

연구보고서

지속적인 근로자 건강관리가 필요한 유해인자의 종류 및 관리방안 마련 연구 (건강관리카드 중심으로)

이준희 · 이한길 · 장성인 · 이종인 · 이유민
김상우 · 주재한 · 이재한

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “지속적인 근로자 건강관리가 필요한 유
해인자의 종류 및 관리방안 마련 연구 (건강관리카드 중
심으로)” 의 최종 연구결과 보고서로 제출합니다.

2020년 11월

연구기관 : 순천향대학교 산학협력단

연구기간 : 2020. 06. 18. ~ 2020. 11. 30.

연구책임자 : 이준희 (순천향대학교 의과대학 교수)

공동연구원 : 이한길 (연세대학교 보건대학원 교수)

공동연구원 : 장성인 (연세대학교 예방의학과 교수)

공동연구원 : 이종인 (가톨릭대학교 서울성모병원 임상강사)

공동연구원 : 이유민 (가톨릭대학교 서울성모병원 임상강사)

요 약 문

연구기간

2020년 6월 ~ 2020년 11월

핵심 단어

건강관리카드, 결정형 유리규산, 폐암

연구과제명

지속적인 근로자 건강관리가 필요한 유해인자의 종류 및
관리방안 마련 연구 (건강관리카드 중심으로)

1. 연구배경

결정형 유리규산은 국제암연구소(IARC)에서 지정한 제 1군 발암물질로, 폐암 등 호흡기 질환을 포함한 다양한 질환을 유발한다. 현재 결정형 유리규산에 대해서는 분진작업에 종사이력이 있으며 진폐증이 확인된 자만 건강관리카드 교부 대상자로 선정하고 있으며, 이는 과도하게 높은 진입장벽으로 작용하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 결정형 유리규산 노출군의 의료 비용 및 기대 수명을 비노출자와 비교함으로써 결정형 유리규산 노출로 인한 경제적 손실을 추정하고, 노출되는 산업과 근로자의 규모를 파악함으로써 결정형 유리규산 관련 건강관리카드 발급 대상의 확대방안을 제안하고자 한다.

2. 주요 연구내용

CAREX 데이터에 근거하여 결정형 유리규산 노출 근로자 수 상위 36개 산업을 분류하였으며, 이들 산업에 종사하는 노출 근로자 수는 총 62,275명이었다. 작업환경측정에서 규산(석영)의 노출기준(TWA 0.05mg/m³)의 50%에 초과하는 사업장에 근무하는 근로자는 총 13,088명이었으며, 이 중 노출기준 100% 초과하는 고농도 노출 산업(소분류)은 14개였다. 고농도 노출산업에 5년 이상 종사하였거나, 그 외 노출산업에 10년 이상 종사한 근로자를

대상으로 건강관리카드를 발급하는 경우 발급대상 최대치는 약 2만여명으로 추산된다.

결정형 유리규산 노출자는 비 노출자에 비해 폐 관련 직접 의료비의 부담이 1인당 약 330만원이 증가되고, 기대 수명은 4개월 축소되는 것으로 분석된다. 고농도 노출산업에 종사하는 근로자 27,761명을 기준으로 분석할 때, 약 456억원의 폐 관련 직접 의료비가 추가적으로 발생할 것으로 예측되며, 질병으로 인한 기대 수명도 총 8961.25년의 손실이 있을 것으로 예상된다.

3. 연구 활용방안

직업성 질환의 조기 발견 및 예방, 근로자 교육의 측면에서 건강관리카드 발급 사업의 활성화가 필요하다. 현행 건강관리카드 발급 기준에서는 결정형 유리규산에 고농도로 노출되나 발급 대상에서 누락되는 근로자들이 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서 확인된 노출 산업 및 근로자들을 대상으로 건강관리카드 발급기준 확대 및 재정립을 고려하여야 하며, 본 연구의 질병 비용 모델링 결과를 이용한 근로자 건강관리카드 발급의 경제성 평가가 후속 연구로 필요할 것으로 생각된다.

4. 연락처

- 연구책임자 : 순천향대학교 의과대학 교수 이준희
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 중부권역학조사팀 팀장 이지혜
 - Tel: 032) 5100-752
 - E-mail: jhlee01@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구배경	1
1) 건강관리카드 제도 운영 현황	1
2) 일본 건강관리카드 제도와 비교	9
3) 결정형 유리규산 노출현황	15
4) 결정형 유리규산 건강영향	17
(1) 호흡기 건강영향	17
(2) 호흡기 외 건강영향	20
2. 연구 필요성	22
3. 연구 목표	25
II. 연구방법	26
1. 결정형 유리규산 노출산업 및 근로자 수 추계방법	26
1) CAREX 데이터를 이용한 노출 근로자 수 추산	26
2) 작업환경측정 자료를 이용한 노출 근로자 수 추산	27
2. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 방법	34
1) 분석의 틀	34
2) 분석 모형	35
3) 전이 확률	37
4) 비용 추정	41

5) 결과 평가 방법	43
-------------------	----

III. 연구결과 44

1. 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수 추정 결과	44
1) CAREX로 추정된 노출 산업 및 근로자 수	44
2) 작업환경측정 자료로 추정된 노출 산업 및 근로자 수	57
3) 전문가 자문의견	64
(1) 노출 산업 및 근로자 수에 대한 의견	65
(2) 특별 소견서 발부에 대한 의견	68
(3) 진폐의증(0/1) 인정자에 대한 의견	70
(4) 자문의견 종합	72
2. 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무	75
1) 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무	75
2) 전문가 자문의견	87
(1) 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무에 대한 의견	87
(2) 자문의견 종합	89
3. 건강관리카드 발급대상 근로자 수 추정 결과	90
4. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 결과	91
1) 주요 결과	91
2) 할인율 적용에 따른 주요 결과	95
3) 민감도 분석 결과	96
4) 주요 결과에 대한 고찰	97
5) 한계점	99

IV. 고찰 100

- 1. 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수 추계 100
- 2. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 방법 101
- 3. 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무 분류 103

V. 결론 108

- 1. 요약 108
- 2. 제언 110

참고문헌 114**Abstract 117****부록 119**

- 부록 1 2016년 상반기 작업환경측정 119
- 부록 2 2017년 상반기 작업환경측정 125
- 부록 3 2018년 상반기 작업환경측정 131

