or similar scenario (depending on biological half life and dates of exposures of interest) • Quantitative personal exposure measurements from a different time period than the exposure of interest (if applicable) • Quantitative area exposure measurements for applicable or similar scenarios • Qualitative exposure measurements (i.e., colorimetric indicators or sampling tubes) • Characteristics and descriptions of job titles and tasks • Quantitative information on workplace or environmental conditions and characteristics (ventilation data, size of work location, generation rate of substances of interest, etc.) • Descriptive practices of individual workers • Information about all chemicals or substances of interest used in the environment or workplace • Semi-Quantitative information on workplace or environmental conditions and characteristics (ventilation type, process type, etc.) • Qualitative description of exposure controls in place during the time period of interest • Descriptive assessments by safety and health professionals or workers regarding exposures or exposure potential • Descriptions of key process changes over time • Descriptions of changes in exposure controls over time • Safety reports and other relevant information associated with exposure potential 	<div style="text-align: center;">  <p style="margin: 0;">높음</p> <p style="margin: 0;">낮음</p> </div>

**<표 II-2-3> 개별 근로자의 과거 노출 평가에 활용되는 자료
특성에 따른 질적 수준(Chung et al., 2015)**

자료 유형	자료의 질 (quality)
Period specific data from worker's employer/s	H
Period specific data from government inspection reports	H
Period specific data from industry	M
Period specific data from published (peer reviewed) literature	M
Data from relevant exposure provincial database	M
Data from national and international database	M
Data from unpublished sources	L

H = High, M = Medium, L = Low

2) 빅데이터-직업성 질환 코호트 특성 고찰

이상길 등(2018)은 [그림 II-2-2]과 같이 국민건강보험공단의 빅 데이터를 활용한 직업성 코호트 구축을 수행했으며, 특수건강진단 근로자 코호트와 연계하여 직업성 질환의 위험도 분석을 시도한바 있다.



[그림 II-2-2] 빅 데이터를 활용한 직업성 코호트 구축 설계모형 (이상길 등, 2018).

건강보험자료는 국민 개인별 건강영향을 볼 수 있는 빅 데이터라는 점에서 장점이 있으나, 직업적 노출 요인을 파악할 수 있는 정보가 부족한 단점이 있

다. 따라서 직업적 노출을 파악할 수 있는 특수건강진단과 작업환경측정자료와의 연계를 시도한 바 있는데, [그림 II-2-3]과 같이 상호간에 연계 변수의 한계와 자료의 질적 정확성의 한계로 인해 직접 연계가 어려운 상황이다.



[그림 II-2-3] 국민건강보험공단 DB, 특수건강진단 DB, 작업환경측정 DB의 연계 흐름(이상길 등, 2019).

특히 작업환경측정자료나 특수건강진단 자료 구성 내용 중 직업적 노출 특성을 반영하는 공정 정보의 경우 표준화된 공정의 자료 입력이 되지 못하는 한계로 인해 효용성이 떨어지는 한계를 갖고 있다.

이에 본 연구에서는 기 구축된 빅 데이터를 활용한 직업성 코호트의 자료 특성을 자세히 검토하고 JEM구축을 통해 수집되는 직업적 노출자료와의 연계 변수 및 방법을 모색하고자 하였다.

3) 특정 유해인자에 대한 JEM 시범 구축

(1) 시범 구축 JEM의 대상과 범위

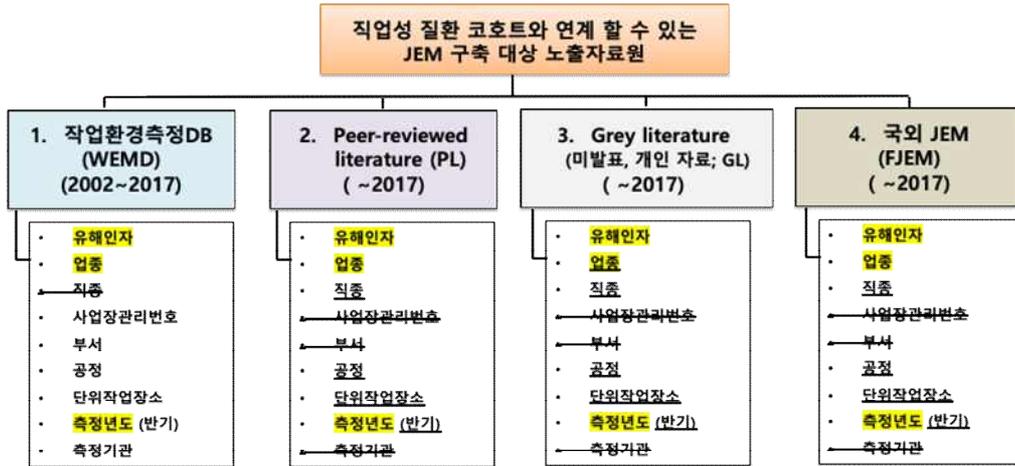
기 구축된 빅데이터-직업성질환 코호트와 연계하여 활용될 수 있는 JEM구축 체계 개발 과정을 특정 유해인자를 선정하여 관련 자료 수집과 코호트 연계 분석을 시범적으로 해 봄으로써 JEM구축 체계의 타당성을 평가하고자 하였다.

시범 구축 대상 유해인자의 선정 기준은 첫째, 유해성이 높은 인자(과거 노출 수준에 의한 건강 영향 특성을 나타내는 발암성 물질을 우선 대상으로 하고자 함), 둘째, 국내 직업적 암 발생 기여도가 높은 유해인자, 셋째, 가용한 자료가 비교적 많은 유해인자를 대상으로 하였으며, 연구 상대역과 상의하여 ‘납(Pb)’으로 선정하였다.

(2) JEM 구축을 위한 노출자료

직업성 질환 코호트와 연계 할 수 있는 JEM 구축 대상 노출자료원은 [그림 II-2-4]와 같이 작업환경측정 DB(Work Environment Monitoring Data, WEMD), peer-reviewed literature(PL)에 보고된 자료, 공식적으로 미발표 되었거나 개인 자료 등 grey literature(GL), 그리고 외국에서 구축된 JEM(Foreign JEM, FJEM)으로 구분해 볼 수 있다.

각 노출자료 중 작업환경측정 자료는 국가 DB로 구축이 되어 있고 DB 관리가 이루어지고 있다는 점, 그리고 직업성 코호트의 특검 자료와 사업장 - 공정 등의 연계 변수가 있다는 장점이 있고, PL은 자료의 신뢰도가 높다는 장점이 있어 이 두 가지 자료를 가장 우선적으로 활용하고자 하며, 두 자료원에 없는 산업이나 직종의 노출 자료로 GL이나 FJEM의 활용을 고려하였다.



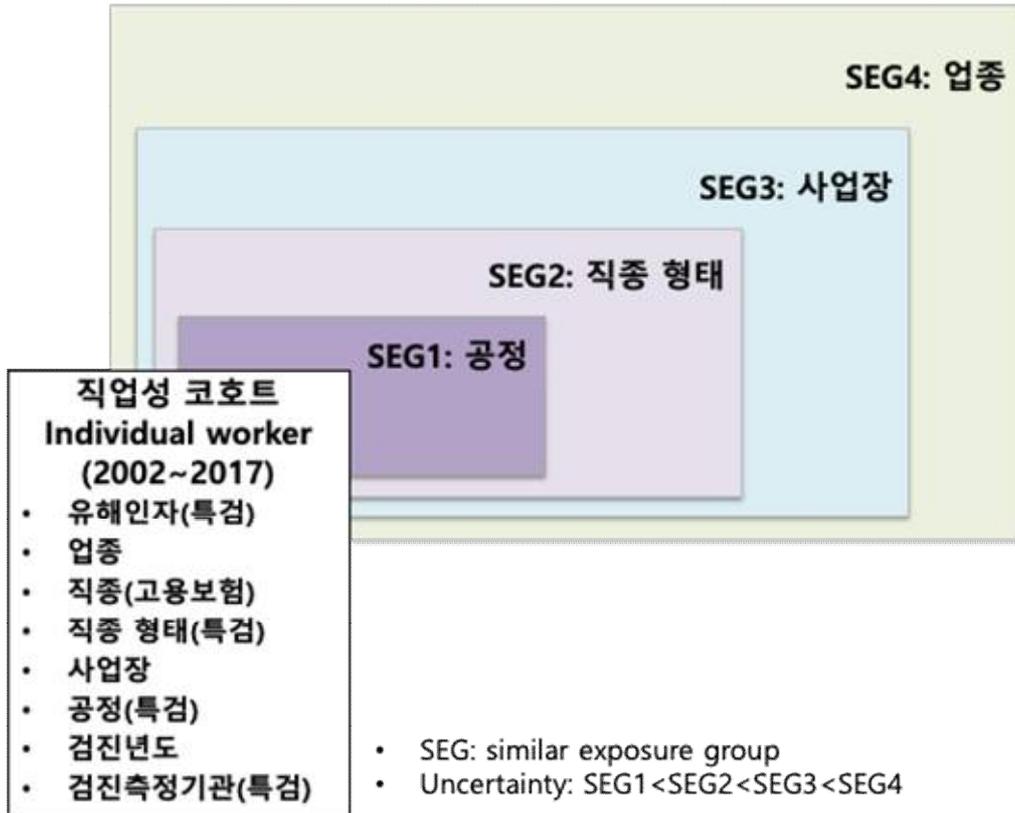
* 노랑음영: 연계가 쉬운 공통변수, 중간삭제 줄: 자료없음, 밑줄: 자료가 있거나 없을 수 있음

[그림 II-2-4] JEM구축 대상 노출자료원 특성 비교.

각 노출 자료원 마다 활용 가능한 노출 변수는 [그림 II-2-4]와 같이 서로 다른데, 공통적으로 추출 혹은 표준화가 가능한 변수는 ‘유해인자 - 산업 - 측정년도’이다.

직업성 코호트는 개인별 자료이므로 각 개인에 대한 노출 수준을 가장 정확히 반영하기 위해서는 각 개인에 대한 노출자료를 적용해야 한다. 그러나 JEM 구축에 활용 가능한 노출자료는 개인식별 정보가 없고 각 유사노출그룹(similar exposure group, SEG)별 표본의 자료이기 때문에 일정 수준의 불확도(uncertainty)를 가질 수밖에 없는 제한점이 있다.

이러한 불확도를 최소한으로 적용하기 위해서는 [그림 II-2-5]와 같이 직업성 코호트와 연계 가능한 SEG의 수준을 구분하고, 각 SEG 수준에서 가질 수 있는 불확도의 크기와 제한점을 기술하고자 하였다.



[그림 II-2-5] 직업성 코호트에 적용 가능한 유사노출그룹 단계.

(3) JEM 구축을 위한 노출 수준 결정 방법

가) 자료 클리닝 및 left-censored data 처리

노출 수준 결정전에 먼저 자료 클리닝을 통해 활용 가능한 자료를 선별하였다. 클리닝을 통해 제거되는 자료들은 노출변수가 불명확하거나 숫자로 입력되지 못한 자료 등이 해당될 것이며, 클리닝의 처리 기준을 제시하였다.

자료 중 left-censored data(불검출, '0' 혹은 <limit of detection(LOD))의 경우 일반적으로 역학연구에서 활용되는 'LOD/2'를 적용하는 대체법(substitution), maximum likelihood estimation(MLE) 등의 방법을 비교 검토하여 자료를 삭제하지 않고 포함하여 표본의 분포를 추정하고자 하였다.

나) 이상치(outlier) 영향 배제를 위한 자료 처리

작업환경측정 자료는 불검출 자료가 많거나 노출기준 비교를 위해 ‘최고노출근로자(worst-case)’를 대상으로 측정하도록 하고 있어 비 이상적인 값이 있을 수 있으며, 대푯값 추정시 이러한 이상치에 의해 영향을 받을 수 있다.

이에 Chung 등(2015)은 80% 수준에서 윈저화(winsorization) 방법을 사용하였는데, 이는 상하위 10%의 자료들을 각각 10분위수와 90분위수로 대체하여 표본의 대푯값을 산출하는 방식이다. 본 연구에서도 상하위 이상치의 영향을 최소화 하고자 윈저화 방법을 고려하였다.

다) 불확도를 줄이기 위한 방법

직업성 코호트의 노출 수준을 최대한 정확히 반영하기 위해 <그림 II-2-5>와 같이 JEM 노출 자료들에 대해 최대한 공정-직종형태-사업장-산업 등의 변수를 표준화 하였다.

작업환경측정 자료의 경우 직업성 코호트의 특검 자료가 갖고 있는 사업장 관리번호와의 연계가 가능할 것이며, 공정과의 연계율은 상대적으로 낮은 것으로 평가되고 있다. 이런 경우 작업환경측정 자료와 특검 자료의 공정 표준화와 측정기관/검진 코드가 있으므로 해당 측정기관 전문가들에 의한 자문을 통한 재코딩(re-coding)을 통해 최대한 자료의 연계율을 높이는 방법을 모색하였다.

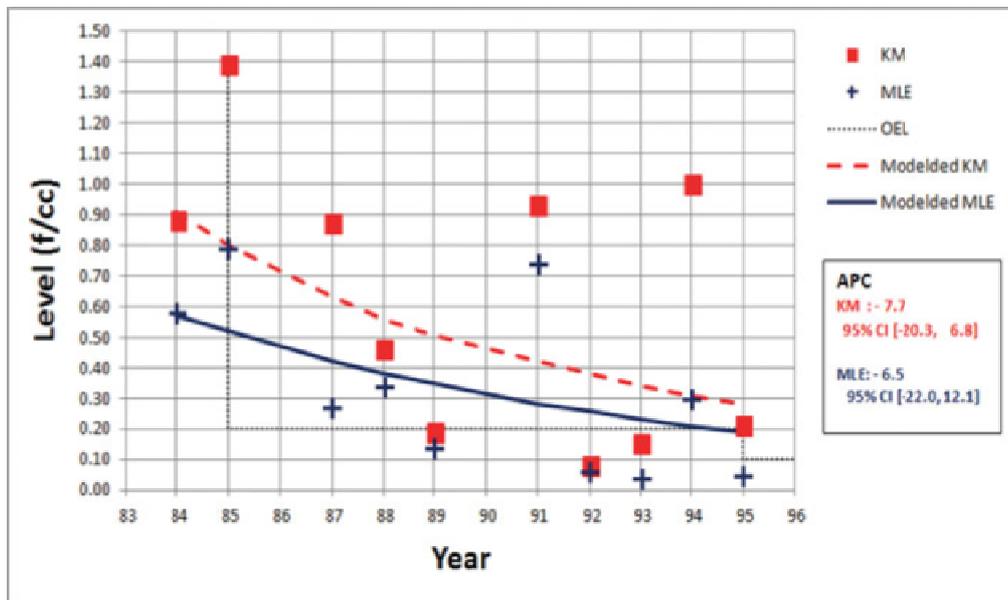
전문가 검토를 통한 재코딩이 어려운 경우 불확도가 높은 단계의 SEG(예: 사업장, 산업 등) 노출 수준을 적용해야 하는데, 이때 각 SEG의 하나의 점 추정치(예: 산술평균, 기하평균 등)로만 평가하지 않고, 사분위수(quartile), 최대값 등 노출수준 영역을 결정하여 적용하는 방법을 활용하고자 하였다.

또한 5 자리 코드로 입력되어 있는 공정 코드를 2 자리 코드로 그룹화 하여 간소화 하고 작업환경측정 기관들이 직접 입력한 측정 정보(공정 및 단위

작업장소)를 활용한 재 코딩 결과와 비교하여 공정코드의 정확도를 검증한 후 JEM 구축에 활용하는 방안을 모색하였다.

라) 노출자료가 없는 과거 노출 추정 방법

노출자료가 없는 과거 노출 추정이 필요한 경우 조사된 기간의 자료를 ‘trend analysis’ 통계 방법을 통해 연간 변화율(annual percent change, APC)을 구해서 과거 노출수준을 추정하는 방법 적용을 고려하였다. Chung 등 (2015)은 석면 노출자료를 활용하여 APC를 -6.5~ -7.7%로 추정한 바 있다[그림 II-2-6].



[그림 II-2-6] 캐나다 석면 노출자료를 이용한 trend analysis 결과(Chung et al., 2015).

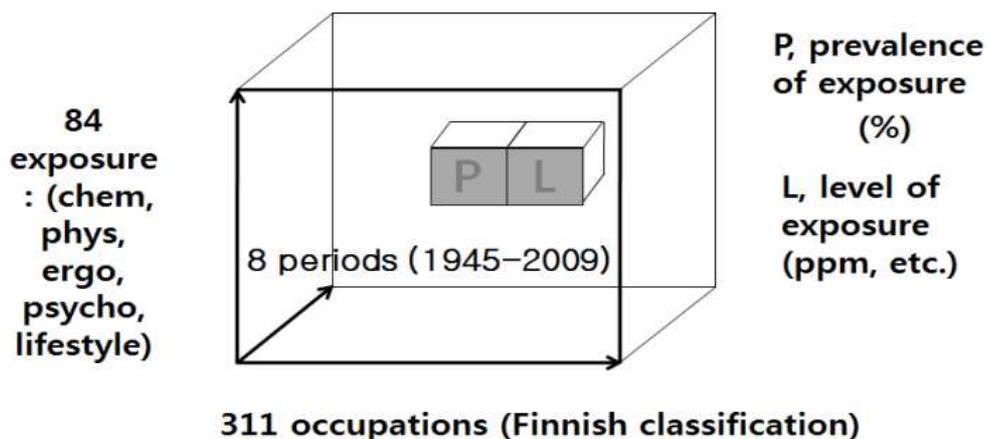
본 연구에서는 향후 다년간 자료 분석시 산업 단위로 trend analysis를 시도해 보고자 한다.

Ⅲ. 연구결과

1. 국외 JEM 고찰

1) 핀란드 직무노출매트릭스(FINJEM)

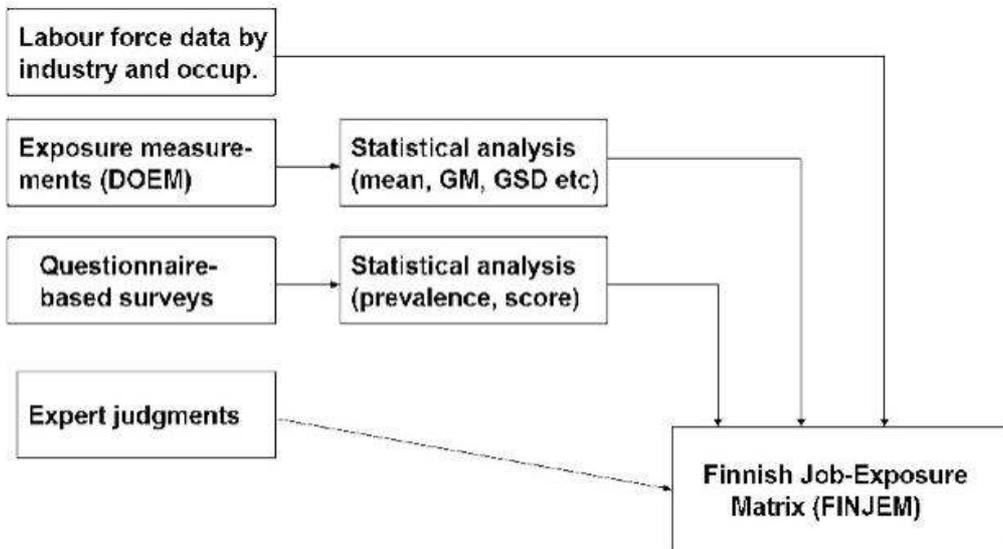
핀란드의 산업보건연구소(FIOH)에서는 1945년 이후부터 직업적인 자국내 모든 직업적 노출 요인에 대해 다양한 목적으로 활용 가능하도록 FINJEM(Finnish job-exposure matrix)을 개발하였다. 1991년 핀란드 암 등록 자료를 활용한 연구를 위해 FINJEM을 개발하게 된다. FINJEM은 크게 세 가지의 축을 갖고 있는데, 하나는 직업분류(occupation)이고, 두 번째는 노출 요인(agent), 그리고 마지막은 노출시기(time)이다[그림 Ⅲ-1-1].



[그림 Ⅲ-3-1] FINJEM의 주요 구성(Kauppinen, 2014).

노출 수준은 직업적 노출기준의 10% 미만, 10-50%, >50% 등으로 구분하여 평가하였다. 특히 과거 노출량을 추정할 경우 FIOH에서는 20명의 산업보

건 분야 전문가의 판단에 기초하여 실시하였다. 이때 판단의 근거와 추정값의 논리적 근거, 활용 자료의 조사 방법 등을 각 전문가로 하여금 FINJEM DB에 문서로 남기도록 하고 있다.



[그림 III-1-2] FINJEM 구축에 활용된 자료원
(Kauppinen, 2014)

FINJEM 구축에 활용된 주요 자료원을 모식도로 나타내면 <그림 III-1-2>와 같으며, 정량적 노출평가 자료(DOEM)과 정성적인 설문조사 자료, 그리고 전문가의 판단(expert judgment) 결과 모두 활용되었다.

FIOH의 Kauppinen 박사는 FINJEM의 강점과 활용도에 대해 발표한 바 있는데 다음과 같이 7가지의 영역에서 활용도가 있다고 주장하였다.

- 직업역학(occupational epidemiology): 주요 용도
- 유해성 감시(surveillance of hazards): 주요 용도
- 유해성 예방(prevention of hazards): 유용함
- 질병 위험(risks) 및 부담(burdens) 평가: 유용함

- 다른 JEMs의 자료원(data source)으로 활용: 유용함
- 미래 노출의 예측: 유용함
- 기타 다른 용도로 활용될 수 있는 기초자료(general databank): 유용함

위의 7가지 활용도 중 특히 직업역학과 유해인자의 노출감시체계로서의 활용도는 매우 주목할 만하며, 산업, 직종, 유해인자의 종류, 노출인구 수, 노출 시기, 노출량의 강도 등의 정보를 종합한 JEM으로서 본 연구에서 참고할만한 사항이 많다고 판단된다.

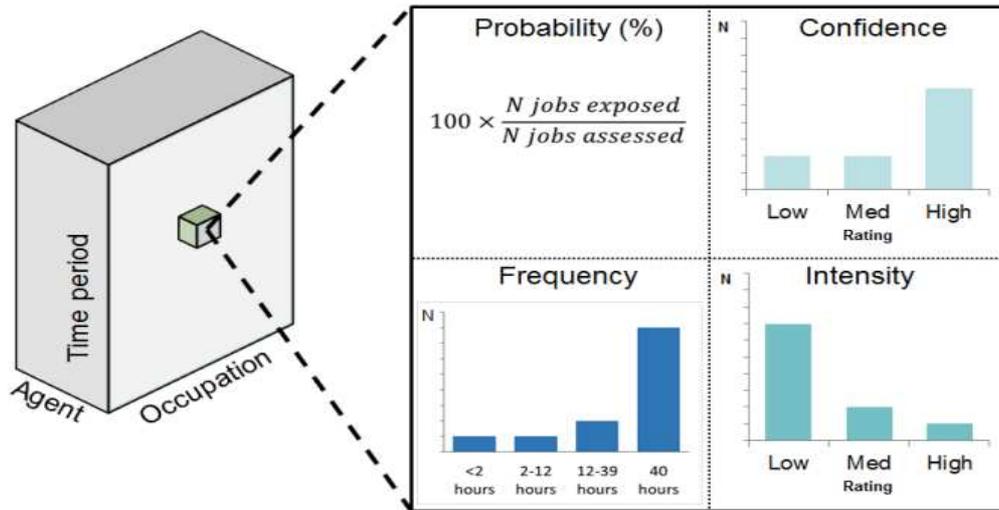
2) 캐나다 JEM(CANJEM)

CANJEM은 캐나다의 직무노출매트릭스로 직종과 시기별로 258개의 직업적 위험요인(risk factor)에 대해 노출 가능성(probability), 노출빈도(frequency), 노출강도(intensity) 등 직업적 노출 정보를 제공하는 노출평가의 한 도구이다 [그림 Ⅲ-1-3].

캐나다 몬트리올 지역에서 1980년대부터 2010년까지 다양한 암에 대해 4건의 환자대조군 연구(case control study)가 수행되었고, 이 연구에서 전문가들에 의해 1920년부터 2005년까지 약 1만여 명이 갖고 있던 3만개 이상의 직종에 대해 직무(task), 공정(process), 작업환경(work environment), 노출 제어 방법(exposure control measure)을 토대로 노출평가가 실시되었으며, 이 자료가 CANJEM의 기초 자료로 활용되었다.

CANJEM은 표준직종 및 산업 코드(standard classifications of occupation and industry)를 이용하여 작업 내용에 대한 정보를 제공하고 있으며, 직종에 대한 CANJEM은 Canadian Classification and Dictionary of Occupations (CCDO 1971), National Occupational Classification (Canada, 2011), International Standard Classification of Occupations (ISCO 1968), Standard Occupational Classification (USA, 2010) 등의 표

준직종 코드 시스템에 기초하여 만들어졌다.



[그림 III-1-3] CANJEM의 구성 요소
(<http://www.canjem.ca/>).

산업에 대한 CANJEM은 Standard Industrial Classification (Canada, 1980), North American Industry Classification System (2012), and International Standard Industrial Classification of all Economic Activities (UN, 1968) 등의 표준산업코드 시스템에 기초하여 만들어졌다. 특정 표준 코드에 대한 검색은 www.caps-canada.ca에서 찾을 수 있다.

CANJEM은 산업위생 전문가의 판단에 기초해서 만들어진 직무노출매트릭스이며, 정량적 노출평가 자료를 활용하기 보다는 작업자들과의 인터뷰를 통한 정성적 평가 방법을 활용하였다.

다양한 암에 대한 환자대조군 연구 대상이었던 근로자들을 대상으로 일정하게 구조화된 직무관련 설문지를 개발한 뒤 인터뷰에 동의한 대상에게 근무했던 회사, 제품, 사업장 특성, 주요 직무와 부가적인 직무, 장비 정비, 개인보호구 사용 여부, 동료 근로자들의 작업 내용 등 특정 유해인자에 대한 노출 가능

성과 노출강도를 판단할 수 있는 항목에 대해 면담조사를 하였다. 인터뷰 결과를 화학자와 산업위생전문가가 검토하여 노출 가능한 약 300여종의 노출인자 목록을 작성하였고, 물리화학적 성상에 따라 먼지, 가스, 흡, 액체 혹은 증기상 물질 등으로 구분하였다.

산업위생전문가들은 좀 더 자세한 유해인자 노출 가능성에 대한 판단을 위해 가능한 모든 정보(문헌 자료, 사업장 관리자와의 면담, 현장 방문 등)를 활용하였으며, 대략 총 전문가 50인년 (50 person-years)의 시간이 소요되었다.

최종 노출평가는 전문가들의 합의(consensus)에 의해 결정하였고 대상 근로자의 질병 상태에 대해서는 알지 못한 상태(blind)에서 평가하였다. 각 근로자별 특정 직종에 대한 노출 평가는 각 항목별 3가지 척도로 평가하였는데, 1) 노출가능성에 대한 신뢰성(reliability)은 possible, probable, definite으로 구분하여 평가하였고, 2) 노출 빈도는 정상적인 작업 주(week) 당 <5%, 5%~30%, >30% 로 구분하였고, 3) 노출 강도(농도)는 상대 척도로 low, medium, high로 구분 평가하였다.

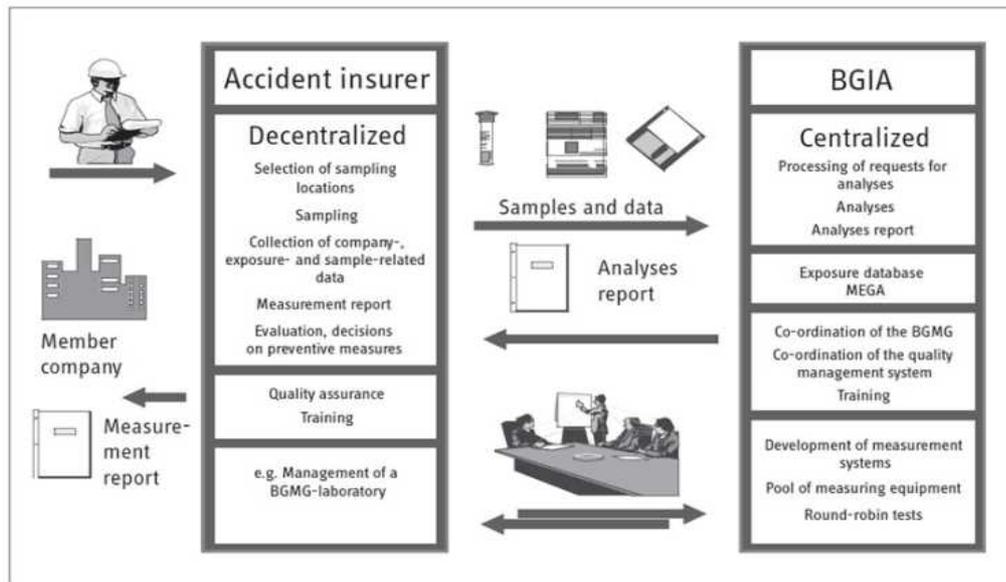
CANJEM은 정량적인 노출평가 자료가 아닌 문헌자료와 사업장 관리자의 면담, 현장 방문을 통해 수집된 자료를 전문가들의 판단에 준 정량적(semi-quantitative) 노출평가를 통해 구축했다는 점이 특징적이며, 본 연구에서도 가용한 자료들 중 전문가의 판단에 의한 평가의 방법론을 구축하는데 참고할 수 있을 것이다.

3) 독일 MEGA

독일 사회보험의 산업안전보건연구소(Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, IFA)에서는 1972년부터 정량적 노출평가 자료를 MEGA(Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz" in German)로 불리는 데이터베이스를 구축하여 국가 노출감시체계로 활용하고 있다(Stamm, 2001).

MEGA는 독일 산재보험조합(Berufsgenossenschaften, BG)과 BG 산하의 산업안전보건연구소(Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, BGIA)에 의해 관리되는 화학적 인자에 대한 노출평가 데이터베이스이다.

BG는 민간조직이지만 산업재해 및 질병자의 보상, 치료, 재활에 대한 실질적 업무를 담당하고 있고, BG 감독관은 각 사업장의 기술감독 권한을 갖고 있으며 BG 산하 사업장에 대해 작업환경측정을 실시하고 산재예방을 위한 기술지원을 실시한다.



[그림 III-1-4] 독일 BG-BGIA의 유해물질 측정시스템 (Meffert and Stamm, 1997).

BG 감독관들이 측정한 시료는 모두 BGIA로 표준화된 측정정보와 함께 보내지고 최종 농도가 산출되는데, BG 감독관들에 의해 현장에서 시료채취가 될 때 관련정보들이 체계적으로 수집되기 위해 “OMEGA”라고 하는 소프트웨어를 사용하여 관련정보를 기입하고 있으며, 동 정보는 BGIA에 의해 활용되어 시료

분석 결과 농도를 계산하고 그 결과를 해석할 때 사용되어진다(Gabriel, 2006; BGIA, 2009).

측정 후 BGIA에 수집되는 주요 정보는 사업장 정보(산업), 공정 정보, 직무 정보(activity), 작업 대상 물질, 투입제품, 작업공간적인 조건, 기후 조건, 환기 조건, 개인보호 조치, 노출조건 등을 포함하며, 우리나라의 작업환경측정 보고서에서 수집하고 있는 정보 중 누락되어 있는 직무정보에 대해 자세히 보고하고 있다는 점이 특징적이다. 직무정보에는 피 측정자의 직업(profession), 직무(job) 또는 구체적으로 수행한 업무(task) 등이 포함된다. 따라서 국내 작업환경측정자료를 활용한 JEM 구축에 있어 독일 MEGA의 활용 방법을 참고할 수 있다.

4) 프랑스 COLCHIC / SCOLA

프랑스의 경우, COLCHIC 과 SCOLA 라는 두 가지 데이터베이스를 운영하고 있으며, 이 두 가지 데이터베이스는 저장되는 목적은 다르나 동일한 구조를 가지고 있어 프랑스의 근로자 노출 수준을 파악하고 예방정책을 수립하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

COLCHIC의 경우 1986년 예방 및 연구 활동 자료를 사용하기 위해 만들어 졌고, 국가 산업재해 및 직업병 위원회 (Commission of Work Accidents and Occupational Diseases)의 요청으로 만들어졌으며, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS : 국립 직업안전보건연구소, <http://www.inrs.fr/>) 에서 관리하고 있다.

측정대상의 선정은 국가 건강보험제도에 의해 실시되는 예방프로그램 및 국가 샘플링 조사에 의해서 선정이 되고 주로 잠재적인 문제가 되는 산업분야에 속한 기업을 대상으로 측정을 하고 있다.

SCOLA는 2006년 법적 노출기준(OELV)의 준수 여부를 평가하기 위한 측정 결과를 보관하기 위해 만들어 졌고, 국가 예방프로그램의 우선순위를 정의하는

데 주로 사용되며, COLCHIC과 함께 INRS에서 관리하고 있다.

두 데이터베이스의 저장은 그 목적은 다르나 동일한 구조를 가지고 있다. 정보를 분류하는 구조는 작업 또는 환기와 같은 고유한 표준정보 및 국가 시스템에 의해 코딩된 산업 및 직종 분류도 포함하며, 크게 4가지로 구분하게 되며 세부 내용은 아래와 같다.

- 행정정보 (administrative information : E) : 파일 소유 조직, 샘플채취 년도, 파일 수, 행정식별번호(지리적), 측정기관주소, 표준산업분류, 평가기관 근로자 수
- 측정조건 (sample condition : SC) : 측정담당단체, 측정일자, 샘플 번호, 측정방법, 측정장비, 유량, 샘플유형 (환경 / 개인), 샘플의 대표성, 개인보호구, 측정시간, 측정관찰정보
- 노출조건 (exposure condition : EX) : 작업장 유형, 작업장 환기상태, 집단보호상태 등을 묘사(Description)
- 분석조건 (analytical condition : AC) : 분석담당실험실, 분석에 사용된 화학물질, 분석방법

프랑스의 두 시스템도 정량적인 노출평가 자료를 기초로 구축된 시스템이라는 점에서 독일 MEGA와 함께 정량적 노출평가 자료를 활용한 시스템 구축 방법을 개발하는데 참고하고자 한다.

2. 작업환경측정-특수건강진단 자료 연계 분석 방법

1) 자료 연계의 필요성

작업환경측정과 특수건강진단은 국가 차원에서 시행되는 대표적인 노출감시 (exposure surveillance)와 건강감시 (health surveillance) 시스템이다. 작업 환경측정 자료는 2002년부터 데이터베이스화되어 있으며, 특수건강진단자료는 2000년부터 데이터베이스화되어 있다.

(1) 자료의 활용 가능성

과거에는 주로 정부 보고용 또는 노동부의 필요에 따라 활용되는 정도였으며, 개인정보보호 관계로 건강보험공단자료, 암등록자료 등 외부 자료와의 연계가 실질적으로 거의 불가능 하였다. 그러나, 최근 빅데이터 사업 등으로 인해 외부 자료와의 연계가 가능해져 활용도가 증가하였다.

최근 다양한 직업병이 산재로 신청되고 있으며, 노출과 질병과의 관련성에 대한 연구 수요가 증가하고 있다. 이 수요의 충족을 위해 작업환경측정자료, 특수건강진단자료, 외부 자료의 연계를 통한 건강영향 조사의 활성화가 필요한 시점이 되었다. 과거에는 외국의 건강영향 평가 결과를 토대로 업무관련성을 판단해 왔다면, 현재는 국내의 국가 자료원을 이용하여 대규모 건강영향 평가를 실시할 수 있는 상황이 되었다.

(2) 자료 활용에 있어서의 제한점

작업환경측정, 특수건강진단 자료의 데이터베이스화를 시작할 때 두 데이터 베이스간의 연계는 크게 고려되지 않았다. 그래서 초기에는 자료를 축적하는 것을 중심을 두었지만, 누락자료 들이 상당부분 있었고, 자료의 클리닝이 충분치 못한 제한점이 있다. 최근에 자료의 클리닝이 강화되어 왔지만, 아직까지

원시 데이터를 직접 사용하기는 어려운 상황이다.

(3) 자료의 연계 분석의 목적

측정과 특검 자료를 연계하여 건강영향 분석을 할 수 있도록 하기 위한 기초 분석을 수행하고, 자료 연계를 위한 여러 방법들을 비교, 평가하기 위함이다. 또한 이를 통해 향후 연계 분석의 기본 틀을 제공하고자 하였다. 이에 2015-2016년의 납(특수건강진단유해물질코드 HRMFLNS_FACTR_CD: 22005, 22006) 작업환경측정자료와 특수건강진단자료를 대상으로 시범 연계 분석을 실시하였다. 해당 자료의 일반적 특성과 분포는 다음과 같다.

2) 자료의 일반적인 특성과 분포

자료 분석 시 연도는 별도의 변수로 고려하지 않고 합쳐서 분석하였고, 특수건강진단 자료의 경우 납은 혈중 납 검사항목 코드 (INSPCT_CD: 0313)을 대상으로 분석하였다. 혈중 납은 화학물질코드 22005, 22006 이었으며, 기중 납은 47575 건 모두 화학물질코드 22005 이었다.

<표 III-2-1> 분석대상 납 특수건강진단자료 유해인자별 수검자수

화학물질 코드	국문 화학물질명	영문 화학물질명	수검자수 (2015-206)
22005	납(연)및그무기화합물	Lead(Inorganic dust & fumes,Pb)	56319
22006	납(연)및그무기화합물물질을 중량비율1%이상 함유한 제제		4

(1) 작업환경측정 자료의 변수와 분포

가) 작업환경측정자료 변수

작업환경측정 자료의 주요 변수는 다음과 같았다.

<표 III-2-2> 작업환경측정 자료의 주요 변수

연도 : WEM_YEAR
사업장관리번호 : INDDIS_NO
사업장개시번호 : INDOPEN_NO
순번 : INDDIS_NO_SEQ
우편번호 : BIZ_ZIP
산업코드 : BIZ_INDUTY
산업명_업태 : BIZCND
주생산품 : BIZ_MAIN_PRODUCT
공정코드 : PROCS_CD
공정명_공단 : PROCS_NM
공정명 : gongjung
단위작업장소명 : UNIT_WRKRUM_NM
유해인자코드 : CHMCLS_CD
유해인자명 : CHMCLS_NM
부서명 : DEPT_NM
측정시간_시작 : WEM_TIME_FROM
측정시간_종료 : WEM_TIME_TO
측정횟수 : WEM_CO
측정결과값_평균 : WEM_VALUE_AVRG ** 시간가중평균치(TWA) 금회
측정결과값_금회 : WEM_VALUE_NOW ** 측정치

나) 작업환경측정자료 주요 변수의 분포

남의 측정자료에 대해 주요 변수별 빈도 분석을 실시한 결과 다음과 같은 특징을 보였다.

- 사업장 관리번호의 누락은 없으며, 개시번호는 99.5%가 0이었으며, 순번은

82.7%가 0 이었음.

- 표준산업분류(5-digit)는 409개 산업이었음.
- 공정코드는 누락이 없었으나, 공정코드가 ‘기타 (46005, 45027)’ 또는 공정과 관련 없는 경우 (99901, 99999) 는 전체의 20.3% 였음. 공정명을 기준으로 보았을 때는 ‘기타’가 23.5% 였음.
- 공정명중 ‘기타’가 많은 이유는 특검기관에서 공정에 관한 정보를 받지 못하는 경우 일괄하여 ‘기타’로 기입하는 경우가 많기 때문임.
- 수기로 별도 기입한 공정(gongjung)이 90.17%에 달해, 이 변수를 이용하여 공정의 정확도를 높일 수 있는 방법의 고려가 필요함 (예를 들어 머신러닝 이용 등).
- 주요 생산품, 측정위치, 측정시작/종료 시점 등 누락이 없음.
- 부서명은 누락이 상당부분 있음 (53.46%%).

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missing
1	WEM_YEAR [character]	1. 2015 2. 2016	22900 (48.1%) 24675 (51.9%)		47575 (100%)	0 (0%)
2	INDDIS_NO [character]	민감 정보로 비공개 처리함			47575 (100%)	0 (0%)
3	INDOPEN_NO [character]				47575 (100%)	0 (0%)
4	INDDIS_NO_SEQ [character]				47575 (100%)	0 (0%)
5	BIZ_ZIP [character]				47544 (99.93%)	31 (0.07%)

[그림 III-2-1] 납 작업환경측정 자료의 변수별 빈도분석 결과.