표 차 례

〈표 I-1〉 건강관리카드 교부대상자	1
〈표 I-2〉 일본의 건강관리카드 교부대상자	10
〈표 II-1〉 결정형 유리규산 관련 작업환경측정 대상 유해인자 목록	28
〈표 II-2〉 작업환경측정 자료에서 확보된 연도별 결정형 유리규산 관련 측정 건수	29
〈표 II-3〉 결정형 유리규산과 관련한 작업환경측정 항목 (고용노동부 고 시 제 2018-62호 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’)	30
〈표 II-4〉 2019년 상반기 작업환경측정결과에서 TWA 상한치의 분포	32
〈표 II-5〉 주요 입력 변수 및 자료원	38
〈표 II-6〉 진폐증 질병 비용 추계 (2019년 기준)	40
〈표 II-7〉 폐암의 병기별 질병 비용 추계 (2019년 기준)	41
〈표 II-8〉 보건 분야의 연도별 소비자 물가지수 (통계청 자료)	41
〈표 II-9〉 민감도 분석에 사용된 변수 및 자료원	42
〈표 III-1〉 CAREX에 근거한 결정형 유리규산 노출 상위 36개 산업의 노 출 근로자 수 분율 (%)	44
〈표 III-2〉 CAREX에 근거한 결정형 유리규산 노출 상위 36개 산업의 노 출 근로자 수	48
〈표 III-3〉 결정형 유리규산 관련 기존 건강관리카드 발급 기준	51
〈표 III-4〉 CAREX에 근거한 노출 근로자 수 기준 상위 산업분류와 기존 건강관리카드 발급기준 비교	53
〈표 III-5〉 TWA 상한치 10mg/m ³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과 사	

업장의 산업 분류와 근로자 수	56
〈표 III-6〉 TWA 상한치 0.05mg/m ³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한 사업장의 산업분류와 근로자 수	59
〈표 III-7〉 산업 소분류 별 결정형 유리규산 노출 근로자 수 및 사업장 공정별 유리규산 사용 업무	75
〈표 III-8〉 TWA 상한치 0.05mg/m ³ 대상 유해인자 100% 초과한 사업장 의 산업분류 및 근로자 수	84
〈표 III-9〉 결정형 유리규산 노출자와 일반인 남성과의 폐 관련 질환 건 강 상태 분포 및 질병 비용 추정	91
〈표 III-10〉 5% 할인율 적용 시의 질병 비용 추정 결과	94
〈표 III-11〉 민감도 분석 결과	95
〈표 III-12〉 건강관리카드 관련 비용 추계	97

그림 차례

[그림 II-1] 폐 관련 질환 평가를 위한 Markov model의 구조	34
[그림 III-1] 폐암 연도별 신규 발생자 수 (10,000명 기준)	92
[그림 III-2] 폐암 관련 누적 사망자 수 (10,000명 기준)	92
[그림 III-3] 1인 기준 폐 관련 질환 직접 의료비 구성 비교	93

I. 서론

1. 연구배경

1) 건강관리카드 제도 운영 현황

산업안전보건법 제 137조에 규정된 건강관리카드 (구.건강관리수첩) 제도는 건강장해가 발생할 우려가 있는 업무에 종사하였거나 종사하고 있는 사람을 대상으로, 직업병의 조기발견 및 지속적인 건강관리를 목적으로 운영되고 있다. 직업병 중 다수는 누적된 노출 이후 상당 시간이 지난 후 발병하는데, 발병 시점이 해당 건강장해를 유발하는 업무에 이미 종사하고 있지 않을 수 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 이러한 제도가 필요하다. 건강관리카드 발급대상은 산업안전보건법 시행규칙 제214조 및 별표25에 제시되어 있으며, 크게 15가지로 다음과 같다.

표 1-1. 건강관리카드 교부대상자

구분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
1	베타-나프틸아민 또는 그 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 제조하거나 취급하는 업무	3개월 이상 종사한 사람
2	벤지딘 또는 그 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 제조하거나 취급하는 업무	3개월 이상 종사한 사람

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
3	베릴륨 또는 그 화합물(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다) 또는 그 밖에 베릴륨 함유물질(베릴륨이 함유된 화합물의 중량 비율이 3 퍼센트를 초과하는 물질만 해당한다)을 제조하거나 취급하는 업무	제조하거나 취급하는 업무에 종사한 사람 중 양쪽 폐부분에 베릴륨에 의한 만성 결절성 음영이 있는 사람
4	비스-(클로로메틸)에테르(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)를 제조하거나 취급하는 업무	3년 이상 종사한 사람
5	가. 석면 또는 석면방직제품을 제조하는 업무	3개월 이상 종사한 사람
	나. 다음의 어느 하나에 해당하는 업무 1) 석면함유제품(석면방직제품은 제외한다)을 제조하는 업무 2) 석면함유제품(석면이 1퍼센트를 초과하여 함유된 제품만 해당한다. 이하 다목에서 같다)을 절단하는 등 석면을 가공하는 업무 3) 설비 또는 건축물에 분무된 석면을 해체·제거 또는 보수하는 업무 4) 석면이 1퍼센트 초과하여 함유된 보온재 또는 내화피복제(耐火被覆劑)를 해체·제거 또는 보수하는 업무	1년 이상 종사한 사람
	다. 설비 또는 건축물에 포함된 석면시멘트, 석면마찰제품 또는 석면개스킷제품 등 석면함유제품을 해체·제거 또는 보수하는 업무	10년 이상 종사한 사람

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
5	라. 나목 또는 다목 중 하나 이상의 업무에 중복하여 종사한 경우	다음의 계산식으로 산출한 숫자가 120을 초과하는 사람: (나목의 업무에 종사한 개월 수)×10+(다목의 업무에 종사한 개월 수)
	마. 가목부터 다목까지의 업무로서 가목부터 다목까지의 규정에서 정한 종사기간에 해당하지 않는 경우	흉부방사선상 석면으로 인한 질병 징후(흉막반 등)가 있는 사람
6	벤조트리클로라이드를 제조(태양광선에 의한 염소화반응에 의하여 제조하는 경우만 해당한다)하거나 취급하는 업무	3년 이상 종사
7	가. 갯내에서 동력을 사용하여 토석(土石)·광물 또는 암석(습기가 있는 것은 제외한다. 이하 "암석등"이라 한다)을 굴착하는 작업 나. 갯내에서 동력(동력 수공구(手工具)에 의한 것은 제외한다)을 사용하여 암석 등을 파쇄(破碎)·분쇄 또는 체질하는 장소에서의 작업 다. 갯내에서 암석 등을 차량계 건설기계로 싣거나 내리거나 쌓아두는 장소에서의 작업 라. 갯내에서 암석 등을 컨베이어(이동식 컨베이어는 제외한다)에 싣거나 내리는 장소에서의 작업 마. 옥내에서 동력을 사용하여 암석 또는 광물을 조각 하거나 마무리하는 장소에서의 작업	