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missing
6	BIZ_INDUTY [character]	민감 정보로 비공개 처리함			47575 (100%)	0 (0%)
7	PROCS_CD [character]	1. 45027 2. 21001 3. 21000 4. 10020 5. 32088 6. 21002 7. 21035 8. 99999 9. 23000 10. 21009 [441 others]	8341 (17.5%) 2985 (6.3%) 2109 (4.4%) 1982 (4.2%) 1906 (4.0%) 1845 (3.9%) 1533 (3.2%) 1262 (2.7%) 923 (1.9%) 898 (1.9%) 23791 (50.0%)		47575 (100%)	0 (0%)
8	PROCS_NM [character]	1. 기타 2. 납땜 3. 용접 4. 실험실 5. 인두납땜 6. 취부 7. 수접소지자용 코드 8. 조립 9. 기타납땜 10. 혼합 [426 others]	11178 (23.5%) 2985 (6.3%) 2109 (4.4%) 1982 (4.2%) 1845 (3.9%) 1533 (3.2%) 1262 (2.7%) 923 (1.9%) 898 (1.9%) 852 (1.8%) 22008 (46.3%)		47575 (100%)	0 (0%)
9	gongjung [character]	1. 납땜 2. 도장 3. (용접) 4. 실험실 5. 조립 6. 용해 7. SMT 8. (취부) 9. 분체도장 10. 스프레이도장 [7159 others]	1342 (3.1%) 443 (1.0%) 432 (1.0%) 431 (1.0%) 426 (1.0%) 345 (0.8%) 306 (0.7%) 303 (0.7%) 302 (0.7%) 276 (0.6%) 38293 (89.3%)		42899 (90.17%)	4676 (9.83%)
10	BIZ_MAIN_PRODUCT [character]	1. 선박건조, 해양철구 구조물 2. 선박, 철구조물, 기타 강선 3. 선박건조 4. 전자부품 5. 자동차부품 6. 아연주괴 7. 자동차 부품 8. 철 9. 자동차 및 산업용 축전지 10. 인쇄회로기판 [3027 others]	8057 (16.9%) 4469 (9.4%) 2659 (5.6%) 1008 (2.1%) 929 (2.0%) 630 (1.3%) 359 (0.8%) 329 (0.7%) 324 (0.7%) 265 (0.6%) 28546 (60.0%)		47575 (100%)	0 (0%)

[그림 III-2-1] 납 직업환경측정 자료의 변수별 빈도분석 결과(계속).

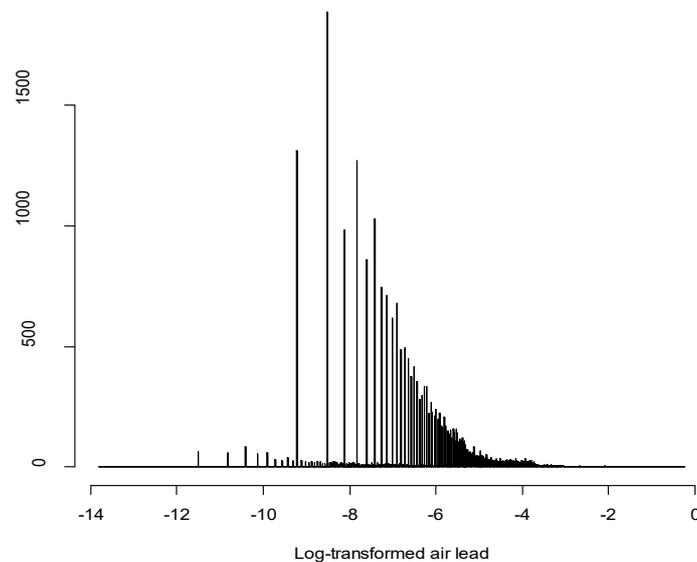
No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missing
11	UNIT_WRKRUM_NM [character]	1. 납땜 2. 도장 3. 실험실 4. SMT 5. 배합 6. 용해 7. 조립 8. 분체도장 9. 분석실 10. 인두납땜 [11182 others]	2091 (4.4%) 574 (1.2%) 522 (1.1%) 430 (0.9%) 312 (0.7%) 310 (0.7%) 273 (0.6%) 265 (0.6%) 262 (0.6%) 225 (0.5%) 42311 (88.9%)		47575 (100%)	0 (0%)
12	WEM_TIME_FROM [character]	1. 0920 2. 0930 3. 0910 4. 0915 5. 0900 6. 0905 7. 0925 8. 0935 9. 0940 10. 0803 [407 others]	1077 (2.3%) 1057 (2.2%) 1013 (2.1%) 948 (2.0%) 847 (1.8%) 816 (1.7%) 797 (1.7%) 733 (1.5%) 733 (1.5%) 693 (1.5%) 38861 (81.7%)		47575 (100%)	0 (0%)
13	WEM_TIME_TO [character]	1. 1630 2. 1635 3. 1620 4. 1640 5. 1625 6. 1610 7. 1645 8. 1615 9. 1637 10. 1632 [474 others]	1107 (2.3%) 993 (2.1%) 912 (1.9%) 840 (1.8%) 812 (1.7%) 684 (1.4%) 674 (1.4%) 670 (1.4%) 652 (1.4%) 640 (1.3%) 39591 (83.2%)		47575 (100%)	0 (0%)
14	DEPT_NM [character]	1. 납땜 2. 생산부 3. 도장 4. 실험실 5. 용해 6. 생산 7. 분체도장 8. SMT 9. 조립 10. 인두납땜 [5360 others]	537 (2.4%) 329 (1.5%) 280 (1.3%) 245 (1.1%) 190 (0.9%) 176 (0.8%) 155 (0.7%) 153 (0.7%) 151 (0.7%) 119 (0.5%) 19806 (89.5%)		22141 (46.54%)	25434 (53.46%)

[그림 III-2-1] 납 작업환경측정 자료의 변수별 빈도분석 결과(계속).

다) 작업환경측정자료 기중 납의 분포

납의 측정자료 농도 분포에 대해 분석한 결과 주요 특성은 다음과 같았다.

- 전체 데이터 47575개 자료 중, 0(불검출)이 23387건으로 49.2% 정도였음.
- 분석기기인 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrometer, AAS) 사용 기준 검출한계(LOD=1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)¹⁾ 이하는 전체의 약 80% 정도임.
- 납 분석에 기존 AAS 보다 감도가 좋은 유도결합플라즈마 원자방출분광기(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, ICP-AES) 사용 기관도 있으나, 대부분 과거의 자료들은 AAS를 사용했음. 향후 두 분석기기에 대한 검출한계 비교 및 자료 분석시 활용방안에 대한 검토가 필요함.
- 중복을 제외한 작업환경측정을 시행한 사업장은 3398개 있음
- 로그변환한 기중 납 분포는 다음과 같음 (0은 제외함)



[그림 III-2-2] 작업환경측정자료 기중 납의 분포.

1) 안전보건공단의 분석지침(KOSHA Guide A-2-2019)의 시료당 LOD(2.7 $\mu\text{g}/\text{sample}$) 값을 분석지침의 최대 유량(4 liter per minute)과 측정기관의 일반적인 측정시간(6시간)을 곱하여 구한 공기채취량(1440 L)으로 나누어 산출함.

(2) 특수건강진단 자료의 변수와 분포

가) 특수건강진단 자료의 변수

특수건강진단 자료의 주요 변수는 다음과 같다.

<표 III-2-2> 특수건강진단 자료의 주요 변수

연도 : SLNS_YEAR
사업장관리번호 : INDDIS_NO
사업장개시번호 : INDOPEN_NO
사업장순번 : INDDIS_NO_SEQ
우편번호 : BIZ_ZIP
산업 : BIZ_INDUTY
주생산품 : BIZ_MAIN_PRODUCT
유해인자코드 : HRMFLNS_FACTR_CD
직종형태(1: 사무직, 2: 생산직, 3: 건설일용직) : JSSFC_SSBYP
입사일자 : ECNY_DT
전입일자 : TRNSFRN_DT
폭로기간(00년00일) : EXPSR_PD
1일폭로시간 : DAY_EXPSR_TIME
공정코드 : PROCS_CD
공정명 : PROCS_NM
직종코드 : JSSFC_CD
직종명 : JSSFC_NM
부서1 : DEPT_NM1
부서2 : DEPT_NM2
노출기간_FROM : WORK_PD_FROM
노출기간_TO : WORK_PD_TO
근무년수 : WORK_PD_YEARS
검진항목코드 : INSPCT_CD
검사결과 : INSPCT_RESULT

나) 특수건강진단 자료 주요 변수의 분포

납의 특수건강진단 자료에 대해 주요 변수별 빈도 분석을 실시한 결과 다음과 같은 특징을 보였다.

- 사업장관리번호는 누락이 없으며, 개시번호는 0인 경우가 99.7%, 순번은 0인 경우가 97.7%였음.
- 표준산업분류(5-digit)는 417개 산업이었음.
- 공정코드는 누락이 없었으나, 공정코드가 ‘기타 (46005, 45027)’ 또는 공정과 관련 없는 경우 (99901, 99999) 는 전체의 60.5% 였다. 공정명을 기준으로 보았을 때는 ‘기타’가 71.2% 였음.
- 공정명중 ‘기타’가 많은 이유는 특검기관에서 공정에 관한 정보를 받지 못하는 경우 일괄하여 ‘기타’로 기입하는 경우가 많기 때문임.
- 표준직업분류는 코드 기준으로 기입되지 않은 사람 44.73%였으며, 기입된 사람중 45.1%는 ‘그외 기타 제조관련 단순노무자(93099)’ 로 분류되어 있었다. 직업명 기준으로 보았을 때는 65%에서 기입되어 있지 않았음.
- 부서명은 대부분 기입되어 있었음(84.68%).

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missin
1	SLNS_YEAR [character]	1. 2015 2. 2016	25585 (45.4%) 30738 (54.6%)		56323 (100%)	0 (0%)
2	INDDIS_NO [character]	민감 정보로 비공개 처리함			56323 (100%)	0 (0%)
3	INDOPEN_NO [character]				56323 (100%)	0 (0%)
4	INDDIS_NO_SEQ [character]				56323 (100%)	0 (0%)
5	BIZ_ZIP [character]				56323 (100%)	0 (0%)

[그림 III-2-3] 남 특수건강진단 자료의 변수별 빈도분석 결과.

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missin
6	BIZ_INDUTY [character]	민감 정보로 비공개 처리함			56323 (100%)	0 (0%)
7	PROCS_CD [character]	1. 45027 2. 32088 3. 46005 4. 45000 5. 46004 6. 19071 7. 23033 8. 40008 9. 21001 10. 29042 [267 others]	31086 (55.2%) 4676 (8.3%) 2994 (5.3%) 2158 (3.8%) 1487 (2.6%) 1016 (1.8%) 748 (1.3%) 668 (1.2%) 631 (1.1%) 624 (1.1%) 10235 (18.2%)		56323 (100%)	0 (0%)
8	PROCS_NM [character]	1. 기타 2. 전기전자산업 3. 기타지원 4. 기타조립 5. 정밀가공 6. 납땜 7. 보수 8. 기초가공 9. 기타도장 10. 실험실 [255 others]	40078 (71.2%) 2158 (3.8%) 1487 (2.6%) 1064 (1.9%) 1016 (1.8%) 631 (1.1%) 624 (1.1%) 515 (0.9%) 451 (0.8%) 439 (0.8%) 7860 (14.0%)		56323 (100%)	0 (0%)
9	BIZ_MAIN_PRODUCT [character]	1. 32121502 2. 전자제품제조업,반도체부품 3. 그외 기타 분류안된 비금속 광물제품 제조업 4. 일반용 드로 및 관련제품 제조업 5. 제조(산업용제어장비,자동차부품,무역) 6. 통 압연, 압출 및 연신제품 제조업 7. 축전지 8. 태양광모듈, LED조명 9. 방산제품, 계측기 10. 제조부품및용품설치 [351 others]	1990 (14.5%) 1755 (12.8%) 699 (5.1%) 650 (4.7%) 549 (4.0%) 533 (3.9%) 467 (3.4%) 285 (2.1%) 283 (2.1%) 277 (2.0%) 6266 (45.6%)		13754 (24.42%)	42569 (75.58%)
10	JSSFC_SSBYP [character]	1. 1 2. 2 3. 3	120 (0.2%) 55966 (99.4%) 237 (0.4%)		56323 (100%)	0 (0%)
11	JSSFC_CD [character]	1. 93099 2. 13509 3. 31629 4. 13503 5. 73130 6. 82999 7. 83219 8. 74113 9. 13234 10. 82639 [204 others]	14035 (45.1%) 5506 (17.7%) 3330 (10.7%) 2174 (7.0%) 593 (1.9%) 492 (1.6%) 435 (1.4%) 417 (1.3%) 292 (0.9%) 247 (0.8%) 3608 (11.6%)		31129 (55.27%)	25194 (44.73%)

[그림 III-2-3] 남 특수건강진단 자료의 변수별 빈도분석 결과(계속).

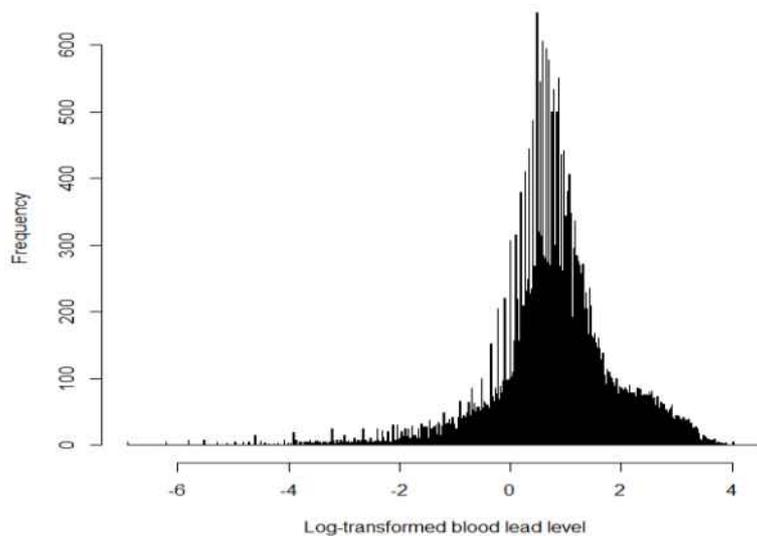
No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missin
12	JSSFC_NM [character]	1. 그외 기타 기술자 2. 그외 기타 제조관련 단순노무자 3. 기타 생산 사무원 4. 생산관리 기술자 5. 그외 기타 기계조작원 6. 조선 기술자 7. 그외 기타 일반관리자 8. 철도 기관차 정비원 9. 연구 및 개발부서 관리자 10. 기타 소각로, 상하수 처리 및 관련장치 조작용 [217 others]	5447 (27.6%) 5146 (26.1%) 3330 (16.9%) 2174 (11.0%) 486 (2.5%) 292 (1.5%) 223 (1.1%) 207 (1.1%) 157 (0.8%) 117 (0.6%) 2135 (10.8%)		19714 (35%)	36609 (65%)
13	DEPT_NM1 [character]	1. 생산 2. 생산부 3. 생산2팀 4. 생산1팀 5. 납땜 6. 조립반 7. 제조/기술부문-Etch기술그룹-이천Etch 8. JP)제조팀 9. 품질관리팀 10. SMT [4592 others]	826 (1.7%) 413 (0.9%) 392 (0.8%) 383 (0.8%) 379 (0.8%) 362 (0.8%) 344 (0.7%) 310 (0.6%) 277 (0.6%) 274 (0.6%) 43733 (91.7%)		47693 (84.68%)	8630 (15.32%)
14	DEPT_NM2 [character]	1. 차량 2. 연구실 3. SMT/메탈마스크세척 4. 샌딩/연마/납땜 5. 기술 6. 수납땜 7. 개발1팀 8. 납땜,조립 9. 다이캐스팅 10. 무 [13 others]	12 (19.4%) 7 (11.3%) 6 (9.7%) 5 (8.1%) 4 (6.5%) 3 (4.8%) 2 (3.2%) 2 (3.2%) 2 (3.2%) 2 (3.2%) 17 (27.4%)		62 (0.11%)	56261 (99.89%)

[그림 III-2-3] 납 특수건강진단 자료의 변수별 빈도분석 결과(계속).

다) 특수건강진단 혈중 납의 분포

특수건강진단에 의해 측정된 혈중 납 농도 분포에 대해 분석한 결과 주요 특성은 다음과 같았다.

- 전체 데이터 56323 개 자료 중, 입력오류 등(NA 4건 등)을 제외 하고 56317 건의 자료가 활용 가능하였음 (0 및 ND 1개포함).
- 산업코드 오류 196건 이 있었음.
- 검출한계 LOD 0.85 ug/dL 이하는 6037건으로 전체의 약 10% 정도임.
- 중복을 제외한 특수건강을 시행한 사업장은 2384개 었음
- 로그변환한 혈중납 분포는 다음과 같음.



[그림 III-2-4] 특수건강진단 혈중 납의 분포.

3) 자료 연계를 위한 키(key) 설정 및 분석

작업환경측정과 특수건강진단을 연결하기 위해서는 공통적인 키(key) 값이 필요하다. 본 분석에 사용할 여러 키 값을 고찰하였다.

(1) 기본 키값의 제한점

- 작업환경측정 자료 및 특수건강진단 자료의 기본 키 값은 [관리번호+개시번호+순번] 임.
- 이 중 순번은 작업환경측정 자료과 특수건강진단 자료에서 연계가 안됨.
- 특검에서는 순번이 1이상 있는 경우가 2.2%이며, 측정에서는 17.3% 임.
- 특검기관에서는 실질적으로 순번이 사용되고 있지 않음.
- 순번이 사용되는 경우는 대표적으로 운송업과 건설업을 들 수 있음.
- 자료에서 순번 1이상이 있는 상위 10개 산업은 다음 표와 같음.

<표 III-2-3> 남의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 사업장 순번 1 이상이 있는 상위 10개 산업

작업환경측정	특수건강진단
선박 및 보트 건조업	자동차 부품 제조업
일차전지 및 축전지 제조업	기타 운송관련 서비스업
자연과학 및 공학 연구개발업	육상 여객 운송업
기타 화학제품 제조업	회사본부, 지주회사 및 경영컨설팅 서비스업
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	전자부품 제조업
측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기기 제외	사회 및 산업정책 행정
전자부품 제조업	기타 과학기술 서비스업
육상 여객 운송업	영상 및 음향기기 제조업
전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업	통신 및 방송 장비 제조업
철도운송업	전기 및 통신 공사업

따라서 기본 키를 [관리번호+개시번호] 또는 [관리번호+개시번호+우편

번호]를 사용하는 방법이 고려되었으나, 분석결과를 고찰하였을 때 [관리번호+개시번호] 만을 사용하는 것이 더 좋다는 결론을 얻었다.

(2) 자료 연계를 위한 다양한 키 값의 적용 배경

작업환경측정/특수건강진단 자료 연계분석 시, 노출 정보의 수준이 높을수록 노출-질병의 연관 관계가 높아지며, 반대의 경우 연관 관계가 감쇄현상이 발생한다(Koh et al., 2015). 예를 들어 그룹의 평균을 대푯값으로 그 그룹의 노출량으로 지정하는 경우, [사업장+공정]의 평균이 [사업장]의 평균 보다 노출 정보 수준이 높다고 할 수 있다. 따라서 측정과 특검 자료를 연계 분석할 때 연계 정보의 다양한 수준별로 매칭 분석해 볼 필요가 있으며, 이 결과를 이용해서 최적의 연계 분석 변수를 찾을 수 있다.

(3) 분석 시 자료 연계를 위한 키 값의 매칭 적용 방법

연계 분석을 위해 사용된 다양한 키 값의 매칭은 다음과 같다.

- 사업장 키 (관리번호+개시번호), 사업장 키와 공정분류(5,2-digit)의 조합에 분석에 사용됨.
- 기타 키 값으로 표준산업분류(5,4,3,2-digit), 공정분류(5,2-digit), 표준산업분류와 공정분류의 조합 이 분석에 사용됨.
- [사업장 키와 공정분류(5,2-digit)의 조합]을 우선 선택하고, 나머지는 [표준산업분류(3-digit)와 공정분류(2-digit)]을 선택하는 하이브리드 조합도 분석에 사용됨.
- 분석에 사용된 다양한 키 값의 매칭 방법은 다음 표와 같음.

<표 III-2-4> 다양한 키 값의 매칭 방법

매칭 방법	설명
Factory	[관리번호+개시번호]
Factory+5-SWP	[관리번호+개시번호] + 5자리 공정코드
Factory+2-SWP	[관리번호+개시번호] + 2자리 공정코드
5-digit SIC	5자리 표준산업분류
4-digit SIC	4자리 표준산업분류
3-digit SIC	3자리 표준산업분류
2-digit SIC	2자리 표준산업분류
5-digit SWP	5자리 공정코드
2-digit SWP	2자리 공정코드
5-SIC+5-SWP	5자리 표준산업분류 + 5자리 공정코드
5-SIC+2-SWP	5자리 표준산업분류 + 2자리 공정코드
4-SIC+5-SWP	4자리 표준산업분류 + 5자리 공정코드
4-SIC+2-SWP	4자리 표준산업분류 + 2자리 공정코드
3-SIC+5-SWP	3자리 표준산업분류 + 5자리 공정코드
3-SIC+2-SWP	3자리 표준산업분류 + 2자리 공정코드
2-SIC+5-SWP	2자리 표준산업분류 + 5자리 공정코드
2-SIC+2-SWP	2자리 표준산업분류 + 2자리 공정코드
Factory+2-SWP/ 5-SIC+2-SWP	Factory+2-SWP 매칭 후, 나머지 5-SIC+2-SWP 매칭
Factory+2-SWP/ 3-SIC+2-SWP	Factory+2-SWP 매칭 후, 나머지 3-SIC+2-SWP 매칭
Factory+2-SWP/ Factory	Factory+2-SWP 매칭 후, 나머지 Factory 매칭

(4) 분석 시 자료 연계를 위한 키 값에 따른 분석 방법

- 분석을 위해 검출한계 미만의 값은 LOD/sqrt(2) 값을 부여 함.
- 키 값에 따른 그룹에 그 그룹의 산술평균을 노출 값으로 부여함.

3. 측정-특검 자료 연계 방법의 적정성 평가

측정/특검 자료의 다양한 키 값을 매칭 하여 연계 분석한 후 분석 방법의 적정성을 평가하기 위해 분석 결과 분류된 그룹 별 대비도(contrast)와 그룹 내 정밀도(precision), 그리고 기중 납 농도와 혈중 납 농도 사이의 상관분석을 이용하여 그룹 분류 결과의 적정성을 평가하였다(Park et al., 2010). 다양한 키 값의 매칭 분석 결과 대비도, 정밀도, 상관분석 결과 상관계수 값이 모두 높을수록 적절한 연계 분석이라고 평가할 수 있다.

1) 자료의 대비도(contrast) 계산 방법

- contrast는 그룹 분류가 잘 되었는지 평가하는 지표의 하나임.
- $\text{contrast} = (\text{between group variance}) / (\text{between-group} + \text{within-group variance})$ 로 계산.
- contrast 범위는 0~1 이며, 1에 가까울수록 그룹간의 차이가 뚜렷하다는 의미로 해석.
- 혈중 납 수치를 로그변환한 후 분석함.

2) 혈중 납 자료의 대비도(contrast) 계산

- 로그변환을 위해 0 및 ND (1건) 값을 제외하여 분석대상은 56029건 임.
- 검출한계 미만 값이라도 다른 값으로 대체하지 않은 상태에서 분석함.

3) 혈중 납 자료의 정밀도(precision) 계산

- 각 그룹의 1/standard error 값의 중위수 (median)로 지정함.

4) 상관분석

- 검출한계 이하 값은 LOD/sqrt(2) 값으로 대체하여 분석함.
- 각 그룹의 산술평균을 그 그룹의 대표 값으로 부여함. 이를 이용하여 상관관계수 산출.
- 기중 납과 혈중 납 쌍의 전체 데이터상 랭킹을 분석하여 연관성의 강도 추정함 (Spearman rank correlation).
- 기중 납과 혈중 납 쌍의 연관성을 연속 변수로 하여 연관성의 강도 추정함 (Pearson correlation).

5) 검진 건수 및 측정 건수

- 검진 수진자 수가 많아야 코호트 분석에 유리함.
- 측정건수가 많아야 노출 값은 신뢰도 증가.

4. 측정-특검 자료의 연계분석 결과

납에 대한 2015-2016년 측정/특검 자료를 활용하였으며 분석을 위한 자료의 특성은 다음과 같다.

<표 III-4-1> 납의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 주요 변수별 연계 현황

구분	전체 (산업코드 오류 제외)	공정 있음 (기타아님)	측정/특검 모두 있음	측정/특검/공정 (기타아님)
혈중 납	56121	22162	36582	14965
기중 납	47557	37860	20183	17137

1) 사업장 키[factory: 관리번호+개시번호]에 의한 매칭 (예시 1)

- 납 측정/특검을 모두 한 사업장은 1327개로 대략 30% 정도임.
- 사업장 키로 매칭된 측정/특검을 모두 시행한 사업장의 측정건수는 20185, 특검건수는 36582 건임.
- rank correlation 값은 0.250 임.

2) 사업장 키[factory: 관리번호+개시번호]+2-자리 공정코드에 의한 매칭 (예시 2)

- 납 측정/특검을 모두 한 매칭 그룹은 569개임.
- 사업장 키로 매칭된 측정/특검을 모두 시행한 사업장의 측정건수는 5887, 특검건수는 7233 건임.
- rank correlation 값은 0.416 임.

3) 사업장 키[factory: 관리번호+개시번호]+5-자리 공정코드에 의한 매칭

(예시 3)

- 납 측정/특검을 모두 한 매칭 그룹은 371개임.
- 사업장 키로 매칭된 측정/특검을 모두 시행한 사업장의 측정건수는 2850, 특검건수는 3658건임.
- rank correlation 값은 0.334 임.

기타 키 값을 조합한 결과를 포함한 전체 결과는 다음 표와 같다.

각 키 값의 조합 분석 결과 혈중 납 농도의 그룹별 대비도와 정밀도, 기중 납과 혈중 납 농도 사이의 상관계수가 높으면서 활용 자료 수도 많은 키 값은 한국표준산업분류 소분류(3-digit 코드)와 표준 공정 2-digit 코드 분류의 조합이라고 할 수 있다. 따라서 향후 산업분류는 3-digit 코드, 표준공정은 2-digit 코드에 따라 JEM을 구축하고자 한다.

<표 III -4-2> 남의 작업환경측정과 특수건강진단 자료의 주요 변수별 연계 분석 결과 요약

매칭 방법	혈중 납 contrast/precision				측정/특검 실시 group 종류 수			건수		Correlation (AM)	
	Between Group	Within Group	Contrast	Precision	측정 only	특검 only	측정/특검 모두	검진 건수	추정 건수	Spearman rank correlation	Pearson correlation
Factory	0.47	0.45	0.51	8.5	2066	1025	1327	36582	20183	0.250	0.454
Factory+5-SWP	0.60	0.43	0.58	8.2	1864	1090	371	3658	2850	0.334	0.475
Factory+2-SWP	0.60	0.43	0.58	8.1	1291	736	567	7233	5887	0.416	0.548
5-digit SIC	0.37	0.60	0.38	10.8	84	88	323	53453	46568	0.328	0.408
4-digit SIC	0.31	0.64	0.33	12.6	33	41	200	55030	47275	0.383	0.415
3-digit SIC	0.31	0.70	0.30	15.9	11	16	123	55835	47468	0.409	0.553
2-digit SIC	0.24	0.95	0.20	19.8	3	5	55	56089	47524	0.419	0.609
5-digit SWP	0.56	0.78	0.42	8.0	227	54	220	20572	33627	0.351	0.416
2-digit SWP	0.51	1.00	0.34	18.0	1	1	34	22162	37848	0.386	0.560
5-SIC+5-SWP	0.59	0.48	0.55	8.4	2286	1105	559	7990	13521	0.348	0.416
5-SIC+2-SWP	0.58	0.50	0.54	8.4	134	47	270	21145	35505	0.391	0.453

Group	혈중 납 contrast/precision				측정/특검 실시 group 종류 수			건수		Correlation (AM)	
	매칭 방법	Between Group	Within Group	Contrast	Precision	측정 only	특검 only	측정/특검 모두	검진 건수	측정 건수	Spearman rank correlation
4-SIC+5-SWP	0.57	0.49	0.53	8.4	1822	927	568	10561	17959	0.278	0.381
4-SIC+2-SWP	0.56	0.52	0.52	8.5	55	22	175	21690	36918	0.366	0.528
3-SIC+5-SWP	0.56	0.52	0.52	8.2	1380	738	547	11905	21098	0.279	0.282
3-SIC+2-SWP	0.55	0.56	0.50	8.8	23	8	110	22048	37586	0.364	0.617
2-SIC+5-SWP	0.52	0.60	0.47	7.9	949	499	503	15660	24436	0.260	0.332
2-SIC+2-SWP	0.52	0.66	0.44	8.8	7	2	51	22138	37765	0.452	0.730
Factory+2-SWP /5-SIC+2-SWP	0.64	0.63	0.51	7.8	19	3	811	21233	35657	0.392	0.534
Factory+2-SWP /3-SIC+2-SWP	0.63	0.63	0.50	8.4	3	1	673	22052	37605	0.404	0.551
Factory+2-SWP /Factory	0.63	0.55	0.54	8	27	154	1533	36582	20183	0.305	0.507

* Factroy: [관리번호+개시번호]; 5-SWP:5 자리 공정코드; 5-digit SIC: 5자리 표준산업분류코드

5. 불검출(left-censored) 자료 분석방법 검토

1) 불검출 자료의 형태

작업환경측정과 같이 다양한 환경 지표 및 인자를 특정 기기들을 이용하여 측정하는 경우, 자료의 값이 너무 작아 기기에서 그 값을 정확히 측정할 수 없어서 '특정 값보다 작다'(예, <0.001)로 표시되는 경우가 발생함. 이를 불검출(limit of detection, LOD)이라 하며, 자료 분석에서 이러한 특성을 정확히 반영하지 않고 LOD 자료를 그대로 분석하는 경우 결과에서 편향성(bias)이 발생할 수 있다.

측정 자료의 특성 상 작은 값들이 측정이 안 되는 왼쪽 검열(left-censored)이 일반적이며, 특정 값보다 작은 모든 값이 LOD로 표시되는 '단순형(simple)'과 LOD의 수준이 여러 개인 '복합형(complex)'으로 구분될 수 있음. 복합형이 발생하는 예로는 여러 측정 기관이 LOD 수준이 다른 여러 개의 기기를 이용하여 측정하는 경우가 있다.

2) 불검출 자료의 분석 방법에 대한 선행 연구

Hewett and Ganser (2007)와 Lavoue et al. (2019)에서는 불검출 자료를 분석하는 통계 방법들을 크게 다음의 5가지로 구분하였다.

- 대체방법 (substitution methods)
- 로그-프로빗 회귀 방법 (log-probit regression methods)
- 최대우도추정방법(maximum likelihood estimation methods)
- 비모수 방법 (Non-parametric methods)
- 베이시안 방법 (Bayesian methods)

위 5가지 방법들은 단순형과 복합형 LOD 모두에 사용이 가능하다.

(1) 대체방법 (substitution methods)

대체방법은 LOD 값이 왼쪽 검열되었다는 사실을 기반으로 실제 값은 LOD 값보다 더 작을 것이라 예상해서 특정 값으로 대체한다. 가장 많이 사용되는 대체 값으로는 LOD, LOD/2, LOD/√2가 있다. 일반적으로 보수적(conservative)인 방법으로 알려져 있으며, 평균과 분산에 각각 양과 음의 편향성을 보인다. Hornung and Reed (1990)은 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)가 3보다 작은 경우는 LOD/√2를, GSD ≥ 3 또는 LOD이하의 비율이 전체의 50% 미만인 경우에는 LOD/2를 사용할 것을 추천하였다. 기하평균 (geometric mean, GM)과 GSD는 기존 값과 대체된 값들을 모두 이용해서 다음 식에 따라 표본 GM과 표본 GSD를 구한다.

$$GM = \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right\}, \quad GSD = \exp \left\{ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(GM))^2}{n}} \right\}$$

2) 로그-프로빗 회귀 방법 (LPR methods)

로그-프로빗 회귀 방법은 우선 LOD를 포함한 모든 자료를 작은 것부터 큰 순서로 재배열한 후, 로그정규분포(log-normal distribution)의 분위수에 대한 회귀 분석을 실시해서 평균과 표준편차를 각각 y절편과 기울기로 추정하는 방법이다. x_i 를 순서대로 정렬한 자료라고 할 때, 이를 모형으로 표현하면 다음과 같다.

$$y_i = \hat{\mu} + \hat{\sigma}_y \cdot \Phi^{-1}(p_i),$$

여기서 $y_i = \ln(x_i)$ 이고 $\Phi^{-1}(\cdot)$ 은 표준정규분포의 누적분포함수의 역함수이다. 일반적으로 Blom의 공식(Blom's formula)를 이용하여 $p_i = \frac{(i-3/8)}{(n+1/4)}$ 로 지정하고 위 식에서 구한 $\hat{\mu}$ 와 $\hat{\sigma}_y$ 를 이용하면 GM과 GSD는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$GM = \exp(\hat{\mu}), \quad GSD = \exp(\hat{\sigma}_y)$$

(3) 최대우도추정방법 (MLE methods)

최대우도추정방법은 자료가 로그정규분포를 따를 때 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. N개의 자료 중 처음 k개가 LOD인 경우, 우도함수(likelihood function, LF)는 다음과 같이 표현된다.

$$LF = \prod_{i=k+1}^n f\{\ln(x_i)|\mu, \sigma\} \times \prod_{j=1}^k F\{\ln(x_j)|\mu, \sigma\},$$

여기서 $f(\cdot|\mu, \sigma)$ 와 $F(\cdot|\mu, \sigma)$ 는 각각 평균 μ , 표준편차 σ 를 갖는 정규분포의 확률밀도함수(probability density function)와 누적분포함수(cumulative distribution function)이다. 이 우도함수를 최대로 하는 $\hat{\mu}$ 와 $\hat{\sigma}_y$ 를 구한 후, 로그-프로빗 방법과 동일하게 GM과 GSD를 구할 수 있다. 마찬가지로, 단순형과 복합형인 LOD 둘 다에 사용할 수 있다.

(4) 비모수 방법 (NP methods)

비모수 방법은 기본적으로 앞 선 두 방법들이 가정하고 있는 로그정규분포를 자료들이 따르지 않을 수 있다는 것을 가정한다. Kaplan-Meier (KM) 방법은 역학 및 의료 분야에서 생존 분석 (survival analysis)에서 많이 사용되는 방법으로써 왼쪽 검열 뿐 아니라 오른쪽 검열 (right-censored), 그리고 구간 검열 (interval-censored) 자료를 분석할 때 사용할 수 있다. Quantiles 방법은 표본 자료의 누적분포함수를 기반으로 평균보다는 하위 95분위수와 같이 분위수를 추정하는데 유용하게 사용되며, 분위수를 추정하는 다양한 방법이 제시되어 있다. KM과 Quantiles 방법 둘 다 비모수 방법이기 때문에 추정을 안정적으로 하는데 최소한 20개 이상의 표본을 필요로 한다.

(5) 베이지안 방법 (Bayesian methods)

베이지안 방법은 앞서 소개된 최대우도 추정방법과 접근 방법과 결과의 해석

이 가장 극명하게 다르다. 최대우도 추정방법은 빈도론적 관점으로 분석하고자 하는 자료에서만 추정하고자 하는 모수의 정보를 이끌어 내는데 반해, 베이지안 방법은 분석하고자 하는 자료 뿐 아니라 전문가의 의견 및 판단을 분석에 반영할 수 있다. 또한, 베이지안 방법은 평균 및 표준편차와 같은 모수가 분포를 갖는다고 가정하기 때문에 모수에 대한 확률적인 해석을 가능하게 한다. 예를 들어, 평균이 2.5와 5사이에 들어갈 확률이 0.95와 같은 표현이 가능하다. 하지만, 최대우도 추정방법과 같이 자료가 로그정규분포를 따른다는 가정이 필요하다. 웹 기반의 Expostats (www.expostats.ca)에서 베이지안 방법을 이용한 분석이 가능하다.

(6) 최적의 분석 방법

Hewett and Ganser (2007)에 따르면 상황에 맞게 (예, LOD의 비율, 표본의 수 등) 가장 적절한 방법이 다를 수 있다. 같은 논문에서는 모의실험을 통해 MLE가 일반적이다. 미국 Environmental Protection Agency (EPA, 2006)는 LOD의 비율이 15%미만이면, 0, LOD/2, LOD/ $\sqrt{2}$, 또는 MLE 방법을, 15-50%이면 MLE 방법을, 50-90%이면 비모수 방법을 사용할 것을 제안하였다. 미국 Geological Survey Agency (GSA, 2002)는 MLE와 LPR을 추천하며, 만약 자료가 로그분포를 따르지 않을 것으로 예상된다면 MLE와 LPR을 추가로 보정한 (robust) 방법을 사용할 것을 권고하였다.

3) 새로운 불검출 자료의 분석 방법 제안

앞서 소개된 방법 중에서 LPR, MLE, 그리고 Bayesian 방법은 모두 자료가 로그정규분포를 따른다는 것을 기본 가정으로 하고 있다. 하지만, 자료가 로그정규분포를 따르지 않는 경우, 편향된 결과가 생성될 수 있다. 또한, 현재 분석하고자 하는 작업환경측정 및 특수건강진단 자료의 경우, 특정 물질(예, 납)에 아예 노출이 안 된 작업장 및 작업자가 존재할 수 있고, 따라서 이와 같은 상황을 하

나의 로그정규분포로는 표현할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 이러한 상황들을 고려해서 본 보고서에서는 혼합모형(mixture model) 기반의 분석 모형을 제안하고자 한다.

(1) 로그정규분포 혼합모형

혼합모형은 전체 분포가 여러 개의 성분(component)들로 구성되어 있다는 것을 가정하고 여러 성분의 혼합 가중치(mixture weight)는 알려져 있지 않은 모수로써 추정을 한다. H개의 성분으로 구성된 혼합모형을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$f(y) = \sum_{h=1}^H p_h f_h(y|\theta_h),$$

여기서 p_h 는 혼합 가중치, $f_h(y|\theta_h)$ 는 h번째 성분의 모수 θ_h 를 갖는 분포를 의미한다. 자료의 특성을 반영해서 $y_i = \ln(x_i)$ 라고 한다면, $f_h(y|\theta_h)$ 는 $\theta_h = (\mu_h, \sigma_h^2)$ 를 모수로 갖는 정규분포로 가정한다. 즉, 관측치에 로그변환을 한 것은 평균과 분산이 다양한 여러 개의 정규분포들이 혼합되어 있는 분포를 따른다고 가정하는 것이다.

(2) 베이지안 추론

혼합모형은 빈도론적 관점에서는 Expectation-Maximization (EM) 알고리즘을 통해 모수들을 추정 하고, 베이지안 관점에서는 사전분포(prior distribution)을 지정해서 사후분포를 유도한 후 Monte Carlo Markov chain (MCMC) 알고리즘을 통해 모수들에 대한 추론을 실시한다. 하지만, LOD가 존재하는 상황에서는 EM 알고리즘을 적용하는 것보다 MCMC 알고리즘을 적용하는 것이 훨씬 수월하며, 또한 선행연구 등의 추가적인 정보가 있는 경우 이를 사전 분포를 통해 자료 분석에 반영할 수 있다는 장점이 있기 때문에 베이지안 방법으로 혼합모형을 적용하였다. 보다 효율적인 MCMC 알고리즘을 적용하기 위해 다음의 공약사

전분포(conjugate prior distribution)를 적용하였다($H=2$ 로 가정).

- $\mu_h \sim N(\mu_0, \sigma_0^2)$
- $\tau(=\sigma_h^{-2}) \sim Ga(a, b)$
- $p_1 \sim Be(c, d)$

여기서, $Ga(\cdot, \cdot)$ 는 감마분포, $Be(\cdot, \cdot)$ 는 베타분포를 의미한다. 만약, $H > 2$ 이면 베타분포 대신 디리쉬렛(Dirichlet) 분포를 가정한다.

$H=2$ 를 가정하여 통계프로그램 R (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)로 함수 mix.LNs와 아래 모의실험을 위한 예-함수(example of mix_LNs 070720.R)를 만들어서 [부록 1]에 추가하였다.

(3) 모의실험

로그정규분포 혼합모형의 적합도를 알아보기 위해서 모의실험을 실시하였다. n개의 자료를 생성하는 진짜 모형(true model)은 다음의 2개 모형들을 고려하였다.

M1: $f(x) = LN(x|\mu = \log(1), \sigma = \log(1.4))$,

M2:

$$f(x) = 0.7 \times LN(x|\mu = \log(1), \sigma = \log(1.4)) + 0.3 \times LN(x|\mu = \log(3), \sigma = \log(4)),$$

여기서 $LN(\cdot, \cdot)$ 은 로그정규분포를 의미한다. 다시 말해, M1 모형은 자료를 로그 변환을 했을 때 평균 0 ($=\log(1)$), 표준편차 0.34 ($=\log(1.4)$)을 갖는 로그정규분포를 따르며, M2 모형은 두 개의 로그정규분포들로 구성되어 있으며 7:3의 비율로 이루어져 있다. 특히, M2 모형을 기반으로 할 때 로그 변환 후 관측치의 전체 평균(marginal mean)은 약 0.330, 전체 표준편차(marginal standard deviation)는 약 1.29이며, 이는 $GM=\exp(0.330)$, $GSD=\exp(1.29)$ 를 의미한다. 표본의 수는 $n=100, 500$, 또는 1000개로 지정하고, 두 개의 LOD 값을 설정해서 전체 자료의 20%, 40%, 60%가 왼쪽 검열이 되도록 설정하였다. 위 작업을 1000번 반복한 결과를 편향성(bias)와 root mean square error(rMSE)로

평가하였다. bias와 rMSE는 다음의 식을 이용해서 계산하였다.

$$bias = \sum_{j=1}^{1000} \hat{\theta}_j/n - \theta, \quad rMSE = \sum_{j=1}^{1000} (\hat{\theta}_j - \theta)^2/n$$

자료 생성 후, 다음의 4개의 방법을 적용하였다.

- 방법1 : 하나의 로그정규분포를 가정해서 LOD를 반영하여 모수를 최대우도추정방법으로 추정
- 방법2 : 하나의 로그정규분포를 가정해서 LOD를 반영하여 모수를 로그-프로빗 회귀 방법으로 추정
- 방법3 : 하나의 로그정규분포를 가정해서 LOD를 반영하여 모수를 베이지안 방법으로 추정
- 방법4 : 2개의 로그정규분포 혼합모형을 가정해서 LOD를 반영하여 모수를 베이지안 방법으로 추정

<표 III-5-1> M1 모형을 가정하였을 때 여러 검열 비율에서 bias와 rMSE의 결과

검열 비율(%)	추정 모수	기준	방법1	방법2	방법3	방법4
n=100						
20	평균 (μ)	bias	0.002	0.004	0.000	0.000
		rMSE	0.001	0.001	0.001	0.001
	표준편차(σ)	bias	-0.001	-0.002	0.006	0.014
		rMSE	0.001	0.001	0.001	0.001
40	평균(μ)	bias	0.003	0.004	-0.001	-0.001
		rMSE	0.001	0.002	0.001	0.001
	표준편차(σ)	bias	-0.004	-0.001	0.007	0.013

검열 비율(%)	추정 모수	기준	방법1	방법2	방법3	방법4
		rMSE	0.001	0.002	0.001	0.001
60	평균(μ)	bias	-0.002	0.003	-0.014	-0.014
		rMSE	0.002	0.003	0.003	0.003
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.017	0.022
		rMSE	0.002	0.003	0.003	0.003
n=500						
20	평균 (μ)	bias	0.001	0.001	0.000	-0.001
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.002	0.007
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
40	평균(μ)	bias	0.001	0.001	0.000	-0.002
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.001	0.002	0.009
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.001
60	평균(μ)	bias	0.000	0.002	-0.002	-0.006
		rMSE	0.000	0.001	0.000	0.001
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.004	0.011
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.001
n=1000						
20	평균 (μ)	bias	0.000	0.000	0.000	-0.001
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.001	0.005
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
40	평균(μ)	bias	0.000	0.000	0.000	-0.002
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.001	0.006
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000
60	평균(μ)	bias	0.000	0.000	-0.001	-0.005
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.000

검열 비율(%)	추정 모수	기준	방법1	방법2	방법3	방법4
	표준편차(σ)	bias	0.000	0.000	0.001	0.010
		rMSE	0.000	0.000	0.000	0.001

M1 모형에서 자료를 생성한 후 분석한 결과를 보면, 방법1, 방법2, 방법3, 방법4가 모두 bias와 rMSE 기준으로 0에 가까운 결과를 보여주고 있다. 다만, 소표본(n=100)이고 검열 비율이 높은 경우 (60%), 베이지안 방법들(방법 3, 방법 4)이 기존의 방법들(방법1, 방법2)에 비해 상대적으로 약간 큰 bias와 rMSE를 보여준다. 이는 베이지안에서 사전 분포를 지정한 것이 추론에 미세하지만 영향을 미치는 것을 의미한다. 또한, 혼합모형을 가정한 베이지안 방법(방법 4)와 하나의 로그정규분포를 가정한 베이지안 방법(방법 3)이 거의 동일한 결과를 보여준다. 이는 2개의 로그정규분포를 가정한 혼합모형이 M1 모형과 같이 하나의 로그정규분포를 가정하는 상황에서도 충분히 좋은 결과를 보여주는 것을 의미한다.

<표 III-5-2> M2 모형을 가정하였을 때 여러 검열 비율에서 bias와 rMSE의 결과

검열 비율(%)	추정 모수	기준	방법1	방법2	방법3	방법4
n=100						
20	평균 (μ)	bias	-0.056	-0.133	-0.058	0.005
		rMSE	0.012	0.027	0.012	0.011
	표준편차(σ)	bias	0.076	0.140	0.086	0.040
		rMSE	0.026	0.046	0.028	0.020
40	평균(μ)	bias	-0.184	-0.321	-0.190	-0.044
		rMSE	0.045	0.118	0.047	0.017
	표준편차(σ)	bias	0.205	0.351	0.219	0.101
		rMSE	0.071	0.162	0.077	0.038
60	평균(μ)	bias	-0.511	-0.854	-0.532	-0.141

검열 비율(%)	추정 모수	기준	방법1	방법2	방법3	방법4
	표준편차(σ)	rMSE	0.288	0.779	0.313	0.067
		bias	0.438	0.717	0.467	0.135
		rMSE	0.242	0.588	0.271	0.082
n=500						
20	평균 (μ)	bias	-0.058	-0.138	-0.058	0.013
		rMSE	0.005	0.021	0.005	0.002
	표준편차(σ)	bias	0.075	0.135	0.077	-0.004
		rMSE	0.010	0.023	0.010	0.003
40	평균(μ)	bias	-0.194	-0.336	-0.195	-0.034
		rMSE	0.040	0.116	0.041	0.006
	표준편차(σ)	bias	0.210	0.355	0.213	0.058
		rMSE	0.050	0.134	0.051	0.012
60	평균(μ)	bias	-0.509	-0.856	-0.512	-0.035
		rMSE	0.264	0.744	0.268	0.007
	표준편차(σ)	bias	0.441	0.715	0.446	-0.040
		rMSE	0.204	0.525	0.209	0.010
n=1000						
20	평균 (μ)	bias	-0.059	-0.140	-0.059	0.014
		rMSE	0.004	0.021	0.004	0.001
	표준편차(σ)	bias	0.077	0.137	0.078	-0.008
		rMSE	0.008	0.021	0.008	0.002
40	평균(μ)	bias	-0.194	-0.336	-0.194	-0.036
		rMSE	0.039	0.115	0.039	0.005
	표준편차(σ)	bias	0.212	0.355	0.213	0.059
		rMSE	0.047	0.130	0.048	0.010
60	평균(μ)	bias	-0.508	-0.856	-0.510	-0.028
		rMSE	0.261	0.739	0.263	0.004
	표준편차(σ)	bias	0.441	0.714	0.443	-0.053
		rMSE	0.199	0.516	0.201	0.008

M2 모형을 가정했을 때의 결과를 보면, 로그-프로빗 회귀모형(방법 2)이 상당히 큰 bias와 rMSE 값을 가지며, 혼합모형 기반의 베이지안 방법(방법 4)가 가장 작은 bias와 rMSE를 갖는 것을 확인할 수 있다.

특히, 표본의 크기가 커짐에 따라 다른 방법들은 평균에서는 bias와 rMSE가 작아지는 경향을 보이지만 표준편차에서는 여전히 상당히 큰 bias와 rMSE를 갖는 것을 보여준다. 이에 반해, 혼합모형 기반의 베이지안 방법은 표본의 크기에 상관없이 평균과 표준편차 모두 0에 가까운 bias와 rMSE를 갖는 것을 확인할 수 있다.

6. 작업환경측정 자료를 이용한 JEM 시범 구축

작업환경측정 자료는 국내에서 생산되는 대표적인 정량적 직업 노출 특성을 파악할 수 있는 국가 노출감시체계 자료라고 할 수 있다. 산업안전보건법에 의해 정해진 대상 유해요인에 대해 노출 가능한 모든 사업장을 대상으로 매년 주기적인 정량적 노출 평가 자료가 생성되고 안전보건공단의 전산 시스템(K2B)을 통해 수집되어 DB가 구축되는 장점이 있다. 그러나 전국의 각 측정/특검 기관에서 자료를 보고하는 단계에서의 입력 오류, 산업-공정 코드 분류 오류 등이 존재할 수 있고 입력단계에서의 오류 수정이나 정정 시스템이 현재는 없기 때문에 측정/특검 자료를 활용하기 위해서는 자료의 특성을 검토하여 사전 선택/배제 기준을 명확히 하고 오류를 정정하는 자료 클리닝 과정을 거쳐야 한다.

납에 대한 측정/특검 자료 검토 결과를 기초로 작업환경측정 자료를 이용한 JEM 구축을 위한 주요 분석 단계를 정리하면 다음과 같다.

1) 자료 선택/배제 기준(Inclusion & Exclusion criteria)

(1) 측정시간

- 측정자료는 측정시간(sampling time)에 따라 장시간 채취자료(long-term sampling data)와 단시간 채취자료(short-term sampling data)로 구분할 수 있으며 자료 분석을 위해서는 두 자료를 분리해야 함.
- 장시간 채취자료 : 4시간 이상 측정자료
- 단시간 채취자료 : 4시간 미만 측정자료 - 단시간 노출기준과 비교할 목적의 자료는 30분 미만 측정자료를 활용

[2015-2016 납 측정자료를 활용한 예]

총 측정시간(분)	
Mean	437.1
Standard Error	0.2
Median	426
Mode	420
Standard Deviation	41.0
Minimum	0
Maximum	734
Total Count	47575
4hr ≤	47307(99.4%)
< 4hr	268(0.6%)

(2) 측정농도

- ‘측정결과값_금회’ 와 ‘측정결과값_평균’ 의 차이 값들에 대한 처리
- 둘 중 하나의 값은 0 보다 큰 값이었으나 다른 하나의 값은 ‘0’ 으로 입력된 경우가 있음 --> 즉 두 값의 차이가 나는 경우 어느 입력의 정확도가 의심됨.

부서 또는 공정	단위 작업 장소	유해 인자	근로 자 수	근로 형태 및 실 제 근 로시 간	유해 인자 발생 시간 (주기)	측정 위치 (근로 자 명)	측정 시간 (시작 ~ 종료)	측정 횟수	측정 치	시간가중 평균 치 (TWA)		노출 기준	측정 농도 평가 결과	측정 방법	비고
										전회	금회				

7. 측정치란에는 각 측정 횟수별 측정치를 적습니다.

8. 시간가중평균치(TWA)란에는 측정시간 동안의 유해인자농도의 가중평균치를 8시간 작업 시의 농도로 환산한 수치를 적습니다. 이 경우 전회 측정위치(근로자)와 금회 측정 위치(근로자)가 일치하지 않는 경우에는 가장 유사한 측정 위치(근로자)와 상호 대비시켜 적습니다.

[그림 III-6-1] 작업환경측정 보고서의 보고 항목.

- 처리 방법 1안 : 두 값 중 하나의 값을 지정하여 활용 --> 측정결과보고양식에 따르면 ‘시간가중평균치(TWA) 금회’ 값과 노출기준을 비교하도록 하고 있음. KOSHA DB에서는 “측정결과값_평균(TWA)”이 ‘시간가중평균

치(TWA) 금회’에 해당되므로 “측정결과값_평균(TWA)”의 값을 이용하여 분석

- 처리 방법 2안 : 두 값의 차이가 나는 경우 입력의 정확도가 의심되므로 분석대상 자료에서 제외시킴.

[2015-2016 납 측정자료를 활용한 예]

- 47307개(4hr ≤) 중 ‘측정결과값_금회’ 와 ‘측정결과값_평균’ 차이 : 124개
- 차이가 나는 자료 비율이 매우 낮기 때문에 처리방법 1안을 선택함.

2) 자료 Cleaning

(1) 사업장 식별자

- 사업장 구분 code 1안 = ‘사업장 관리번호+사업장 개시번호+순번’
 - 특검자료 입력 단계에서 특검기관이 사업장 순번을 거의 부여하고 있지 않고, 측정기관에서는 측정자료 입력시 순번을 부여하지만, 측정기관/시기에 따라 순번이 달라질 가능성이 있기 때문에 순번이 ‘0’이 아닌 경우 측정-특검의 사업장 구분 code가 불일치 될 수 있는 문제가 있음.
- 사업장 구분 code 2안 = ‘사업장 관리번호+사업장 개시번호+우편번호(zip code)’
 - 동일 회사이지만 지역에 따라 사업장이 여러 개인 경우(예: 기아자동차 소하리 공장, 화성 공장, 광주 공장 등) 측정자료는 각 지역에 따른 사업장 주소(zip code)가 다르게 부여되지만 특검의 경우 회사 본사 주소로 입력되는 경우가 있어 측정-특검의 사업장 구분 code가 불일치 될 수 있는 문제가 있음. 또한 우리나라 우편번호는 2015년 8월 1일부터 기존 6자리에서 5자리로 변경되어서 실제 동일 사업장 주소이면서 zip code가 다르게 부여된 경우도 있고, zip code가 4자리로 잘못 입력된 경우도 있음.

- 사업장 구분 code 3안 = ‘사업장 관리번호+사업장 개시번호’
 - 측정/특검 자료에서 불확실성이 높은 사업장 순번과 zip code를 사용하지 않고 사업장 관리번호와 개시번호의 조합으로만 사업장 구분 code를 만들어 사용함. 이 경우 동일 회사이면서 주소가 다른 공장이 여러개인 경우 구분하여 측정-특검 자료를 연계할 수 없으나 동일 회사의 경우 주소가 다르더라도 산업-주생산물 등이 유사할 경우 노출 값의 차이가 크지 않다고 가정할 수 있음. 따라서 사업장 구분 code 3안을 최종 활용하고자 함.

[2015-2016 년 측정-특검 자료를 활용한 예]

- 측정자료의 10%, 특검자료의 2.5% 정도에서 사업장 순번이 1 이상을 가짐.
- 측정/특검 자료 모두 사업장관리번호가 없는 자료는 없었음.

(2) 사업장-산업 불일치 자료

- 동일한 사업장 식별 code이면서 2개 이상의 산업이 코딩된 경우
- 처리 방법 1안 : 5-digit으로 입력된 산업의 차이가 있지만 전체 자료에서 2개 이상의 산업코드가 입력된 자료 비율(4.8%)이 크지 않고 3-digit으로 활용할 경우 비율은 더욱 더 낮아짐. 또한 유사 산업명인 경우가 많아 자료 클리닝에 소요되는 노력 대비 클리닝 후 자료 활용 효과가 크지 않다고 판단하여 산업 차이를 그대로 활용
- 처리 방법 2안 : 주생산물 정보를 토대로 2개 이상의 산업을 하나의 산업으로 재 코딩 함 - 자료 검토에 시간이 많이 소요되는 단점이 있음.

[2015-2016 년 측정 자료를 활용한 예]

- 측정자료 중 180개 사업장(사업장관리번호)이 2개 이상의 산업으로 코딩됨.
- 180개 사업장에 해당되는 총 자료 수 = 2299개(4.8%)

3) 표준 공정 코드 재 분류

(1) 공정 코드 특성과 재 분류(공정 표준화1)

2019년 이전까지의 K2B 공정 코드는 5자리(5-digit)로 총 1392개로 이루어져 있으며, 이 중 356개 코드만 공정코드에 대한 설명글이 있다. 따라서 공정코드가 너무 세분화 되어 있고, 공정코드에 대한 설명글이 충분하지 않아 측정기관에서 K2B를 통해 입력할 경우 적절한 공정코드 선택이 어렵기 때문에 K2B DB의 공정코드 정보의 정확성과 신뢰도가 낮다고 할 수 있다.

이에 현재 입력되어 있는 5 자리 코드(세세분류)를 [그림 III-6-2]와 같이 자리수를 줄여가며 각각 대분류(1-digit), 중분류(2-digit), 소분류(3-digit), 세분류(4-digit)로 나눈 결과 각 분류 체계 내의 공정명들이 유사한 속성을 나타내고 있었고, 이러한 유사 속성을 고려하여 각 상위 분류명을 할당하였다. 그러나, 기존 5자리 공정 코드에 속한 모든 공정이 자리수를 줄여가며 상위 코드로 재분류 할 때 그룹 내 속성과 다른 코드도 있었다. 예를 들어, [그림 III-6-2]의 10000~10009의 경우 4 자리 세분류 1000으로 묶을 수 있는데, 이 경우 ‘10009 지원운영’을 제외하면 나머지 8개 5-자리 코드는 ‘표식, 마킹, 준비’의 유사 속성의 4-자리 세분류 코드로 재분류 가능하다. 이렇게 코드 자리수를 줄여가며 유사한 속성 여부에 대한 산업위생전문가 검토 후 상위 그룹으로 재 분류한 결과는 [부록 2]에 제시하였으며, 이를 ‘공정 표준화1’이라고 하였다.

재분류 된 공정 표준화1 결과 중 특히 중분류(2-digit)는 36개의 표준공정으로 묶을 수 있고 JEM의 공정 별 노출 수준을 평가하는데 적절한 분류 수준이라고 판단되어 이후 공정 별 JEM 결정의 단위로 활용하고자 한다. 그러나 현재 입력되어 있는 K2B의 공정코드 자체의 정확도와 신뢰도가 낮기 때문에 중분류로 재분류된 코드의 신뢰도 평가가 필요했다.

공정 설명	없음	있음	총합계
5-digit 공정코드 갯수	1036	356	1392
유사 공정 예	'도장' 과 유사 공정명 : 전착도장, 자동도장, 기타도장, 프라이머도장, 중간도장, 상도도장, 내화도장, 방청도장, 기타도장, 옥내도장, 옥외도장, 프레임도장, 도장도포, 칠솔도장, 분무도장, 스프레이도장, 액체도장, 정전도장, 침지도장, 롤러도장, 부동도장, 분체도장, 도장준비		

36개 2-digit 으로 재 분류

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
1	10	준비, 지원, 부속	100	준비, 지원, 부속	1000	표식, 마킹, 준비	10000 - 10009	준비, 도장준비, 표식, 마킹, 금긋기, 현도, 기타표식, 레이저마킹, 압인, 지원운영	10009(지원운영)
					1001, 1002	지원, 부속 공정	10010 - 10023	원료입고, 부원료입고, 중간재입고, 기타원료, 공무, 영선, 공작, 보일러실, 동력실, 콤팩트서실, 실험실, 기계실, 제어실, 청소	10020(실험실) 10021(기계실) 10022(제어실) 10023(청소)
	12	주입, 삽입, 충전	120	주입, 삽입, 충전	1200 - 1206	주입, 삽입, 충전	12000 - 12061	투입, 삽입, 자동삽입, 수동삽입, 압입, 기타삽입, 기관삽입, 핀삽입, 주입, 자동주입, 수동주입, 가스주입, 그리스주입, 내화재주입, 수은주입, 전해액주입, 절연물주입, 이온주입, 기타주입, 투입, 물투입, 용기투입, 예측시투입, 우레탄투입, 기타투입, 장입, 충전, 자동충전, 수동충전, 냉매충전, 도로충전, 절연유충전, 질소충전, 칼셀충전, LPG충전, MgO충전, 합제충전, 기타충전, 전기충전, 겔부극충전, 기타전기충전, 첨가, 가당, 가수, 가염, 가황, 부재료첨가, 사라다유첨가, 색소첨가, 수소첨가, 시법첨가, 아황산첨가, 유당첨가, 중국첨가, 촉매첨가, 촉매반응, 주유, 기타첨가, 흡입, 흡인, 흡수, 기타흡입	12055(촉매반응) 12058(흡입) 12059(흡인) 12060(흡수) 12061(기타흡입)

[그림 III - 6 - 2] K2B 5-digit 공정코드의 특성과 2-digit 코드로 재 분류(공정 표준화1) 예.

작업환경 측정결과 K2B 자료에는 공단에서 제공한 5자리 공정 코드 정보 외에 측정기관에서 직접 추가 입력한 “공정명_기관” 및 측정을 실시한 “단위 작업장소명” 이 있다. 측정기관이 직접 추가 입력한 두 변수에 해당하는 정보는 비교적 신뢰할 수 있다고 판단되므로 측정기관이 입력한 공정명과 단위작업장소 정보에 기초하여 적절한 중분류 코드로 재 할당 후 기존의 입력된 코드와 비교하여 코드 분류의 정확도를 평가하고자 하였다. 이를 위해 전문가들이 수작업으로 측정기관의 입력 정보를 보면서 적절한 공정코드를 재 할당 하는데는 자료수가 많아 시간과 노력이 너무 많이 들기 때문에 알고리즘을 이

용한 ‘공정 코드 자동할당’ 방법을 개발하여 활용하였다.

이하 남에 대한 2015년과 2016년 측정자료 총 47,475개를 대상으로 공정 코드 자동할당 방법에 의한 결과와 이를 활용한 기존 코드의 정확도 평가 결과를 설명하였다.

(2) 측정기관 입력 정보를 이용한 공정 코드 자동할당(공정 표준화2)

기관에서 입력한 자료(공정명 및 단위작업장소명)를 기반으로 공정 코드를 자동으로 할당하는 ‘공정 표준화2’ 방법은 크게 1) 각 공정에 대한 핵심 단어(keyword)를 확보, 2) 자료의 전처리(pre-process), 그리고 3) 일치도를 기반으로 하는 코드 할당 작업으로 구성된다.

가) 공정에 대한 핵심 단어

공정 코드의 자동할당을 위해서는 우선 각 공정에 대한 정확한 특성을 나타내 주는 설명 또는 핵심 단어로 구성된 참고 자료(reference key words)를 확보하는 것이 우선이다. 일종의 기계 학습(machine learning) 기법에서 학습을 위한 기초 학습데이터를 말한다. 즉 측정기관이 입력한 공정명과 단위작업장소명의 정보가 특정 표준공정을 설명하는 참고 자료와 비교하여 적절한 표준공정을 할당할 수 있도록 하기 위함이다.

이러한 표준 공정에 대한 참고자료는 최대한 정확하고 풍부한 정보로 구성하는 것이 필요하지만, 본 연구에서는 예산과 기간 등의 제한적 상황을 고려하여 K2B의 1392개 5 자리 공정 코드를 이용하여 재 분류한 중분류 코드집을 참고 자료로 활용하기로 했다. 중분류 코드집은 하나의 중분류 코드에 속한 5 자리 공정명이 해당 중분류 코드를 설명하는 핵심어로 구성된다. 앞서 설명했듯이 [그림 III-6-2]의 2자리 공정 코드 10인 경우, 해당 공정명은 ‘준비, 지원, 부속’이며 관련 핵심 단어는 ‘지원운영 (1009)’ 을 제외한 5자리 공정코드

10000-10008에 해당하는 ‘준비’, ‘도장준비’, ‘표식’, ‘마킹’, ‘금긋기’, ‘현도’, ‘기타표식’, ‘레이저마킹’, ‘압인’ 으로 구성된다.

나) 자료의 전처리

기관에서 입력한 공정명과 단위작업 장소명의 경우, 여러 기관들이 입력을 하였기 때문에 입력값의 일관성이 떨어지며 다양한 값들이 들어 있다. 따라서, 우선 다양한 값들을 의미있는 단위로 나누는 것이 필요하며, 분류에 불필요한 값들(예, 특수문자 및 빈칸)을 제거하는 전처리 과정이 필수 불가결하다. 본 연구에서는 기관이 입력한 공정명 및 단위작업 장소명에 다음의 전처리를 시행하였다.

- ① 특수문자를 포함한 문장부호 제거
- ② 숫자 제거
- ③ 문자열 맨 처음과 마지막의 빈칸 제거
- ④ 단어 사이에 있는 빈칸을 기준으로 단어를 분리/추출

예를 들어 공정명에 ‘납땜(솔더)/디핑’ 이 입력되어 있는 경우, 위 전처리 과정의 완료 후에는 ‘납땜’, ‘솔더’, ‘디핑’ 의 3개의 단어로 분리/추출된 결과가 나오게 된다. 또한, 앞서 설명한 공정에 대한 핵심 단어의 경우에도 ‘조형(기계작업)’ 과 같이 복합 단어가 입력되어 있는 경우가 있기 때문에 괄호(‘(’, ‘)’)를 제거하는 전처리를 실시하였다. 따라서, ‘조형(기계작업)’ 의 경우, ‘조형’, ‘기계작업’ 으로 단어를 분리한 결과가 발생한다.

다) 일치도를 기반으로 하는 코드 할당 작업

코드를 할당하는 방법은 크게 다음의 2가지 방법으로 진행하였다.

- ① 방법 1(matched 1) : 기관에서 입력한 공정명 (또는 단위작업 장소명)의 분

리/추출된 단어가 공정 표준화1 결과(중분류(2자리) 공정 코드)의 핵심단어 (비교 대상 목록)와 일치(또는 포함) 하는 경우, 해당 공정 코드를 할당하는 방법으로 이는 특이도(specificity)가 높은 특성이 있음.

② 방법 2(matched 2): 공정 표준화1 결과(중분류(2자리) 공정 코드)의 핵심 단어가 기관에서 입력한 공정명 (또는 단위작업 장소명)의 분리/추출된 단어 (비교 대상 목록)와 일치 (또는 포함) 하는 경우, 해당 공정 코드를 할당하는 방법으로 이는 민감도(sensitivity)가 높은 특성이 있음.

1	공정코드	공정코드2	공정명_기관	단위작업장소명	assign.proc1	assign.loc1	assign.proc2	assign.loc2
2	19030	19		대형제강보수	NA	NA	NA	29;
20	29042	29	봉강보수	봉강보수	NA	NA	29;	29;
23	32088	32	특수감지원정	특수감지원정비	NA	NA	NA	NA
24	29019	29	검수	100톤검수		29 NA	29;	29;
42	23033	23	물조립	물조립(분해,조립)	NA	31;23	23;	23;28;31;
56	19032	19		합형,주입,탈사	NA	14;12;14	NA	12;14;14;

[그림 III-6-3] 측정기관 입력정보를 이용하여 자동 할당된 공정코드(공정 표준화2) 예.

[그림 III-6-3]은 위의 공정 코드 자동 할당 방법의 일부 결과를 보여준다. 여기서, ‘공정코드’ 는 K2B에 입력되어 있는 5자리 공정 코드, ‘공정코드 2’ 는 5자리 공정 코드에서 추출한 2자리(중분류) 공정코드(공정 표준화1), ‘공정명_기관’ 과 ‘단위작업장소명’ 은 각각 측정 기관에서 입력한 공정명 및 단위작업 장소명, ‘assign.proc1’ 과 ‘assign.loc1’ 은 방법 1을 공정명과 단위작업장소명을 기준으로 각각 자동 할당된 공정 코드, ‘assign.proc2’ 과 ‘assign.loc2’ 은 방법 2를 공정명과 단위작업 장소명을 기준으로 각각 자동 할당된 공정 코드를 의미한다.

위 결과의 가장 첫 줄인 K2B에 입력된 공정코드가 ‘19030’ 인 경우, 기관에서 입력한 공정명은 공란이므로 공정명을 기반으로 하는 방법

1(assign.proc1)과 방법 2(assign.proc2)의 결과에 'NA' (not available)가 입력이 되었다. 한편, 해당 단위작업 장소명에 입력된 '대형제강보수'는 전처리 후에도 그대로 '대형제강보수'로 분리/추출되고, 해당 단어는 공정의 핵심단어에서 일치되는 결과를 찾을 수 없으므로 방법 1(assign.loc1)에 역시 'NA'가 입력이 된다. 하지만, 방법 2(assign.loc2)의 경우, 공정의 핵심 단어들 중에서 코드 '29'에 있는 '보수'라는 핵심 단어가 '대형제강보수'에 포함되기 때문에 그 결과로, 'assign.loc2'에 '29'가 입력이 되었음을 알 수 있다. 또 하나의 예로, 위 결과의 가장 마지막인 공단의 공정코드가 '19032'인 경우, 기관에서 입력한 공정명이 공란이므로 'assign.proc1'과 'assign.proc2'에 모두 'NA'가 입력이 되었다. 해당 단위작업 장소명에 '합형,주입,탈사'가 입력되어 있는데, 전처리 후 이 값은 '합형', '주입', '탈사'로 분리/추출이 되었고, 해당 단어들은 중분류 공정 코드 '14', '12', '14'에 각각 해당되므로 방법 1 (assign.loc1)과 방법 2 (assign.loc2) 모두 같은 결과를 갖게 된다.

(3) 공정 표준화1과 공정 표준화2의 결과 비교

[그림 III-6-4]는 [그림 III-6-3]과 동일하지만, 'matched1'과 'matched2' 변수를 추가한 결과이다.

1	공정코드	공정코드2	공정명_기관	단위작업장소명	assign .proc1	assign .loc1	matched1	assign .proc2	assign .loc2	matched2	
2	19030	19		대형제강보수	NA	NA	no match2	NA	29;	no match1	
20	29042	29	봉강보수	봉강보수	NA	NA	no match2	29;	29;	both	
23	32088	32	특수강지원정	특수강지원정비	NA	NA	no match2	NA	NA	no match2	
24	29019	29	검수	100톤검수		29	NA	procedure	29;	29;	both
42	23033	23	롤조립	롤조립(분해,조립)	NA	31;23	location	23;	23;28;31;	both	
56	19032	19		합형,주입,탈사	NA	14;12;14	no match1	NA	12;14;14;	no match1	

[그림 Ⅲ-6-4] 공정 표준화1과 표준화2 결과 비교 예.

‘matched1’은 방법 1의 결과로 할당된 공정 코드가 K2B에 입력된 5 자리 코드로부터 재분류 한 중분류 코드인 ‘공정코드2’와 일치하는 지를 보여 준다. 이때, ① 공정명 기준의 결과(assign.proc1)와 일치하는 경우에는 ‘procedure’, ② 단위작업 장소명 기준의 결과(assign.loc1)과 일치하는 경우에는 ‘location’, ③ 공정명과 단위작업 장소명 기준의 결과 모두 일치하는 경우에는 ‘both’, ④ 공정명 또는 단위작업 장소명 기준으로 코드가 자동 할당되었으나 ‘공정코드2’와 일치하지 않는 경우에는 ‘no match1’, ⑤ 공정명 또는 단위작업 장소명 기준으로 코드가 자동 할당되지 않았을 경우에는 ‘no match2’의 값을 갖게 하였다. ‘matched2’는 방법 2의 결과 기반으로 K2B에 입력된 공정코드와의 일치도를 보여주며, 값은 ‘matched1’과 동일하게 정의되었다.

K2B에 입력된 공정코드가 ‘29019’인 경우, 2자리 중분류로 ‘29’가 되며, 기관에서 입력한 공정명은 전처리 후 ‘검수’, 단위작업 장소명은 전처리 후 ‘톤검수’(숫자 제거됨)로 분리/추출되며, 그 결과 방법 1은 공정명을 기준으로 ‘29’라는 값을 자동 할당하지만 (assign.proc1), 단위작업 장소명으로는 일치하는 핵심 단어를 찾을 수 없으므로 ‘NA’가 할당이 된다(assign.loc1). 하지만, 방법 2의 경우에는 공정 코드 ‘29’의 핵심단어 중 하나인 ‘검수’가 공정명과 단위작업 장소명에서 일치하기 때문에 ‘assign.proc2’와

‘assign.loc2’에 각각 ‘29’를 자동 할당한다. 따라서, 방법 1의 경우, 공정명 기준으로 할당된 ‘29’만 공단 입력값인 ‘29’와 일치하기 때문에 ‘matched1’에 ‘procedure’가 입력이 되며, 방법 2의 경우, 공정명과 단위작업 장소명 둘 다 공단 입력값인 코드 ‘29’에 일치하므로, ‘matched2’에 ‘both’가 입력이 되었다.

(4) 공정 표준화 결과 해석 및 JEM 활용 방향

공정 표준화1과 표준화2 결과를 비교했을 때 다음과 같이 크게 4개의 그룹으로 구분될 수 있다.

- 그룹1 : 방법1과 방법2에 의해 공정코드를 재 할당한 공정 표준화2 결과 모두 공정 표준화1의 코드와 일치함. 이 경우 공정 표준화1의 신뢰도(정확도)가 매우 높다고 할 수 있으며 공정 표준화1의 코드를 이용하여 JEM구축 가능함.
- 그룹2 : 방법1 혹은 방법2에 의해 공정코드를 재 할당한 공정 표준화2 결과가 공정 표준화1의 코드와 일치함. 이 경우 특이도와 민감도를 고려한 두 가지 방법 중 어느 한 방법에 의해 측정기관의 직접 입력 정보에 기초한 공정 코드 할당 결과가 공정 표준화1과 일치하기 때문에 공정 표준화1의 신뢰도(정확도)가 높다고 할 수 있음. 따라서 공정 표준화1의 코드를 이용하여 JEM 구축 가능함.
- 그룹3 : 방법1 혹은 방법2에 의해 공정코드가 재 할당되어 공정 표준화2 결과를 얻었으나 공정 표준화1과 일치되는 것이 없는 경우임. 이는 K2B에 입력된 공정 코드와 측정기관이 직접 입력한 공정명이나 단위작업장소 정보에 기초해 재 할당한 공정 코드가 다르다는 것이기 때문에 공정 표준화1의 코드 신뢰도가 중간 정도라고 할 수 있음. 또한 이 경우 공정 표준

화1과 표준화2 중 어떤 것이 더 정확하다고 확신할 수 없기 때문에 가장 많은 빈도로 할당된 공정코드가 가장 신뢰할 만하다고 판단됨. 따라서 다빈도 코드를 해당 공정코드로 할당하고, 만약 다빈도 코드가 2개 이상 나타난다면 전문가들의 검토를 통해 결정해야 하는데, 이는 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 현실적으로 JEM 구축에 활용하기엔 어렵다고 판단됨.

- 그룹 4: 측정기관의 입력 정보를 기초로 공정코드를 재 할당하지 못한 경우임. 따라서 공정 표준화1의 공정코드 신뢰도를 평가할 수 없기 때문에 JEM 구축에 활용하기엔 어렵다고 판단됨.

위 4개 그룹에 따른 JEM 구축을 위한 활용 방향은 기존에 입력된 5자리 공정코드가 “기타” 코드가 아닌 경우에 해당된다. 만약 공정 표준화1의 기초가 되는 초기 5자리 입력된 공정 코드가 “기타” 코드였다면 공정 표준화2의 결과 재 할당된 공정 코드 중 공정 표준화1과 일치하는 경우 공정 표준화1의 신뢰도가 높다고 할 수 없다. 따라서 기존 입력된 공정코드가 “기타” 인 경우엔 그룹 4를 제외한 그룹1~3의 경우 초기 입력된 공정코드는 “기타”여서 공정 정보가 없었으나 측정기관의 입력정보에 기초해서 재할당한 결과 “기타”가 아닌 다른 공정코드가 할당 되어 유의미한 공정코드가 생겼다고 판단해야 한다. 이 경우 다빈도 공정코드를 최종 공정코드로 결정할 수 있으며, 2개 이상의 다빈도 코드가 중복되어 나온다면 전문가들의 검토를 통해 결정해야 할 것이다.

남의 2015년과 2016년 자료(47575개)를 이용하여 공정 표준화 결과를 비교한 것을 각 그룹별로 비교하면 다음과 같다.

		Matched2					
		both	procedure	location	no match1	no match2	total
Matched1	both	7160	1107	89	302	1263	9921
	procedure	924	5184	10	346	1567	8031
	location	325	39	1462	377	1141	3344
	no match1	270	403	175	4225	6690	11763
	no match2	1067	533	461	2850	9605	14516
	total	9746	7266	2197	8100	20266	47575

Group	N	%	K2B코드 신뢰도	최종 선택
1	16300	34.3	최상	K2B코드
2	7905	16.6	상	K2B코드
3	13765	28.9	중	다빈도 코드(빈도 중복인 경우 전문가 검토)
4	9605	20.2	하	제외

표준화(1)과 표준화(2) 일치

표준화(1)과 표준화(2) 불일치

표준화(2) 불가능 (측정기관 정보로 입력된 공정코드의 정확도 검증 불가)

[그림 III - 6 - 5] 남의 작업환경측정자료(전체)의 공정코드 표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.

		Matched2					
		both	procedure	location	no match1	no match2	total
Matched1	both	7160	1107	87	265	1106	9725
	procedure	924	5144	10	159	1185	7422
	location	325	39	1455	120	638	2577
	no match1	270	402	175	1688	3604	6139
	no match2	1059	530	455	1640	6850	10534
	total	9738	7222	2182	3872	13383	36397

Group	N	%	K2B코드 신뢰도	최종 선택
1	16251	44.6	최상	K2B코드
2	6364	17.5	상	K2B코드
3	6932	19.0	중	다빈도 코드(빈도 중복인 경우 전문가 검토)
4	6850	18.8	하	제외

[그림 III - 6 - 6] 납의 작업환경측정자료(기타 공정 제외)의 공정코드 표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.

		Matched2					total
		both	procedure	location	no match1	no match2	
Matched1	both	40		2	37	157	196
	procedure			187	382	609	
	location			7	257	503	767
	no match1	1		2537	3086	5624	
	no match2	8	3	6	1210	2755	3982
	total	8	44	15	4228	6883	11178

표준화(2) 가능
(측정기관 정보로
'기타'공정 코드를
유의미한 공정 코
드로 재 코딩 가능
- 75%)

Group	N	%	K2B코드 신뢰도	최종 선택
1	49	0.4	하	다빈도 코드(빈도 중복 인 경우 전문가 검토)
2	1541	13.8	하	다빈도 코드(빈도 중복 인 경우 전문가 검토)
3	6833	61.1	하	다빈도 코드(빈도 중복 인 경우 전문가 검토)
4	2755	24.6	하	제외

[그림 III-6-7] 남의 작업환경측정자료(기타 공정)의 공정코드
표준화1과 표준화2 분석 결과 비교.

4) 산업과 공정별 납의 JEM 시범 구축 결과

2015년과 2016년 납 측정자료 중 측정시간이 4시간 이상인 자료들을 대상으로 납의 JEM을 시범 구축하였다. 불검출 비율이 높기 때문에 먼저 LOD를 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하고 LOD 미만 자료에 대해 LOD/2 값으로 대체 입력하는 단일 대체법(single substitution)을 이용하여 자료를 분석하였다. 납 농도는 기하평균(GM), 산술평균(AM), 95 백분위수(X0.95), 최대값(MAX)을 비교할 수 있게 제시하였다.

총 131개 중분류의 표준 산업(3-digit)에 따른 납 노출농도를 분석한 결과는 [부록 3]에 제시하였고, 시료수가 10개 이상이면서 95 백분위수로 상위 20위에 해당되는 산업별 납 농도 수준은 <표 III-6-1>과 같다.

공정 표준화1에 의해 재분류된 2-digit 공정(기타 공정 제외)에 따른 납 노출농도 분석 결과는 [부록 4]에 제시하였고, 공정 표준화1 결과 중 신뢰도가 검증된 그룹1과 2만을 대상으로 공정별 납 노출수준을 분석한 결과는 [부록 5]에 제시하였다. 이 중 시료수가 10개 이상이면서 95 백분위수로 상위 20위에 해당되는 공정별 납 농도 수준은 <표 III-6-2>와 같다.

또한 공정 표준화1 결과 중 신뢰도가 검증된 그룹1과 2의 자료를 가지고 중분류 산업과 공정별 납 농도 교차 분석 결과 총 274개의 업종-공정 군에 대한 납 노출 수준을 계산하여 [부록 6]에 제시하였다. 이 중 시료수가 10개 이상이면서 기하평균 값으로 상위 20위에 해당되는 산업-공정별 납 농도 수준은 <표 III-6-3>과 같다.