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
7	바. 옥내에서 연마재를 분사하여 암석 또는 광물을 조각하는 장소에서의 작업 사. 옥내에서 동력을 사용하여 암석·광물 또는 금속을 연마·주물 또는 추출하거나 금속을 재단하는 장소에서의 작업 아. 옥내에서 동력을 사용하여 암석등·탄소원료 또는 알미늄 박을 파쇄·분쇄 또는 체질하는 장소에서의 작업 자. 옥내에서 시멘트, 티타늄, 분말상의 광석, 탄소원료, 탄소 제품, 알미늄 또는 산화티타늄을 포장하는 장소에서의 작업 차. 옥내에서 분말상의 광석, 탄소원료 또는 그 물질을 함유한 물질을 혼합·혼입 또는 살포하는 장소에서의 작업 카. 옥내에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 작업 1) 유리 또는 법랑을 제조하는 공정에서 원료를 혼합하는 작업이나 원료 또는 혼합물을 용해로에 투입하는 작업(수중에서 원료를 혼합하는 작업은 제외한다) 2) 도자기·내화물·형상도제품(형상을 본떠 흙으로 만든 제품) 또는 연마재를 제조하는 공정에서 원료를 혼합 또는 성형하거나, 원료 또는 반제품을 건조하거나, 반제품을 차에 싣거나 쌓아 두는 장소에서의 작업 또는 가마 내부에서의 작업(도자기를 제조하는 공정에서 원료를 투입 또는 성형하여 반제품을 완성하거나 제품을 내리고 쌓아 두는 장소에서의 작업과 수중에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업은 제외한다) 3) 탄소제품을 제조하는 공정에서 탄소원료를 혼합하거나 성형하여 반제품을 노(爐: 가공할 원료를 녹이거나 굽는 시설)에 넣거나 반제품 또는 제품을 노에서 꺼내거나 제작하는 장소에서의 작업 타. 옥내에서 내화 벽돌 또는 타일을 제조하는 작업 중 동력을 사용하여 원료(습기가 있는 것은 제외한다)를 성형하는 장소에서의 작업	3년 이상 종사한 사람으로서 흉부 방사선 사진 상 진폐증이 있다고 인정되는 사람(「진폐의 예방과 진폐근로자의 보호 등에 관한 법률」에 따라 건강 관리수첩을 발급받은 사람은 제외한다)

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
7	파. 옥내에서 동력을 사용하여 반제품 또는 제품을 다듬질하는 장소에서의 작업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 작업 1) 도자기·내화물·형상토제품 또는 연마재를 제조하는 공정에서 원료를 혼합 또는 성형하거나, 원료 또는 반제품을 건조하거나, 반제품을 차에 싣거나 쌓은 장소에서의 작업 또는 가마 내부에서의 작업(도자기를 제조하는 공정에서 원료를 투입 또는 성형하여 반제품을 완성하거나 제품을 내리고 쌓아두는 장소에서의 작업과 수증에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업은 제외한다) 2) 탄소제품을 제조하는 공정에서 탄소원료를 혼합하거나 성형하여 반제품을 노에 넣거나 반제품 또는 제품을 노에서 꺼내거나 제작하는 장소에서의 작업 하. 옥내에서 거푸집을 해체하거나, 분해장치를 이용하여 사형(似形: 광물의 결정형태)을 부수거나, 모래를 털어 내거나 동력을 사용하여 주물모래를 재생하거나 혼련(열과 기계를 사용하여 내용물을 고르게 섞는 것)하거나 주물품을 절삭(切削)하는 장소에서의 작업 거. 옥내에서 수지식(手指式) 용융분사기를 이용하지 않고 금속을 용융분사하는 장소에서의 작업	3년 이상 종사한 사람으로서 흉부 방사선 사진 상 진폐증이 있다고 인정되는 사람 (「진폐의 예방과 진폐근로자의 보호 등에 관한 법률」에 따라 건강 관리수첩을 발급받은 사람은 제외한다)
8	가. 염화비닐을 중합(결합 화합물화)하는 업무 또는 밀폐되어 있지 않은 원심분리기를 사용하여 폴리염화비닐(염화비닐의 중합체를 말한다)의 현탁액(懸濁液)에서 물을 분리시키는 업무 나. 염화비닐을 제조하거나 사용하는 석유화학설비를 유지·보수하는 업무	4년 이상 종사한 사람
9	크롬산·중크롬산 또는 이들 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 광석으로부터 추출하여 제조하거나 취급하는 업무	4년 이상 종사한 사람

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
10	삼산화비소를 제조하는 공정에서 배소(낮은 온도로 가열하여 변화를 일으키는 과정) 또는 정제를 하는 업무나 비소가 함유된 화합물의 중량 비율이 3퍼센트를 초과하는 광석을 제련하는 업무	5년 이상 종사한 사람
11	니켈(니켈카보닐을 포함한다) 또는 그 화합물을 광석으로부터 추출하여 제조하거나 취급하는 업무	5년 이상 종사한 사람
12	카드뮴 또는 그 화합물을 광석으로부터 추출하여 제조하거나 취급하는 업무	5년 이상 종사한 사람
13	가. 벤젠을 제조하거나 사용하는 업무(석유화학 업종만 해당한다) 나. 벤젠을 제조하거나 사용하는 석유화학설비를 유지·보수하는 업무	6년 이상 종사한 사람
14	제철용 코크스 또는 제철용 가스발생로를 제조하는 업무(코크스로 또는 가스발생로 상부에서의 업무 또는 코크스로에 접근하여 하는 업무만 해당한다)	6년 이상 종사한 사람
15	비파괴검사(X-선) 업무	1년이상 종사 또는 연간 누적선량이 20mSv 이상

해당 대상은 대부분 취급 단일물질을 중심으로 구분되어 있으며(베타-나프틸아민, 벤지딘, 베릴륨, 비스-클로로메틸 에테르, 석면, 벤조트리클로라이드, 염화비닐, 크롬산, 삼산화비소, 니켈, 카드뮴, 벤젠, 방사선), 복합 물질로 제철용 코크스가 포함된다. 이러한 물질은 모두 발암물질로, 직업성 암은 노출 후 잠복기를 거쳐 발병하기에 건강관리카드 제도의 대상이 된다. 산업안전보건법과 시행규칙에는 건강관리카드의 목적을 암 발생에 대한 조기발견이라고 명시하고 있지는 않지만, 지정된 물질은 모두 발암물질로서 이 제도는 현재 실질적으로 암의 조기발견을 목적으로 하고 있다.

이외에, 결정형 유리규산은 국제암연구소(IARC)에서 지정한 제1군 발암물질로, 결정 구조가 폐에 만성적인 염증을 일으켜 폐암을 유발할 수 있다. 또한, 이러한 만성 염증 반응은 진폐증의 원인이 되어 진폐증의 일종인 규폐증(Silicosis)이 발병한다. 결정형 유리규산은 석면과 마찬가지로 자연계에 존재하는 물질로, 다양한 분진작업에서 노출될 수 있다. 이에 건강관리카드 발급 대상에서 결정형 유리규산은 단독 물질로서 대상에 포함하지 않고 있으며, 토석(土石)·광물 또는 암석에 대한 작업 종류를 명시하고 있다.

건강관리카드 발급대상 요건 물질 중 대부분은 해당 물질을 취급한 종사 연도를 기준으로 분류한다. 벤젠을 제조하거나 사용하는 업무(석유화학업종)의 경우를 예를 들면, 해당 업무에 6년 이상 종사할 경우에는 건강관리카드 발급 대상이 된다. 15가지 구분 중 12개 물질이 짧게는 3개월, 길게는 10년까지의 종사 기간을 발급대상으로 명시하고 있다. 방사선 노출이 상당한 비파괴검사 업무의 경우, 종사기간(1년)과 연간 누적선량(20mSv)을 독립된 기준으로 제시하고 있다.