**<표 III-6-1> 표준산업 중분류 별 납 노출수준
(n>10, X0.95상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

순위	한국표준산업분류 중분류(3-digit)	N	AM	SD	GM	GSD	X0.95	Max
1	1차 비철금속 제조업	1193	6.8	17.8	2.9	3.4	23.7	507.1
2	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	1048	9.5	9.0	4.9	3.7	23.2	62.5
3	금속 주조업	758	5.3	9.3	2.1	3.3	22.3	76.1
4	기타 비금속 광물제품 제조업	101	5.1	14.4	1.7	3.1	19.6	124.8
5	일차전지 및 축전지 제조업	1412	6.5	7.1	3.8	3.0	19.1	83.6
6	방적 및 가공사 제조업	12	6.4	6.7	3.7	3.1	18.8	19.0
7	금속 및 비금속 원료 재생업	52	4.0	8.0	1.8	2.9	17.4	45.9
8	기초화학물질 제조업	391	3.7	5.0	2.0	2.8	16.0	24.0
9	건축자재, 철물 및 난방장치 도매업	12	4.5	6.3	2.0	3.5	15.5	18.9
10	플라스틱제품 제조업	1084	3.1	5.8	1.5	2.6	15.4	47.9
11	인쇄 및 인쇄관련 산업	33	2.4	4.3	1.2	2.4	14.5	17.2
12	기타 금속가공제품 제조업	1297	2.7	4.2	1.5	2.5	12.3	38.4
13	1차 철강 제조업	2064	2.8	4.7	1.5	2.5	12.2	44.0
14	일반 목적용 기계 제조업	1193	2.5	4.3	1.4	2.4	10.8	47.8
15	그외 기타 제품 제조업	576	2.2	3.8	1.3	2.2	10.7	29.3
16	합성고무 및 플라스틱 물질 제조업	481	3.4	19.0	1.3	2.4	10.6	373.4
17	기타 과학기술 서비스업	60	2.1	3.3	1.3	2.2	9.5	16.1
18	자동차 및 모터사이클 수리업	129	2.0	2.9	1.3	2.2	8.4	14.6
19	폐기물 처리업	136	1.9	2.3	1.3	2.1	7.3	14.1
20	기타 운송관련 서비스업	72	1.6	2.3	1.1	1.9	6.8	13.3

**<표 III-6-2> 표준공정 2-digit(신뢰도 검증된 Group1,2 공정)
별 납 노출수준(n>10, X0.95상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

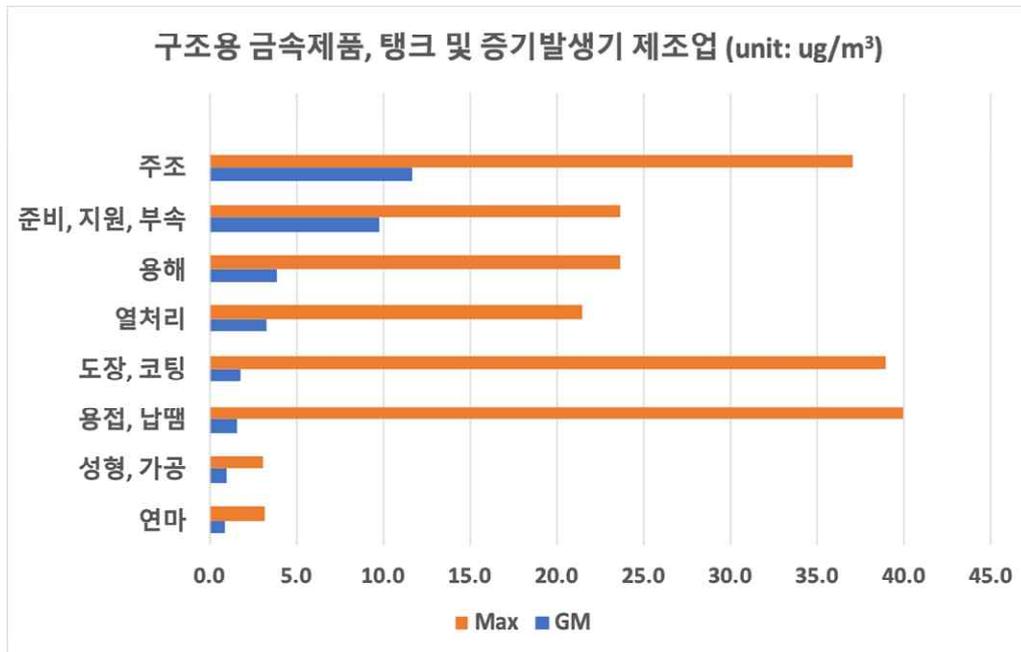
순위	표준공정(2-digit)	N	AM	SD	GM	GSD	X0.95	Max
1	용해	1100	5.9	8.2	2.7	3.4	22.2	66.7
2	세척, 제거	360	4.9	10.9	1.9	3.3	21.3	124.8
3	주조	492	5.6	9.2	2.5	3.3	21.2	87.5
4	전기전자산업	66	8.2	6.0	5.9	2.5	20.2	24.3
5	분쇄	173	4.6	7.2	2.1	3.2	20.0	42.8
6	혼합	607	5.1	21.0	1.6	3.0	18.9	373.4
7	냉각, 분리, 정제	184	4.2	8.8	1.8	2.9	18.5	73.6
8	포장	170	4.2	5.7	2.2	3.0	18.0	32.8
9	건조	30	6.2	6.5	3.1	3.5	17.7	18.9
10	화학반응	73	15.6	91.4	2.6	3.8	17.1	783.8
11	준비, 지원, 부속	352	3.2	8.0	1.5	2.6	15.1	112.3
12	도장, 코팅	2109	3.0	6.3	1.5	2.6	14.5	145.3
13	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	375	2.6	3.9	1.5	2.4	12.1	29.3
14	절단, 재단, 절곡	257	2.9	4.3	1.6	2.5	11.8	29.5
15	저장	33	2.8	3.9	1.5	2.6	11.2	13.4
16	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	146	2.1	3.9	1.2	2.2	9.9	23.9
17	성형, 가공	1163	2.4	4.5	1.3	2.3	9.9	46.4
18	도금	386	2.2	4.0	1.3	2.2	9.2	38.0
19	열처리	161	2.4	4.2	1.4	2.3	9.1	28.4
20	조립	1942	2.3	3.8	1.4	2.3	8.8	56.7

<표 III-6-3> 산업-공정(신뢰도 검증된 Group1,2 공정) 별 납 노출수준(n>10, GM 상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

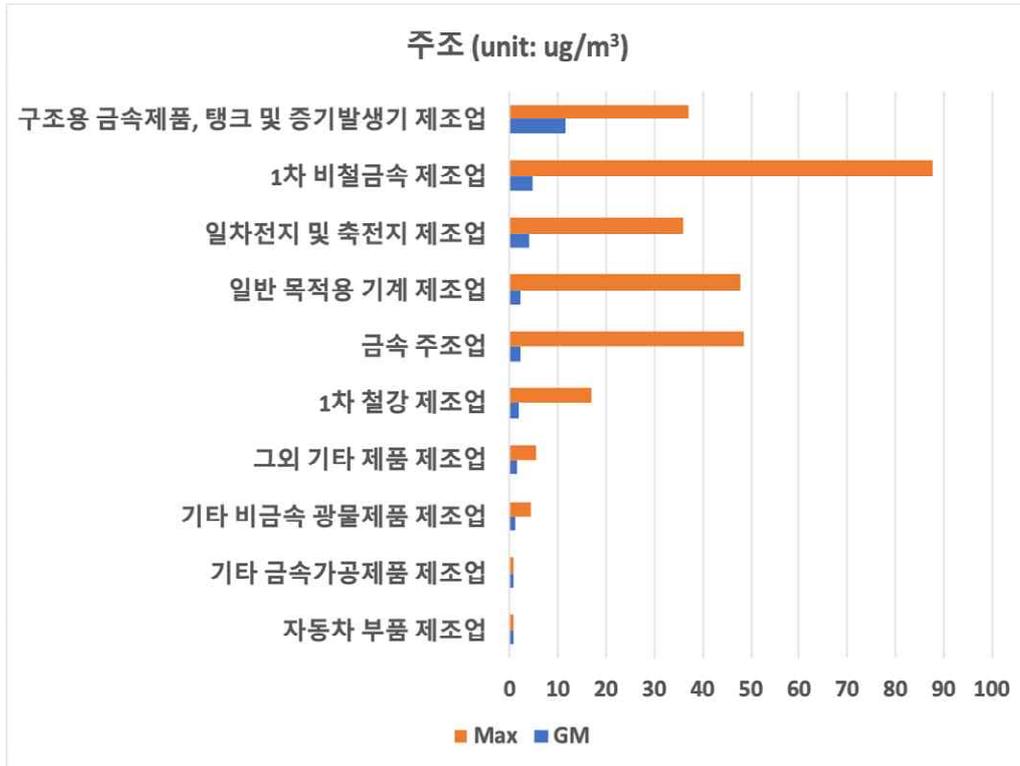
순위	한국표준산업 중분류(3-digit)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
1	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	주조	18	15.3	11.6	2.47	37.1
2	일차전지 및 축전지 제조업	건조	12	11.3	9.9	1.73	18.9
3	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	준비, 지원, 부속	21	12.5	9.8	2.18	23.7
4	일차전지 및 축전지 제조업	성형, 가공	12	10.2	8.5	1.89	18.9
5	일차전지 및 축전지 제조업	혼합	51	11.6	7.6	2.50	83.6
6	기초화학물질 제조업	화학반응	19	8.2	7.5	1.55	15.2
7	일차전지 및 축전지 제조업	도장, 코팅	59	11.2	6.8	2.97	67.1
8	금속 주조업	세척, 제거	28	17.2	6.7	4.93	76.1
9	일차전지 및 축전지 제조업	조립	253	8.5	6.6	2.15	56.7
10	일차전지 및 축전지 제조업	전기전자산업	64	8.4	6.2	2.39	24.3
11	일차전지 및 축전지 제조업	절단, 재단, 절곡	23	7.5	5.8	2.10	29.5
12	금속 주조업	성형, 가공	30	12.4	5.8	3.95	46.4
13	기타 비금속 광물제품 제조업	용해	12	14.0	5.5	4.58	49.0

순위	한국표준산업 중분류(3-digit)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
14	기타 금속가공제품 제조업	세척, 제거	16	9.7	5.4	3.46	19.3
15	기초화학물질 제조업	포장	31	7.3	5.3	2.33	22.0
16	1차 비철금속 제조업	냉각, 분리, 정제	28	11.5	5.3	3.49	73.6
17	1차 비철금속 제조업	용해	167	9.3	5.1	3.20	66.7
18	일차전지 및 축전지 제조업	주입, 삽입, 첨가, 충전	13	6.1	5.1	2.00	10.6
19	1차 비철금속 제조업	주입, 삽입, 첨가, 충전	23	9.4	5.0	3.20	44.1
20	1차 비철금속 제조업	성형, 가공	15	6.0	4.8	1.83	22.9

산업-공정별 납 JEM을 이용하면 특정 산업의 공정별 노출수준을 비교할 수 있고, 반대로 특정 공정별 산업에 따른 노출수준을 비교할 수도 있다. 산업별 납 노출 수준 비교결과 가장 높은 수준을 보였던 ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’에 대해 세부 공정별 납 농도 수준을 비교하면 [그림 III-6-8]과 같이 ‘주조’ 공정이 가장 노출수준이 높다는 것을 확인할 수 있다. 또한 ‘주조’ 공정을 가지고 있는 산업별 노출수준을 비교하면 [그림 III-6-9]와 같이 ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’ 다음으로 ‘1차 비철금속 제조업’, ‘일차전지 및 축전지 제조업’ 순으로 납 노출이 높은 산업임을 확인할 수 있다.



[그림 III-6-8] ‘구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업’의 공정별 납 노출 농도 비교 예.



[그림 Ⅲ-6-9] ‘주조’ 공정에 대한 산업별 납 노출 농도 비교 예.

5) 혼합모형과 LOD 미만 자료의 다중 대체법 처리에 의한 산업별 납 노출수준 분석

2015년-16년 납 측정 자료를 이용하여 중분류 산업별 납 노출수준을 혼합모형(mixed effect model)과 LOD 미만 자료의 처리 방법에 Lubin et al(2004)과 Rubin(1987)의 다중 대체법(multiple imputation)을 이용하여 추가 분석하였다.

주요 분석에 활용된 방법은 다음과 같다.

- 분석 대상 자료
 - 납 측정자료 수: 47575
 - 4 시간 미만 측정자료 제외: 47274
 - 산업분류 이상 자료 제외: 최종 47256

- 납 측정자료의 전체 분포
 - R패키지 'EnvStats' 사용
 - 그래프 형태상 로그노말 분포에 근사한 그래프를 보임
 - LOD 미만 비율 (censoring rate): 79.6%
 - GM 0.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, GSD 5.82 (MLE method)
 - 95% 7.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MLE method)

- 산업별 납 분포 추정의 방법론
 - 측정건수는 산업별로 매우 다양함. 측정건수가 적은 산업이 다수임.
 - 이를 보완하기 위해 mixed-effects model 활용
 - 측정수가 많은 산업 (또는 측정 수치가 높은 산업)은 측정치 결과에 영향을 크게 받고, 측정수가 적은 산업은 전체 평균에 크게 영향을 받게 됨. 즉, 전체 평균값은 LOD 미만으로 측정수가 적은 산업은 저노출 산업으로 분류되게 됨.

- LOD 미만 값의 처리
 - LOD 미만 값이 약 80% 정도임.
 - multiple imputation: imputation 20 회 시행 (Lubin et al., 2004)

- 산업별 납 분포: GM
 - mixed-effect model: R패키지 ‘lme4’ 사용
 - pooled fixed, random effect를 20개 imputed complete dataset에서 계산 (Rubin’ s rule)
 - $GM = \exp(\text{fixed} + \text{random})$

- 산업별 납 분포: 95 백분위수(X0.95)
 - linear quantile mixed model: R패키지 ‘lqmm’ 사용
 - pooled fixed, random effect를 20개 imputed complete dataset에서 계산 (Rubin’ s rule)
 - $X0.95 = \exp(\text{fixed} + \text{random})$

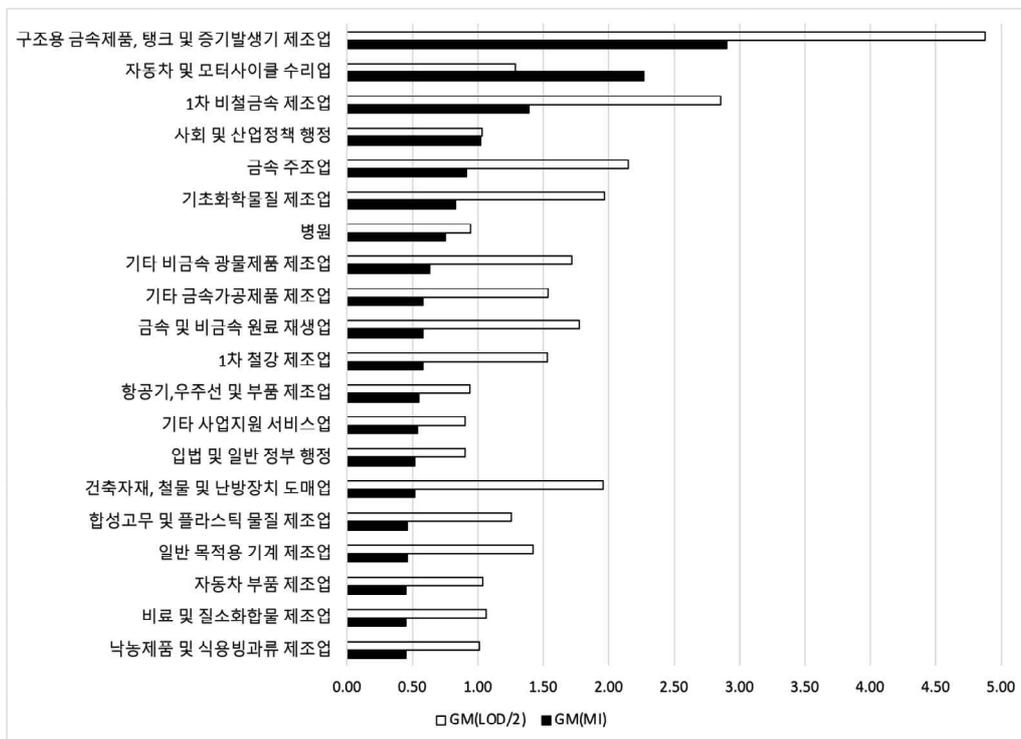
분석 결과 총 131개의 산업별 납 노출 수준은 [부록 7]에 제시하였고, 95 백분위수로 상위 20위에 해당되는 산업별 납 노출수준은 다음 표와 같았다.

<표 III-6-4> 산업별 납 노출수준(X0.95 상위 20위, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

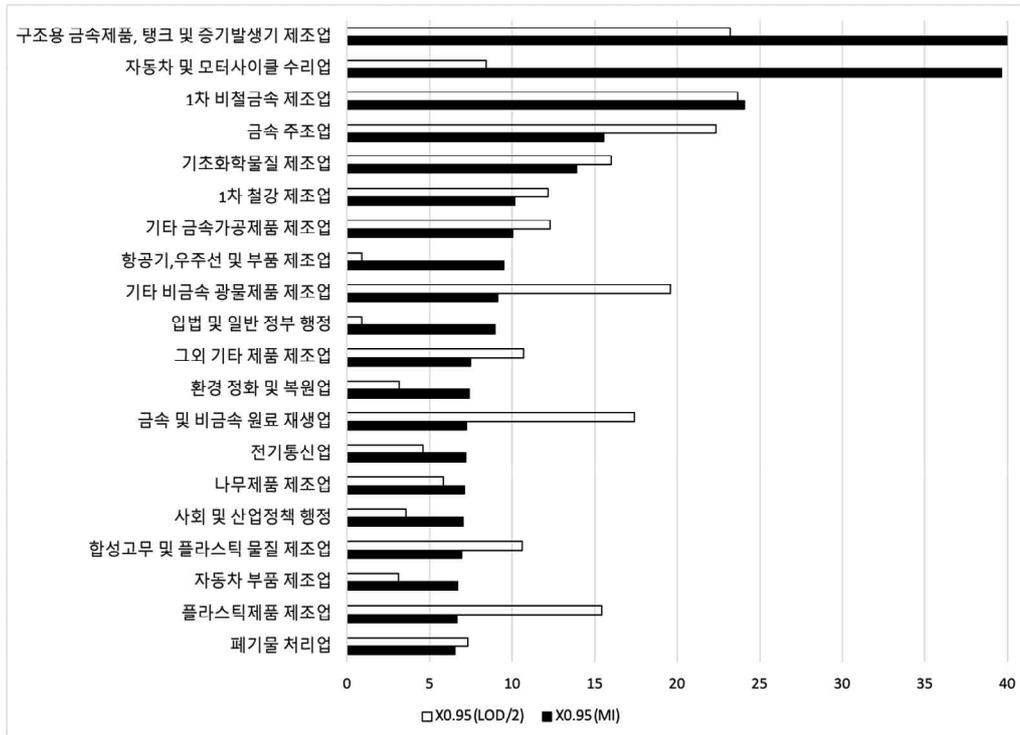
순위	SIC3 Name	Total	<LOD	Censoring Rate, %	GM	X0.95
1	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	1048	333	32	2.90	50.55
2	일차전지 및 축전지 제조업	1412	442	31	2.27	39.64
3	1차 비철금속 제조업	1193	535	45	1.39	24.07
4	금속 주조업	758	447	59	0.91	15.54
5	기초화학물질 제조업	391	229	59	0.83	13.90
6	1차 철강 제조업	2063	1455	71	0.58	10.15
7	기타 금속가공제품 제조업	1297	898	69	0.58	10.02
8	플라스틱제품 제조업	1082	807	75	0.55	9.51
9	기타 비금속 광물제품 제조업	101	72	71	0.63	9.12
10	일반 목적용 기계 제조업	1193	892	75	0.52	8.98
11	그외 기타 제품 제조업	575	476	83	0.44	7.46
12	합성고무 및 플라스틱 물질 제조업	481	402	84	0.44	7.41
13	금속 및 비금속 원료 재생업	52	33	63	0.58	7.23
14	전구 및 조명장치 제조업	339	264	78	0.44	7.20
15	기타 화학제품 제조업	1532	1248	81	0.41	7.11
16	비철금속 광업	11	3	27	1.02	7.04
17	폐기물 처리업	136	106	78	0.46	6.94
18	자동차 및 모터사이클 수리업	129	103	80	0.45	6.69
19	특수 목적용 기계 제조업	845	732	87	0.39	6.64
20	통신 및 방송 장비 제조업	978	834	85	0.38	6.52

6) LOD 미만 자료 처리 방법에 따른 산업별 납 노출 농도 비교

LOD 미만 자료에 대해 LOD/2값으로 단일 대체한 방법(처리1)과 다중 대체법(multiple imputation)을 이용한 방법(처리2)으로 납 노출 농도(GM, X0.95) 추정 결과를 산업별로 비교하면 다음과 같다. 두 처리 방법에 따른 기하평균과 95 백분위수 추정 농도가 높았던 상위 20개 산업은 유사하게 나타났다. 그러나 기하평균 농도는 처리1 방법에 의한 추정 값이 처리2에 의한 추정 값 보다 대부분의 산업에서 높았고(그림 III-6-10), 95 백분위수 농도는 처리2의 추정 값이 처리1 추정 값 보다 높은 특성을 보였다(그림 III-6-11).

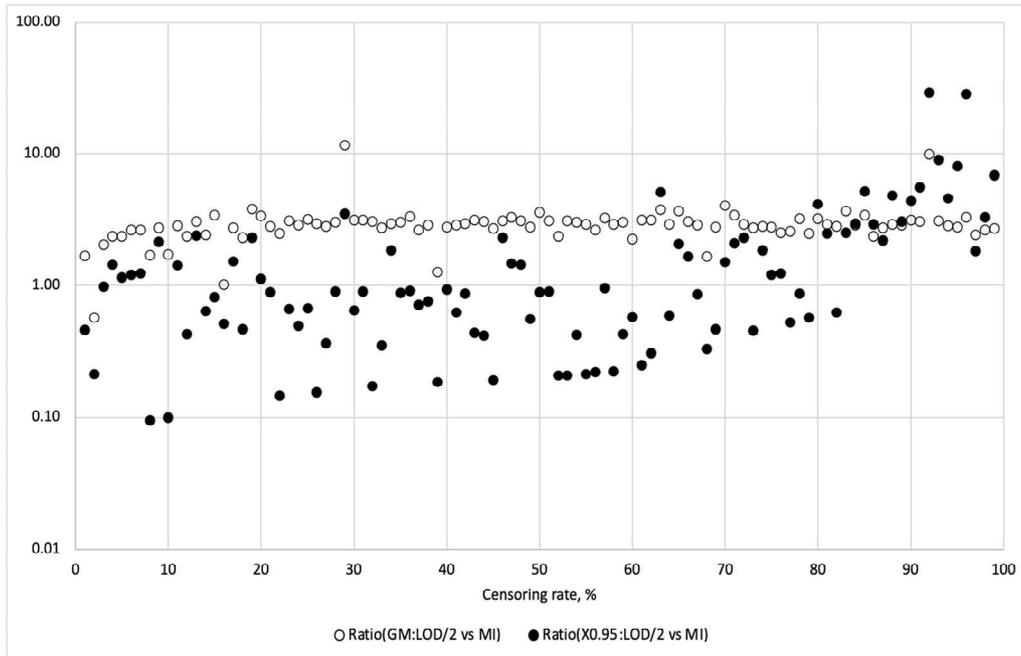


[그림 III-6-10] LOD 미만 자료 처리방법에 따른 상위 20개 산업별 납 기하평균(GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 농도 비교.



[그림 III-6-11] LOD 미만 자료 처리방법에 따른 상위 20개 산업별 납 95 백분위수(X0.95, µg/m³) 농도 비교.

LOD 미만 처리1 방법과 처리2 방법에 따른 기하평균과 95 백분위수 농도의 비(처리1/처리2)를 불검출율(censoring rate, %)에 따라 비교하면 기하평균 추정 값은 불검출율에 관계 없이 처리1 방법에 의한 추정 값이 처리2 방법보다 높은 경향을 보였고, 95 백분위수는 불검출율 80% 이하에서는 처리1 방법과 처리2 방법사이의 차이가 비교적 작았고 불검출율 80%를 넘는 경우엔 처리 1방법의 추정 값이 처리2보다 높은 경향을 보였다. 따라서 단일 대체법을 이용하여 농도 추정시 기하평균 보다는 95 백분위수를 이용하여 평가하는 것이 보다 정확한 평가라고 판단되었다.



**[그림 III-6-12] 불검출율에 대한 LOD 미만 자료 처리방법에 따른
남 농도 비 비교.**

7. 납 노출 관련 문헌 자료를 이용한 JEM 구축

1) 자료 수집 방법 및 선택/배제 기준

국내에서 연구된 납 노출 관련 문헌 자료를 수집하여 JEM을 구축해 보고자 하였다. 따라서 국내 사업장을 대상으로 납 노출농도가 조사되고 peer-review 된 후 발표된 문헌의 자료를 수집 하였다. 국내자료 수집 후 분석에 활용할 자료의 선택 및 배제 기준은 다음과 같았다.

- 선택 기준(inclusion criteria)
 - 공기 중 납 농도 측정 자료
 - 수집된 문헌 중 peer-review된 후 발표된 문헌 자료
 - 사업장 내부 측정 자료(근로자의 노출을 추정할 수 있는 자료)
 - 개인 노출 평가 및 지역 노출 평가 자료

- 배제 기준(exclusion criteria)
 - 생물학적 노출지표(예: 혈중 납, 요중 납) 조사 자료
 - 사업장 주변 및 일반 대기환경 측정 자료
 - 전문가들에 의해 검증되지 않은 채 발표된 자료(정기적으로 발행되는 기관 잡지의 기고)

납, lead, 소변, 요중 납, 뇨중 납, 혈중 납, 폭로, 납 취급, 납 노출, 납 근로자 등 주요 키워드를 이용하여 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service, RISS), 국가과학기술정보센터 (National Digital Science Library, NDSL), 국내 학술지 데이터베이스 (DataBase Periodical Information Academic,

DBPia), 한국학술정보(주) (Korean Studies Information Service System, KISS), 정책연구용역종합관리시스템 (Policy Research Information Service & Management, PRISM), 국가정책연구포털 (National Knowledge. Information System, NKIS)로부터 자료를 조사하여 총 495개의 문헌 정보를 수집하였고, 위의 선택/배제 기준에 의해 검토한 결과 총 14개의 문헌을 분석 대상으로 최종 선정하였다.

2) 분석 대상 문헌의 기본 특성

총 14개 문헌의 기본 특성을 요약하면 다음과 같다.

<표 III-7-1> 공기 중 납 농도 분석 대상 문헌연구 자료의 기본 특성

Ref No.*	대상 업종	조사 년도	연구개요
1	자동차부품 제조업	2003	경주 지역 자동차부품 제조업 사업장 중 작업환경 측정을 실시한 95개 사업장의 2003년 상/하반기 측정농도 분석. 납은 총 37개 시료(0.1~2.8 µg/m³).
2	대학병원	2004	대전 소재 4개 대학병원 방사선 중앙학과 공작실에서 암 환자의 방사선 치료시 주변 조직 차폐를 위한 차폐체(Bi, Pb, Sn, Cd 함유) 제작 시 납 노출농도 측정. 각 병원당 1개 시료(3시간 측정) 채취, 총 4개 시료(0.51-0.56 µg/m³).
3	금속제조 산업	1981	경인지역의 5개 금속제조 사업장을 대상으로 납땀(soldering) 공정에서 납 농도 측정(평균 490 µg/m³, 130-850 µg/m³, 시료 수 정보는 없음).
4	철강선 제조업, 이륜자동차 제조업, 자동차부품 제조업, 달리 분류되지 않은 기타 일반 목적용 기계 제조업, 달리 분류되지 않은 기타 가정용 기구 제조업	1994	창원공단 내 5개 업종을 대상으로 납 농도 측정(총 96개 시료, 1.5-449.9 µg/m³).
5	조선업	1996	경남지역에 위치한 조선소의 대조립 공정에 해당되는 선수미 부서와 탑재 부서(밀폐공간으로 분류,

Ref No.*	대상 업종	조사 연도	연구개요
			n=41)와 소조립 공정에 해당되는 조립 부서(개방공간으로 분류, n=40)를 대상으로 용접 흡 측정. 용접 흡 성분 중 납 분석. 납 농도는 밀폐/개방 작업공간의 차이가 없었음(1-61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
6	2차 제련, 라디에이터 제조업, 축전기 제조업, 리사지 제조업	1994	총 4개 업종의 12개 사업장을 대상으로 119개의 시료 중 납 농도를 측정(입자 크기별 측정 병행). 4개 업종의 기하평균 농도(19.1-575.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
7	안료, 염료 제조업	1992-1994	안료와 염료를 생산하는 산업장 근로자 중 혈중 납 농도가 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 초과한 11명을 대상으로 착화제 투여와 작업환경 개선을 통한 혈중 납 농도와 작업장 기중 납 농도의 변화를 2년간 추적 조사한 연구. 기중 납은 작업장 4곳에서 지역시료로 측정(20-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
8	납 축전기 제조업, 2차 납 제련업	1988	납 축전기 제조업체 10개, 2차 납 제련업체 16개를 대상으로 총 173개 지역시료(100분간 측정)로 납 농도를 평가함(납 축전기 제조업: 2-670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2차 납 제련업: 2-600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
9	요업(타일 제조업, 생활 도자기 제조업)	1994	타일 제조업체 1개, 생활 도자기 제조업체 4개를 대상으로 유약 분무 작업에 대한 납 노출농도 측정(6-1084 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
10	1차, 2차 납 제련업, 리사지 제조업	1994-2007	순천향대 환경산업의학연구소에서 보건관리 대행업무를 수행하고 있는 납 제련 및 리사지 제조업 4곳의 1994년-2007년까지 납에 대한 작업환경측정 자료를 분석(총 1140개 시료, 1-9185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
11	2차 납 제련업	2018	경상권 소재 납 2차 제련업체의 전처리, 제련, 주조 공정에서의 공기 중 납 농도를 지역시료로 측정하고 동시에 골뚝을 통한 주변 마을 대기 중 납 농도를 비교한 연구(공장 내 납 농도: 13.89-252.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
12	제강공장	2012	제강공장 용해공정의 조장, 용락채취, 온도점검 근로자 9명을 대상으로 공기 중 납 농도를 조사(5-478 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
13	납 축전기 제조업	1989-2006	순천향대 환경산업의학연구소에서 보건관리 대행업무를 수행하고 있는 납 축전기 사업장 12곳의 1989년-2006년까지 납에 대한 작업환경측정 자료를 분석(총 6025개 시료, 6-7956 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 축전기 제조 공법을 구 공법(grid)과 신 공법(expander)으로 구분하여 노출수준 비교.
14	납 축전기 제조업	1987-1988	구미의 축전기 제조 공장의 생산직 근로자 116명을 대상으로 공기 중 납 농도와 혈중 납 농도 측정(81-365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ref No.*

1. 박성준 등. 경주지역 자동차 부품제조업의 공정별 작업환경실태에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2005;15(2):90-103.
2. 김정호 등. 공작실에서 실내 및 작업종사자의 중금속 오염도에 관한 고찰. 대한방사선치료학회지 2005;17(2):87-94.
3. 정경석. 금속제조산업노동자들의 건강실태 조사. 한국환경위생학회지 1982;8(1):67-80.
4. 강용선 등. 금속제품 제조 산업장내 공기중 금속농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(2):249-264.
5. 광영순, 백남원. 모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 중금속 농도에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(1):113-131.
6. 박동욱, 백남원. 업종별 공기중 납입자의 입경별 분포특성에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1995;5(2):160-171.
7. 김준연 등. 연 착화제 투여와 작업환경 개선후 혈중 연 및 ZPP의 변동. 중양의학 1994;59(9):101-110.
8. 김창영. 연 취급 노동자의 연 폭로 수준 및 혈중 Zinc Protoporphyrin 농도. 한국환경위생학회지 1991;17(1):95-103.
9. 오세민 등. 일부 요업사업장의 분진, 결정형 유리규산 및 납의 폭로에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(2):168-179.
10. 최재욱 등. 일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지 2010;20(1):10-18.
11. 박창환 등. 재생 납 생산 공장과 인근 지역의 공기 중 납 농도 수준 비교. 한국산업보건학회지 2019;29(1):34-41.
12. 구동철 등. 제강공장 고철 용해공정 근로자의 납 노출실태. 한국산업위생학회지 2013;23(2):164-168.
13. 최승현 등. 축전지 사업장에서 공기 중 납 농도의 변화에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2007;17(4):261-271.
14. 김창윤 등. 축전지공장 근로자들의 혈중 연농도에 대한 코호트 관찰. 예방의학학회지 1990;23(3):324-337.

3) 주요 변수 별 납 농도 추정

문헌마다 납 농도를 보고하는 방법이 다르다. 일부 자료에서는 산술평균만 기재된 자료가 존재하고, 일부 자료에서는 기하평균/기하표준편차가 작성되어 자료의 통합 분석을 위해 대푯값을 사용해야 했다. JEM에 의해 유해인자의 인체 흡수와 노출 부하량(body burden)을 잘 나타내는 지수는 기하평균보다는 산술평균으로 알려져 있다(Seixas, Robins et al., 1988). 따라서 본 연구에서도 납 노출 수준을 문헌 보고 자료의 통합 평가를 위해 추정된 산술평균(AM_EST)을 사용하였다.

문헌에서 산술평균 농도를 나타내지 않는 경우 다음과 같은 방법으로 추정 산술평균(AM_EST.)을 계산 하였고, 최종 선정 기준은 1) 문헌에서 보고된 산술 평균, 2) 최소-최대값을 이용한 추정값(AM_EST2), 3) 기하평균과 기하표준편차로 추정값(AM_EST1)의 우선순위에 의해 선정하였다.

- 문헌에서 기하평균과 기하표준편차만 보고한 경우, 아래의 식을 이용 (Aitchison and Brown, 1963)하여 산술평균으로 변환하였다.

$$AM_EST1 = GM \times \exp[1/2 (\ln(GSD))^2]$$

- 만일 최소-최대값인 범위만 보고된 경우나 기하평균과 기하표준편차를 함께 보고한 경우는 범위에 근거하여 아래 식에 대입한 후 산술평균을 계산하였다. 최솟값과 최댓값을 대수로 변환시키고 그 중간값 (μ_L)과 대수로 변환한 최솟값과 최댓값의 차이를 4로 나눈 값 (σ_L^2)을 구하여 아래 식에 대입하여 산술평균으로 나타내었다.

$$AM_EST2 = \exp[\mu_L + 1/2 \sigma_L^2]$$

- 동일 변수(예: 업종, 공정 등)에 대해 여러 문헌에서 보고된 자료의 통합

분석을 위해서 각 보고된 문헌의 시료 수가 다르기 때문에 시료 수를 가중한 가중산술평균(Weighted Arithmetic Mean, WAM)을 아래 식과 같이 계산하였다.

$$WAM = \frac{(N_1 \times AM_1) + (N_2 \times AM_2) + \dots + (N_n \times AM_n)}{N_t}$$

여기서 N=시료 수, AM=산술평균, Nt=총 시료 수이다.

4) 산업, 공정, 연도별 납 농도 수준

문헌에서 보고된 자료를 한국표준산업분류 10차 개정안에 따른 표준산업 코드를 할당하여 산업별, 공정별 그리고 연도별 납 농도 수준을 정리 하였다. 세부 결과는 [부록 8]에 제시하였다. 자료 분석 결과 총 14개 문헌에서 8,305개 공기 중 납 측정 자료가 확인되었고²⁾, 표준산업 할당 결과 <표 III-7-2>와 같이 15개 산업별 시료수 가중평균 농도(WAM)가 추정되었다. 산업별 납 농도(WAM) 수준을 높은 순서 대로 비교해 보았을 때, ‘1차 금속 제조업’ (490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 가장 높았고, 다음으로 ‘일차전지 및 축전지 제조업’ (281.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘내화 비내화 요업제품 제조업’ (256.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업’ (253.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업’ (103.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘일반 목적용 기계 제조업’ (66.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘제강업’ (63.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 공기 중 납 노출기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였다.

각 산업별 보고된 납 공기 중 노출농도 시료 수를 비교하면, 전체 시료 수의 80%(6,635개)가 ‘일차전지 및 축전지 제조업’ 에서 조사되었고, 전체 시료 수의 15%(1,256개)는 ‘연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업’ 자료로 전체 시료 수 중 95%가 이 두 업종에서 조사되었다. 특히 이 두 업종에서 조사된 시료 들은 각각 1987년 - 2006년, 1988년 - 2018년 등 연도별 변화 경향 파악이 가능하였다.

전체 시료를 활용하여 각 조사 연도별 WAM 농도를 비교하면 [그림 III-7-1] 과 같이 1981년부터 2018년까지 매년 약 13.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 감소하는 추세를 보였고($R^2=0.445$), 2000년 이후 노출기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하의 WAM 농도가 확인되었다. 그러나 이는 15개의 산업 자료가 혼합된 것이기 때문에 보다 동질적인 동일 산업의 유사 사업장을 대상으로 연도별 관찰된 자료에 대한 비교가 필요하다. 이

2) 분석 대상 문헌 중 정경석(1987, Ref. No. 3) 논문에서는 시료 수 정보가 없고 산술평균, 최소값, 최대값만 제시되어 있어 시료 수는 최소 3개 이상이라고 보아 N=3으로 간주하여 분석하였 음.

에 연도별 추이 변화 분석이 가능한 두 개 업종(‘일차전지 및 축전지 제조업’, ‘연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업’)의 자료만 비교한 결과 [그림 Ⅲ-7-2]와 [그림 Ⅲ-7-3]과 같이 각각 $22.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($R^2=0.4884$), $58.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($R^2=0.7589$) 씩 매년 감소하는 것으로 나타났다.

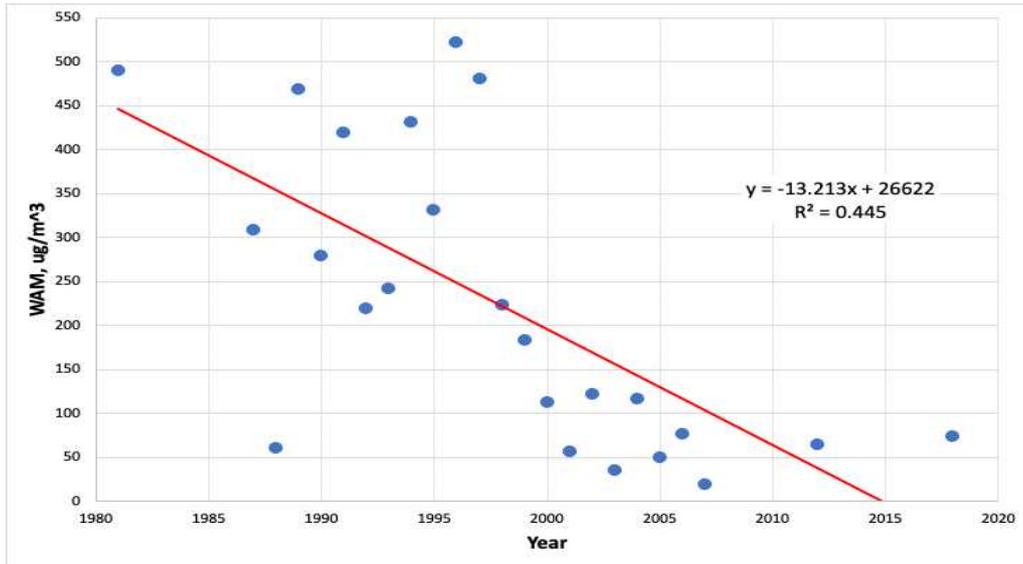
향후 이러한 연도별 납 농도 감소 추이 분석 결과를 활용하여 과거 농도 추정에 활용 가능할 것이다. 그러나 문헌 연구 자료를 기반으로 구축된 JEM은 15개 업종에 국한되어 있어 측정자료를 이용한 JEM이 131개 업종인 것과 비교할 때 활용범위가 좁은 한계가 있다.

<표 III-7-2> 산업별 납 가중산술평균 농도 비교(14개 문헌자료 분석)

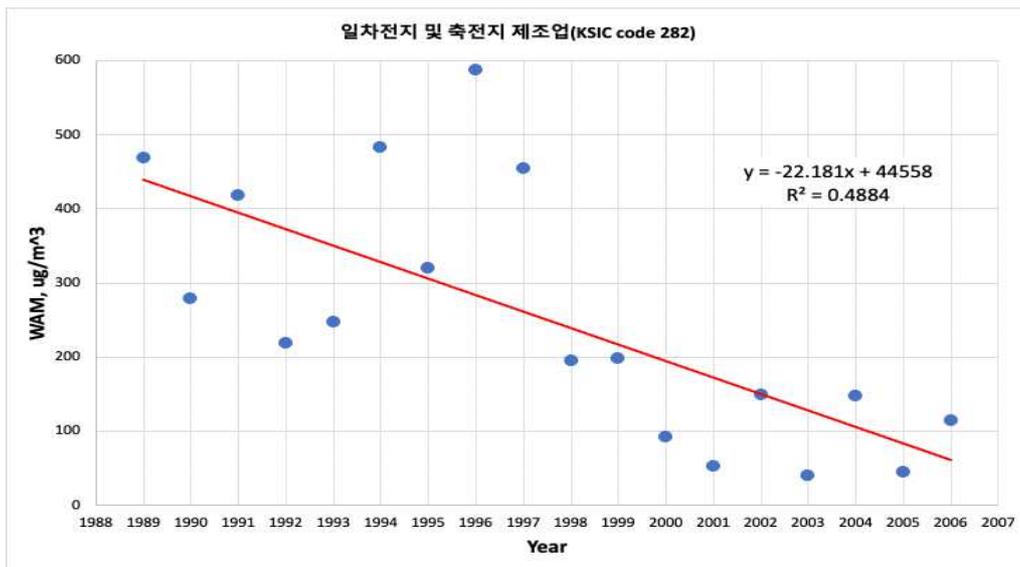
조사년도	산업 명(KSIC 10차 개정안)	KSIC code	공 정	N	WAM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	시료유형	Ref No.
1981	1차 금속 제조업	24	금속 제조	3	490.0	지역	3
1987-2006	일차전지 및 축전지 제조업	282	납 축전지 제조, casting, lead powder 생산, plate pasting, hydro-setting, assembly	6635	281.6	개인, 지역	6,8,13,14
1994	내화, 비내화 요업제품 제조업	232	Glaze spraying	10	256.3	개인	9
1988, 1994-2007, 2018	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	24213	Preparation, casting, dismantling, smelting, refining, litharge 제조	1256	253.0	개인, 지역	6,8,10,11
1992-1994	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	2013	안료, 염료 제조	36	103.1	지역	7
1994	일반 목적용 기계 제조업	291	Assembling(Brazing)	6	66.0	개인	4
2012	제강업	24112	용해	100	63.7	개인, 지역	12
1994	1차 철강 제조업	241	Plating	5	40.8	개인	4
1994	자동차용 엔진 및 자동차 제조업	301	Welding, plating, brazing	60	26.7	개인	4
1994	산업용 난방보일러 및 방열기 제조업	25121	방열기 제조	43	25.2	개인	6
1994	가정용 기기 제조업	285	assembling(Welding)	20	18.2	개인	4
1994	그 외 기타 운송장비 제조업	319	Welding	5	15.0	개인	4

1996	선박 및 보트 건조업	311	대조립, 소조립 (Welding)	81	11.6	개인	5
2003	자동차 신품 부품 제조업	303	Assembly, printing, surface processing, drying	37	0.8	개인	1
2004	병원	861	방사선 종양학과 공작실	8	0.4	지역	2

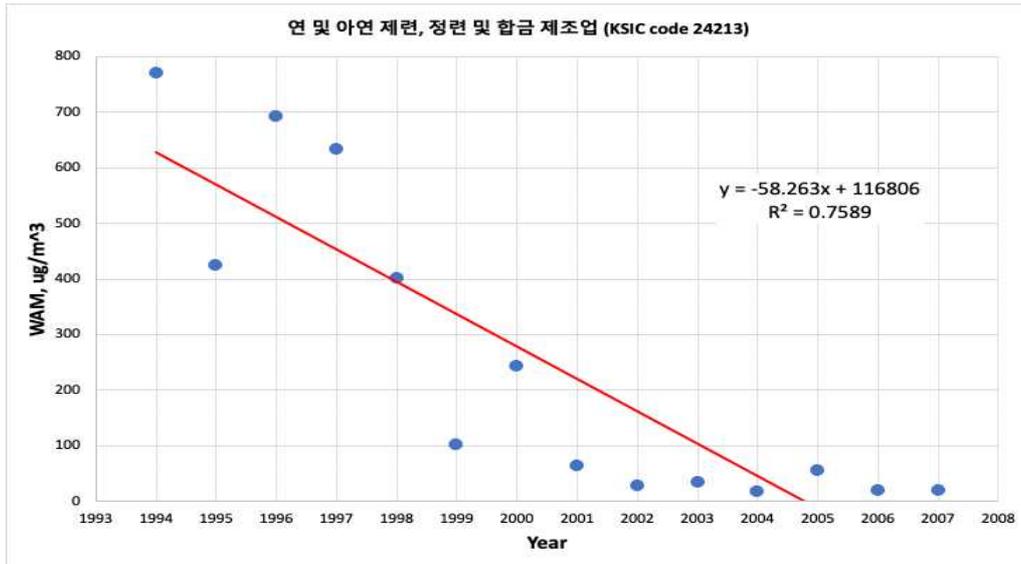
* WAM : 시료 수 가중산술평균(weighted arithmetic mean)



[그림 III-7-1] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(15개 산업, N=8,305).



[그림 III-7-2] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(일차전지 및 축전지 제조업, N=6,519).



[그림 III-7-3] 문헌에 보고된 공기 중 납 농도의 연도별 변화(연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업, N=1,172).

IV. 결론 및 제언

직업성 질환의 역학연구에 있어 관련 유해인자에 대한 과거 노출 추정은 중요한 영역이다. 또한 국가 차원에서 노동자들이 노출 가능한 유해인자에 대해 어떤 산업과 공정, 직업에서 연도별 노출 수준이 어떠한지를 파악할 수 있는 국가 노출감시체계는 산업보건 정책 수립과 직업성 질환의 예방을 위해 매우 중요하다. 본 연구에서는 이러한 역학연구와 국가노출감시체계의 중요한 영역인 과거 노출 추정이 가능한 JEM을 구축하는 체계 개발을 하고자 하였다. 이를 위해 국외 관련 선행 연구 사례 조사와 산업안전보건법에 의해 수행되고 축적되고 있는 작업환경측정 자료와 특수건강진단 자료를 활용한 JEM 구축 방법에 집중하였다. 특히 남의 2015년, 2016년 측정/특검 자료를 활용하여 시범적인 JEM 구축을 시도하며 JEM 구축 체계 개발을 모색하였고 측정자료를 활용한 JEM 구축단계에 대한 매뉴얼을 [부록 9]에 정리하였다.

국외 선행 사례는 4개 국가의 시스템(핀란드 FINJEM, 캐나다 CANJEM, 독일 MEGA, 프랑스 COLCHIC/SCOLA)에 주목하여 고찰하였다. 핀란드의 FINJEM은 과거 구축해 놓은 국가차원의 정량적 노출자료와 설문조사에 의한 서베이 자료, 그리고 전문가 판단에 의한 정성적 노출자료를 통합하여 84개의 유해인자에 대해 311개의 직업군에 대한 노출분율(prevalence)과 노출수준(intensity)을 1945년부터 2000년대까지 파악할 수 있도록 구축하였고, 역학연구와 국가노출감시체계로 활용해 오고 있었다. FINJEM의 방법론을 기초로 캐나다에서는 258개의 유해요인에 대한 노출 가능성과 노출빈도, 노출강도 등을 파악할 수 있는 CANJEM을 만들고 인터넷을 통해 공개된 프로그램을 만들어 운영해 오고 있다. CANJEM은 정량적 노출평가 자료에 기초하지 않고 과거 몬트리올 지역에서 수행되어온 4개의 역학연구 때 마다 전문가들에 의해 조사대상 집단의 직무, 공정, 작업환경 등의 정보에 기초한 정성적 판단에 기초하여

JEM을 구축하였다는 것이 특징적이다. 반면 독일과 프랑스는 우리나라의 작업환경측정 제도와 동일하진 않지만 정량적 노출평가 자료들을 국가 차원에서 데이터베이스화하고 관리해 오고 있다는 특징이 있다. 이를 위해 정량적 노출평가 자료에 대한 행정정보(시료 채취 년도, 조사기관, 표준산업분류 등), 측정조건(측정일자, 측정방법, 측정시간, 측정관찰정보 등), 노출조건(작업장 유형, 환기상태 등), 분석조건(분석방법) 등을 표준화된 방법으로 수집분류 하는 작업이 필수적이었다.

국의 선행사례를 검토하며 우리나라의 JEM 구축에 활용 가능한 노출평가 자료로서 작업환경측정 자료는 매우 활용도가 높다고 판단되었다. 2002년부터 현재까지 매년 약 4-5만개의 사업장을 대상으로 190여종의 화학적 유해인자에 대한 정량적 노출평가 자료가 축적되고 있기 때문이다. 본 연구에서는 납의 2015년과 2016년 측정 자료를 활용하여 시범적으로 JEM 구축을 시도한 결과 총 131개 중분류의 표준 산업(3-digit)과 신뢰도가 검증된 공정별 납 노출수준 분석을 통해 총 274개의 업종-공정 군에 대한 JEM을 시범구축 하였다. 납에 대한 기존 연구문헌을 기반으로 총 14개 문헌으로부터 8,305개 납 공기 중 노출자료를 활용하여 15개 표준산업에 대한 JEM을 만들 수 있었다. 납 문헌자료와 작업환경측정자료를 이용한 JEM을 비교해 볼 때, 문헌 자료에서는 연구가 이루어진 업종 수가 매우 적기 때문에 활용범위가 적어 향후 측정자료를 이용한 JEM 구축의 활용도가 더욱 크다고 하겠다.

이상의 연구 수행 과정과 결과에 기초할 때 다음과 같은 제한점과 추가 연구 과제를 정리할 수 있다.

첫째, 국외 선행사례 검토에서도 확인되었듯이 방대한 정량적 노출자료의 활용도를 높이기 위해서는 자료의 핵심 노출변수(산업, 공정, 직업, 직무 등)에 대한 클리닝과 표준화가 필요하였다. 현재 작업환경측정 자료가 갖고 있는 핵심 노출변수는 산업과 공정이라고 할 수 있으며, 직업과 직무에 대한 정보는 수집되지 못하고 있는 한계가 있다. 따라서 측정자료의 JEM 활용도를 높이기 위해

서는 산업-공정의 연계된 노출정보를 활용해야 한다. 이를 위해 정확하고 표준화된 공정 정보는 매우 중요하다. 2019년 이전까지 공정 정보는 안전보건공단에서 제시하고 있는 5자리 표준공정코드(총 1392개)에 의해 입력되고 있는데, 세부 유사 공정명이 너무 많고, 각 공정코드에 대한 설명이 부족하여 측정기관에서 기타 공정 코드로 입력하는 경우가 많아 공정코드에 대한 재분류와 정확도 검증이 필요하였다. 이에 본 연구에서는 기존 5자리 코드 1392개를 2자리 코드 36개로 재분류할 수 있었고(공정 표준화1), 이렇게 재분류된 코드의 정확도 검증을 위해 측정기관이 측정 시 수집된 정보를 서술식으로 입력한 ‘공정명’과 ‘단위작업장소’ 정보에 기초하여 ‘자동코딩방식’의 알고리즘에 의해 재 코딩(공정 표준화2)한 후 공정 표준화1과 표준화2를 비교하여 일치도 확인을 통해 정확도를 평가하였다. 납 측정자료에 적용해 본 결과 전체 자료의 48%(23,615/47,575)는 공정 정보의 정확도가 높다고 확인되었고, 20.2%(9605/47575)는 기관의 입력 정보가 부족하여 자동코딩방식에 의해 표준 공정 할당이 불가능하였다. 그리고 자료의 30% 정도는 공정 표준화1과 표준화2의 차이를 보이는데, 보다 정확한 공정명을 확인하기 위해서는 전문가의 검토가 추가적으로 필요하였다. 그러나 전문가가 수작업으로 검토하기에는 자료의 수가 많을수록 불가능하기 때문에 다빈도 코드 우선 할당 등 보다 정교한 머신러닝 방식을 활용해 볼 필요가 있으며, 이는 추가 연구가 필요한 영역이다.

둘째, 향후 작업환경측정 자료와 특수건강진단 자료의 연계 분석을 위해서는 특수건강진단 자료의 공정 정보도 표준화가 필요하다. 특수건강진단 자료의 경우 공정명이나 단위작업장소 정보는 부족하며, 부서명 정보와 업종, 주생산품 등의 정보를 고려한 공정자동할당방식을 적용한 추가 연구가 필요하다.

셋째, 공정자동할당방식을 통한 공정 표준화 결과의 정확도를 더욱 높이기 위해서는 표준 공정코드에 대한 설명 자료의 정확도가 중요하다. 이를 위해서는 각 공정코드별 정확한 공정 설명자료들을 수집 정리하여 해당 공정코드를 규명할 수 있는 기준 핵심어(key words) 라이브러리를 만들어야 하며, 업종/공

정에 대한 표준화 관련 기존 연구자료들을 활용하여 핵심어 라이브러리를 만들 수 있을 것이며, 이는 추가 연구가 필요하다.

넷째, 작업환경측정 자료와 특수건강진단 자료의 연계 분석이 가능할수록 역학연구 및 국가노출감시체계로서의 활용도가 높은 JEM 구축이 가능하다. 이를 위해서는 두 자료에 공통적인 노출 변수가 함께 수집될 수 있어야 한다. 현재 ‘직업’에 대한 정보는 측정자료에서는 수집되지 못하고 있고, 특수건강진단 자료에서만 수집되고 있다. 이러한 불일치를 극복하고 보다 활용도 높은 JEM 구축을 위한 측정/특검 제도의 자료 수집 정보에 대한 검토와 제도 개선이 필요하다고 판단되며, 향후 각 제도에서 보완되어야 할 노출 관련 정보에 대한 추가 연구가 필요하다.

이상의 향후 연구과제 중 차 년도에 가장 우선적으로 수행되어야 할 연구 내용과 방향을 요약하면 다음과 같다.

- 공정 표준화 보완 : 표준 공정코드 중분류(2-digit)의 분류 정확도 검토와 표준 공정코드의 특성을 규정하는 핵심어 라이브러리를 보완하여 공정 표준화의 정확도를 높이하고자 하며, 전문가 추가 판단이 필요한 자료에 대한 표준화 방안을 보완하고자 함.
- 측정/특검 자료의 산업-공정 연계 : 측정자료에 대한 공정 표준화 방안을 특검 자료에도 적용하여 표준화 한 후 측정/특검 자료의 산업(3SIC)-공정(2SWP) 단위의 연계 분석을 실시하고자 함.
- 타 물질 확대 적용 : 1차년도 공정 표준화 방법을 바탕으로 납의 2015년 이전 년도로의 확대 및 다른 유해인자에 대해서도 동일한 JEM 구축 방법론으로 적용하여 방법론의 타당성을 평가하고자 함. 우선 유기용제 류 중 측정건수가 많은 톨루엔을 대상으로 적용하고자 함.
- 측정/특검 자료에 활용 가능한 직종 표준화 방안을 모색하고자 함.

참고문헌

- 강용선 등. 금속제품 제조 산업장내 공기중 금속농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(2):249-264.
- 곽영순, 백남원. 모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 중금속 농도에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(1):113-131.
- 구동철 등. 제강공장 고철 용해공정 근로자의 납 노출실태. 한국산업위생학회지 2013;23(2):164-168.
- 김정호 등. 공작실에서 실내 및 작업종사자의 중금속 오염도에 관한 고찰. 대한방사선치료학회지 2005;17(2):87-94.
- 김준연 등. 연 착화제 투여와 작업환경 개선후 혈중 연 및 ZPP의 변동. 중앙의학 1994;59(9):101-110.
- 김창영. 연 취급 노동자의 연 폭로 수준 및 혈중 Zinc Protoporphyrin 농도. 한국환경위생학회지 1991;17(1):95-103.
- 김창윤 등. 축전지공장 근로자들의 혈중 연농도에 대한 코호트 관찰. 예방의학회지 1990;23(3):324-337.
- 박동욱, 백남원. 업종별 공기중 납입자의 입경별 분포특성에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1995;5(2):160-171.
- 박성준 등. 경주지역 자동차 부품제조업의 공정별 작업환경실태에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2005;15(2):90-103.
- 박창환 등. 재생 납 생산 공장과 인근 지역의 공기 중 납 농도 수준 비교. 한국산업보건학회지 2019;29(1):34-41.
- 오세민 등. 일부 요업사업장의 분진, 결정형 유리규산 및 납의 폭로에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(2):168-179.

- 이상길, 김은아, 이경은, 엄희수, 신무영, 윤민주, 전교연. 빅데이터를 활용한 직업성 질환 코호트 구축. 산업안전보건연구원. 2018
- 이상길, 이경은, 윤민주, 성정민, 전교연, 신무영. 빅데이터를 활용한 직업성 질환 코호트 운영. 산업안전보건연구원. 2019
- 정경석. 금속제조산업노동자들의 건강실태 조사. 한국환경위생학회지 1982;8(1):67-80.
- 최승현 등. 축전기 사업장에서 공기 중 납 농도의 변화에 관한 연구. 한국산업 위생학회지 2007;17(4):261-271.
- 최재욱 등. 일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 변화. 한국 산업위생학회지 2010;20(1):10-18.
- Aitchison J, Brown J. The lognormal distribution. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1963. 8 p.
- BGIA - Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance. BGMG - Measurement system for exposure assessment of the German Social Accident Insurance Institutions. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)Mittelstraße 51, 10117 Berlin. 2009
- Chung D, Yang R, Verma, D.K, Luo J. Retrospective Exposure Assessment for Occupational Disease of an Individual Worker Using an Exposure Database and Trend Analysis. J Occup Environ Hyg. 2015;12(12):855-65. doi: 10.1080/15459624.2015.1072630.
- Gabriel S. The BG measurement system for hazardous substances (BGMG) and the exposure database of hazardous substances (MEGA). Int J Occup Saf Ergon 2006;12(1):101-104
- Hoar SK, Morrison AS, Cole P, Silverman DT. An occupation and exposure

linkage system for the study of occupational carcinogenesis. JOM 22(11):1980:722-726

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;58(3):380-396

Koh et al., 2015) Occup Environ Med. 2015 Jun;72(6):421-7

Meffer K, Stamm R. The GESTIS chemical information system: A case study. In: Encyclopaedia of occupational health and safety, JM Stellman, Ed., ILO, Geneva. 1997:61.23-61.26

Park J., Ramachandran G., Raynor P.C., Eberly L.E., Olson G. Comparing Exposure Zones by Different Exposure Metrics Using Statistical Parameters: Contrast and Precision, *The Annals of Occupational Hygiene*, Volume 54, Issue 7, October 2010, Pages 799-812, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq043>

Partanen T, Kauppinen T, Nurminen M, Nickels J, Hernberg S, Hakullnen T, Pukkala E, Savonen E. Formaldehyde exposure and respiratory and related cancer: A case-reference study among Finnish woodworkers: Scandinavian Journal of Work Environmental and Health 1985;11:409-415

Reed JV, Harcourt AK. The Essentials of Occupational Diseases. Baltimore: CC Thomas, 1941

Sahmel J, Devlin K, Paustenbach D, Hollins D, Gaffney S. The role of exposure reconstruction in occupational human health risk assessment: Current methods and a recommended framework, Critical Reviews in Toxicology, 2010;40(9): 799-843, DOI: 10.3109/10408444.2010.501052

Stamm R. MEGA-Database: one million data since 1972. Appl Occup Environ

Hyg 2001;16(2):159-163

VIOSH Australia at the University of Ballarat. International review of surveillance and control of workplace exposures : NOHSAC Technical Report5: Wellington, 2006

Abstract

Title: Estimation of past exposure for epidemiological studies of occupational diseases in Korea - JEM(Job-Exposure Matrix) system development

Objectives: The purpose of this study is to develop the JEM(Job-Exposure Matrix) system to estimate the past exposure for epidemiological studies of occupational diseases in Korea.

Methods: Four foreign countries' exposure surveillance systems (FINJEM in Finland, CANJEM in Canada, MEGA in Germany, COLCHIC/SCOLA in France) were reviewed. Using lead's work environment measurement data (WEMD) and special health examination data (SHED) collected in 2015 and 2016, we tried to create a JEM construction system by linking the two data and reviewing data characteristics. In particular, we focused on the standardization of WEMD's process information. In addition, it was attempted to create a JEM using lead literature research data.

Results: As a result of review of previous foreign JEM systems, standardization of exposure-related variables was essential in order to utilize national exposure data. Using lead's 2015 and 2016 WEMD/SHED, a JEM construction system was created and a manual was prepared through a linkage analysis of the two data and a review of data characteristics. Details of the manual are as follows. 1) Data

variable selection, 2) Analysis data selection/exclusion criteria, 3) Process standardization, 4) Process standardization result evaluation and direction of JEM use, 5) Data analysis (left-censored data processing method and data analysis method). In terms of process standardization, 1392 existing 5-digit codes could be reclassified into 36 2-digit codes(process standardization 1), and to newly assigned the process code(process standardization 2) by the algorithm of the ‘automatic coding method’ based on the information of process and workplace unit description. The accuracy was evaluated by checking the consistency by comparing process standardization 1 and standardization 2. As a result of applying it to the lead measurement data, 48% (23,615/47,575) of the total data were confirmed to have high accuracy of process information, but 20.2% (9605/47575) were not allocate standard process by the automatic coding method due to insufficient information. As a result of attempting to build a JEM using lead measurement data in 2015 and 2016, a total of 131 standard industries (3-digit) and a total of 274 industry-process JEMs were established. It was also possible to confirm the lead exposure level by 15 standard industries using data from 8,305 samples from a total of 14 peer-reviewed literature reported on the exposure concentration of lead in air. However, JEM built on the basis of literature research data is limited to 15 industries, so there is a narrow limit in the scope of application compared to that of 131 JEMs using WEMD.

Conclusion: If process standardization of WEMD and SHED was carried out, it was possible to build a JEM that could be used for

epidemiological studies.

Key words: Job-exposure matrix, Past exposure, Work environment measurement data, Process standardization

부 록

[부록 1] 혼합모형 함수 (mix.LNs)

```
##### functions defined here
mix.LNs<-function(ys, indx.LOD=NULL, prior=list(k0, mu0, alp0, bt0, alp.BT), n.mix=2,
n.itr=3000){
# ys: a vector of data to be analyzed
# indx.LOD : a vector of indicators with 1 for a LOD value and 0 otherwise
# prior : hyperparameters for prior distributions; Normal prior for the mean,
#         Gamma prior for the precision, and Beta prior for the mixture
weight(H=2)
#         k0 for a constant to control the precision of a Normal prior
#         mu0 for the mean parameter of a Normal prior
#         alp0 for the shape parameter of a Gamma prior
#         bt0 for the rate parameter of a Gamma prior
#         alp.BT for the two shape parameters of a Beta prior
# n.mix : the number of mixture components (currently it should be either 1 or 2)
# n.itr : the number of iterations for a Gibbs sampler (MCMC algorithm)

#library(truncdist)
library(truncnorm)

## prior spec.
k0<-prior[[1]]
mu0<-prior[[2]]
alp0<-prior[[3]]
bt0<-prior[[4]]
alp.BT<-prior[[5]]

org.ys<-ys                # to keep the LOD values

## initial values
mus<-rep(0, n.mix)
taus<-rep(1/10, n.mix)
```

```

ps<-0.5
if(n.mix==1){
locs<-rep(1, ns)
}else{locs<-c(rep(1,ns/2), rep(2, ns/2))
}
loc.n<-apply(matrix(locs, ns, 2)==matrix(1:2, ns, 2, byrow=2),2 , sum)

post.mus<-matrix(NA, n.itr, n.mix)
post.taus<-matrix(NA, n.itr, n.mix)
post.ps<-matrix(NA, n.itr, 1)

for (ni in 1:n.itr){
for (j in 1:n.mix){
if (loc.n[j]!=0){
post.mu<-(k0*mu0+loc.n[j]*mean(log(ys[locs==j])))/(k0+loc.n[j])
post.k<-k0+loc.n[j]
post.alp0<-alp0+loc.n[j]/2
post.bt0<-bt0+1/2*sum((log(ys[locs==j])-mean(log(ys[locs==j])))^2)+k0*loc.n[j]*(mean(log(
ys[locs==j]))-mu0)^2/(2*(k0+loc.n[j]))
}else{
post.mu<-mu0
post.k<-k0
post.alp0<-alp0
post.bt0<-bt0
}

taus[j]<-rgamma(1, shape=post.alp0, rate=post.bt0)
mus[j]<-rnorm(1, mean=post.mu, sd=1/sqrt(post.k*taus[j]))
}

if (n.mix==2){
ps<-rbeta(1, shape1=loc.n[1]+alp.BT, shape2=loc.n[2]+alp.BT)

prob.loc<-ps*dnorm(log(ys), mean=mus[1], sd=1/sqrt(taus[1]))/(ps*dnorm(log(ys),

```

```

mean=mus[1], sd=1/sqrt(taus[1]))+
  (1-ps)*dnorm(log(ys), mean=mus[2], sd=1/sqrt(taus[2]))
locs<-sapply(1:ns, function(x){rbinom(1,1,prob=1-prob.loc[x])+1})
(loc.n<-apply(matrix(locs, ns, 2)==matrix(1:2, ns, 2, byrow=2),2 , sum))
}

## to avoid a component only with LOD values
ind.only.LODs<-loc.n==apply((matrix(locs, ns, 2)==matrix(1:2, ns, 2,
byrow=2))*matrix(indx.LOD==1, ns, 2), 2, sum)
if(any(ind.only.LODs)){
locs[locs==(1:n.mix)[ind.only.LODs==T]]<-(1:n.mix)[ind.only.LODs!=T]
(loc.n<-apply(matrix(locs, ns, 2)==matrix(1:2, ns, 2, byrow=2),2 , sum))
ps<-c(1,0)[ind.only.LODs!=T]
}

## impute LOD values
if (!is.null(indx.LOD)){
#ys[indx.LOD==1]<-sapply((1:ns)[indx.LOD==1], function(x){rtrunc(1, spec="lnorm",
b=org.ys[x], meanlog=mus[locs[x]], sdlog=1/sqrt(taus[locs[x]]))})
ys[indx.LOD==1]<-sapply((1:ns)[indx.LOD==1], function(x){exp(rtruncnorm(1,
b=log(org.ys[x]), mean=mus[locs[x]], sd=1/sqrt(taus[locs[x]]))}))
}

post.mus[ni,]<-mus
post.taus[ni,]<-taus
if (n.mix==2){post.ps[ni]<-ps}
}
if (n.mix==2){
return(post.vals=list(mus=post.mus, sds=1/sqrt(post.taus), ps=post.ps))
}else{
return(post.vals=list(mus=post.mus, sds=1/sqrt(post.taus)))
}
}
}

```

```

### this function summarizes MCMC samples
post.summary<-function(post.vals, seqs){
# post.vals: a vector of MCMC samples of a parameter of interest
# seqs : which MCMC samples are used for summary statistics
tmp<-cbind(apply(as.matrix(post.vals[seqs, ]), 2, mean),
apply(as.matrix(post.vals[seqs, ]), 2, sd),
apply(as.matrix(post.vals[seqs, ]), 2, quantile, prob=0.025),
apply(as.matrix(post.vals[seqs, ]), 2, quantile, prob=0.975))
rownames(tmp)<-paste("group", 1:ncol(post.vals), sep="")
colnames(tmp)<-c("mean", "sd", "95%.low", "95%.upper")
return(tmp)
}

### this function calculates the marginal mean and variance of
### log-transformed variable from a two-component mixture model
marg.summary<-function(post.list, truth=F, seqs){
# post.list: a list including the MCMC samples (or the true value) of the mean
#           and sd of log normal distribution and the first mixture weight in order
# seqs : which MCMC samples are used for summary statistics
if (truth==T){
mus<-as.matrix(t(post.list[[1]]))
sig2s<-as.matrix(t(post.list[[2]]))^2 # convert a sd to a variance
p1s<-post.list[[3]]
}else{
mus<-post.list[[1]]
sig2s<-post.list[[2]]^2 # convert a sd to a variance
p1s<-post.list[[3]]
}

post.E.Y<-p1s*mus[,1]+(1-p1s)*mus[,2]
post.SD.Y<-sqrt(p1s*sig2s[,1]+(1-p1s)*sig2s[,2]+p1s*mus[,1]^2+(1-p1s)*mus[,2]^2-(post.
E.Y)^2)
tmp<-rbind(c(mean(post.E.Y[seqs]), sd(post.E.Y[seqs]), quantile(post.E.Y[seqs],
prob=c(0.025, 0.975))),

```

```
c(mean(post.SD.Y[seqs]), sd(post.SD.Y[seqs]), quantile(post.SD.Y[seqs], prob=c(0.025,
0.975))))
rownames(tmp)<-c("E.Y", "SD.Y")
colnames(tmp)<-c("mean", "sd", "95%.low", "95%.upper")
return(tmp)
}
```

```
##### the functions end here
```

[혼합모형 예 함수 (example of mix_LNs 070720.R)]

```
rm(list=ls())
library(EnvStats)
source("Y:/Sangjoon Choi/JEM/mix_LNs 070720.R")
## a mixture of log normals
## true values
tr.mus<-c(log(1), log(3))
tr.sds<-c(log(1.4), log(4))
tr.p1<-0.7 # set tr.p1=1 for a single lognormal
## LODs at lower 20% probs.
LODs<-c(qlnorm(0.2, meanlog=tr.mus, sdlog=tr.sds))

## prior spec.
k0<-0.01 #constant to contol the precision of a Normal prior
mu0<-0 #mean parm of a Normal prior
alp0<-0.1 #shape parm of a Gamma prior
bt0<-0.1 #rate parm of a Gamma prior
alp.BT<-1 #parm of a Beta prior
nitr<-2000
post.seq<-seq(500, nitr, by=5)

## generate data
ns<-300

set.seed(101)
tr.loc<-rbinom(ns, 1, prob=1-tr.p1)+1
tr.ys<-rlnorm(ns, meanlog=tr.mus[tr.loc], sdlog=tr.sds[tr.loc])
yval<-tr.ys
indx.LOD<-rep(0, ns)
## differenct LODs for subgroups, one for each.
```

```
for (j in 1:2){
  indx.LOD[(tr.loc==j)&(tr.ys<=LODs[j])<-1
  yval[tr.loc==j][tr.ys[tr.loc==j]<=LODs[j]]<-LODs[j]
}

# number of LODs
sum(indx.LOD)

### analysis with LODs
# single Log-normal model
fit1<-mix.LNs(yval, indx.LOD=indx.LOD, prior=list(k0, mu0, alp0, bt0, alp.BT),
n.mix=1, n.itr=nitr)
# mixture of two Log-normals
fit2<-mix.LNs(yval, indx.LOD=indx.LOD, prior=list(k0, mu0, alp0, bt0, alp.BT),
n.mix=2, n.itr=nitr)
# mle method
fit.mle<-elnormCensored(yval, indx.LOD, "mle")$parameters
# regression on order statistics (equivalent to the log-probit regression in the slide)
fit.ros<-elnormCensored(yval, indx.LOD, "ROS")$parameters

## component specific results
(rest.fit1.mus<-post.summary(fit1$mus, post.seq))
(rest.fit2.mus<-post.summary(fit2$mus, post.seq))
(rest.fit1.sds<-post.summary(fit1$sds, post.seq))
(rest.fit2.sds<-post.summary(fit2$sds, post.seq))

## marginal results
mus.rep<-c(rest.fit1.mus[1],
marg.summary(fit2, seqs=post.seq)[1,1],
fit.mle[1],
fit.ros[1])

sds.rep<-c(rest.fit1.sds[1],
```

```
marg.summary(fit2, seqs=post.seq)[2,1],  
fit.mle[2],  
fit.ros[2])
```

```
# calculate the true marginal mean and standard deviation  
tr.parms<-marg.summary(list(tr.mus, tr.sds, tr.p1), truth=T, seqs=1)[,1]
```

```
## bias  
mus.rep-tr.parms[1]  
sds.rep-tr.parms[2]
```

[부록 2] K2B 표준공정 코드 재 분류 - 공정 표준화1

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
1	10	준비, 지원, 부속	100	준비, 지원, 부속	1000	표식, 마킹, 준비	10000-10009	준비, 도장준비, 표식, 마킹, 금긋기, 현도, 기타표식, 레이저마킹, 압인, 지원운영	10009(지원운영)
					1001, 1002	지원, 부속, 공정	10010-10023	원료입고, 부원료입고, 중간재입고, 기타원료, 공무, 영선, 공작, 보일러실, 동력실, 콤프레셔실, 실험실, 기계실, 제어실, 청소	10020(실험실) 10021(기계실) 10022(제어실) 10023(청소)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	12	주입, 삽입, 첨가, 충전	120	주입, 삽입, 첨가, 충전	1200-1206	주입, 삽입, 첨가, 충전	12000-12061	투입, 삽입, 자동삽입, 수동삽입, 압입, 기타삽입, 기관삽입, 핀삽입, 주입, 자동주입, 수동주입, 가스주입, 그리스주입, 내화제주입, 수은주입, 전해액주입, 절연물주입, 이온주입, 기타주입, 투입, 불투입, 용기투입, 에폭시투입, 우레탄투입, 기타투입, 장입, 충전, 자동충전, 수동충전, 냉매충전, 도료충전, 절연유충전, 질소충전, 캡셀충전, LPG충전, MgO충전, 합제충전, 기타충전, 전기충전, 겔부극충전, 기타전기충전, 첨가, 가당, 가수, 가염, 가황, 부재료첨가, 사라다유첨가, 색소첨가, 수소첨가, 시럽첨가, 아황산첨가, 유당첨가, 중국첨가, 촉매첨가, 촉매반응, 주유, 기타첨가, 흡입, 흡인, 흡수, 기타흡입	12055(촉매반응) 12058(흡입) 12059(흡인) 12060(흡수) 12061(기타흡입)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	13	용해	130	용해	1300-1302	용해	13000-13029	용해, 알루미늄용해, 주석용해, 코발트용해, 납용해, 아연용해, 합금용해, 기타용해, 가스로, 고로, 고주파로, 고주파전기유도, 고주파유도용해, 용해로, 노, 도가니로, 로타리용해로, 머플로, 반사로, 아크가마, 아크로, 용선로, 큐폴라, 저주파유도용해, 저주파유도전기, 전기가마, 전기로, 전로, 평로, 기타용해로	
	14	주조	140	주조	1400-1402	주조	14000-14028	주조주물, 주물사주조, 다이캐스트, 금형주조, 원심주조, 원심성형, 저압주조, 로스트왁스주조, 흄몰드주조, 쇼주조, 연속주조, 진공주조, 쉘주조, 기타주조, 정밀주조, 주강수동, 조형(기계작업), 조형(수작업), 후란조형, CO2중자조형, 기타조형, 합형, 탈형, 형해체, 모래처리, 사처리, 탈사, 가우징, 기타주물	
	15	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	150	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	1500-1501	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	15000-15011	압연압출, 냉간압연, 열간압연, 기타압연, 인발, 인발교정, 방사, 압출, 전조, 신선, 습식신선, 연선	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	16	절단, 재단, 절곡	160	절단, 재단, 절곡	1600-1604	절단, 재단, 절곡	16000-16042	절단절곡, 가스절단, 레이저절단, 슛돌절단, 와이어절단, EMD절단, 가위절단, 띠톱절단, 프라스마절단, 프레스절단, 슬리팅, 전단, 샤링, 면대절단, 단절, 면취, 테두리가공, 목재절단, 기타절단, 가죽재단, 고무판재단, 종이재단, 골판지재단, 옷감재단, 유리재단, 제갑재단, 휠트재단, 기타재단, 방열포재단, 수동커팅, 유동절단, 자동커팅, 재단, 절선, 카타(N/C), 커팅, 커팅(V), 파이프절단, 브랭킹, 절곡, 기타절곡, 용단, 곡직	
	17	단조	170	단조	1700, 1701	단조	17000-17010	단조, 냉간단조, 열간단조, 자유단조, 형단조, 특정, 헛다, 세심, 스웨이징, 기타단조, 열간업셋팅	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	18	연마	180	연마	1800-1803	연마	18000-18035	연마, 다듬질, 사상, 세이빙, 트리밍, 슈퍼피니싱, 호우닝, 랩핑, 샌딩, 출작업, 브러싱, 샌드페이퍼, 광택연마, 바렐연마, 버프연마, 버핑, 빠우연마, 벨트연마, 에머리연마, 전해연마, 화학연마, 습식연마, 건식연마, 재연마, 분사연마, 쇼트블라스팅, 쇼트, 기타연마, 대물연마, 랏찌연마, 마정, 바루, 진동바렐연마, 홈연마, 회전바렐연마, R 연마	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	19	성형, 가공	190	성형, 가공	1900-1912	성형, 가공	19000-19126	<p>성형, 발포, 예비발포, 약품발포, 우레탄발포, 기타발포, 발포접착, 제관, 관성형, 제정, 기타연삭, 압축, 엠보싱가공, 절삭, 스카이빙절삭, 황삭, 기타절삭, 평면연삭, 원통면연삭, 내면연삭, 센타레스연삭, 브로칭절삭, 선반가공, 선삭, 밀링, 평삭, 세이핑, 초음파가공, 사이드밀링, 금구가공, 기계가공, 기계가공 & A/S, 기타가공, 기초가공, 톱날가공, 방전가공, 타출판금가공, CNC가공, N/C가공, MCT가공, 모따기, 홈파기, 머리내기, 구부, 구활, 구활카트, 나사작업, 나선, 내경확대, 다축드릴, 두곡, 두타, 뒤집기, 라운드엿찌, 라운드캇타, 라찌, 미각기, 배면, 배면캇타, 배환기, 병절, 봉공처리, 비틀림, 손목말이, 스트렌다, 양면가공, 어깨프레스, 액기생, 자동뜨임, 전용기가공, 접기, 정밀가공, 좌활, 좌활편치, 추리기, 코너R, 포밍/절단, 허브가공, 홀작업, 홈소재, 후가공, 압축성형, 압출성형, 사출성형, 카렌더가공, 트랜스퍼성형, 적층성형, 취입성형, 진공성형, 강화플라스틱성, 도자기성형, 슬립, 세부형태잡기, 식품압출성형, 펠렛성형, 후레이크성형, 프레스성형, 비드성형, 트레이드성형, 재생형, 기타성형, 망사절곡, 성형/용접, 열성형, 예비성형, 정형, 천공, 편칭, 리벳팅, 보링, 드릴링, 피어싱, 태핑, 롤링/탭핑, 탭핑, 스템핑, 권선, 정리, 정열, 권선, 와인딩, 철심권선, 동선감기, 테이프감기, 실감기, 리와인딩, 기타권선</p>	19010(기타연삭)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
2	21	용접, 납땀	210	용접, 납땀	2100-2104	용접, 납땀	21000-21042	용접, 납땀, 인두납땀, 디핑납땀, 자동납땀, 경납땀, 은납땀, 주석땀, 솔더링, 기타납땀, 가스용접, 전기용접, 아크용접, 피복아크용접, MAG용접, CO2아크용접, MIG용접, 아크스터드용접, 서브머지드아크, TIG용접, 플라즈마아크용, 원자수소용접, 전자빔용접, 레이저용접, 테르밋용접, 그라비티용접, 아르곤용접, 저항용접, 스폿용접, 시임용접, 고주파용접, 압접, 초음파용접, 단접, 가접, 취부, 기타용접, 로봇용접, 마찰용접, 병접, 브레이징용접, 프라즈마용접, 황동용접	
	22	접착, 부착	220	접착, 부착	2200-2202	접착, 부착	22000~22022	접착, 본딩, 풀칠, 열접착, 롤라접착, 고주파접착, 임펄스식접착, 프레스접착, 고무접착, 핫멜트접착, 테이프접착, 손접착, 기타접착, 유착, 접합, 진동용착, 부착, 감피부착, 스프링부착, 문짝부착, 장식부착, 합판부착, 기타부착	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	23	조립	230	조립	2300-2304	조립	23000-23040	조립, 골조조립, 나사조립, 리벳조립, 노즐조립, 마그네트조립, 모타조립, 반도체조립, 배선조립, 배관조립, 밸브조립, 배터리조립, 볼조립, 볼펜조립, 브라켓조립, 샤프조립, 선체조립, 탑재, 블럭조립, 스프링조립, 실드케이스조립, 아템타조립, 안정기조립, 엔진조립, 의장조립, 차체조립, 철선조립, 카트리리지조립, 캐핑, 타가조립, 파이프조립, 핀조립, 재조립, 기타조립, 기타조립, 도아심, 레바조립, 리저버조립, 밸브탈착, 부품조립, 장착(CAB)	
	24	열처리	240	열처리	2400-2402	열처리	24000-24020	열처리, 연소, 연소, 소성, 하소, 기타연소, 담금질, 템프링, 소려, 뜨임, 배소, 소결, 소둔, 질화, 침탄, 표면경화, 표면담금질, 풀림, 분말야금, 재열처리, 기타열처리	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	25	도금	250	도금	2500-2503	도금	25000-25034	도금, 구리도금, 금도금, 납도금, 니켈도금, 니켈-철도금, 아연도금, 은도금, 주석-납도금, 주석도금, 주석-아연도금, 주석-코발트도금, 철도금, 카드뮴도금, 크롬도금, 화학구리도금, 화학니켈도금, 황동도금, 아연용융도금, 무전해도금, 플라스틱도금, 다크로도금, 건식진공도금, 전해크로메이트, 크로메이트처리, 활성화, 정면, 기타도금, 동스트라이크, 아노다이징, 알루미늄, 양극산화법, 아연바렐도금, 청화동도금, 인산염피막처리	
	26	도장, 코팅	260	도장, 코팅	2600-2603	도장	26000-26039	도장도포, 도형제 도포, 칠솔도장, 분무도장, 스프레이도장, 액체도장, 정전도장, 침지도장, 함침, 롤러도장, 부동도장, 분체도장, 전착도장, 자동도장, 기타도장, 프라이머도장, 중간도장, 상도도장, 내화도장, 방청도장, 기타도장, 도포, 고무도포, 방수도포, 이형제도포, 그리스도포, 수지도포, 색칠, 감광액도포, 바니쉬도포, 연반죽도포, 형광물질도포, 플렉스도포, 기타도포, 옥내도장, 옥외도장, 프레임도장, 코팅, 왁스처리, 유약처리	26037(코팅)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
					2604-2606	코팅	26040-26064	유화제처리, 정전기방지처리, 침투제처리, 효소처리, 흑화처리, 기타처리, 바니쉬코팅, 점착제코팅, 수지코팅, 실리콘코팅, 에폭시코팅, 오일코팅, 왁스코팅, 형광액코팅, UV코팅, 코일코팅, 피복, PVC피복, 기타코팅, 내부코팅, 언더코팅, 자동코팅, 코팅(Z), 탑코팅, 테프론코팅	
	27	기타 표면 처리	270	기타 표면 처리	2700, 2701	기타 표면 처리	27000-27010	기타표면처리, 방청, 부식, 방식, 식각, 증착, 착색, 금착색, 스퍼터링, 양극산화, 이온플레이팅	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	28	세척, 제거	280	세척, 제거	2800-2807	세척, 제거	28000-28072	세척제거, 가스제거, 골피제거, 꼭지제거, 내장제거, 녹제거, 방혈, 버제거, 비닐제거, 석회염제거, 슬랙제거, 실밥제거, 심제거, 양금빼기, 염기제거, 왁스제거, 용매제거, 이물질제거, 제습, 제염, 제육, 주석제거, 탈모, 탈산, 탈색, 탈수, 탈염, 탈지, 탈취, 탈피, 탈황, 정제, 고온가열정제, 고진공증류정제, 압축정제, 이온교환정제, 화학적정제, 탈검, 기타제거정제, 분무/분사, 분사, 자동분사, 수동분사, 조미액분무, 기타분무분사, 세척, 세탁, 산세척, 알칼리세척, 물세척, 증류수세척, 메탄올세척, 유기용제세척, TCE세척, 초음파세척, 증기탈지, 전해탈지, 세차, 세병, 기판세척, 렌즈세척, 상자세척, 체인세척, 기타세척, 처리, 후처리, 전처리, 산처리, 알카리처리,수처리,염소처리,알카리침전,알카리탈지	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	29	측정, 검사, 수정	290	측정, 검사, 수정	2900-2904	측정, 검사, 수정	29000-29044	검사, 수압검사, 측정, 측량, 측압, 계량, 저항치측정, 온도측정, 압력측정, 습도측정, 계면, 계피, 계평, 기타측정, 검사, 시험, 분석, 점검, 검량, 검수, 중간검사, 최종검사, 재검사, 개관검사, 포장검사, 건목검사, 외관검사, 비파괴검사, 누출검사, 기밀검사, 기능검사, 회로검사, 압력시험, 온도시험, 가스시험, 시운전, 기타검사, 전수검사, 진공시험, 수정, 보정, 교정, 보수, 리터치, 기타수정	
3	30	혼합	300	혼합	3000-3002	혼합	30000-30025	혼합, 혼련, 교반, 고상믹스, 혼합, 교동, 연압, 반죽, 페이스트, 연페이스트, 조색, 조제, 분산, 확산, 희석, 물희석, 신나희석, 반바리혼합, 바인더혼합, 색소혼합, 안료혼합, 연고혼합, 감광액조제, 잉크조색, 기타혼합, 액상믹스	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
3	31	화학 반응	310	화학 반응	3100-3105	화학 반응	31000-31053	반응, 합성, 분해, 가성화, 가수분해, 디아조화, 메칠화, 방향화, 산화, 수소화, 수화, 술폰화, 아민화, 알콜화, 알킬화, 암모놀리시스, 에스테르화, 열분해, 염소화, 이성화, 인산화, 전기분해, 중합, 중화, 질환, 축합, 커플링, 탄산화, 하이드로포르밀, 할로겐화, 환원, 건류, 액화, 기화, 열개질, 전화, 나프타분해, 개시반응, 열반응, 후반응, 부가반응, 기타 반응, 규산염형성, 당화, 유화, 이온교환, 기타반응, 조절, 농도조절, 속도조절, 수분조절, 온도조절, 균질화, 기타조절	
	32	냉각, 분리, 정제	320	냉각, 분리, 정제	3200-3202	냉각, 농축	32000-32029	정제, 냉각, 냉장, 냉각결정, 냉동, 초저온냉동, 서냉, 냉풍냉각, 수류냉각, 자연냉각, 진공냉각, 예비냉각, 기타냉각, 냉각, 농축, 동결농축, 진공농축, 기타농축, 증발, 가열증발, 분무증발, 열풍증발, 진공증발, 천일증발, 기타증발, 결정, 냉각결정, 재결정, 진공결정, 경화	32000(정제) 32018(증발) 32019(가열증발) 32020(분무증발) 32021(열풍증발) 32022(진공증발) 32023(천일증발) 32024(기타증발)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
					3203-3209	분리, 추출	32030-32090	응고, 기타결정, 증류, 가압증류, 감압증류, 정류, 기타증류, 여과, 백필터, 프레스필터, 오토벨레즈필터, 집진, 기타여과, 분리,분류,침전, 원심분리, 체질, 스크린, 분무분리, 분체분리, 수층분리, 유화침전분리, 입도분리 비중선별, 선별, 선과, 분급, 분리, 가스분리, 박분리, 필름분리, 분류, 색상분류, 진공분류, 침전, 침강, 기타침전, 추출, 용제추출, 압착, 용출, 착유, 착즙, 석출, 유출, 배출, 분출, 침출, 기타추출, 압축, 가압, 승압, 감압 가스압축, 기타압축, 기타화학, 회수, 스트리핑, 정련, 기타, 분쇄수화제, 일반수화제	32088(기타) 32089(분쇄수화제) 32090(일반수화제)
	33	건조	330	건조	3300-3302	건조	33000-33024	건조, 건조, 자연건조, 일광건조, 인공건조, 감압건조, 고주파건조, 동결건조, 분무건조, 열풍건조, 원심탈수건조, 유병식건조, 적외선건조, 증발건조, 진공건조, 포말건조, 피막식건조, 소건, 서건, 염건, 배건, 예비건조, 본건조,재건조,기타건조	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	34	분쇄	340	분쇄	3400, 3401	분쇄	34000` 34010	분쇄, 습식분쇄, 건식분쇄, 파쇄, 조쇄, 미분쇄, 광물분쇄, 플라스틱분쇄, 곡물분쇄, 기타분쇄, 자동분쇄	
	35	숙성, 발표, 침지	350	숙성, 발표, 침지	3500	침지	35000- 35009	숙성, 침지, 물침적, 소금침지, 침산, 석회침지, 약액침지, 함침, 절연유함침, 냉온침지	35000(숙성)
					3501, 3502	숙성, 발효, 배양	35010- 35027	숙성, 양생, 수증양생, 기타침지, 발효, 주발효, 후발효, 스펀지발효, 크림발효, 알콜발효, 산발효, 기타발효, 배양, 균접종, 시드배양, 종모배양, 효모배양, 기타배양	
	36	살균	360	살균	3600, 3601	살균	36000- 36014	살균, 살균, 고압살균, 고온순간살균, 진공관살균, 저온살균, 방사선조사, 항생제처리, 방부제처리, 후살균, 소금절임, 설탕절임, 훈연가공, 훈제, 기타살균	36010(소금절임) 36011(설탕절임) 36012(훈연가공) 36013(훈제)
	37	저장	370	저장	3700	저장	37000- 37009	저장, 적치, 적재, 냉장저장, 냉동저장, 저장탱크, 사일로, 야적장, 하치장, 기타저장	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	38	포장	380	포장	3800-3802	포장	38000-38022	포장, 인력포장, 반자동포장, 자동포장, 진공포장, 갑포장, 드럼포장, 박스포장, 병포장, 캔포장, 포대포장, 케이싱, 기타포장, 밀봉, 밀봉, 가권체, 본권체, 진공권체, 타전밀봉, 실링, 휠펌프, 기타밀봉, 라벨링	
	39	운반, 출하	390	운반, 출하	3900, 3901	운반, 출하	39000-39011	운반, 인력운반, 기계운반, 대차운반, 콘베이어운반, 엘리베이터운반, 지게차운반, 차량운반, 기타운반, 완성/출하, 완성, 출하	
4	40	광업	400	광업	4000	광업	40000-40008	광업, 탐광, 개갱, 터널굴진, 채탄, 갱내지주시공, 발파, 광차적재, 기타	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	41	식품 조리 및 가공	410, 411	식품 조리 및 가공	4100-4110	식품 조리 및 가공	41000-41103	식품공업, 가열, 오븐가열, 삶음, 찌기, 볶기, 끓임, 예열, 굽기, 초벌구이, 본구이, 장식구이, 열탕처리, 호화, 기타가열, 조리, 튀김, 통조림, 병조림, 절임, 젓갈담금, 곡물가공, 정곡, 정맥, 압맥, 제분, 육가공, 도살, 해체, 고기다짐,김,숙지,골발,적출,탕박,예박,토스팅,육만기,유제품제조,집유,정유,크림분리,유청제거,커피자르기,퇴적,커피분쇄,로스팅,퍼핑,프리믹스투입,냉동식품,입상,선창,빙관,수유조,청정,저유조,병힐기,크레이트패킹,테트라실,급동,탈빙,면제조,면대제조,결속,면선,증좌,발효식품,찜공,코오지제조,간장덧,살수,증자,증자압착,제국,보쌈,출국,배전,타전,박취,맥아제조,발아,밀술담금,제성,술덧,백미,세미,과즙조정,선립,자비,호프첨가,술밀첨가,껌제조,껌베이스,껌판,담배제조,각초조화,퇴적조화,절각,권련,절출기,기타식품,쥬스처리,조미,캔투입	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	42	섬유 가공	420, 421	섬유 가공	4200- 4213	섬유 가공	42000- 42130	<p>섬유공업, 방적, 직포, 혼타, 소면, 정소면, 드래프트, 연조, 시방, 조방, 정방, 물정방, 후방, 연사, 방사, 용융방사, 습식방사, 건식방사, 방사원액제조, 연신, 열고정, 권축, 유제처리, 혼섬, 정섬, 더블링, 정경, 가호, 비밍, 통경, 합사, 부직포, 편포, 편직, 해사, 염색, 정련, 모소, 표백작업, 침염, 포염, 사염, 나염, 스크린나염, 롤러나염, 전사나염, 톱염, 증염, 텐타, 연염, 인날, 풀먹이기, 폭내기, 축용, 기모, 털깎기, 방축가공, 머서화가공, 의마가공, 워쉬엔드웨어가, 대전방지 가공, 방오가공, 친수화 가공, 방수가공, 유연가공, 경화가공, 증량가공, 감량가공, 방충가공, 향균 방취가공, 방염가공, 개면, 개폭, 것도리, 견면, 봉제, 쌍침, 고침, 기초박음질, 박음질, 다리미질, 단추달기, 모피가공, 표면절삭, 모피의피니싱, 유제, 식물유제, 크롬유제, 세이빙, 가지, 계피, 기타섬유, 가연와인다, 검사/포장, 로타리와사, 리랏샤, 백와샤, 보빈와인다, 산포라이징, 생지입고, 세축/세용, 스카차, 스티마, 식모, 실켓트, 아야, 야로, 엔드레샤, 연경, 연폭, 와인다(SOFT), 와인다(STY), 유직, 자수, 절포, 점보와인다, 정사, 축소, 카바링, 크릴, 크릴/연신, 편와인다, 피치, 합포, 해포, 호발, 호소, ATY 사, TY 사, ITY 사, Rolling</p>	