베릴륨과 결정형 유리규산 노출자(토석(土石) · 광물 또는 암석에 대한 작업)의 경우에는 흉부 영상의 변화가 건강관리카드 발급에 필수적이다. 결정형 유리규산 노출자의 경우 '3년 이상 종사한 사람으로서 흉부방사선 사진상 진폐증이 있다고 인정되는 사람'이 대상자이다.

2) 일본 건강관리카드 제도와의 비교

우리나라는 일본의 건강관리수첩 제도를 참조하여 도입하였다고 알려져 있으며, 교부 대상물질 및 기준이 유사하다. 일본의 건강관리수첩 제도는 노동안전위생법에 기반하고 있으며, 암 및 기타의 심한 건강장해를 일으키는 업무에 종사한 근로자 중 일정 조건에 해당하는 사람은 이직 시 또는 이직 후에 건강관리 수첩을 교부 받을 수 있다. 건강관리수첩은 도도부현 노동국장의 심사를 거친 후 교부 받을 수 있으며, 이직 시에는 사업장 소재지의 도도부현 노동국장에게 신청하며 이직 후에는 주소지의 도도부현 노동국장에게 신청한다. 건강관리수첩을 교부받은 근로자는 지정된 의료기관에서 정해진 항목에 대해 연 2회 무료로 건강진단을 받을 수 있으며, 진폐 건강관리수첩 소지자는 연 1회 무료로 건강진단을 받을 수 있다. 건강진단 비용뿐 아니라 교통비를 실비로 지급하고 있다.

2020년 현재 우리나라의 건강관리수첩 대상 물질은 유해물질 15종이며, 일본은 2014년 4월 개정 기준으로 13종이다. 일본의 건강관리수첩 대상 물질은 다음과 같다.

표 1-2. 일본의 건강관리카드 교부대상자

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
1	베타-나프틸아민 또는 그 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 제조하거나 취급하는 업무	3개월 이상 종사한 사람 (벤지딘, 베타-나프틸아민, 디아니시딘 관련 업무의 종사 기간을 합쳐 3개월 이상되면 교부 요건을 충족)
2	벤지딘 또는 그 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 제조하거나 취급하는 업무	
3	디아니시딘 또는 그 염(동 물질이 함유된 중량의 비율이 1%를 초과하는 제제를 포함한다)을 제조하거나 취급하는 업무	
4	베릴륨 또는 그 화합물(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다) 또는 그 밖에 베릴륨 함유물질(베릴륨이 함유된 화합물의 중량 비율이 3퍼센트를 초과하는 물질만 해당한다)을 제조하거나 취급하는 업무 (분상의 물질 이외의 물질을 취급하는 업무 제외)	제조하거나 취급하는 업무에 종사한 사람 중 양쪽 폐부분에 베릴륨에 의한 만성 결절성 음영이 있는 사람
5	비스-(클로로메틸)에테르(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)를 제조하거나 취급하는 업무	3년 이상 종사한 사람
6	석면(중량의 0.1%를 초과함)을 제조하거나 취급하는 업무(직접업무) 및 직접 노출자와 함께 석면 분진이 발생하는 장소에서 수행하는 업무(주변 업무)	(1) 양폐야에 석면에 의한 부정형 음영이나 석면에 의한 흉막 비후가 있는 경우

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
6	석면(중량의 0.1%를 초과함)을 제조하거나 취급하는 업무(직접업무) 및 직접 노출자와 함께 석면 분진이 발생하는 장소에서 수행하는 업무(주변 업무)	(2) 석면 제조 작업, 석면이 사용되는 보온재, 내화피복재 보수 또는 제거 작업, 석면분사작업, 석면이 분사된 건축물, 공작물 등 해체 작업에 1년이상 종사하고 석면 분진 노출이 10년 이상 경과한 경우 (3) (2)를 제외한 석면을 취급하는 작업에 10년 이상 종사 (4) (2) 및 (3)의 동일한 작업장에서 석면을 취급하지 않는 업무(주변업무)를 하고 (1)의 소견이 있는 경우 (5) (2) 및 (3)의 요건에 준하는 정도로 후생노동 대신이 정하는 요건에 해당 하는 경우((2) 업무 종사 개월$\times$10+(3)어부중사개월의 합계가 120 이상이고, 노출 후 10년이 경과한 경우)
7	벤조트리클로라이드를 제조(태양광선에 의한 염소화반응에 의하여 제조하는 경우만 해당한다)하거나 취급하는 업무	3년 이상 종사한 사람

구 분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
8	진폐법 제2조 제1항 제3호에 해당하는 분진 작업 업무(*진폐법 제2조 제1항 제3호: 분진 작업에 종사하는 근로자가 진폐에 걸릴 우려가 있다고 인정되는 작업을 말한다)	진폐법의 규정에 따라 관리 구분이 관리 2 또는 관리3에 해당하는 사람
9	염화비닐을 중합(重合)하는 업무 또는 밀폐되어 있지 않은 원심분리기를 사용하여 폴리염화비닐 (염화비닐의 중합체를 말한다)의 현탁액(懸濁液)에서 물을 분리시키는 업무	4년 이상 종사한 사람
10	크롬산·중크롬산 또는 이들 염(같은 물질이 함유된 화합물의 중량 비율이 1퍼센트를 초과하는 제제를 포함한다)을 광석으로부터 추출하여 제조하거나 취급하는 업무 (이 물질들을 광석으로부터 제조하는 사업장 이외의 사업장에서 업무는 제외)	4년 이상 종사한 사람
11	삼산화비스소를 제조하는 공정에서 배소(낮은 온도로 가열하여 변화를 일으키는 과정) 또는 정제를 하는 업무나 비소가 함유된 화합물의 중량 비율이 3퍼센트를 초과하는 광석을 제련하는 업무 (단 광석을 포트법 혹은 그리나월드법에 의해 제련하는 업무로 국한)	5년 이상 종사한 사람
12	제철용 코크스 또는 제철용 가스발생로를 제조하는 업무 (코크스로 또는 가스발생로 상부에서의 업무 또는 코크스로에 접근하여 하는 업무만 해당한다)	5년 이상 종사한 사람
13	1,2-디클로로프로판(중량의 1% 초과 함유제제 포함)을 취급하는 업무 (후생노동성령으로 정하는 장소의 인쇄기 시설 청소 업무에 한한다)	3년 이상 종사한 사람

우리나라 교부대상물질 15종 중 일본의 건강관리수첩에 포함되어 있지 않은 대상물질은 니켈, 카드뮴, 벤젠 및 비파괴검사(X-선) 업무 4종이다. 일본에는 우리나라에 없는 디아니시딘, 1,2-디클로로프로판이 포함되어 있다. 우리나라는 베타-나프틸아민과 벤지딘에 대해 각 유해물질에 3개월 이상 종사한 사람을 대상으로 수첩을 교부하고 있는 반면, 일본은 베타-나프틸아민, 디아니시딘, 벤지딘 관련 업무의 종사기간을 합쳐서 3개월 이상이면 교부 요건을 충족시키고 있다. 벤젠에 대해서 우리나라는 가목에서 다목까지 정한 업무에 종사한 기간을 충족하거나(중복하여 종사한 기간 인정), 정해진 종사기간을 충족하지 못하더라도 흉부방사선 상 석면으로 인한 질병징후(흉막반 등)이 있는 경우 교부하고 있다. 일본의 경우 우리나라와 대상 요건이 유사하나 직접 노출자와 함께 석면 분진이 발생하는 장소에서 업무를 수행한 간접 노출자도 대상에 포함시킨 것이 특징적이다. 우리나라와 겹치는 교부 대상물질 11종에 대해서는 대상 업무 및 요건이 거의 유사함을 알 수 있다.