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
	43	신발 제조	430	신발 제조	4300-4302	신발 제조	43000-43021	신발제조, 신발제조, 로루, 핫프레스, 재봉준비, 재봉구멍, 고리꿴기, 타가, 호칠, 힐라스트, 게이지, 와이어브러시, 선칠, 뽀뽀, 탈골, 시야계, 면도리기, 제화, 제갑, 굽마무리작업, 젤라스티움, 기타신발	
	44	인쇄, 종이, 목재 가공	440	인쇄, 종이, 목재 가공	4400-4403	인쇄	44000-44039	인쇄/종이/목재, 옵셋인쇄, 그라비아인쇄, 스크린인쇄, 기타인쇄, 원고편집, 전산사식, 식자, 촬영, 제판, 전산조판, 제판사메기, 사진제판, 필름제판, 스캐닝, 소부, 노광, 현상, 자동현상, 프레임제작, 급지, 윤전, 마스터, 톱슨,수동톱슨,자동톱슨,합지,제본,간추리기,접지, 사철,정합,중철,무선,봉합,양장,망사매기,접합,펄프,쇄목펄프	44038(펄프) 44039(쇄목펄프)
	44	인쇄, 종이, 목재 가공	440	인쇄, 종이, 목재 가공	4404	종이, 펄프	44040-44049	아황산펄프, 조목작업, 증해액조제, 증해, 제지, 고해, 사이징, 초지, 목재가공, 각목제조	44048(목재가공) 44049(각목제조)

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
					4405, 4406	목재 가공	44050-44063	판재제조, 대차, 세이깁, 못박기, 목취, 열압, 조각, 목립, 타카, 기타, 골형성, 발송, 자동대패, 정밀인쇄	44063(정밀인쇄)
	45	전기 전자 산업	450	전기 전자 산업	4500-4502	전기 전자 산업	45000-45027	전기전자산업, 개구봉입, 격리판제조, 격자제조, 극판가공, 배기대, 베이싱, 설담금, 세퍼레이터삽입, 아연관제조, 연분제조, 철심반, 축전지상자제조, 파파라이드방식, 페이스트방식, 합제제조, 웨이퍼제작, 웨이퍼가공, 단결정화, 인상법, FZ법, 에피택시, 라소그라피, PN접합, 에피텍셜, 집적화, 기타, 기타	
	46	폐수 처리, 소각, 계전 등 지원	460	폐수 처리, 소각, 계전 등 지원	4600	폐수 처리, 소각, 계전 등 지원	46000-46005	폐수처리, 소각, 계전, 기타지원, 기타	
9	99	정보 없음	999	정보 없음	9990	과거 직력 없음	99901, 99999	과거직력없음, 수첩소지자용 코드	

[부록 3] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 산업(중분류)별 납 농도 (mg/m³)

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
건설장비 운영업	2	0.0192	0.0259	0.0058	13.9754	0.0357	0.0375
1차 비철금속 제조업	1193	0.0068	0.0178	0.0029	3.4194	0.0237	0.5071
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	1048	0.0095	0.0090	0.0049	3.6957	0.0232	0.0625
금속 주조업	758	0.0053	0.0093	0.0021	3.3362	0.0223	0.0761
기타 비금속 광물제품 제조업	101	0.0051	0.0144	0.0017	3.1415	0.0196	0.1248
일차전지 및 축전지 제조업	1412	0.0065	0.0071	0.0038	3.0427	0.0191	0.0836
방직 및 가공사 제조업	12	0.0064	0.0067	0.0037	3.1083	0.0188	0.0190
제재 및 목재 가공업	3	0.0094	0.0083	0.0074	2.2651	0.0176	0.0190
금속 및 비금속 원료 재생업	52	0.0040	0.0080	0.0018	2.9233	0.0174	0.0459
NA	31	0.0042	0.0073	0.0019	3.0801	0.0174	0.0328
기초화학물질 제조업	391	0.0037	0.0050	0.0020	2.8377	0.0160	0.0240
건축자재, 철물 및 난방장치 도매업	12	0.0045	0.0063	0.0020	3.4508	0.0155	0.0189
플라스틱제품 제조업	1084	0.0031	0.0058	0.0015	2.6116	0.0154	0.0479
인쇄 및 인쇄관련 산업	33	0.0024	0.0043	0.0012	2.3548	0.0145	0.0172
기타 금속가공제품 제조업	1297	0.0027	0.0042	0.0015	2.4614	0.0123	0.0384
1차 철강 제조업	2064	0.0028	0.0047	0.0015	2.5033	0.0122	0.0440

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
일반 목적용 기계 제조업	1193	0.0025	0.0043	0.0014	2.3906	0.0108	0.0478
그외 기타 제품 제조업	576	0.0022	0.0038	0.0013	2.2143	0.0107	0.0293
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업	481	0.0034	0.0190	0.0013	2.3695	0.0106	0.3734
기타 과학기술 서비스업	60	0.0021	0.0033	0.0013	2.2135	0.0095	0.0161
비거주 복지시설 운영업	4	0.0032	0.0046	0.0016	3.3500	0.0087	0.0101
자동차 및 모터사이클 수리업	129	0.0020	0.0029	0.0013	2.1697	0.0084	0.0146
골판지, 종이 상자 및 종이 용기 제조업	8	0.0023	0.0034	0.0014	2.4129	0.0076	0.0105
봉제의복 제조업	3	0.0033	0.0042	0.0019	3.5558	0.0074	0.0081
폐기물 처리업	136	0.0019	0.0023	0.0013	2.0636	0.0073	0.0141
기타 운송관련 서비스업	72	0.0016	0.0023	0.0011	1.9022	0.0068	0.0133
실내건축 및 건축마무리 공사업	77	0.0018	0.0037	0.0011	1.9932	0.0065	0.0229
특수 목적용 기계 제조업	845	0.0019	0.0038	0.0012	2.0094	0.0064	0.0427
전구 및 조명장치 제조업	339	0.0017	0.0022	0.0012	1.9397	0.0060	0.0220
기타 화학제품 제조업	1532	0.0023	0.0202	0.0012	1.9841	0.0059	0.7838
자동차 차체 및 트레일러 제조업	64	0.0019	0.0034	0.0012	2.0546	0.0059	0.0204
나무제품 제조업	22	0.0026	0.0051	0.0014	2.3750	0.0058	0.0246
건축기술, 엔지니어링 및 관련기술 서비스업	151	0.0018	0.0030	0.0011	1.9792	0.0055	0.0239

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
건물 건설업	88	0.0019	0.0041	0.0012	1.9792	0.0049	0.0370
영상 및 음향기기 제조업	275	0.0015	0.0024	0.0011	1.7881	0.0049	0.0228
운동 및 경기용구 제조업	26	0.0015	0.0019	0.0011	1.8146	0.0048	0.0096
기타 식품 제조업	86	0.0012	0.0013	0.0010	1.6024	0.0047	0.0074
전자부품 제조업	3935	0.0021	0.0107	0.0011	1.9108	0.0047	0.3897
전기통신업	59	0.0013	0.0013	0.0011	1.6566	0.0046	0.0073
통신 및 방송 장비 제조업	979	0.0016	0.0028	0.0011	1.8254	0.0046	0.0301
기계 및 장비 수리업	59	0.0015	0.0019	0.0011	1.7935	0.0045	0.0121
기초 의약품 및 생물학적 제제 제조업	129	0.0013	0.0011	0.0011	1.6124	0.0045	0.0061
전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업	993	0.0014	0.0024	0.0011	1.7039	0.0042	0.0470
기타 전기장비 제조업	879	0.0015	0.0025	0.0011	1.7282	0.0042	0.0376
기타 전문 도매업	65	0.0013	0.0010	0.0011	1.6126	0.0040	0.0060
토목 건설업	172	0.0015	0.0025	0.0011	1.7459	0.0040	0.0213
기타 정보 서비스업	12	0.0016	0.0014	0.0012	1.8601	0.0040	0.0056
가구 제조업	62	0.0017	0.0030	0.0011	1.8995	0.0039	0.0186
절연선 및 케이블 제조업	372	0.0014	0.0023	0.0011	1.7356	0.0039	0.0254

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
의원	47	0.0016	0.0025	0.0011	1.8411	0.0038	0.0147
선박 및 보트 건조업	15408	0.0013	0.0016	0.0011	1.6267	0.0038	0.1100
시계 및 시계부품 제조업	67	0.0013	0.0017	0.0010	1.6574	0.0038	0.0124
안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업	147	0.0013	0.0011	0.0011	1.6250	0.0038	0.0088
기타 섬유제품 제조업	15	0.0015	0.0011	0.0012	1.7828	0.0037	0.0044
기타 종이 및 판지 제품 제조업	21	0.0012	0.0008	0.0011	1.5588	0.0036	0.0037
자연과학 및 공학 연구개발업	827	0.0012	0.0010	0.0011	1.5676	0.0036	0.0079
측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기기 제외	910	0.0014	0.0021	0.0011	1.6635	0.0036	0.0368
사회 및 산업정책 행정	97	0.0013	0.0017	0.0010	1.6344	0.0036	0.0140
가정용 기기 제조업	154	0.0013	0.0009	0.0011	1.5898	0.0035	0.0060
석유 정제품 제조업	21	0.0015	0.0010	0.0012	1.7051	0.0034	0.0038
환경 정화 및 복원업	14	0.0014	0.0017	0.0010	1.7540	0.0032	0.0074
자동차 부품 제조업	2099	0.0013	0.0022	0.0010	1.6226	0.0031	0.0374
무기 및 총포탄 제조업	62	0.0017	0.0035	0.0011	1.8614	0.0031	0.0248
비료 및 질소화합물 제조업	10	0.0013	0.0012	0.0011	1.7023	0.0031	0.0048
기계장비 및 관련 물품 도매업	84	0.0013	0.0013	0.0010	1.5984	0.0030	0.0089

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
유리 및 유리제품 제조업	121	0.0014	0.0021	0.0010	1.6789	0.0029	0.0162
도자기 및 기타 요업제품 제조업	211	0.0012	0.0010	0.0010	1.5019	0.0028	0.0103
철도운송업	158	0.0012	0.0009	0.0011	1.5178	0.0026	0.0073
반도체 제조업	624	0.0012	0.0013	0.0010	1.4813	0.0025	0.0210
소프트웨어 개발 및 공급업	74	0.0014	0.0023	0.0011	1.7018	0.0024	0.0152
의료용 기기 제조업	218	0.0012	0.0015	0.0010	1.5602	0.0023	0.0147
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업	336	0.0013	0.0025	0.0011	1.5676	0.0023	0.0420
의료용품 및 기타 의약관련제품 제조업	62	0.0012	0.0009	0.0010	1.5099	0.0023	0.0064
사업시설 유지관리 서비스업	34	0.0012	0.0015	0.0010	1.6078	0.0023	0.0086
낙농제품 및 식용빙과류 제조업	16	0.0011	0.0005	0.0010	1.3843	0.0021	0.0027
컴퓨터 및 주변장치 제조업	139	0.0012	0.0015	0.0010	1.5502	0.0021	0.0101
폐기물 수집운반업	88	0.0013	0.0023	0.0010	1.6283	0.0020	0.0190
고무제품 제조업	157	0.0011	0.0010	0.0010	1.4220	0.0020	0.0098
가스 제조 및 배관공급업	9	0.0011	0.0006	0.0010	1.4242	0.0019	0.0026
육상 여객 운송업	80	0.0012	0.0014	0.0010	1.5020	0.0018	0.0107
스포츠 서비스업	12	0.0011	0.0006	0.0010	1.4018	0.0018	0.0029
건물설비 설치 공사업	29	0.0011	0.0008	0.0010	1.4203	0.0017	0.0048

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
그외 기타 개인 서비스업	64	0.0010	0.0006	0.0010	1.3269	0.0017	0.0051
철도장비 제조업	56	0.0011	0.0007	0.0010	1.3898	0.0016	0.0040
산업용 기계 및 장비 임대업	9	0.0010	0.0003	0.0010	1.2599	0.0014	0.0018
곡물가공품, 전분 및 전분제품 제조업	14	0.0010	0.0004	0.0010	1.2953	0.0014	0.0024
그외 기타 운송장비 제조업	20	0.0012	0.0013	0.0010	1.5769	0.0012	0.0069
그외 기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	40	0.0010	0.0003	0.0009	1.2059	0.0009	0.0023
가정용품 도매업	16	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
개인 및 가정용품 수리업	6	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
개인 및 가정용품 임대업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업	11	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
고등 교육기관	10	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
공중 보건 의료업	9	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업	12	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
기타 가정용품 소매업	5	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
기타 보건업	98	0.0009	0.0001	0.0009	1.0784	0.0009	0.0019
기타 사업지원 서비스업	59	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
기타 상품 전문 소매업	24	0.0010	0.0003	0.0009	1.2111	0.0009	0.0023

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
기타 협회 및 단체	7	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
내륙 수상 및 항만내 운송업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
도로 화물 운송업	3	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
동물용 사료 및 조제식품 제조업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
병원	500	0.0010	0.0007	0.0009	1.2983	0.0009	0.0115
보관 및 창고업	3	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
산업 및 전문가 단체	3	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
상품 종합 도매업	9	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
서적, 잡지 및 기타 인쇄물 출판업	9	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
수도사업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
악기 제조업	22	0.0011	0.0010	0.0010	1.4822	0.0009	0.0057
유원지 및 기타 오락관련 서비스업	8	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
음·식료품 및 담배 소매업	6	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
음식점업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
의복 액세서리 제조업	4	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
의약품 제조업	205	0.0011	0.0012	0.0010	1.4137	0.0009	0.0150
인력공급 및 고용알선업	2	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009

한국표준산업분류 중분류	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
인문 및 사회과학 연구개발업	10	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
인형,장난감 및 오락용품 제조업	3	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
입법 및 일반 정부 행정	10	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
자동차 부품 및 내장품 판매업	3	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
자동차용 엔진 및 자동차 제조업	27	0.0014	0.0027	0.0010	1.7118	0.0009	0.0147
전기 및 통신 공사업	2	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
전기업	23	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
정기 항공 운송업	35	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
종합 소매업	1	0.0009	NA	0.0009	#VALUE!	0.0009	0.0009
증기, 냉온수 및 공기조절 공급업	2	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
직물직조 및 직물제품 제조업	7	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	10	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
하수, 폐수 및 분뇨 처리업	22	0.0010	0.0004	0.0009	1.2728	0.0009	0.0028
항공기,우주선 및 부품 제조업	124	0.0010	0.0004	0.0009	1.2473	0.0009	0.0036
화학섬유 제조업	2	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
회사본부, 지주회사 및 경영컨설팅 서비스업	45	0.0009	0.0002	0.0009	1.1554	0.0009	0.0018

[부록 4] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 공정(2-digit)별 납 농도 - 기타 공정 제외 (mg/m³)

공정 표준화1 - 2digit	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
저장	52	0.0244	0.0654	0.0029	6.4026	0.1482	0.3897
용해	1436	0.0055	0.0081	0.0025	3.2754	0.0213	0.0667
주조	678	0.0055	0.0084	0.0026	3.2598	0.0207	0.0875
냉각, 분리, 정제	458	0.0045	0.0077	0.0019	3.1940	0.0203	0.0736
분쇄	175	0.0046	0.0072	0.0021	3.1678	0.0199	0.0428
세척, 제거	458	0.0044	0.0098	0.0018	3.0772	0.0192	0.1248
포장	184	0.0043	0.0058	0.0022	2.9992	0.0187	0.0328
전기전자산업	119	0.0050	0.0057	0.0026	3.1422	0.0185	0.0243
건조	42	0.0054	0.0060	0.0027	3.3600	0.0171	0.0189
혼합	1190	0.0040	0.0156	0.0015	2.7801	0.0169	0.3734
숙성, 발효, 침지	34	0.0051	0.0050	0.0029	3.0737	0.0145	0.0172
도장, 코팅	2515	0.0028	0.0059	0.0014	2.4773	0.0133	0.1453
화학반응	122	0.0099	0.0709	0.0018	3.2469	0.0131	0.7838

공정 표준화1 - 2digit	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
압연, 압출, 인발, 신선, 전조	547	0.0026	0.0042	0.0014	2.3933	0.0122	0.0363
주입, 삽입, 첨가, 충전	686	0.0032	0.0096	0.0014	2.5067	0.0097	0.1396
도금	431	0.0023	0.0042	0.0013	2.2317	0.0096	0.0380
절단, 재단, 절곡	472	0.0022	0.0036	0.0013	2.2387	0.0090	0.0295
조립	2567	0.0023	0.0038	0.0014	2.2695	0.0088	0.0567
열처리	278	0.0024	0.0049	0.0013	2.2555	0.0079	0.0422
성형, 가공	1855	0.0021	0.0040	0.0013	2.1618	0.0078	0.0464
운반, 출하	397	0.0020	0.0035	0.0012	2.1089	0.0076	0.0338
연마	998	0.0021	0.0052	0.0013	2.1219	0.0070	0.1100
광업	68	0.0017	0.0017	0.0013	1.9084	0.0058	0.0079
준비, 지원, 부속	3115	0.0017	0.0037	0.0011	1.8765	0.0052	0.1123
단조	73	0.0015	0.0014	0.0012	1.8163	0.0049	0.0067
접착, 부착	73	0.0016	0.0030	0.0011	1.8707	0.0049	0.0195
폐수처리, 소각, 계전 등 지원	315	0.0016	0.0028	0.0011	1.8226	0.0047	0.0239

공정 표준화1 - 2digit	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
용접, 납땀	12418	0.0015	0.0024	0.0011	1.7390	0.0042	0.0799
측정, 검사, 수정	2453	0.0015	0.0025	0.0011	1.7392	0.0037	0.0328
식품 조리 및 가공	94	0.0018	0.0047	0.0012	1.8368	0.0035	0.0459
기타표면처리	69	0.0014	0.0020	0.0011	1.6735	0.0033	0.0168
정보없음	1282	0.0012	0.0014	0.0010	1.4819	0.0027	0.0311
섭유가공	356	0.0012	0.0019	0.0010	1.5582	0.0025	0.0235
살균	14	0.0010	0.0003	0.0010	1.2698	0.0014	0.0022
인쇄, 종이, 목재가공	138	0.0010	0.0005	0.0010	1.2906	0.0011	0.0040
신발제조	12	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009

[부록 5] 2015-16년 작업환경측정 자료를 이용한 공정(2-digit)별 납 농도-기타 공정 제외, 정확도 검증 G1, G2 (mg/m³)

공정 표준화1 - 2digit	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
용해	1100	0.0059	0.0082	0.0027	3.3614	0.0222	0.0667
세척, 제거	360	0.0049	0.0109	0.0019	3.2525	0.0213	0.1248
주조	492	0.0056	0.0092	0.0025	3.2782	0.0212	0.0875
전기전자산업	66	0.0082	0.0060	0.0059	2.5308	0.0202	0.0243
분쇄	173	0.0046	0.0072	0.0021	3.1778	0.0200	0.0428
혼합	607	0.0051	0.0210	0.0016	3.0317	0.0189	0.3734
냉각, 분리, 정제	184	0.0042	0.0088	0.0018	2.9259	0.0185	0.0736
포장	170	0.0042	0.0057	0.0022	2.9636	0.0180	0.0328
건조	30	0.0062	0.0065	0.0031	3.4806	0.0177	0.0189
화학반응	73	0.0156	0.0914	0.0026	3.8312	0.0171	0.7838
준비, 지원, 부속	352	0.0032	0.0080	0.0015	2.6098	0.0151	0.1123
도장, 코팅	2109	0.0030	0.0063	0.0015	2.5652	0.0145	0.1453
압연, 압출, 인발, 신선, 전조	375	0.0026	0.0039	0.0015	2.4094	0.0121	0.0293
절단, 재단, 절곡	257	0.0029	0.0043	0.0016	2.5442	0.0118	0.0295
저장	33	0.0028	0.0039	0.0015	2.6493	0.0112	0.0134
폐수처리, 소각, 계전 등 지원	146	0.0021	0.0039	0.0012	2.1763	0.0099	0.0239
성형, 가공	1163	0.0024	0.0045	0.0013	2.2794	0.0099	0.0464

공정 표준화1 - 2digit	N	AM	SD	GM	GSD	Q95	Max
도금	386	0.0022	0.0040	0.0013	2.1788	0.0092	0.0380
열처리	161	0.0024	0.0042	0.0014	2.3138	0.0091	0.0284
조립	1942	0.0023	0.0038	0.0014	2.2833	0.0088	0.0567
주입, 삽입, 첨가, 충전	372	0.0023	0.0042	0.0014	2.2760	0.0085	0.0441
측정, 검사, 수정	1446	0.0017	0.0030	0.0012	1.9088	0.0058	0.0328
접착, 부착	65	0.0017	0.0031	0.0011	1.9360	0.0058	0.0195
광업	34	0.0017	0.0017	0.0013	1.9390	0.0057	0.0079
섬유가공	117	0.0016	0.0030	0.0011	1.8252	0.0052	0.0235
단조	55	0.0017	0.0015	0.0013	1.9384	0.0051	0.0067
운반, 출하	222	0.0017	0.0024	0.0012	1.9031	0.0051	0.0192
연마	703	0.0020	0.0056	0.0012	1.9906	0.0049	0.1100
용접, 납땀	9090	0.0015	0.0024	0.0011	1.7360	0.0042	0.0799
기타표면처리	29	0.0020	0.0030	0.0014	2.0690	0.0042	0.0168
식품 조리 및 가공	66	0.0020	0.0056	0.0012	1.9462	0.0040	0.0459
숙성, 발효, 침지	9	0.0012	0.0006	0.0011	1.4682	0.0022	0.0022
인쇄, 종이, 목재가공	55	0.0010	0.0004	0.0010	1.2825	0.0012	0.0035
살균	2	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009
신발제조	8	0.0009	0.0000	0.0009	1.0000	0.0009	0.0009

[부록 6] 표준산업(중분류) - 표준공정(2-digit) 납 농도 (mg/m³)

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
1차 비철금속 제조업	계	615	0.0078	0.0036	3.46	0.0875
	기타표면처리	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	냉각, 분리, 정제	28	0.0115	0.0053	3.49	0.0736
	도금	12	0.0010	0.0010	1.23	0.0019
	도장, 코팅	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	분쇄	37	0.0079	0.0044	2.97	0.0428
	섬유가공	2	0.0224	0.0224	1.05	0.0235
	성형, 가공	15	0.0060	0.0048	1.83	0.0229
	세척, 제거	55	0.0091	0.0048	3.33	0.0460
	식품 조리 및 가공	12	0.0026	0.0020	1.98	0.0083
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	53	0.0021	0.0015	2.05	0.0088
	연마	5	0.0011	0.0010	1.35	0.0019
	열처리	6	0.0018	0.0014	1.93	0.0048
	용접, 납땀	5	0.0242	0.0081	6.31	0.0514
	용해	167	0.0093	0.0051	3.20	0.0667
	운반, 출하	3	0.0038	0.0027	2.38	0.0075
	절단, 재단, 절곡	16	0.0082	0.0043	3.48	0.0212
	주입, 삼입, 첨가, 충전	23	0.0094	0.0050	3.20	0.0441
	주조	91	0.0102	0.0046	3.70	0.0875
	준비, 지원, 부속	14	0.0108	0.0036	5.05	0.0361
	측정, 검사, 수정	41	0.0032	0.0017	2.74	0.0150
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	7	0.0071	0.0037	3.59	0.0186
	포장	9	0.0012	0.0011	1.42	0.0022
화학반응	7	0.0090	0.0045	3.51	0.0325	
1차 철강 제조업	계	844	0.0036	0.0018	2.80	0.0440
	냉각, 분리, 정제	22	0.0013	0.0011	1.64	0.0056
	단조	16	0.0022	0.0015	2.21	0.0056
	도금	80	0.0024	0.0013	2.23	0.0380
	도장, 코팅	24	0.0014	0.0011	1.75	0.0091
	분쇄	34	0.0029	0.0015	2.66	0.0194
	섬유가공	27	0.0022	0.0015	2.17	0.0071
	성형, 가공	18	0.0050	0.0023	3.18	0.0274

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	세척, 제거	9	0.0039	0.0025	2.67	0.0114
	식품 조리 및 가공	29	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	55	0.0024	0.0014	2.34	0.0229
	연마	14	0.0018	0.0014	1.96	0.0052
	열처리	35	0.0025	0.0015	2.37	0.0151
	용접, 납땀	4	0.0024	0.0015	2.40	0.0068
	용해	267	0.0062	0.0030	3.35	0.0440
	운반, 출하	21	0.0013	0.0011	1.66	0.0051
	절단, 재단, 절곡	24	0.0039	0.0023	2.85	0.0120
	접착, 부착	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	23	0.0011	0.0010	1.39	0.0034
	주입, 삽입, 첨가, 충전	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주조	50	0.0032	0.0020	2.49	0.0170
	준비, 지원, 부속	20	0.0026	0.0015	2.45	0.0123
	측정, 검사, 수정	60	0.0015	0.0011	1.78	0.0137
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	2	0.0144	0.0138	1.35	0.0186
	가구 제조업	계	38	0.0021	0.0012	2.21
도장, 코팅		21	0.0028	0.0013	2.63	0.0186
용접, 납땀		8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
조립		8	0.0016	0.0013	1.88	0.0039
준비, 지원, 부속		1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
가스 제조 및 배관공급업	계	3	0.0015	0.0013	1.65	0.0026
	도장, 코팅	3	0.0015	0.0013	1.65	0.0026
가정용 기기 제조업	계	127	0.0013	0.0011	1.65	0.0060
	도장, 코팅	16	0.0011	0.0010	1.46	0.0034
	세척, 제거	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	68	0.0014	0.0012	1.74	0.0060
	조립	42	0.0013	0.0011	1.55	0.0036
가정용품 도매업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
개인 및 가정용품 임대업	계	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
건물 건설업	계	51	0.0022	0.0012	2.16	0.0370
	도장, 코팅	41	0.0024	0.0012	2.28	0.0370
	섬유가공	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	용접, 납땀	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	운반, 출하	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	2	0.0025	0.0019	2.11	0.0040
건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
건물설비 설치 공사업	계	4	0.0013	0.0011	1.50	0.0023
	용접, 납땀	4	0.0013	0.0011	1.50	0.0023
건설장비 운영업	계	2	0.0192	0.0058	6.45	0.0375
	도장, 코팅	2	0.0192	0.0058	6.45	0.0375
건축기술, 엔지니어링 및 관련기술 서비스업	계	75	0.0025	0.0014	2.43	0.0239
	냉각, 분리, 정제	8	0.0113	0.0091	1.98	0.0239
	세척, 제거	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	20	0.0010	0.0009	1.19	0.0020
	측정, 검사, 수정	36	0.0020	0.0013	2.15	0.0091
건축자재, 철물 및 난방장치 도매업	계	5	0.0094	0.0058	3.19	0.0189
	압연, 압출, 인발, 선선, 전조	4	0.0116	0.0092	2.17	0.0189
	주입, 삼입, 첨가, 충전	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
고무제품 제조업	계	133	0.0011	0.0010	1.38	0.0071
	기타표면처리	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	냉각, 분리, 정제	4	0.0015	0.0014	1.53	0.0022
	도장, 코팅	28	0.0014	0.0011	1.75	0.0071
	성형, 가공	23	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	신발제조	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 선선, 전조	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	인쇄, 종이, 목재가공	1	0.0035	0.0035	1.00	0.0035
	접착, 부착	15	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	4	0.0012	0.0011	1.39	0.0019
	혼합	33	0.0009	0.0009	1.17	0.0022
골판지, 종이 상자 및 종이 용기 제조업	계	8	0.0023	0.0014	2.28	0.0105
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0023	0.0014	2.28	0.0105
공중 보건 의료업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	전기전자산업	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	계	443	0.0051	0.0021	3.38	0.0407
	기타표면처리	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	냉각, 분리, 정제	7	0.0180	0.0122	2.81	0.0407
	도금	4	0.0016	0.0014	1.57	0.0025
	도장, 코팅	208	0.0044	0.0018	3.16	0.0390
	분쇄	6	0.0182	0.0181	1.14	0.0221
	성형, 가공	26	0.0011	0.0010	1.43	0.0031
	세척, 제거	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	28	0.0010	0.0009	1.27	0.0032
	열처리	14	0.0063	0.0033	3.22	0.0215
	용접, 납땀	43	0.0032	0.0016	2.55	0.0400
	용해	23	0.0077	0.0039	3.50	0.0237
	운반, 출하	6	0.0115	0.0111	1.33	0.0144
	절단, 재단, 절곡	6	0.0021	0.0016	2.01	0.0062
	접착, 부착	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주조	18	0.0153	0.0116	2.47	0.0371
	준비, 지원, 부속	21	0.0125	0.0098	2.18	0.0237
	측정, 검사, 수정	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
혼합	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009	
그외 기타 개인 서비스업	계	23	0.0012	0.0011	1.56	0.0051
	도금	12	0.0016	0.0013	1.75	0.0051
	용접, 납땀	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
그외 기타 운송장비 제조업	계	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	화학반응	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
그외 기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	계	9	0.0012	0.0011	1.42	0.0023
	도장, 코팅	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0014	0.0013	1.45	0.0019

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	준비, 지원, 부속	4	0.0013	0.0011	1.50	0.0023
그외 기타 제품 제조업	계	304	0.0024	0.0014	2.37	0.0293
	도장, 코팅	29	0.0041	0.0018	3.03	0.0216
	성형, 가공	14	0.0015	0.0012	1.76	0.0050
	세척, 제거	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	10	0.0015	0.0012	1.79	0.0049
	용접, 납땀	177	0.0012	0.0010	1.55	0.0106
	용해	24	0.0054	0.0031	2.84	0.0293
	저장	8	0.0085	0.0067	2.36	0.0134
	절단, 재단, 절곡	3	0.0121	0.0064	4.08	0.0223
	조립	12	0.0038	0.0018	2.94	0.0180
	주소	12	0.0020	0.0014	2.14	0.0054
	측정, 검사, 수정	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	포장	6	0.0100	0.0088	1.64	0.0199
	혼합	1	0.0061	0.0061	1.00	0.0061
금속 및 비금속 원료 재생업	계	48	0.0033	0.0016	2.59	0.0459
	냉각, 분리, 정제	4	0.0012	0.0011	1.44	0.0021
	도장, 코팅	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	분쇄	18	0.0030	0.0018	2.57	0.0129
	세척, 제거	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	식품 조리 및 가공	4	0.0130	0.0036	5.00	0.0459
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	4	0.0067	0.0061	1.50	0.0121
	용해	2	0.0021	0.0020	1.13	0.0023
	주입, 삼입, 첨가, 충전	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주소	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
금속 주조업	계	685	0.0051	0.0021	3.28	0.0761
	도금	3	0.0038	0.0025	2.51	0.0084
	도장, 코팅	9	0.0020	0.0014	2.09	0.0078
	성형, 가공	30	0.0124	0.0058	3.95	0.0464
	세척, 제거	28	0.0172	0.0067	4.93	0.0761
	식품 조리 및 가공	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	8	0.0066	0.0049	2.38	0.0162
	연마	28	0.0043	0.0014	3.05	0.0357

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	용접, 납땀	16	0.0020	0.0012	2.11	0.0157
	용해	318	0.0049	0.0021	3.24	0.0432
	절단, 재단, 절곡	10	0.0048	0.0032	2.36	0.0199
	주입, 삼입, 첨가, 충전	74	0.0014	0.0012	1.71	0.0102
	주조	150	0.0043	0.0020	3.06	0.0486
	준비, 지원, 부속	5	0.0057	0.0034	3.08	0.0135
	측정, 검사, 수정	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기계 및 장비 수리업	계	12	0.0011	0.0010	1.50	0.0039
	도장, 코팅	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0024	0.0019	2.08	0.0039
	절단, 재단, 절곡	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기계장비 및 관련 물품 도매업	계	56	0.0014	0.0011	1.73	0.0089
	도장, 코팅	4	0.0037	0.0023	2.68	0.0085
	성형, 가공	4	0.0014	0.0012	1.68	0.0030
	압연, 압출, 인발, 선선, 전조	4	0.0014	0.0012	1.68	0.0030
	용접, 납땀	35	0.0013	0.0010	1.61	0.0089
	조립	9	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업	계	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기초 의약품 및 생물학적 제제 제조업	계	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기초화학물질 제조업	계	155	0.0052	0.0029	3.03	0.0229
	건조	8	0.0050	0.0025	3.20	0.0171
	도장, 코팅	6	0.0020	0.0015	2.06	0.0058
	분쇄	8	0.0093	0.0054	3.42	0.0211
	성형, 가공	4	0.0044	0.0026	2.97	0.0100
	용해	13	0.0043	0.0020	3.15	0.0178
	주입, 삼입, 첨가, 충전	4	0.0031	0.0020	2.49	0.0082
	준비, 지원, 부속	4	0.0012	0.0011	1.41	0.0020
	측정, 검사, 수정	16	0.0084	0.0045	3.36	0.0229
	포장	31	0.0073	0.0053	2.33	0.0220
	혼합	42	0.0019	0.0013	2.05	0.0096
	화학반응	19	0.0082	0.0075	1.55	0.0152

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
기타 가정용품 소매업	계	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기타 과학기술 서비스업	계	11	0.0010	0.0010	1.29	0.0022
	세척, 제거	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	7	0.0011	0.0010	1.37	0.0022
기타 금속가공제품 제조업	계	1116	0.0028	0.0016	2.52	0.0384
	기타표면처리	14	0.0026	0.0016	2.33	0.0168
	냉각, 분리, 정제	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	단조	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도금	175	0.0022	0.0013	2.22	0.0195
	도장, 코팅	529	0.0029	0.0016	2.55	0.0384
	성형, 가공	103	0.0025	0.0015	2.34	0.0204
	세척, 제거	16	0.0097	0.0054	3.46	0.0193
	숙성, 발효, 침지	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	20	0.0025	0.0016	2.38	0.0099
	연마	49	0.0046	0.0023	3.11	0.0239
	열처리	25	0.0034	0.0018	2.59	0.0284
	용접, 납땀	63	0.0018	0.0012	1.94	0.0171
	용해	56	0.0032	0.0019	2.58	0.0183
	절단, 재단, 절곡	9	0.0044	0.0024	3.08	0.0145
	접착, 부착	4	0.0092	0.0040	4.41	0.0195
	주입, 삼입, 첨가, 충전	4	0.0052	0.0028	3.24	0.0130
	주조	11	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	24	0.0010	0.0010	1.27	0.0023
	혼합	1	0.0024	0.0024	1.00	0.0024
기타 보건업	계	50	0.0009	0.0009	1.11	0.0019
	측정, 검사, 수정	50	0.0009	0.0009	1.11	0.0019
기타 비금속 광물제품 제조업	계	95	0.0053	0.0018	3.20	0.1248
	냉각, 분리, 정제	10	0.0047	0.0031	2.61	0.0164
	분쇄	12	0.0033	0.0020	2.67	0.0094
	성형, 가공	10	0.0017	0.0012	1.96	0.0080
	세척, 제거	4	0.0334	0.0051	7.54	0.1248
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	8	0.0033	0.0018	2.75	0.0130
	연마	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	열처리	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	용해	12	0.0140	0.0055	4.58	0.0490
	주입, 삽입, 첨가, 충전	4	0.0014	0.0012	1.61	0.0027
	주조	12	0.0012	0.0010	1.56	0.0045
	준비, 지원, 부속	9	0.0047	0.0014	3.16	0.0350
	혼합	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기타 사업지원 서비스업	계	10	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기타 섬유제품 제조업	계	10	0.0017	0.0013	1.86	0.0044
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	2	0.0022	0.0017	1.94	0.0034
	용접, 납땀	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용해	2	0.0035	0.0034	1.30	0.0044
기타 식품 제조업	계	16	0.0013	0.0011	1.65	0.0061
	준비, 지원, 부속	1	0.0061	0.0061	1.00	0.0061
	측정, 검사, 수정	15	0.0010	0.0010	1.26	0.0023
기타 운송관련 서비스업	계	21	0.0017	0.0012	1.97	0.0096
	도장, 코팅	2	0.0067	0.0060	1.61	0.0096
	용접, 납땀	11	0.0014	0.0011	1.73	0.0060
	측정, 검사, 수정	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기타 전기장비 제조업	계	613	0.0015	0.0011	1.78	0.0376
	도장, 코팅	11	0.0024	0.0015	2.38	0.0100
	성형, 가공	20	0.0066	0.0026	3.63	0.0376
	세척, 제거	8	0.0027	0.0014	2.50	0.0144
	연마	8	0.0010	0.0010	1.26	0.0018
	열처리	2	0.0043	0.0026	2.93	0.0077
	용접, 납땀	481	0.0012	0.0010	1.55	0.0128
	인쇄, 종이, 목재가공	4	0.0012	0.0011	1.41	0.0020
	조립	57	0.0021	0.0013	2.18	0.0214
	측정, 검사, 수정	22	0.0013	0.0011	1.63	0.0044
기타 전문 도매업	계	39	0.0015	0.0012	1.73	0.0060
	냉각, 분리, 정제	8	0.0016	0.0013	1.71	0.0040
	분쇄	8	0.0010	0.0010	1.30	0.0020
	성형, 가공	8	0.0011	0.0010	1.44	0.0027
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용해	4	0.0019	0.0014	2.10	0.0050

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	혼합	10	0.0018	0.0014	1.99	0.0060
기타 종이 및 판지 제품 제조업	계	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	기타 협회 및 단체	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
기타 화학제품 제조업	계	376	0.0046	0.0014	2.54	0.7838
	도장, 코팅	10	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	14	0.0016	0.0012	1.84	0.0050
	세척, 제거	16	0.0036	0.0019	2.91	0.0145
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	8	0.0012	0.0011	1.55	0.0034
	용접, 납땀	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	인쇄, 종이, 목재가공	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주입, 삽입, 첨가, 충전	53	0.0032	0.0019	2.58	0.0164
	측정, 검사, 수정	15	0.0011	0.0010	1.38	0.0033
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0069	0.0024	4.00	0.0239
	포장	52	0.0041	0.0018	3.11	0.0229
	혼합	160	0.0017	0.0011	1.86	0.0236
	화학반응	32	0.0284	0.0021	4.54	0.7838
나무제품 제조업	계	14	0.0035	0.0018	2.65	0.0246
	도장, 코팅	8	0.0021	0.0016	1.96	0.0059
	준비, 지원, 부속	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	4	0.0077	0.0031	3.93	0.0246
낙농제품 및 식용빙과류 제조업	계	6	0.0014	0.0012	1.57	0.0027
	준비, 지원, 부속	6	0.0014	0.0012	1.57	0.0027
내륙 수상 및 항만내 운송업	계	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	운반, 출하	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
도자기 및 기타 요업제품 제조업	계	107	0.0013	0.0011	1.62	0.0103
	도장, 코팅	60	0.0012	0.0011	1.53	0.0057
	성형, 가공	12	0.0021	0.0013	2.26	0.0103
	열처리	20	0.0013	0.0011	1.61	0.0035
	주입, 삽입, 첨가, 충전	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	포장	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	11	0.0010	0.0010	1.22	0.0018
무기 및 총포탄 제조업	계	21	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	섬유가공	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
반도체 제조업	계	281	0.0012	0.0010	1.54	0.0210
	도장, 코팅	22	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	26	0.0014	0.0011	1.77	0.0053
	세척, 제거	10	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	184	0.0013	0.0010	1.61	0.0210
	조립	28	0.0009	0.0009	1.17	0.0021
	측정, 검사, 수정	11	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
방직 및 가공사 제조업	계	12	0.0064	0.0037	2.96	0.0190
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	6	0.0093	0.0049	3.67	0.0190
	절단, 재단, 절곡	6	0.0036	0.0028	2.03	0.0090
병원	계	142	0.0010	0.0009	1.26	0.0040
	살균	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	16	0.0010	0.0009	1.21	0.0020
	준비, 지원, 부속	22	0.0010	0.0010	1.30	0.0025
	측정, 검사, 수정	102	0.0010	0.0009	1.26	0.0040
보관 및 창고업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
봉제의복 제조업	계	3	0.0033	0.0019	2.82	0.0081
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	2	0.0045	0.0027	3.00	0.0081
사업시설 유지관리 서비스업	계	18	0.0013	0.0010	1.68	0.0086
	도장, 코팅	8	0.0019	0.0012	2.11	0.0086
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	10	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
사회 및 산업정책 행정	계	21	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	17	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
산업 및 전문가 단체	계	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
상품 종합 도매업	계	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
선박 및 보트	계	5300	0.0013	0.0011	1.63	0.1100

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
건조업	광업	8	0.0011	0.0010	1.42	0.0026
	냉각, 분리, 정제	48	0.0014	0.0011	1.66	0.0046
	도금	4	0.0030	0.0016	2.75	0.0093
	도장, 코팅	48	0.0012	0.0010	1.55	0.0070
	섬유가공	75	0.0010	0.0009	1.20	0.0022
	성형, 가공	153	0.0011	0.0010	1.46	0.0046
	세척, 제거	20	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	식품 조리 및 가공	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	462	0.0017	0.0011	1.79	0.1100
	열처리	20	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2887	0.0013	0.0011	1.64	0.0110
	용해	18	0.0085	0.0041	3.64	0.0305
	운반, 출하	162	0.0011	0.0010	1.44	0.0046
	절단, 재단, 절곡	133	0.0011	0.0010	1.44	0.0047
	조립	704	0.0013	0.0011	1.61	0.0050
	주입, 삽입, 첨가, 충전	27	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	110	0.0012	0.0010	1.58	0.0084
	측정, 검사, 수정	418	0.0011	0.0010	1.41	0.0048
	포장	2	0.0023	0.0018	2.03	0.0037
	소프트웨어 개발 및 공급업	계	34	0.0009	0.0009	1.00
성형, 가공		2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
용접, 납땀		28	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
조립		4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
시계 및 시계부품 제조업	계	10	0.0024	0.0014	2.29	0.0124
	도금	4	0.0046	0.0029	2.57	0.0124
	조립	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업	계	274	0.0014	0.0011	1.62	0.0420
	냉각, 분리, 정제	4	0.0013	0.0011	1.50	0.0023
	도장, 코팅	11	0.0082	0.0046	2.90	0.0420
	분쇄	20	0.0012	0.0011	1.39	0.0020
	성형, 가공	62	0.0012	0.0010	1.46	0.0100
	식품 조리 및 가공	18	0.0011	0.0010	1.38	0.0025
	열처리	26	0.0010	0.0010	1.29	0.0021
	운반, 출하	6	0.0012	0.0011	1.51	0.0027
	저장	25	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	주입, 삽입, 첨가, 충전	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부착	9	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	57	0.0012	0.0011	1.46	0.0028
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	포장	11	0.0010	0.0010	1.28	0.0021
	혼합	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
실내건축 및 건축마무리 공사업	계	43	0.0026	0.0013	2.41	0.0229
	도장, 코팅	16	0.0054	0.0025	3.29	0.0229
	성형, 가공	16	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
악기 제조업	계	9	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업	계	69	0.0012	0.0010	1.57	0.0088
	연마	16	0.0010	0.0010	1.24	0.0022
	용접, 납땀	31	0.0014	0.0011	1.67	0.0088
	조립	18	0.0012	0.0010	1.52	0.0056
	주입, 삽입, 첨가, 충전	4	0.0016	0.0013	1.84	0.0037
영상 및 음향기기 제조업	계	141	0.0017	0.0012	1.96	0.0228
	도금	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	104	0.0019	0.0012	2.05	0.0228
	조립	20	0.0018	0.0013	1.94	0.0103
	측정, 검사, 수정	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
운동 및 경기용품 제조업	계	14	0.0015	0.0011	1.84	0.0096
	도장, 코팅	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	8	0.0020	0.0012	2.19	0.0096
유리 및 유리제품 제조업	계	96	0.0015	0.0011	1.76	0.0162
	도장, 코팅	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	성형, 가공	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	50	0.0019	0.0012	2.10	0.0162
	용해	2	0.0019	0.0016	1.80	0.0029
	인쇄, 종이, 목재가공	28	0.0010	0.0009	1.21	0.0025
	주입, 삽입, 첨가, 충전	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
육상 여객 운송업	계	25	0.0017	0.0011	1.95	0.0107
	도장, 코팅	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	1	0.0107	0.0107	1.00	0.0107
	용접, 납땀	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	15	0.0016	0.0011	1.85	0.0090
의료용 기기 제조업	계	166	0.0012	0.0010	1.57	0.0147
	용접, 납땀	118	0.0011	0.0010	1.47	0.0107
	조립	48	0.0015	0.0011	1.78	0.0147
의료용품 및 기타 의약품관련제품 제조업	계	12	0.0020	0.0016	1.89	0.0064
	성형, 가공	4	0.0023	0.0015	2.34	0.0064
	용접, 납땀	8	0.0018	0.0016	1.63	0.0035
의복 액세서리 제조업	계	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
의원	계	12	0.0028	0.0014	2.66	0.0147
	측정, 검사, 수정	12	0.0028	0.0014	2.66	0.0147
인력공급 및 고용알선업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
인문 및 사회과학 연구개발업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
인쇄 및 인쇄관련 산업	계	12	0.0036	0.0017	2.88	0.0172
	용접, 납땀	8	0.0049	0.0024	3.21	0.0172
	절단, 재단, 절곡	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
인형, 장난감 및 오락용품 제조업	계	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
일반 목적용 기계 제조업	계	1006	0.0026	0.0014	2.43	0.0478
	단조	18	0.0017	0.0014	1.83	0.0048
	도금	13	0.0013	0.0012	1.59	0.0035
	도장, 코팅	221	0.0023	0.0013	2.25	0.0265

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	성형, 가공	124	0.0019	0.0013	2.08	0.0144
	세척, 제거	15	0.0078	0.0037	3.87	0.0243
	연마	21	0.0019	0.0013	2.07	0.0110
	용접, 납땀	315	0.0019	0.0012	2.04	0.0244
	용해	110	0.0052	0.0026	3.26	0.0246
	접착, 부착	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	74	0.0023	0.0015	2.31	0.0119
	주입, 삽입, 첨가, 충전	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주소	41	0.0064	0.0022	3.74	0.0478
	준비, 지원, 부속	6	0.0013	0.0012	1.46	0.0020
	측정, 검사, 수정	39	0.0019	0.0012	2.08	0.0143
일차전지 및 축전지 제조업	계	699	0.0079	0.0053	2.59	0.0836
	건조	12	0.0113	0.0099	1.73	0.0189
	도장, 코팅	59	0.0112	0.0068	2.97	0.0671
	성형, 가공	12	0.0102	0.0085	1.89	0.0189
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	9	0.0109	0.0089	1.94	0.0226
	용접, 납땀	10	0.0047	0.0027	3.07	0.0128
	용해	12	0.0063	0.0045	2.56	0.0143
	운반, 출하	8	0.0071	0.0060	1.69	0.0192
	전기전자산업	64	0.0084	0.0062	2.39	0.0243
	절단, 재단, 절곡	23	0.0075	0.0058	2.10	0.0295
	접착, 부착	12	0.0025	0.0017	2.29	0.0090
	조립	253	0.0085	0.0066	2.15	0.0567
	주입, 삽입, 첨가, 충전	13	0.0061	0.0051	2.00	0.0106
	주소	70	0.0055	0.0040	2.36	0.0361
	준비, 지원, 부속	24	0.0050	0.0043	1.82	0.0181
	측정, 검사, 수정	18	0.0025	0.0017	2.27	0.0105
포장	49	0.0037	0.0019	2.68	0.0328	
혼합	51	0.0116	0.0076	2.50	0.0836	
입법 및 일반 정부 행정	계	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
자동차 및 모터사이클 수리업	계	107	0.0021	0.0013	2.16	0.0146
	도장, 코팅	89	0.0020	0.0013	2.09	0.0146
	성형, 가공	2	0.0040	0.0025	2.79	0.0070
	연마	16	0.0024	0.0015	2.38	0.0085
자동차 부품 및	계	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
내장품 판매업	준비, 지원, 부속	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
자동차 부품 제조업	계	1074	0.0015	0.0011	1.73	0.0366
	기타표면처리	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도금	14	0.0034	0.0016	2.72	0.0242
	도장, 코팅	88	0.0021	0.0012	2.11	0.0366
	성형, 가공	63	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	14	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	열처리	8	0.0019	0.0014	1.95	0.0061
	용접, 납땀	618	0.0014	0.0011	1.71	0.0231
	용해	34	0.0028	0.0016	2.48	0.0158
	인쇄, 종이, 목재가공	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	절단, 재단, 절곡	8	0.0013	0.0012	1.56	0.0030
	접착, 부착	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	89	0.0014	0.0011	1.66	0.0102
	주입, 삽입, 첨가, 충전	26	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주소	23	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	18	0.0011	0.0010	1.41	0.0035
	측정, 검사, 수정	45	0.0013	0.0011	1.64	0.0086
	혼합	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
자동차 차체 및 트레일러 제조업	계	63	0.0019	0.0012	2.05	0.0204
	도장, 코팅	55	0.0020	0.0012	2.14	0.0204
	연마	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
자동차용 엔진 및 자동차 제조업	계	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
자연과학 및 공학 연구개발업	계	113	0.0016	0.0012	1.87	0.0078
	냉각, 분리, 정제	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도금	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	섬유가공	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	52	0.0022	0.0015	2.21	0.0078
	준비, 지원, 부속	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	측정, 검사, 수정	35	0.0011	0.0010	1.45	0.0042
	혼합	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
전구 및 조명장치 제조업	계	205	0.0019	0.0013	2.04	0.0220
	도장, 코팅	4	0.0013	0.0012	1.58	0.0026
	성형, 가공	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	숙성, 발표, 침지	4	0.0012	0.0011	1.44	0.0021
	용접, 납땀	144	0.0021	0.0014	2.15	0.0220
	용해	4	0.0012	0.0011	1.44	0.0021
	조립	19	0.0013	0.0010	1.62	0.0073
	주입, 삽입, 첨가, 충전	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	18	0.0021	0.0014	2.07	0.0124
전기 및 통신 공사업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
전기통신업	계	26	0.0010	0.0009	1.24	0.0027
	용접, 납땀	26	0.0010	0.0009	1.24	0.0027
전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업	계	612	0.0016	0.0011	1.82	0.0470
	도금	2	0.0017	0.0015	1.63	0.0024
	도장, 코팅	17	0.0015	0.0012	1.76	0.0050
	성형, 가공	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	8	0.0024	0.0018	2.12	0.0075
	숙성, 발표, 침지	1	0.0022	0.0022	1.00	0.0022
	용접, 납땀	483	0.0016	0.0011	1.81	0.0470
	조립	49	0.0017	0.0013	1.97	0.0060
	주입, 삽입, 첨가, 충전	3	0.0015	0.0013	1.68	0.0027
	주조	8	0.0032	0.0024	2.25	0.0063
	준비, 지원, 부속	14	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	15	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
전자부품 제조업	계	2193	0.0020	0.0011	1.91	0.2089
	기타표면처리	6	0.0023	0.0019	1.84	0.0046
	냉각, 분리, 정제	6	0.0012	0.0011	1.55	0.0029
	단조	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도금	48	0.0020	0.0012	2.07	0.0257
	도장, 코팅	31	0.0077	0.0016	3.56	0.1453
	성형, 가공	65	0.0023	0.0012	2.19	0.0333
	세척, 제거	36	0.0019	0.0011	2.02	0.0196
	숙성, 발표, 침지	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	4	0.0159	0.0135	1.83	0.0293
	용접, 납땀	1606	0.0015	0.0011	1.73	0.0799
	용해	12	0.0030	0.0015	2.57	0.0200
	운반, 출하	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	인쇄, 종이, 목재가공	13	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	184	0.0016	0.0011	1.83	0.0288
	주입, 삼입, 첨가, 충전	18	0.0019	0.0012	2.03	0.0141
	준비, 지원, 부속	5	0.0352	0.0125	5.39	0.1123
	측정, 검사, 수정	128	0.0011	0.0010	1.43	0.0076
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	7	0.0859	0.0587	2.54	0.2089
	화학반응	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
절연선 및 케이블 제조업	계	205	0.0013	0.0010	1.64	0.0254
	냉각, 분리, 정제	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도금	2	0.0054	0.0041	2.16	0.0089
	도장, 코팅	21	0.0017	0.0013	1.87	0.0059
	성형, 가공	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	43	0.0011	0.0010	1.37	0.0037
	용접, 납땀	74	0.0011	0.0010	1.38	0.0084
	용해	6	0.0089	0.0052	2.99	0.0254
	접착, 부착	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	18	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	20	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
정기 항공 운송업	계	18	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	18	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
제재 및 목재 가공업	계	1	0.0051	0.0051	1.00	0.0051
	혼합	1	0.0051	0.0051	1.00	0.0051
종합 소매업	계	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
식물직조 및 식물제품 제조업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
철도운송업	계	9	0.0019	0.0015	1.92	0.0067
	용접, 납땀	4	0.0029	0.0022	2.06	0.0067

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	조립	3	0.0014	0.0012	1.56	0.0023
	측정, 검사, 수정	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
철도장비 제조업	계	30	0.0012	0.0010	1.54	0.0040
	도장, 코팅	14	0.0013	0.0011	1.66	0.0040
	용접, 납땀	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	4	0.0017	0.0013	1.89	0.0039
측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기기 제외	계	620	0.0014	0.0011	1.73	0.0176
	도금	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	17	0.0037	0.0019	2.94	0.0172
	성형, 가공	10	0.0020	0.0012	2.15	0.0116
	세척, 제거	24	0.0020	0.0014	2.04	0.0082
	용접, 납땀	451	0.0014	0.0011	1.70	0.0176
	접착, 부착	20	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	87	0.0010	0.0009	1.33	0.0072
	준비, 지원, 부속	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
측정, 검사, 수정	6	0.0023	0.0013	2.40	0.0094	
컴퓨터 및 주변장치 제조업	계	87	0.0014	0.0010	1.68	0.0101
	세척, 제거	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	80	0.0014	0.0010	1.72	0.0101
컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	계	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
토목 건설업	계	115	0.0017	0.0011	1.93	0.0213
	광업	26	0.0019	0.0014	2.02	0.0079
	도장, 코팅	47	0.0019	0.0011	2.01	0.0213
	성형, 가공	12	0.0014	0.0011	1.67	0.0043
	세척, 제거	9	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0027	0.0016	2.59	0.0087
	포장	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
통신 및 방송 장비 제조업	계	643	0.0018	0.0012	1.97	0.0301
	도장, 코팅	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	31	0.0029	0.0020	2.39	0.0073
	세척, 제거	15	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	446	0.0018	0.0012	1.97	0.0301

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	조립	104	0.0015	0.0011	1.77	0.0238
	주입, 삽입, 첨가, 충전	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	36	0.0021	0.0015	2.05	0.0115
특수 목적용 기계 제조업	계	578	0.0021	0.0012	2.14	0.0427
	도금	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	218	0.0034	0.0015	2.73	0.0427
	성형, 가공	40	0.0012	0.0011	1.49	0.0051
	세척, 제거	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	연마	18	0.0016	0.0010	1.84	0.0130
	열처리	2	0.0125	0.0046	5.16	0.0240
	용접, 납땀	199	0.0013	0.0010	1.62	0.0116
	용해	8	0.0047	0.0028	2.81	0.0137
	절단, 재단, 절곡	6	0.0014	0.0012	1.59	0.0029
	조립	64	0.0009	0.0009	1.15	0.0023
	주조	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	8	0.0022	0.0015	2.16	0.0084
	혼합	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
폐기물 수집운반업	계	52	0.0012	0.0010	1.59	0.0111
	건조	10	0.0010	0.0010	1.24	0.0018
	냉각, 분리, 정제	14	0.0019	0.0012	2.11	0.0111
	분쇄	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	8	0.0013	0.0011	1.65	0.0041
	주입, 삽입, 첨가, 충전	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	10	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
폐기물 처리업	계	59	0.0019	0.0013	2.08	0.0098
	냉각, 분리, 정제	8	0.0025	0.0015	2.42	0.0098
	도장, 코팅	4	0.0034	0.0023	2.56	0.0068
	분쇄	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	세척, 제거	11	0.0021	0.0017	1.97	0.0043
	용해	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	운반, 출하	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주입, 삽입, 첨가, 충전	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	준비, 지원, 부속	1	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	23	0.0017	0.0012	1.96	0.0089
	포장	2	0.0037	0.0024	2.69	0.0065

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
플라스틱제품 제조업	계	682	0.0029	0.0014	2.56	0.0444
	단조	5	0.0029	0.0021	2.18	0.0067
	도장, 코팅	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	분쇄	7	0.0119	0.0038	5.32	0.0320
	성형, 가공	167	0.0023	0.0013	2.26	0.0235
	세척, 제거	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	113	0.0020	0.0014	2.06	0.0160
	연마	4	0.0035	0.0023	2.58	0.0070
	용접, 납땀	50	0.0015	0.0011	1.81	0.0129
	절단, 재단, 절곡	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	접착, 부착	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	조립	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	주입, 삼입, 첨가, 충전	31	0.0021	0.0014	2.24	0.0102
	준비, 지원, 부속	5	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	88	0.0047	0.0020	3.28	0.0316
	혼합	184	0.0037	0.0016	2.92	0.0444
하수, 폐수 및 분뇨 처리업	계	12	0.0011	0.0010	1.37	0.0028
	측정, 검사, 수정	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0011	0.0010	1.45	0.0028
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업	계	219	0.0052	0.0014	2.84	0.3734
	냉각, 분리, 정제	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	도장, 코팅	6	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	분쇄	14	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	성형, 가공	30	0.0052	0.0022	3.40	0.0265
	압연, 압출, 인발, 신선, 전조	29	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용접, 납땀	7	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	절단, 재단, 절곡	4	0.0031	0.0016	2.79	0.0096
	주입, 삼입, 첨가, 충전	35	0.0014	0.0011	1.75	0.0116
	준비, 지원, 부속	3	0.0018	0.0014	1.95	0.0037
	측정, 검사, 수정	17	0.0066	0.0039	3.20	0.0196
	포장	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	58	0.0127	0.0019	3.94	0.3734
	화학반응	12	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
항공기, 우주선 및 부품 제조업	계	51	0.0010	0.0009	1.21	0.0035
	도장, 코팅	8	0.0009	0.0009	1.00	0.0009

산업(중분류)	공정(표준공정 2-digit)	N	AM	GM	GSD	Max
	용접, 납땀	41	0.0010	0.0009	1.23	0.0035
	조립	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
환경 정화 및 복원업	계	8	0.0017	0.0012	2.00	0.0074
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	8	0.0017	0.0012	2.00	0.0074
회사본부, 지주회사 및 경영컨설팅 서비스업	계	14	0.0010	0.0009	1.20	0.0018
	용접, 납땀	4	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	10	0.0010	0.0010	1.23	0.0018
NA*	계	29	0.0044	0.0020	3.08	0.0328
	도장, 코팅	12	0.0023	0.0014	2.30	0.0087
	성형, 가공	3	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	용해	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	측정, 검사, 수정	8	0.0117	0.0084	2.15	0.0328
	폐수처리, 소각, 계전 등 지원	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
	혼합	2	0.0009	0.0009	1.00	0.0009
총합계		22452	0.0025	0.0013	2.29	0.7838

* NA: not applicable

[부록 7] 혼합모형을 이용한 산업(한국표준산업분류 중분류)별 납 노출 분포 분석 결과

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
251	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	333	1048	32	-0.93	1.99	2.90	-1.31	5.23	50.55
282	일차전지 및 축전지 제조업	442	1412	31	-0.93	1.75	2.27	-1.31	4.99	39.64
242	1차 비철금속 제조업	535	1193	45	-0.93	1.26	1.39	-1.31	4.49	24.07
243	금속 주조업	447	758	59	-0.93	0.83	0.91	-1.31	4.05	15.54
201	기초화학물질 제조업	229	391	59	-0.93	0.74	0.83	-1.31	3.94	13.90
241	1차 철강 제조업	1455	2063	71	-0.93	0.39	0.58	-1.31	3.63	10.15
259	기타 금속가공제품 제조업	898	1297	69	-0.93	0.38	0.58	-1.31	3.61	10.02
222	플라스틱제품 제조업	807	1082	75	-0.93	0.33	0.55	-1.31	3.56	9.51
239	기타 비금속 광물제품 제조업	72	101	71	-0.93	0.46	0.63	-1.31	3.52	9.12
291	일반 목적용 기계 제조업	892	1193	75	-0.93	0.27	0.52	-1.31	3.50	8.98
339	그외 기타 제품 제조업	476	575	83	-0.93	0.11	0.44	-1.31	3.32	7.46
203	합성고무 및 플라스틱 물질 제조업	402	481	84	-0.93	0.11	0.44	-1.31	3.31	7.41
383	금속 및 비금속 원료 재생업	33	52	63	-0.93	0.39	0.58	-1.31	3.29	7.23

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
284	전구 및 조명장치 제조업	264	339	78	-0.93	0.10	0.44	-1.31	3.28	7.20
204	기타 화학제품 제조업	1248	1532	81	-0.93	0.04	0.41	-1.31	3.27	7.11
062	비철금속 광업	3	11	27	-0.93	0.95	1.02	-1.31	3.26	7.04
382	폐기물 처리업	106	136	78	-0.93	0.15	0.46	-1.31	3.25	6.94
952	자동차 및 모터사이클 수리업	103	129	80	-0.93	0.13	0.45	-1.31	3.21	6.69
292	특수 목적용 기계 제조업	732	845	87	-0.93	-0.02	0.39	-1.31	3.20	6.64
264	통신 및 방송 장비 제조업	834	978	85	-0.93	-0.04	0.38	-1.31	3.18	6.52
311	선박 및 보트 건조업	12850	15407	83	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	3.16	6.34
262	전자부품 제조업	3456	3930	88	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	3.15	6.33
721	건축기술, 엔지니어링 및 관련기술 서비스업	132	151	87	-0.93	0.03	0.41	-1.31	3.13	6.18
281	전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 · 제어 장치 제조업	862	992	87	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	3.13	6.17
289	기타 전기장비 제조업	761	879	87	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	3.10	6.03
701	자연과학 및 공학 연구개발업	727	827	88	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	3.09	5.93

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
265	영상 및 음향기기 제조업	243	275	88	-0.93	-0.08	0.36	-1.31	3.08	5.88
272	측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기기 제외	805	910	88	-0.93	-0.14	0.34	-1.31	3.08	5.87
283	절연선 및 케이블 제조업	330	371	89	-0.93	-0.11	0.36	-1.31	3.08	5.85
303	자동차 부품 제조업	1897	2099	90	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	3.07	5.85
412	토목 건설업	153	172	89	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	3.01	5.50
411	건물 건설업	71	88	81	-0.93	0.01	0.40	-1.31	3.01	5.49
261	반도체 제조업	579	624	93	-0.93	-0.21	0.32	-1.31	2.99	5.39
285	가정용 기기 제조업	129	154	84	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	2.99	5.36
273	안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업	125	147	85	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	2.98	5.32
271	의료용 기기 제조업	199	218	91	-0.93	-0.17	0.33	-1.31	2.97	5.25
233	시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업	263	336	78	-0.93	-0.21	0.32	-1.31	2.96	5.23
231	유리 및 유리제품 제조업	111	121	92	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.95	5.19
211	기초 의약품 및 생물학적 제제 제조업	115	129	89	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	2.94	5.09

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
729	기타 과학기술 서비스업	44	50	88	-0.93	0.09	0.43	-1.31	2.94	5.09
263	컴퓨터 및 주변장치 제조업	130	139	94	-0.93	-0.15	0.34	-1.31	2.93	5.06
302	자동차 차체 및 트레일러 제조업	55	64	86	-0.93	0.01	0.40	-1.31	2.93	5.05
861	병원	479	499	96	-0.93	-0.28	0.30	-1.31	2.92	5.00
232	도자기 및 기타 요업제품 제조업	190	211	90	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	2.91	4.99
424	실내건축 및 건축마무리 공사업	69	77	90	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	2.91	4.98
131	방직 및 가공사 제조업	3	12	25	-0.93	0.64	0.75	-1.31	2.89	4.88
951	기계 및 장비 수리업	53	59	90	-0.93	0.00	0.39	-1.31	2.89	4.87
465	기계장비 및 관련 물품 도매업	76	84	90	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.89	4.84
842	사회 및 산업정책 행정	89	97	92	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	2.88	4.82
529	기타 운송관련 서비스업	64	70	91	-0.93	-0.06	0.37	-1.31	2.88	4.81
212	의약품 제조업	195	205	95	-0.93	-0.25	0.31	-1.31	2.88	4.80
491	철도운송업	136	160	85	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	2.88	4.80
221	고무제품 제조업	147	157	94	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	2.87	4.77

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
381	폐기물 수집운반업	82	88	93	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	2.86	4.71
181	인쇄 및 인쇄관련 산업	28	33	85	-0.93	0.15	0.46	-1.31	2.84	4.64
107	기타 식품 제조업	80	86	93	-0.93	-0.15	0.34	-1.31	2.83	4.59
274	시계 및 시계부품 제조업	61	67	91	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.82	4.52
252	무기 및 총포탄 제조업	55	62	89	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.80	4.46
467	기타 전문 도매업	55	65	85	-0.93	-0.12	0.35	-1.31	2.80	4.42
320	가구 제조업	57	62	92	-0.93	-0.12	0.35	-1.31	2.78	4.34
862	의원	41	47	87	-0.93	-0.04	0.38	-1.31	2.77	4.30
313	항공기,우주선 및 부품 제조업	119	124	96	-0.93	-0.29	0.30	-1.31	2.76	4.29
582	소프트웨어 개발 및 공급업	65	74	88	-0.93	-0.18	0.33	-1.31	2.76	4.27
869	기타 보건업	97	98	99	-0.93	-0.26	0.31	-1.31	2.75	4.23
612	전기통신업	52	59	88	-0.93	-0.17	0.33	-1.31	2.70	4.04
312	철도장비 제조업	53	56	95	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	2.70	4.04
213	의료용품 및 기타 의약품관련제품 제조업	55	62	89	-0.93	-0.20	0.33	-1.31	2.69	4.00

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
969	그외 기타 개인 서비스업	60	64	94	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	2.68	3.93
492	육상 여객 운송업	59	62	95	-0.93	-0.23	0.31	-1.31	2.66	3.85
162	나무제품 제조업	16	22	73	-0.93	0.14	0.45	-1.31	2.62	3.71
759	기타 사업지원 서비스업	59	59	100	-0.93	-0.28	0.30	-1.31	2.59	3.59
741	사업시설 유지관리 서비스업	32	34	94	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	2.52	3.38
715	회사본부, 지주회사 및 경영컨설팅 서비스업	43	45	96	-0.93	-0.30	0.29	-1.31	2.46	3.18
333	운동 및 경기용구 제조업	23	26	88	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	2.44	3.09
511	정기 항공 운송업	35	35	100	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	2.44	3.09
739	그외 기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	38	40	95	-0.93	-0.28	0.30	-1.31	2.43	3.08
466	건축자재, 철물 및 난방장치 도매업	8	12	67	-0.93	0.28	0.52	-1.31	2.41	3.01
422	건물설비 설치 공사업	26	28	93	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	2.39	2.95
301	자동차용 엔진 및 자동차 제조업	26	27	96	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	2.38	2.91
351	전기업	23	23	100	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.35	2.83
192	석유 정제품 제조업	15	21	71	-0.93	-0.06	0.37	-1.31	2.34	2.81

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
072	기타 비금속광물 광업	5	10	50	-0.93	0.31	0.54	-1.31	2.31	2.73
179	기타 종이 및 판지 제품 제조업	18	21	86	-0.93	-0.12	0.35	-1.31	2.27	2.63
319	그외 기타 운송장비 제조업	19	20	95	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	2.26	2.60
370	하수, 폐수 및 분뇨 처리업	21	22	95	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	2.25	2.56
478	기타 상품 전문 소매업	23	24	96	-0.93	-0.24	0.31	-1.31	2.20	2.44
105	낙농제품 및 식용빙과류 제조업	14	16	88	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	2.18	2.38
332	약기 제조업	21	22	95	-0.93	-0.23	0.32	-1.31	2.17	2.36
390	환경 정화 및 복원업	13	14	93	-0.93	-0.04	0.38	-1.31	2.09	2.18
139	기타 섬유제품 제조업	11	15	73	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	2.02	2.04
464	가정용품 도매업	16	16	100	-0.93	-0.19	0.33	-1.31	2.00	1.99
639	기타 정보 서비스업	9	12	75	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	1.96	1.93
911	스포츠 서비스업	11	12	92	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	1.96	1.92
202	비료 및 질소화합물 제조업	9	10	90	-0.93	0.02	0.40	-1.31	1.92	1.84
421	기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업	12	12	100	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	1.86	1.73

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
161	제재 및 목재 가공업	0	3	0	-0.93	0.52	0.67	-1.31	1.82	1.67
106	곡물가공품, 전분 및 전분제품 제조업	13	14	93	-0.93	-0.27	0.30	-1.31	1.79	1.62
853	고등 교육기관	10	10	100	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	1.77	1.59
620	컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	10	10	100	-0.93	-0.10	0.36	-1.31	1.75	1.55
581	서적, 잡지 및 기타 인쇄물 출판업	9	9	100	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	1.73	1.53
172	골판지, 종이 상자 및 종이 용기 제조업	6	8	75	-0.93	0.01	0.40	-1.31	1.73	1.52
742	건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업	11	11	100	-0.93	-0.22	0.32	-1.31	1.67	1.44
702	인문 및 사회과학 연구개발업	10	10	100	-0.93	-0.17	0.33	-1.31	1.65	1.41
863	공중 보건 의료업	9	9	100	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	1.65	1.41
841	입법 및 일반 정부 행정	10	10	100	-0.93	-0.19	0.33	-1.31	1.62	1.37
352	가스 제조 및 배관공급업	8	9	89	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	1.62	1.36
468	상품 종합 도매업	9	9	100	-0.93	-0.14	0.34	-1.31	1.60	1.35
693	산업용 기계 및 장비 임대업	8	9	89	-0.93	-0.20	0.32	-1.31	1.52	1.23
132	직물직조 및 직물제품 제조업	7	7	100	-0.93	-0.07	0.37	-1.31	1.50	1.21

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
912	유원지 및 기타 오락관련 서비스업	8	8	100	-0.93	-0.18	0.33	-1.31	1.45	1.15
949	기타 협회 및 단체	7	7	100	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	1.44	1.14
953	개인 및 가정용품 수리업	6	6	100	-0.93	-0.08	0.37	-1.31	1.36	1.06
872	비거주 복지시설 운영업	3	4	75	-0.93	0.12	0.45	-1.31	1.36	1.05
472	음식료품 및 담배 소매업	6	6	100	-0.93	-0.08	0.37	-1.31	1.36	1.05
475	기타 가정용품 소매업	5	5	100	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	1.26	0.95
141	봉제의복 제조업	2	3	67	-0.93	0.12	0.45	-1.31	1.16	0.86
425	건설장비 운영업	1	2	50	-0.93	0.26	0.51	-1.31	1.15	0.85
144	의복 액세서리 제조업	4	4	100	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	1.08	0.80
692	개인 및 가정용품 임대업	4	4	100	-0.93	-0.08	0.36	-1.31	1.03	0.75
561	음식점업	4	4	100	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	1.02	0.75
502	내륙 수상 및 항만내 운송업	4	4	100	-0.93	-0.11	0.35	-1.31	0.98	0.72
108	동물용 사료 및 조제식품 제조업	4	4	100	-0.93	-0.13	0.35	-1.31	0.95	0.70
360	수도사업	4	4	100	-0.93	-0.16	0.34	-1.31	0.91	0.67

SIC	Explanation	Censoring rate			GM, ug/m ³			X0.95, ug/m ³		
		Censored	Total	Rate	fixed (log)	random (log)	Predicted	fixed (log)	random (log)	Predicted
452	자동차 부품 및 내장품 판매업	3	3	100	-0.93	-0.03	0.38	-1.31	0.90	0.66
334	인형,장난감 및 오락용품 제조업	3	3	100	-0.93	-0.04	0.38	-1.31	0.89	0.66
941	산업 및 전문가 단체	3	3	100	-0.93	-0.05	0.38	-1.31	0.87	0.64
493	도로 화물 운송업	3	3	100	-0.93	-0.09	0.36	-1.31	0.81	0.61
521	보관 및 창고업	3	3	100	-0.93	-0.11	0.36	-1.31	0.78	0.59
423	전기 및 통신 공사업	2	2	100	-0.93	-0.02	0.39	-1.31	0.67	0.53
205	화학섬유 제조업	2	2	100	-0.93	-0.03	0.38	-1.31	0.65	0.52
751	인력공급 및 고용알선업	2	2	100	-0.93	-0.04	0.38	-1.31	0.64	0.51
011	작물 재배업	2	2	100	-0.93	-0.06	0.37	-1.31	0.59	0.49
353	증기, 냉온수 및 공기조절 공급업	2	2	100	-0.93	-0.08	0.37	-1.31	0.57	0.48
471	종합 소매업	1	1	100	-0.93	-0.02	0.39	-1.31	0.35	0.38