결정형 유리규산의 경우 한국과 일본 모두 분진작업에 종사한 경우를 건강관리수첩의 교부요건으로 명시하고 있다. 우리나라의 건강관리카드 발급 대상은 시행규칙 별표25의 제7항에 ‘가’목부터 ‘거’목까지 상당히 자세하게 해당 작업을 기재해 놓았는데, 일본의 경우 진폐법(쇼와35년 법률 제30호) 제2조 제1항 제3호에 규정하는 분진작업에 종사하였을 경우라고 한정하였다. 다만 종사요건에 진폐관리구분에서 관리2 또는 관리3에 해당하는 경우에만 건강관리수첩을 교부하도록 되어 있는데, 관리2의 정의는 <엑스선 사진의 상이 진폐 1형이고, 진폐에 의한 저명한 폐기능의 장애가 없다고 확인된 자>이고, 관리3의 정의는 <엑스선 사진의 상이 진폐 2형이고, 진폐에 의한 저명한 폐기능의 장애가 없다고 확인된 자>와 <엑스선 사진의 상이 제3형 또는 제4형(대음영의 크기가 한쪽 폐야의 1/3 이하인 자에 한함)이고, 진폐에 의한 저명한 폐기능의 장애가 없다고 확인된 자>로 정하고 있다.

즉, 일본도 한국과 마찬가지로 흉부방사선 사진상 진폐증이 있다고 인정되는 자에 한하여 건강관리카드를 발급하고 있는 것으로 확인된다. 하지만 일본의 경우 관리4 <엑스선 사진의 상이 제4형(대음영의 크기가 한쪽 폐야의 1/3 초과인 자에 한함)인 자>와 <엑스선 사진의 상이 제1형, 제2형, 제3형이며 진폐에 의한 저명한 폐기능의 장애가 있다고 인정되는 자>는 건강관리수첩의 발급 대상이 아니다. 이 경우는 진폐로 요양이 가능하기 때문으로 판단된다.

한국의 경우, 앞서 지적하였듯이 제1형 이상의 진폐음영이 확인될 경우 폐기능의 장애 유무와 상관없이 진폐 후유증상 관리의 대상이 되기 때문에 건강관리카드 제도가 유명무실해진다. 일본과 같은 범위로 한정한다면 한국의 건강관리카드에서 분진작업의 등재는 무의미하며, 이를 확대하고자 하는 경우 일본에서의 건강관리수첩 적용 범위를 초과하게 된다.

3) 결정형 유리규산 노출현황

한국산업안전보건공단에서 실시한 화학물질 유통·사용 실태조사 결과에 의하면 우리나라에서 결정형 유리규산을 제조 또는 사용하고 있는 사업장에 대한 분포를 조사한 결과 결정형 유리규산을 사용하고 있는 사업장 수는 215개이고, 총 근로자는 47,725명, 취급근로자는 1,905명(1~696명), 사용 취급량은 2,960,469,661kg/년(1~283,240,000kg/년)이었다. 결정형 유리규산을 제조하는 사업장수는 총 6개소, 총 근로자 수는 190명(6~73명), 취급 근로자 수는 74명(1~58명), 취급량은 437,624,000kg/년(24,000~363,000,000kg/년)이었다(KOSHA, 2007). 제조하는 사업장 수는 적지만 사용하는 사업장이 많은 것을 알 수 있다.

이 중 체내로 노출될 경우 가장 유해한 영향을 끼치는 호흡성 결정형 유리규산이 높은 농도로 노출되는 업종은 석탄 광업에서 0.14 mg/m³, 기타 비금속 광물제품 제조업에서 0.111 mg/m³, 도자기 및 기타 요업 제품 제조업에서 0.108 mg/m³, 토목건설업 0.098 mg/m³ 그리고 금속 주조업에서 0.062 mg/m³로 나타났다. 이 노출 수준은 우리나라 고용노동부의 호흡성 결정형 유리규산 노출기준 0.05 mg/m³를 초과하는 수준이다. ACGIH에서 호흡성 결정형 유리규산 TLV 값은 우리나라 노출기준 보다 낮은 0.025 mg/m³인데, 이를 초과하는 업종은 유리 및 유리제품 제조업이 0.038 mg/m³, 플라스틱 제품 제조업이 0.029 mg/m³이다.

한국산업안전보건공단의 2019년 작업환경실태조사에 의하면, 전수조사 사업장의 경우 분진·흙 발생 사업장 중 연마재 또는 금속의 연마/주물/재단 분진 작업이 25,828개소 사업장으로 가장 많이 발생하고 있는 작업으로 나타났으며, 다음으로 용접/용단 작업에서의 용접 흙 작업이 21,122개소로 나타났다. 근로자

의 경우 연마재 또는 금속의 연마/주물/재단 분진 작업에 노출된 근로자가 89,260명, 용접/용단작업에서의 용접 흠에 노출되는 근로자가 92,025명으로 나타났다. 작업환경실태조사에서의 유리규산의 경우 주물업종, 유리, 시멘트 등 실제 노출 업종이 다양하여 유리규산 노출을 어떻게 정의하느냐에 따라 차이가 있을 것으로 판단되나, 2019년도에도 유리규산에 노출되는 근로자의 수가 많았음을 예상할 수 있다.

4) 결정형 유리규산 건강영향

(1) 호흡기 건강영향

호흡기를 통한 결정형 유리규산 노출은 규폐증, 폐암, 폐결핵, 만성 폐쇄성 폐질환을 포함한 다양한 호흡기 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다.

결정형 유리규산은 폐암과 진폐증을 유발한다. 결정형 유리규산 노출과 직업성 폐암의 관련성은 여러 연구를 통해 잘 알려져 있다. 2007년 유럽에서 A. Cassidy 등이 약 3000명의 환자군과 대조군을 대상으로 시행한 환자-대조군 연구에서 결정형 유리규산 노출에 의한 폐암 발생의 Odds ratio는 1.37로 나타났다. 국내 인하대병원에서 2006년부터 2010년까지 총 7개 권역, 8개 병원에서 시행한 직업성 폐암 환례의 추정유발요인별 분석에서는 작업과 관련한 결정형 유리규산에 의한 것으로 추정되는 환례가 총 환례의 17.3%로 석면(18.7%)에 이어 두 번째로 많은 비중을 차지하였다.

결정형 유리규산 노출과 규폐증과의 관계 및 규폐증이 있는 환자에서의 결정형 유리규산 노출에 의한 폐암 발생 증가는 여러 연구에서 확인이 되었다. 결정형 유리규산(Crystalline silica)에 지속적으로 노출되면 기계적 • 화학적 작용에 의해 폐에 염증을 일으키게 되고 결국 폐조직의 섬유화가 생기게 된다. 이로 인해 기침 및 호흡곤란, 폐기능 저하 등의 증상이 발생하며, 장기간 노출 시 규폐증(Silicosis)이 발생하게 된다. 독일에서 1985-2005년 사이의 도자기 생산 근로자를 대상으로 시행한 코호트 연구에서는 호흡기를 통한 결정형 유리규산 노출에 의해 규폐증의 발생이 증가하는 것이 확인되었다. 해당 코호트 연구에서는 결정형 유리규산 노출과 폐암과의 관계가 명확하게 확인되지 않았으나,

독일에서 우라늄 채굴업에 종사하는 58677명의 근로자를 대상으로 1946 - 2003년 사이에 시행한 코호트 연구에서는 결정형 유리규산 노출과 폐암 사이에 양의 용량-반응 관계가 확인되었다. 라돈과 비소와의 동시 노출을 고려하여 보정한 계산에 따르면, 연간 노출량이 $5 \text{ mg/m}^3\text{-years}$ 일 때 폐암 발생의 상대위험도는 1.06 (95% 신뢰구간 0.95; 1.18), $15 \text{ mg/m}^3\text{-years}$ 일 때 1.52 (95% 신뢰구간 1.24; 1.79)로 나타났다. SR Satpathy 등(2015)이 시행한 쥐를 이용한 동물실험 연구에서는 결정형 유리규산 노출에 의한 면역 반응이 폐암의 성장을 촉진할 수 있다는 것이 확인되었다. Calvin Ge 등(2020)이 시행한 유럽과 캐나다의 14개의 환자-대조군 연구를 이용한 통합분석에서는 규폐증이 없는 환자에서 결정형 유리규산 노출에 의해 모든 종류의 폐암 발생률이 증가하는 것이 확인되었다.

또한, 결정형 유리규산의 노출은 폐의 세포 면역 반응에 영향을 미쳐 폐의 대식세포의 대사와 기능을 손상시킨다. 이러한 면역계에 영향을 미침으로써 결핵(tuberculosis)과 같은 폐 감염의 위험이 증가한다. 이란의 로레스탄주에서 2012년에 시행한 단면연구에서 결정형 유리규산에 노출된 양에 따라 결핵의 유병률이 증가하는 것을 확인하였으며, 15년 넘게 근무 시 오즈비 4.46(95%신뢰구간 2.31-7.01), 상대적으로 결정형 유리규산에 노출되는 양이 많은 근로자일수록 오즈비가 4.35(95%신뢰구간 2.13-6.15)까지 증가하였다. 이는 잠비아의 2005-2010년 사이의 구리 광부들을 대상으로 시행한 단면 연구에서 또한 마찬가지로 드러났다.

결정형 유리규산 노출에 의한 면역력 감소는 감염성 폐렴 등의 질환의 가능성을 높일 수 있으며, GL Beamer 등(2016)이 시행한 쥐를 이용한 연구에서 결정형 유리규산에 노출된 대식세포의 병원체에 대한 반응이 줄어드는 것을 확인하는 등 이에 대한 병리학적 기전이 밝혀지고 있는 중이다.

또한 많은 역학연구를 통해 결정형 유리규산의 노출이 만성폐쇄성폐질환 (Chronic obstructive pulmonary disease, COPD)의 위험을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이는 직업적 환경 혹은 흡연에 의해 생성된 흡입성 산화제 (inhalant oxidants)에 의해 폐의 실질을 파괴(emphysema)하거나 작은 기도의 만성적 염증 및 리모델링(bronchitis)을 통해 발생한다고 추정된다. 또한 결정형 유리규산에 노출된 뒤 발생하는 폐기종이 작은 기도 또는 초기 규폐성 결절에서 낮은 농도의 결정형 유리규산 노출에서도 발생하는 것으로 나타났다. 이는 결정형 유리규산으로 인한 폐기종이 사람에서의 광물성 분진 기도 질환 (mineral dust airway disease)이나 규폐증에 선행할 수 있음을 시사한다. 야외에서 장기간 착암공으로 근무한 근로자들을 대상으로 폐기능 검사 및 HRCT를 시행하였을 때, 전반적인 폐기능 감소 및 세기관지의 폐쇄가 확인되었다. 결정형 유리규산에 노출된 양과 기간에 따라 기침 및 가래를 동반하는 만성 기관지염의 발병률이 증가하며(1985년 호주의 금 광부를 대상으로 실시한 단면 연구에서, 만성 기관지염이 발생할 오즈비는 1~9년 근무하였을 때 1.8 (95% 신뢰구간, 1.0-3.3), 10~19년 근무하였을 때 2.5 (1.2-5.2), 20년 이상 근무하였을 때 5.1 (2.4-10.9)로 나타났다.

(2) 호흡기 외 건강영향

호흡기 외 건강영향에 대해서는 위암, 신장질환 및 자가면역 질환과의 연관성이 제기되고 있다. IARC 보고서에 따르면 결정형 유리규산은 IARC Group 1으로 분류되어 있으나 위암에 대해서는 제한적 증거만을 인정하였고, 폐암에 대해서만 충분한 증거를 인정하였다. Lee 등(2016)은 9편의 환자-대조군 연구 및 20편의 코호트 연구를 포함한 총 29편의 article을 바탕으로 systemic review 및 meta-analysis를 시행한 결과 결정형 유리규산의 직업적 노출과 위암과의 연관성이 유의하게 높다고 보고하였으며 (Meta-effect size 1.25, 95% CI 1.18 to 1.34), 광업 및 제조업에서 특히 유의하게 높은 연관성이 있는 것으로 관찰되었다. 외국의 역학연구에 따르면 Koskela 등(1987)은 1940년에서 1985년까지 결정형 유리규산에 직업적으로 노출된 핀란드 화강암 노동자 1,026명을 대상으로 한 후향적 코호트 연구에서 Gastrointestinal cancer에 의한 사망률이 유의하게 증가한다고 보고하였다 (SMR 200, 95% CI 1.10-3.80). Parent 등 (1998)은 캐나다에서 250명의 남성 환자를 대상으로 시행한 환자-대조군 연구에서 상당한 양의 결정형 유리규산에 직업적 노출된 25명의 환자에서 병리학적으로 확인된 위암이 대조군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 것으로 보고하였다 (OR=1.7; 95% CI=1.1 - 2.7). 국내 연구로는 결정형 유리규산에 노출되는 주물공장 남성 근로자 14,611명의 암발생을 1992년부터 2005년까지 14년간 관찰하였을 때 10년 이상 근무한 생산직 남성 근로자의 표준화 위암 발생비는 1.36(1.05~1.73)이었고, 사무직 근로자에 비해서 위암이 89%(SRR=1.89, 95% CI 1.07~3.33), 특히 후처리 공정 근로자들은 110%(SRR = 2.10, 95% CI: 1.10~4.01) 더 발생하였다.