[부록 8] 문헌 자료를 이용한 납 JEM

unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
1	2003	303	자동차 신·부품 제조업	Assembly	개인	32	0.80	0.6	2.658			0.1	2.8
1	2003	303	자동차 신·부품 제조업	Printing	개인	1	1.00					1	1
1	2003	303	자동차 신·부품 제조업	Surface processing	개인	1	1.80					1.8	1.8
1	2003	303	자동차 신·부품 제조업	Drying	개인	2	0.93	0.9	1.377			0.7	1.1
1	2003	303	자동차 신·부품 제조업	Processing	개인	1	0.50					0.5	0.5
2	2004	861	병원	방사선 종양학과 공작실	지역	2	0.30					0.12	0.52
2	2004	861	병원	방사선 종양학과 공작실	지역	2	0.45					0.32	0.56
2	2004	861	병원	방사선 종양학과 공작실	지역	2	0.40					0.27	0.51
2	2004	861	병원	방사선 종양학과 공작실	지역	2	0.46					0.34	0.56
3	1981	24	1차 금속 제조업	금속 제조	지역	3	490			490		130	850

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
4	1994	241	1차 철강 제조업	Plating	개인	5	40.8	33.2		40.8	34.2	23	92
4	1994	319	그 외 기타 운송장비 제조업	Welding	개인	5	15	14.8		15	2.1	12.9	17
4	1994	301	자동차용 엔진 및 자동차 제조업	Welding	개인	45	29	14		29	71	2	449.9
4	1994	301	자동차용 엔진 및 자동차 제조업	Plating	개인	5	19.5	19		19.5	4.3	13	25
4	1994	301	자동차용 엔진 및 자동차 제조업	Assembling (Brazing)	개인	10	20.1	17.4		20.1	14.8	11.5	58
4	1994	291	일반 목적용 기계 제조업	Assembling (Brazing)	개인	6	66	59.8		66	28	37	94
4	1994	285	가정용 기기 제조업	Assembling (Welding)	개인	20	18.2	10.1		18.2	24.6	1.5	320
5	1996	311	선박 및 보트 건조업	대조립(Welding)	개인	41	13.06	8	2.72			1	61
5	1996	311	선박 및 보트 건조업	소조립(Welding)	개인	40	10.19	8	2.5			1	41
6	1994	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	납 2차 제련	개인	6	662.39	575.4	1.7				
6	1994	25121	산업용 난방보일러 및 방열기 제조업	방열기 제조	개인	43	25.15	19.1	2.1				
6	1994	282	일차전지 및 축전지 제조업	납 축전지 제조	개인	44	1175.01	354.8	4.7				

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
6	1994	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	리사지 제조	개인	26	802.25	117.5	7.1				
7	1992	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	221.02	210			30	180	250
7	1992	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	215.46	200			30	180	240
7	1992	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	210.89	190			30	170	240
7	1993	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	50.95	50			20	30	70
7	1993	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	50.95	40			20	30	70
7	1993	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	39.74	40			20	20	60
7	1994	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	50.95	40			20	30	70
7	1994	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	43.76	40			30	20	70
7	1994	2013	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	안료, 염료 제조	지역	4	43.76	40			30	20	70
8	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	Casting	지역	26	35.57	15	2.52			2	200
8	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	Lead powder production	지역	15	88.15	34	4.89			3	670

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
8	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	Plate pasting	지역	9	26.85	25	3.16			3	100
8	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	Hydrosetting	지역	13	60.89	28	3.63			10	180
8	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	Assembly	지역	44	88.93	31	3.05			10	330
8	1988	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	Dismanting	지역	6	236.30	141	1.04			50	600
8	1988	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	Smelting	지역	27	21.48	16	1.98			3	70
8	1988	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	Refining	지역	33	21.59	19	2.84			2	90
9	1994	232	내화, 비내화 요업제품 제조업	Glaze spraying	개인	3	178.46	194				79	291
9	1994	232	내화, 비내화 요업제품 제조업	Glaze spraying	개인	3	7.18	7				6	8
9	1994	232	내화, 비내화 요업제품 제조업	Glaze spraying	개인	2	15.93	16				13	18
9	1994	232	내화, 비내화 요업제품 제조업	Glaze spraying	개인	2	987.34	965				845	1084
10	1994	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	1차 제련	지역	14	45.33	33.8	2.05			11	106
10	1995	24213	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	1차 제련	지역	26	101.99	39.7	2.265			13	351

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
10	1996	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	23	335.76	61.6	2.944			19	1881
10	1997	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	19	176.72	57.6	3.154			11	935
10	1998	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	22	153.95	57.8	2.376			18	558
10	1999	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	33	55.23	48.4	2.094			10	154
10	2000	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	12	86.46	86.2	1.575			31	160
10	2001	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	11	73.01	92.6	1.703			23	146
10	2002	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	27	10.49	7.6	3.165			1	43
10	2003	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	29	9.71	7.9	2.706			1	38
10	2004	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	13	8.20	5.9	3.241			1	29
10	2005	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	64	14.98	10.1	3.172			1	76
10	2006	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	30	9.39	11.9	2.963			1	36
10	2007	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	1차 제련	지역	30	10.49	19	2.391			1	43

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
10	1994	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	9	141.61	45.8	3.455			11	656
10	1995	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	26	391.94	250.1	2.91			35	1670
10	1996	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	21	277.29	191.1	3.544			15	1596
10	1997	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	29	399.78	245.6	3.582			21	2342
10	1998	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	24	506.55	231	3.218			24	3157
10	1999	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	27	188.62	165.5	3.279			12	985
10	2000	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	21	469.36	317.5	3.016			50	1799
10	2001	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	31	66.88	69.9	1.868			18	147
10	2002	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	22	37.40	57.1	2.346			4	143
10	2003	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	28	59.22	41.2	1.826			15	135
10	2004	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	27	16.65	36.7	2.648			1	90
10	2005	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	32	16.42	30.4	2.605			1	88

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
10	2006	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	33	29.53	27	1.846			4	98
10	2007	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	2차 제련	지역	27	29.16	37.3	2.056			5	84
10	1994	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	54	1060.04	265.6	3.312			29	9185
10	1995	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	52	601.87	582.6	4.565			9	7493
10	1996	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	39	1125.39	1085.5	4.137			64	6286
10	1997	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	42	999.57	722.2	3.19			34	7600
10	1998	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	32	494.97	307	3.551			19	3500
10	1999	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	14	43.02	90.8	4.306			1	411
10	2000	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	14	41.02	36.2	3.028			6	130
10	2001	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	25	55.17	77.3	2.66			5	233
10	2002	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	28	39.84	85.3	2.24			3	188
10	2003	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	29	34.16	69.8	2.639			3	147

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
10	2004	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	13	24.89	52.5	2.802			2	113
10	2005	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	33	174.28	46.9	2.663			3	1994
10	2006	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	29	17.67	27	2.959			1	99
10	2007	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	리사지 제조	지역	26	16.30	26.1	3.517			1	87
11	2018	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	Preparation	지역	6	26.25	25.12	1.37	26.25	7.06	14.44	33.59
11	2018	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	Refining	지역	6	121.12	108.57	1.57	121.12	62.51	59.02	252.88
11	2018	24213	연 및 아연 합금 제련, 정련 및 제조업	Casting	지역	6	75.13	60.37	2.12	75.13	40.02	13.89	128.88
12	2012	24112	제강업	용해	개인	40	58.94	28	2.23			9	182
12	2012	24112	제강업	용해	지역	45	60.38	37	2.21			7	220
12	2012	24112	제강업	용해	지역	15	86.45	49	2.37			5	478
13	1989	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	118	574.71	241	3.34			11	6170
13	1990	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	273	289.41	155	3.64			7	2700

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
13	1991	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	386	457.40	109	3.7			6	6160
13	1992	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	366	224.59	64	3.72			6	1974
13	1993	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	448	255.75	90	3.73			6	2430
13	1994	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	404	443.68	89	3.98			6	5867
13	1995	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	405	366.37	92	3.65			6	4319
13	1996	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	348	568.65	105	3.45			7	7956
13	1997	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	433	501.83	120	3.34			6	7145
13	1998	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	420	219.44	138	3.64			6	1902
13	1999	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	326	211.57	74	2.94			6	1794
13	2000	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	214	101.51	52	2.57			6	554
13	2001	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	116	48.92	46	2.13			8	145
13	2002	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	184	146.83	37	2.45			6	1000

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
13	2003	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	170	43.54	31	2.3			6	143
13	2004	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	149	146.83	35	2.25			6	1000
13	2005	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	129	34.60	35	2.25			6	99
13	2006	282	일차전지 및 축전지 제조업	Grid(구 공법)	지역	99	146.83	27	2.05			6	1000
13	1989	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	30	53.19	24	2.35			6	197
13	1990	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	29	177.83	48	3.38			10	1000
13	1991	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	42	61.67	29	2.42			8	210
13	1992	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	29	146.83	32	3.89			6	1000
13	1993	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	40	146.83	19	3.15			6	1000
13	1994	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	44	146.83	46	5.93			6	1000
13	1995	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	499	282.48	46	4.52			6	2849
13	1996	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	62	696.20	54	3.98			7	10998

Ref No.	조사 년도	KSIC code	산업 명(KSIC 10차 개정안)	공정	시료 유형	시료수 (N)	AM_ EST	GM	GSD	AM	SD	Min	Max
13	1997	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	76	182.32	74	4.19			6	1414
13	1998	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	89	79.85	51	2.47			7	344
13	1999	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	84	146.83	46	2.34			6	1000
13	2000	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	82	66.16	44	2.32			9	219
13	2001	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	63	60.80	29	2.06			6	244
13	2002	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	78	155.56	29	2.11			7	1000
13	2003	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	77	30.29	24	1.71			6	80
13	2004	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	59	146.83	24	2.02			6	1000
13	2005	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	64	65.07	32	1.95			6	272
13	2006	282	일차전지 및 축전지 제조업	Expander(신 공법)	지역	40	34.82	21	2.38			6	100
14	1987	282	일차전지 및 축전지 제조업	납 축전지 제조	개인	2	307.96					232	365
14	1988	282	일차전지 및 축전지 제조업	납 축전지 제조	개인	7	149.53					81	216

[부록 9] JEM(Job-Exposure Matrix) 구축 매뉴얼

1. 매뉴얼 개발 배경

- 직업성 질환의 발생을 예방하고 필요한 경우 적절한 보상을 결정하기 위해서는 발생 질환의 직업적 노출 요인을 정확히 규명하는 것이 필요함.
- 특히 초기 노출 후 긴 잠복기를 갖는 암(cancer)과 같은 만성 질환자의 노출 요인을 규명하기 위해서는 질환자의 직무력에 따른 직업적 노출 요인에 대한 과거 노출 평가(retrospective exposure assessment)가 필요하며, 시기별 노출 수준을 파악할 수 있는 체계가 필요함.
- 직무-노출 매트릭스(Job-Exposure Matrix, JEM)는 직업적 요인에 따른 질병과의 연관성을 평가하는 역학연구에서 노출 평가 방법으로 많이 활용되고 있으며, 국가 노출감시체계(Exposure Surveillance) 로도 활용 가능함.
- 우리나라는 작업환경측정, 특수건강진단 등의 안전보건제도에 의해 주기적으로 노출관련 정보가 생성되고 안전보건공단에 축적되고 있음. 특히 특수건강진단 자료는 개인 식별 코드가 있어 건강보험 DB와 연계하여 직업성 코호트가 구축되어 있고 특수건강진단 자료는 작업환경측정 자료와 연계 분석이 가능한 정보 특성을 갖고 있음.
- 이에 향후 직업성 코호트 분석에 활용 가능한 JEM을 구축하는 방법을 체계적으로 정리하여 각 연구자들의 시행착오를 줄이고 활용도가 높은 JEM 구축이 가능하도록 매뉴얼을 개발하고자 함.

2. 매뉴얼 적용 범위

- JEM 구축을 위해 활용 가능한 자료들은 기존 선행 연구결과 검증된 학술지에 발표된 문헌 자료, 학술지에 발표되지 않았으나 공공 기관의 조사 자료 혹은 등록 자료, 그리고 국외 JEM 자료 등이 있음. 우리나라의 경우 작업환경측정자료는 전국 단위로 실시되는 대표적인 정량적 노출 자료이며 매년 주기적으로 자료가 축적되고 있어 다양한 유해인자에 대해 산업, 공정 별 노출 수준을 파악할 수 있기 때문에 JEM 구축 활용도가 높은 자료임.
- 따라서 본 매뉴얼은 작업환경측정 자료를 활용한 JEM 구축 방법을 중심으로 작성되었으며, K2B에 의해 안전보건공단에 보고되어 축적된 2002년부터 2019년 이전 까지 측정자료를 대상으로 적용 가능함.

3. 작업환경측정 자료를 이용한 JEM 구축 단계

(1) 자료의 변수 선택

- K2B 데이터베이스에 있는 작업환경측정 자료는 기본적으로 산업안전보건법에 의해 보고하도록 하고 있는 작업환경측정 보고서의 내용을 각 변수화하여 저장되어 있음. 따라서 매우 많은 변수가 있으므로 JEM 구축을 위해 꼭 필요한 변수를 선택하여 자료 수집을 해야 함.
- JEM의 활용 목적에 따라 필요한 변수는 달라질 수 있으나, 기본적으로 <표 1>과 같은 변수가 노출 수준 평가를 위한 필요 정보라고 할 수 있음.
- 특히 ‘사업장관리번호’ (표1-2)와 ‘사업장개시번호(표1-3)’ 는 특정 사업장을 구분할 수 있는 key 값이라고 할 수 있으며, 향후 특수건강진단 자료와의

연계 분석을 하고자 할 경우 동일 사업장의 정보로 연결할 수 있는 핵심 변수가 됨. 즉 ‘사업장관리번호’와 ‘사업장개시번호’가 동일한 경우 두 자료는 동일한 사업장의 정보라는 의미임.

<표 1> 작업환경측정 자료의 주요 변수

1. 연도 : WEM_YEAR
2. 사업장관리번호 : INDDIS_NO
3. 사업장개시번호 : INDOPEN_NO
4. 우편번호 : BIZ_ZIP
5. 업종코드 : BIZ_INDUTY
6. 업종명_업태 : BIZCND
7. 주생산품 : BIZ_MAIN_PRODUCT
8. 공정코드 : PROCS_CD
9. 공정명_공단 : PROCS_NM
10. 공정명 : gongjung
11. 단위작업장소명 : UNIT_WRKRUM_NM
12. 유해인자코드 : CHMCLS_CD
13. 유해인자명 : CHMCLS_NM
14. 부서명 : DEPT_NM
15. 측정시간_시작 : WEM_TIME_FROM
16. 측정시간_종료 : WEM_TIME_TO
17. 측정횟수 : WEM_CO
18. 측정결과값_평균 : WEM_VALUE_AVRG ** 시간가중평균치(TWA) 금회
19. 측정결과값_금회 : WEM_VALUE_NOW ** 측정치

- 작업환경측정 자료의 정보 중 ‘산업-공정’은 핵심 노출 변수라고 할 수 있으며, 안전보건공단에서 제공하는 5-자리 표준공정코드(표1-8)와 공정명(표1-9)으로 입력하고 있으며, 이와 별개로 측정기관에서 측정하며 조사한 공정 정보를 공정명(표1-10) 변수와 단위작업장소명(표1-11), 부서명(표1-14)

에 기록하고 있음. 안전보건공단의 표준공정코드 입력 자료는 기타 코드로 입력되어 있는 경우가 많기 때문에 향후 정확한 공정 정보를 파악하기 위해서는 측정기관이 직접 조사한 정보를 입력한 변수들의 정보를 함께 수집 분석할 필요가 있음.

(2) 분석 자료의 선택/배제 기준

- 분석 대상 자료의 활용 목적을 고려하여 선택/배제 기준을 설정하고 이에 맞게 전처리를 수행해야 함. 이와 관련하여 고려해야 할 변수는 ‘측정시간’ 과 ‘측정농도’ 임.
- 측정시간 : 분석 대상 유해인자의 노출 수준을 8시간-TWA 수준으로 파악하고자 할 경우 측정시간이 너무 짧은 자료는 실제 측정시간이 짧았거나 자료의 입력 오류일 수 있기 때문에 신뢰도가 낮아 분석대상에서 제외해야 함. 이 경우 4시간을 기준으로 4시간 이상 측정된 자료만 선택하여 분석할 필요가 있음. 자료 변수 중 측정시간은 측정 시작시간과 종료시간 값을 이용하여 측정시간을 계산 하여 평가해야 함.
- 측정농도 : 작업환경측정 보고서에서는 ‘측정치’ 와 이를 8시간 TWA로 환산한 ‘시간가중평균치(전회/금회)’ 의 항목이 있음. 이 경우 8시간 TWA 값을 대상으로 자료를 분석하는 것이 타당함. K2B의 입력 변수에서는 측정치는 ‘측정결과값_금회’ (표1-19)에 해당되고 8시간 TWA에 해당되는 자료는 ‘측정결과값_평균’ (표1-18)에 해당됨. 따라서 이 두 변수의 값을 비교하여 서로 차이가 나는 경우엔 자료 입력의 정확도가 의심되므로 해당 자료를 제외하고 분석할 필요가 있음.

(3) 공정 표준화

1) 공정 표준화1

- 2019년 이전까지의 K2B 공정 코드는 5자리(5-digit)로 총 1392개로 이루어져 있으며, 이 중 356개 코드만 공정코드에 대한 설명글이 있음. 따라서 공정코드가 너무 세분화 되어 있고, 공정코드에 대한 설명글이 충분하지 않아 측정기관에서 K2B를 통해 입력할 경우 적절한 공정코드 선택이 어렵기 때문에 K2B DB의 공정코드 정보의 정확성과 신뢰도가 낮다고 할 수 있음.

공정 설명	없음	있음	총합계
5-digit 공정코드 갯수	1036	356	1392
유사 공정 예	'도장' 과 유사 공정명 : 전착도장, 자동도장, 기타도장, 프라이머도장, 중간도장, 상도도장, 내화도장, 방청도장, 기타도장, 옥내도장, 옥외도장, 프레임도장, 도장도포, 칠술도장, 분무도장, 스프레이도장, 액체도장, 정전도장, 침지도장, 롤러도장, 부동도장, 분체도장, 도장준비		

36개 2-digit 으로 재 분류

1digit	2digit	2digit name	3digit	3digit name	4digit	4digit name	5digit	5digit name	제외
1	10	준비, 지원, 부착	100	준비, 지원, 부착	1000	표식, 마킹, 준비	10000 - 10009	준비, 도장준비, 표식, 마킹, 금긋기, 현도, 기타표식, 레이저마킹, 압인, 지원운영	10009(지원운영)
					1001, 1002	지원, 부착, 공정	10010 - 10023	원료입고, 부원료입고, 중간재입고, 기타원료, 공무, 영선, 공작, 보일러실, 동력실, 콤프레서실, 실험실, 기계실, 제어실, 청소	10020(실험실) 10021(기계실) 10022(제어실) 10023(청소)
	12	주입, 첨가, 충전	120	주입, 첨가, 충전	1200 - 1206	주입, 첨가, 충전	12000 - 12061	투입, 삼입, 자동삼입, 수동삼입, 압입, 기타삼입, 기관삼입, 핀삼입, 주입, 자동주입, 수동주입, 가스주입, 그리스주입, 내화재주입, 수은주입, 전해액주입, 절연물주입, 이온주입, 기타주입, 투입, 불투입, 용기투입, 예측시투입, 우레탄투입, 기타투입, 장입, 충전, 자동충전, 수동충전, 냉매충전, 도로충전, 절연유충전, 질소충전, 칼셀충전, LPG충전, MgO충전, 합제충전, 기타충전, 전기충전, 켈부극충전, 기타전기충전, 점가, 가당, 가수, 가염, 가황, 부재료첨가, 사라다유첨가, 색소첨가, 수소첨가, 시립첨가, 마항산첨가, 유당첨가, 중국첨가, 촉매첨가, 촉매반응, 주유, 기타첨가, 흡입, 흡인, 흡수, 기타흡입	12055(촉매반응) 12058(흡입) 12059(흡인) 12060(흡수) 12061(기타흡입)

[그림 1] K2B 5-digit 공정코드의 특성과 2-digit 코드로 재 분류(공정 표준화1) 예.

- 이에 현재 입력되어 있는 5 자리 코드(세세분류)를 [그림 1]과 같이 자리수를 줄여가며 각각 대분류(1-digit), 중분류(2-digit), 소분류(3-digit), 세분류(4-digit)로 나누면 각 분류 체계 내의 공정명들이 유사한 속성을 나타내고 있으며, 이중 36개의 중분류(2-digit) 코드로 재분류 하여 분석에 사용하는 것이 좋음. 이렇게 재분류한 중분류 공정코드를 ‘공정 표준화1’ 이라고 할 수 있음.

2) 공정 표준화2

- 공정 표준화1에 의한 표준화는 기존 입력된 공정코드가 정확하게 입력되었다는 가정하에 사용 가능함. 그러나 기존 입력된 5자리 코드가 정확하지 않다면 정확도를 검증한 후 사용할 필요가 있음. 이를 위해 작업환경측정기관이 직접 조사한 정보를 서술형으로 직접 입력한 ‘공정명’ 정보와 ‘단위작업장소’ 정보를 활용하여 공정 표준화1에서 사용한 36개 중분류 표준공정으로 재 할당하는 방법을 사용할 수 있는데 이를 ‘공정 표준화2’ 라고 할 수 있음. 이후 두 표준화 결과를 비교한 후 최종 정확한 공정 표준화 결과를 선택하여 분석에 활용할 수 있음.
- 측정기관의 입력 정보를 보면서 적절한 공정코드를 재 할당 하면 자료수가 많아 시간과 노력이 너무 많이 들기 때문에 알고리즘을 이용한 ‘공정 코드 자동할당’ 방법을 활용할 수 있음.
- 기관에서 입력한 자료(공정명 및 단위작업장소명)를 기반으로 공정 코드를 자동으로 할당하는 ‘공정 표준화2’ 방법은 크게 1) 각 공정에 대한 핵심 단어(keyword)를 확보, 2) 자료의 전처리(pre-process), 그리고 3) 일치도를 기반으로 하는 코드 할당 작업으로 구성됨.

① 공정에 대한 핵심 단어

- 공정 코드의 자동할당을 위해서는 우선 각 공정에 대한 정확한 특성을 나타내 주는 설명 또는 핵심 단어로 구성된 참고 자료(reference key words)를 확보하는 것이 우선임. 즉 측정기관이 입력한 공정명과 단위작업장소명의 정보가 특정 표준공정을 설명하는 참고 자료와 비교하여 적절한 표준 공정을 할당할 수 있도록 하기 위함.
- 이러한 표준 공정에 대한 참고자료는 최대한 정확하고 풍부한 정보로 구성하는 것이 필요하지만, 제한적 상황을 고려하여 K2B의 1392개 5 자리 공정 코드를 이용하여 재 분류한 중분류 코드집을 참고 자료로 활용할 수 있음.
- 중분류 코드집은 하나의 중분류 코드에 속한 5 자리 공정명이 해당 중분류 코드를 설명하는 핵심어로 구성됨. 앞서 2자리 공정 코드 10인 경우, 해당 공정명은 ‘준비, 지원, 부속’이며 관련 핵심 단어는 5자리 공정코드 10000-10008에 해당하는 ‘준비’, ‘도장준비’, ‘표식’, ‘마킹’, ‘금긋기’, ‘현도’, ‘기타표식’, ‘레이저마킹’, ‘압인’ 으로 구성됨.

② 자료의 전처리

- 기관에서 입력한 공정명과 단위작업 장소명의 경우, 여러 기관들이 입력을 하였기 때문에 입력값의 일관성이 떨어지며 다양한 값들이 들어 있음. 따라서, 우선 다양한 값들을 의미 있는 단위로 나누는 것이 필요하며, 분류에 불필요한 값들(예, 특수문자 및 빈칸)을 제거하는 전처리 과정이 필수적임. 기관이 입력한 공정명 및 단위작업 장소명에 다음의 전처리를 시행함.

- ① 특수문자를 포함한 문장부호 제거
- ② 숫자 제거
- ③ 문자열 맨 처음과 마지막의 빈칸 제거
- ④ 단어 사이에 있는 빈칸을 기준으로 단어를 분리/추출

- 예를 들어 공정명에 ‘납땜(솔더)/디핑’ 이 입력되어 있는 경우, 위 전처리 과정의 완료 후에는 ‘납땜’, ‘솔더’, ‘디핑’ 의 3개의 단어로 분리/추출된 결과가 나오게 됨. 또한, 앞서 설명한 공정에 대한 핵심 단어의 경우에도 ‘조형(기계작업)’ 과 같이 복합 단어가 입력되어 있는 경우가 있기 때문에 괄호(‘(’, ‘)’)를 제거하는 전처리를 실시함. 따라서, ‘조형(기계작업)’ 의 경우, ‘조형’, ‘기계작업’ 으로 단어를 분리한 결과가 발생함.

③ 일치도를 기반으로 하는 코드 할당 작업

- 코드를 할당하는 방법은 크게 다음의 2가지 방법으로 진행함.
- 방법 1(matched 1) : 기관에서 입력한 공정명 (또는 단위작업 장소명)의 분리/추출된 단어가 공정 표준화1 결과(중분류(2자리) 공정 코드)의 핵심단어 (비교 대상 목록)와 일치(또는 포함) 하는 경우, 해당 공정 코드를 할당하는 방법으로 이는 특이도(specificity)가 높은 특성이 있음.
- 방법 2(matched 2): 공정 표준화1 결과(중분류(2자리) 공정 코드)의 핵심 단어가 기관에서 입력한 공정명 (또는 단위작업 장소명)의 분리/추출된 단어 (비교 대상 목록)와 일치 (또는 포함) 하는 경우, 해당 공정 코드를 할당하는 방법으로 이는 민감도(sensitivity)가 높은 특성이 있음.

1	공정코드	공정코드2	공정명_기관	단위작업장소명	assign.proc1	assign.loc1	assign.proc2	assign.loc2
2	19030	19		대형제강보수	NA	NA	NA	29;
20	29042	29	봉강보수	봉강보수	NA	NA	29;	29;
23	32088	32	특수강지원정	특수강지원정비	NA	NA	NA	NA
24	29019	29	검수	100톤검수	29	NA	29;	29;
42	23033	23	물조립	물조립(분해,조립)	NA	31;23	23;	23;28;31;
56	19032	19		합형,주입,탈사	NA	14;12;14	NA	12;14;14;

[그림 2] 측정기관 입력정보를 이용하여 자동 할당된 공정코드(공정 표준화2) 예.

- [그림 2]는 위의 공정 코드 자동 할당 방법의 일부 결과를 보여줌. 여기서, ‘공정코드’ 는 K2B에 입력되어 있는 5자리 공정 코드, ‘공정코드2’ 는 5자리 공정 코드에서 추출한 2자리(중분류) 공정코드(공정 표준화1), ‘공정명_기관’ 과 ‘단위작업장소명’ 은 각각 측정 기관에서 입력한 공정명 및 단위작업장소명, ‘assign.proc1’ 과 ‘assign.loc1’ 은 방법 1을 공정명과 단위작업장소명을 기준으로 각각 자동 할당한 공정 코드, ‘assign.proc2’ 과 ‘assign.loc2’ 은 방법 2를 공정명과 단위작업장소명을 기준으로 각각 자동 할당한 공정 코드를 의미함.
- 위 결과의 가장 첫 줄인 K2B에 입력된 공정코드가 ‘19030’ 인 경우, 기관에서 입력한 공정명은 공란이므로 공정명을 기반으로 하는 방법 1(assign.proc1)과 방법 2(assign.proc2)의 결과에 ‘NA’ (not available)가 입력이 되었음. 한편, 해당 단위작업 장소명에 입력된 ‘대형제강보수’ 는 전처리 후에도 그대로 ‘대형제강보수’ 로 분리/추출되고, 해당 단어는 공정의 핵심 단어에서 일치되는 결과를 찾을 수 없으므로 방법 1(assign.loc1)에 역시 ‘NA’ 가 입력이 됨. 하지만, 방법 2(assign.loc2)의 경우, 공정의 핵심 단어들 중에서 코드 ‘29’ 에 있는 ‘보수’ 라는 핵심 단어가 ‘대형제강보수’ 에 포함되기 때문에 그 결과로, ‘assign.loc2’ 에 ‘29’ 가 입력이 되었음을 알 수 있음.
- 또 하나의 예로, 위 결과의 가장 마지막인 공단의 공정코드가 ‘19032’ 인 경우, 기관에서 입력한 공정명이 공란이므로 ‘assign.proc1’ 과 ‘assign.proc2’ 에 모두 ‘NA’ 가 입력이 되었음. 해당 단위작업 장소명에 ‘합형,주입,탈사’ 가 입력되어 있는데, 전처리 후 이 값은 ‘합형’, ‘주입’, ‘탈사’ 로 분리/추출이 되었고, 해당 단어들은 중분류 공정 코드 ‘14’, ‘12’, ‘14’ 에 각각 해당되므로 방법 1 (assign.loc1)과 방법 2 (assign.loc2) 모두 같은 결과를 갖게 됨.

3) 공정 표준화1과 공정 표준화2의 결과 비교

- 공정 표준화1과 공정 표준화2를 상호 비교한 결과 [그림 3]과 같으며, [그림 2]와 동일하지만, ‘matched1’ 과 ‘matched2’ 변수를 추가한 결과임

1	공정코드	공정코드2	공정명_기관	단위작업장소명	assign .proc1	assign .loc1	matched1	assign .proc2	assign .loc2	matched2	
2	19030	19		대형제강보수	NA	NA	no match2	NA	29;	no match1	
20	29042	29	봉강보수	봉강보수	NA	NA	no match2	29;	29;	both	
23	32088	32	특수강지원정	특수강지원정비	NA	NA	no match2	NA	NA	no match2	
24	29019	29	검수	100톤검수		29	NA	procedure	29;	29;	both
42	23033	23	롤조립	롤조립(분해,조립)	NA	31;23	location	23;	23;28;31;	both	
56	19032	19		합형,주입,탈사	NA	14;12;14	no match1	NA	12;14;14;	no match1	

[그림 3] 공정 표준화1과 표준화2 결과 비교 예.

- ‘matched1’ 은 방법 1의 결과로 할당된 공정 코드가 K2B에 입력된 5 자리 코드로부터 재분류 한 중분류 코드인 ‘공정코드2’ 와 일치하는 지를 보여줌. 이때, ① 공정명 기준의 결과(assign.proc1)와 일치하는 경우에는 ‘procedure’, ② 단위작업 장소명 기준의 결과(assign.loc1)과 일치하는 경우에는 ‘location’, ③ 공정명과 단위작업 장소명 기준의 결과 모두 일치하는 경우에는 ‘both’, ④ 공정명 또는 단위작업 장소명 기준으로 코드가 자동 할당되었으나 ‘공정코드2’ 와 일치하지 않는 경우에는 ‘no match1’, ⑤ 공정명 또는 단위작업 장소명 기준으로 코드가 자동 할당되지 않았을 경우에는 ‘no match2’ 의 값을 갖게 하였음.
- ‘matched2’ 는 방법 2의 결과 기반으로 K2B에 입력된 공정코드와의 일치도를 보여주며, 값은 ‘matched1’ 과 동일하게 정의됨.
- K2B에 입력된 공정코드가 ‘29019’ 인 경우, 2자리 중분류로 ‘29’ 가 되며, 기관에서 입력한 공정명은 전처리 후 ‘검수’, 단위작업 장소명은 전처리 후 ‘톤검수’ (숫자 제거됨)로 분리/추출되며, 그 결과 방법 1은 공정명을 기준으로

로 ‘29’ 라는 값을 자동 할당하지만 (assign.proc1), 단위작업 장소명으로는 일치하는 핵심 단어를 찾을 수 없으므로 ‘NA’ 가 할당이 됨(assign.loc1). 하지만, 방법 2의 경우에는 공정 코드 ‘29’ 의 핵심단어 중 하나인 ‘검수’ 가 공정명과 단위작업 장소명에서 일치하기 때문에 ‘assign.proc2’ 와 ‘assign.loc2’ 에 각각 ‘29’ 를 자동 할당됨. 따라서, 방법 1의 경우, 공정명 기준으로 할당된 ‘29’ 만 공단 입력값인 ‘29’ 와 일치하기 때문에 ‘matched1’ 에 ‘procedure’ 가 입력이 되며, 방법 2의 경우, 공정명과 단위작업 장소명 둘 다 공단 입력값인 코드 ‘29’ 에 일치하므로, ‘matched2’ 에 ‘both’ 가 입력이 됨.

4) 공정 표준화 결과 해석 및 JEM 활용 방향

- 공정 표준화1과 표준화2 결과를 비교했을 때 다음과 같이 크게 4개의 그룹으로 구분될 수 있음.
- 그룹1 : 방법1과 방법2에 의해 공정코드를 재 할당한 공정 표준화2 결과 모두 공정 표준화1의 코드와 일치함. 이 경우 공정 표준화1의 신뢰도(정확도)가 매우 높다고 할 수 있으며 공정 표준화1의 코드를 이용하여 JEM구축 가능함.
- 그룹2 : 방법1 혹은 방법2에 의해 공정코드를 재 할당한 공정 표준화2 결과가 공정 표준화1의 코드와 일치함. 이 경우 특이도와 민감도를 고려한 두 가지 방법 중 어느 한 방법에 의해 측정기관의 직접 입력 정보에 기초한 공정 코드 할당 결과가 공정 표준화1과 일치하기 때문에 공정 표준화1의 신뢰도(정확도)가 높다고 할수 있음. 따라서 공정 표준화1의 코드를 이용하여 JEM 구축 가능함.
- 그룹3 : 방법1 혹은 방법2에 의해 공정코드가 재 할당되어 공정 표준화2 결과를 얻었으나 공정 표준화1과 일치되는 것이 없는 경우임. 이는 K2B에 기 입력된 공정 코드와 측정기관이 직접 입력한 공정명이나 단위작업장소

정보에 기초해 재 할당된 공정 코드가 다르다는 것이기 때문에 공정 표준화1의 코드 신뢰도가 중간 정도라고 할 수 있음. 또한 이 경우 공정 표준화1과 표준화2 중 어떤 것이 더 정확하다고 확신할 수 없기 때문에 가장 많은 빈도로 할당된 공정코드가 가장 신뢰할 만하다고 판단됨. 따라서 다빈도 코드를 해당 공정코드로 할당하고, 만약 다빈도 코드가 2개 이상 나타난다면 전문가들의 검토를 통해 결정해야 하는데, 이는 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 현실적으로 JEM 구축에 활용하기엔 어렵다고 판단됨.

- 그룹 4: 측정기관의 입력 정보를 기초로 공정코드를 재 할당하지 못한 경우임. 따라서 공정 표준화1의 공정코드 신뢰도를 평가할 수 없기 때문에 JEM 구축에 활용하기엔 어렵다고 판단됨.
- 위 4개 그룹에 따른 JEM 구축을 위한 활용 방향은 기존에 입력된 5자리 공정코드가 “기타” 코드가 아닌 경우에 해당됨. 만약 공정 표준화1의 기초가 되는 초기 5자리 입력된 공정 코드가 “기타” 코드였다면 공정 표준화2의 결과 재 할당된 공정 코드 중 공정 표준화1과 일치하는 경우 공정 표준화1의 신뢰도가 높다고 할 수 없음.
- 따라서 기존 입력된 공정코드가 “기타” 인 경우엔 그룹 4를 제외한 그룹1~3의 경우 초기 입력된 공정코드는 “기타”여서 공정 정보가 없었으나 측정기관의 입력정보에 기초해서 재할당한 결과 “기타”가 아닌 다른 공정코드가 할당 되어 유의미한 공정코드가 생겼다고 판단해야 함. 이 경우 다빈도 공정코드를 최종 공정코드로 결정할 수 있으며, 2개 이상의 다빈도 코드가 중복되어 나온다면 전문가들의 검토를 통해 결정해야 할 것임.
- 결론적으로 기타 코드가 아닌 공정 표준화1과 2의 비교를 통해 평가된 그룹 중 그룹1과 그룹2에 해당되는 공정 표준화1 정보만을 신뢰성을 갖고 산업-공정 단위의 노출 수준을 평가할 수 있음.

(4) 자료 분석

1) 불검출 자료 처리

- 자료의 값이 너무 작아 기기에서 그 값을 정확히 측정할 수 없어서 ‘특정 값보다 작다’(예, >0.001)로 표시되는 경우가 발생함. 이를 불검출 혹은 검출한계(limit of detection, LOD) 미만이라고 하며, 자료 분석에서 이러한 특성을 정확히 반영하지 않고 LOD 미만 자료를 그대로 분석하는 경우 결과에서 편향성(bias)이 발생할 수 있음.

○ LOD 결정

- 우선 LOD 미만 자료의 처리를 위해서는 LOD를 결정해야 함. 그러나 수집된 작업환경측정자료에는 LOD가 제시되어 있지 않기 때문에 최선의 방법은 작업환경측정에 사용되는 기본 매뉴얼(KOSHA code - 분석지침)에서 제시되는 분석 LOD 값을 공기 중 LOD 농도로 환산하여 결정할 수 있음.
- 납을 예로 들면, 안전보건공단의 분석지침(KOSHA Guide A-2-2019)의 시료당 LOD($2.7 \mu\text{g}/\text{sample}$) 값을 분석지침의 최대 유량(4 liter per minute)과 측정기관의 일반적인 측정시간(6시간)을 곱하여 구한 공기채취량(1440 L)으로 나누어 $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 최종 LOD로 결정할 수 있음.

○ LOD 미만 자료의 처리

- Hewett and Ganser (2007)와 Lavoue et al. (2019)에서는 불검출 자료를 분석하는 통계 방법들을 크게 다음의 5가지로 구분하고 있음.
- ✓ 대체방법 (substitution methods)
- ✓ 로그-프로빗 회귀 방법 (log-probit regression methods)
- ✓ 최대우도추정방법(maximum likelihood estimation methods)

- ✓ 비모수 방법 (Non-parametric methods)
- ✓ 베이저안 방법 (Bayesian methods)

- 위 방법들 중 가장 간편한 방법으로 대체방법을 사용할 수 있음.
- 대체방법은 LOD 값이 왼쪽 검열되었다는 사실을 기반으로 실제 값은 LOD 값보다 더 작을 것이라 예상해서 특정 값으로 대체함. 가장 많이 사용되는 대체 값으로는 LOD, LOD/2, LOD/ $\sqrt{2}$ 가 있음.
- 일반적으로 보수적(conservative)인 방법으로 알려져 있으며, 평균과 분산에 각각 양과 음의 편향성을 보임.
- Hornung and Reed (1990)은 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)가 3보다 작은 경우는 LOD/ $\sqrt{2}$ 를, GSD ≥ 3 또는 LOD이하의 비율이 전체의 50% 미만인 경우에는 LOD/2를 사용할 것을 추천하고 있음. 작업환경측정 자료의 경우 변이가 큰 경우가 많아 LOD/2를 적용할 수 있음.

2) 노출 농도 산출

- 작업환경측정 자료의 농도는 일반적으로 대수정규분포를 하는 것으로 알려져 있기 때문에 기하평균(GM) 추정값을 제시하고, 전체 분포의 특성을 파악할 수 있도록 기하표준편차(GSD)와 95 백분위수(X0.95), 최대값(MAX) 등을 함께 제시할 필요가 있음.
- 작업환경측정 자료의 노출 정보를 최대한 활용할 수 있게 하기 위해서는
1) 산업별, 2) 공정별, 3) 산업-공정별 노출 농도를 제시해야 함.

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 사단법인 한국산업보건학회

연구책임자 : 최상준 (부교수, 보건학박사, 가톨릭대학교)

연 구 원 : 박동욱 (교수, 보건학박사, 한국방송통신대학교)

서성철 (부교수, 보건학박사, 을지대학교)

고동희 (교수, 보건학박사, 가톨릭관동대학교)

김환철 (부교수, 의학박사, 인하대학교)

박주현 (부교수, 생물통계학박사, 동국대학교)

연구보조원 : 마혜란 (한국산업보건학회)

정혜정 (가톨릭관동대학교 성모병원)

박윤경 (대구가톨릭대학교)

최희은 (을지대학교)

연구상대역 : 최보화 (연구원, 직업건강연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 04. 14. ~ 2020. 11. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2020년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**국내 직업성 질환 역학연구를 위한 과거 노출 추정
- JEM(Job - Exposure Matrix) 체계 개발
(2020-산업안전보건연구원-845)**

발행일	:	2020년 11월 30일
발행인	:	산업안전보건연구원 원장 고재철
연구책임자	:	가톨릭대학교 부교수 최상준
발행처	:	안전보건공단 산업안전보건연구원
주소	:	(44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전화	:	(052) 703-0873
팩스	:	(052) 703-0336
누리집	:	http://www.kosha.or.kr/oshri