결정형 유리규산의 직업적 노출은 신질환 발생과 관련이 있다는 연구 또한 다수 보고되었다. Karami 등(2011)은 환자-대조군 연구를 통해 직업성 분진의 종류에 따른 분석을 하였고, 유리섬유(OR = 2.1, 95% CI: 1.1-3.9) 노출과 관련하여 신장암의 위험이 유의하게 증가한다고 보고하였다. Calvert 등(1997)은 결정형 유리규산에 노출된 백인 금광부를 대상으로 한 후향적 코호트 연구에서 nonsystematic ESRD(Glomerulonephritis 또는 Interstitial nephritis가 원인) 발생 위험은 SIR 4.22(95% CI, 1.54-9.19)라고 보고하였으며 10년 이상 근무한 경우 SIR 7.70(95% CI, 1.59-22.45)까지 증가한다고 보고하였다.

결정형 유리규산의 직업적 노출로 인한 자가면역질환의 발생 또는 악화에 대한 연관성은 비교적 최근에 알려졌다. 결정형 유리규산이 자가면역질환의 발생에 기여하는 메커니즘에 대해서 Haustein 등 (1998)은 호흡기를 통해 유입된 결정형 유리규산 입자가 대식세포에 포식되고 이후 섬유소 단백질과 성장인자가 발현되어 궁극적으로 면역체계가 활성화되어 자가면역 질환이 발생한다고 설명하였다. 역학연구에 따르면 Muramatsu 등 (1989)의 연구에서 결정형 유리규산의 직업적 노출이 피부경화증(Scleroderma), 류마티스 관절염(Rheumatoid arthritis), 전신 홍반 루프스(Systemic lupus erythematosus), 자가면역성용혈성빈혈(Autoimmune hemolytic anemia) 등과 같은 자가면역 질환 발생과 관련이 있다고 보고하였다. Koeger 등(1991)의 연구에서 결정형 유리규산 노출이 피부근염(dermatomyositis) 또는 피부다발근육염(dermatopolymyositis) 등의 질환 발생과 관련이 있다고 보고하였다.

2. 연구 필요성

앞서 기술하였듯 결정형 유리규산은 진폐증을 유발할 수 있으며, 결정형 유리규산 노출에 따라 발생하는 중요한 결과이지만, 진폐증 발생 유무가 결정형 유리규산의 노출 정도를 정확하게 반영하지는 않는다. Muir 등은 경석 노출자를 대상으로 누적 노출이 증가함에 따라 규폐증의 발생 위험이 증가한다는 사실을 보였으나, 해당 연구에서 2,109명을 대상으로 하였을 때 32명의 규폐증 환자가 확인되었고, 이는 누적 노출 기간이 상당함에도 불구하고 규폐증에 이환되지 않는 근로자가 많다는 반증이다. 따라서 현행 토석(土石) · 광물 또는 암석 관련 작업 종사이력이 있는 근로자 중 진폐증이 확인된 자만 건강관리카드 대상자로 선정하는 것은 누적 노출이 상당하였더라도 관리대상자에서 제외되는, 과도하게 높은 진입장벽으로 작용하고 있다고 생각된다. 2014년에 산업안전보건연구원 발주로 시행된 건강관리수첩 (현, 건강관리카드) 발급대상 유해요인 확대에 관한 연구에서 토석(土石) · 광물 또는 암석에 대한 작업 등 결정형 유리규산과 관련해서는 분진 및 진폐에 포함되어 이미 관리되고 있는 물질이기 때문에 대상 확대 여부에 대해서는 검토되지 못한 채 현재에 이르고 있다.

건강관리카드의 발급 목적은 앞서 기술하였듯이 직업병의 조기발견과 지속적인 건강관리를 그 목적으로 한다. 하지만 이미 진폐증에 이환된 사람만을 대상으로 한 현행 건강관리카드 제도에서, 해당 목적은 진폐증 진단 자체로 달성된다. 산업재해보상보험법에서 진폐증은 다른 업무상질병과 달리 특례조항의 적용 대상이 된다(산업재해보상보험법 제3장의2 진폐에 따른 보험급여의 특례). 진폐 진단 후 요양대상 인정기준은 다음과 같다. 이 기준을 만족할 경우 해당 진료에 대해 요양급여가 제공된다.

가. 진폐병형이 제1형 이상인 경우로서 다음의 어느 하나에 해당되는 경우

(1) 진폐의 합병증으로 활동성 폐결핵, 감염에 의한 흉막염(가슴막염), 기관지염, 기관지확장증, 공기가슴증, 폐기종(폐공기증, 심폐기능이 정도 장애 이상인 경우에만 해당한다), 폐성심, 비정형(非定型) 미코박테리아 감염으로 확인된 경우

(2) 진폐로 인하여 고도의 심폐기능장애(F3)로 확인된 경우

(3) 진폐의 병형이 제4형이고 큰음영의 면적 합계가 오른쪽 폐의 윗쪽 2분의 1을 넘는 경우

(4) 분진작업 종사경력이 있는 진폐근로자에서 원발성(原發性) 폐암이 발생한 경우

나. 진폐의증(0/1)에 활동성 폐결핵이 합병된 경우(법 제36조의 보험급여 중 제1호의 요양급여 및 제4호의 간병급여만 해당한다)

상기 규정에 의한다면 진폐의 합병증, 고도의 심폐기능장애, 대음영B, 원발성 폐암이 아니면 요양급여를 제공받지 못하지만, 이와 같은 요양 대상이 아닌 일반 진폐 환자의 경우도 산업재해보상보험법 제77조 산재근로자의 합병증 등 예방관리에 필요한 사항을 규정한 ‘합병증 등 예방관리업무처리규정’에 의거하여 투약 및 검사에 대한 제반 비용이 지원된다. 해당 대상은 진폐13급 이상 모든 진폐증 환자를 대상으로 하며, 예방관리에 해당하는 내용은 진찰, 기본검사, 임의검사(혈액검사, 혈액가스검사, 폐기능검사), 약제(항생제, 소염진통제, 기관지확장제), 처치(호흡기 합병증에 대한 처치, 기도유지) 등으로 건강관리카드의 건강진단범위를 훨씬 상회하는 처치에 대한 지원이 가능하기 때문에 진폐증이

확인된 결정형 유리규산 노출자에 대한 건강관리카드의 효용은 매우 적다고 보아도 무방하다.

따라서 진폐증의 유무에 상관 없이 국제암연구소 제1군 및 고용노동부 1A 발암물질인 결정형 유리규산 노출자에 대한 건강관리카드 대상자 확대가 필요한 실정이며, 건강관리카드의 본 목적인 '건강장해가 발생할 우려가 있는 업무에 종사하였거나 종사하고 있는 사람을 대상으로 한 직업병의 조기발견 및 지속적인 건강관리'를 위하여, 결정형 유리규산 노출과 관련한 제도의 개선이 필요하다.

3. 연구 목표

문헌 고찰을 통해 결정형 유리규산에 노출된 근로자의 건강영향에 대해 분석한다. 국내의 대규모 자료를 활용하여 산업·직업별 결정형 유리규산에 노출되는 근로자의 수를 파악하며, 관리 대상이 되는 우선순위를 전문가 회의등을 통하여 선정한다. 흉부 방사선 검사에서 진폐증이 확인되지 않은 결정형 유리규산 노출 근로자에서 건강수첩 발급이 미발급에 비해 주는 편익 및 소요되는 비용을 비교하는 비용-효과 분석을 수행하여, 건강수첩 발급 관련 정책 개선의 과학적 근거를 제시하고 향후 유해인자에 대한 근로자 건강관리 방안 제시에 기여한다.

II. 연구방법

1. 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수 추계방법

1) CAREX 데이터를 이용한 노출 근로자 수 추산

본 연구에서는 결정형 유리규산에 노출되는 근로자의 수를 추산하기 위해 한국형 CAREX (CARcinogen Exposure) database를 이용하였다. CAREX는 직업성 발암물질에 노출되어 발생하는 건강영향을 예방하기 위해 IARC에 등록된 발암인자와 산업별 노출 근로자 수를 조합하여 만들어진 발암인자 노출감시 시스템이다. CAREX는 1993년 핀란드 산업보건연구소 (Finland Institute of Occupational Health, FIOH)에서 개발되어 현재는 유럽 15개국과 캐나다 등 여러 국가에서 자국의 산업구조에 따라 보정하여 사용되고 있다.

국내에서는 고동희 등(2014)이 한국 노동 인구에 특화된 직업성 발암물질 감시 시스템인 한국형 CAREX 개발에 대한 연구를 수행하였다. 한국형 CAREX에서는 다음과 같은 기준을 통해 대상 발암물질을 선정하였다. 우선, 대상 물질은 사람에게 대한 발암성의 근거가 명확한 IARC Group 1 물질을 대상으로 하였으며, 해당 물질에 대한 노출 유병률은 작업환경 측정자료(Work Environment Measurement Database, WEMD), 특수건강 진단자료(Special Health Examination Database, SHED), 작업환경 실태조사(Work Environment Condition Survey, WECS) 세 가지 자료를 통해 측정되었다. 국내의 직업적 환경에서 광범위하게 사용되어 온 물질을 대상으로 하였으며, 엄격한 사용 제한이나 기업에서의 사용 기피로 인해 대상 물질에 노출되는 노동자의 수가 산업

전체의 노출을 나타내기에 너무 적은 경우에는 제외하였다. 산업 분류 체계로는 한국형 표준 산업 분류 제 9판 (KSIC-9)의 소그룹을 차용하였다.

2) 작업환경측정자료를 이용한 노출 근로자 수 추산

한국형 CAREX 구축에서 작업환경측정자료(WEMD)를 이용하였지만, 작업환경측정이 한 사업장의 결정형 유리규산 노출 수준을 가장 정확하게 평가할 수 있는 자료이기에, 산업안전보건연구원으로부터 작업환경측정자료 원시자료를 제공받아 다시 분석하였다. 작업환경측정자료 데이터베이스 중, 유해인자명 '규산', '규산염', 및 '광물성 분진'과 관련한 유해인자에 대한 추출을 요청하여 연구진은 2009년부터 2019년까지 10년간의 결정형 유리규산과 관련된 작업환경측정 원시자료를 제공받을 수 있었다.

제공된 변수는 측정년도, 반기, 반기순번, 표준산업분류, 대업종, 세세분류, 근로자 수, 부서명, 공정명, 단위작업, 측정위치 등이다. 각 측정별로 mg/m^3 단위의 TWA가 보고되었고, 작업환경측정결과 보고 규칙에 따라 유해인자별 노출 수준 또한 기재되어 있었다.

산업안전보건법 시행규칙 별표 11의 4에 고시된 작업환경측정대상 유해인자 중 광물성 분진과 관련한 항목은 다음과 같다.

표 II-1. 결정형 유리규산 관련 작업환경측정 대상 유해인자 목록

연번	한글명	영문명	CAS No.
가. 광물성 분진(Mineral dust)			
1	규산	Silica	14808-60-7
	가)석영	Quartz	14808-60-7
	나)크리스토팔라이트	Cristobalite	14464-46-4
	다)트리디마이트	Trydimite	15468-32-3
2	규산염	Silicates, less than 1% crystalline silica	
	가)운모	Mica	12001-26-2
	나)포틀랜드 시멘트	Potland cement	65997-15-1
	다)솜 스톤	Soap stone	14807-96-6
	라)활석	Talc, non-asbestiform	14807-96-6
	마)흑연	Graphite	7782-42-5
3	그 밖의 광물성 분진	Particulates	
	나. 곡물 분진	Grain dust	
	다. 면 분진	Cotton dust	
	라. 나무 분진	Wood dust	
1	연목	Soft wood	
2	강목	Hard wood	
	마. 용접 흠	Welding fume	
	바. 유리섬유	Glass fiber dust	65997-17-3

이 과정으로 입수된 작업환경측정결과 데이터베이스의 연도별 측정 건수는 다음과 같았다.

**표 II-2. 작업환경측정 자료에서 확보된 연도별 결정형 유리규산
관련 측정 건수**

연도	측정건수
2009	10948
2010	38980
2011	45823
2012	54059
2013	59406
2014	67871
2015	72096
2016	91654
2017	120204
2018	143473
2019	172161
계	876675

결정형 유리규산은 호흡기로 노출되는 독성 물질이다. 대부분 사업장에서 유해요인 노출은 단독으로 이루어지지 않는다. 유기용제나 중금속의 경우 그 화학적 성질을 이용하여 단일 물질에 대한 노출 평가가 가능한 경우가 많으나, 결정형 유리규산의 경우 그 조성만을 화학적으로 분리하기는 대단히 어려워 작업환경측정에서 결정형 유리규산만을 따로 측정하도록 규정하고 있지 않다.

그렇다고 하더라도 결정형 유리규산의 호흡기 독성 및 발암성이 기타 분진 조성에 비해 높기 때문에, 이를 고려한 측정이 이루어져야 한다. 따라서 고용노동부고시 제2018-62호 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’에 따르면, 분진의 성상에 따라 그 노출 기준을 달리하고 있다. 크게 4개 급간으로 나누어 볼 수

있는데, 결정형 유리규산 그 자체에 대한 노출이라고 할 수 있는 결정체 석영, 결정체 크리스토파라이트, 결정체 트리디마이트에 대해서는 TWA를 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 로 규정하고 있다. 결정체 트리폴리와 용융된 비결정체 규소에 대해서는 2배 더 높은 기준치인 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 로 규정하며, 석탄분진은 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 로 규정되어 있다. 비결정체 규조토, 비결정체 침전된 규소, 비결정체 실리카겔과 기타 분진(산화 규소 결정체 1% 이하)에 대해서는 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 로 규정한다. 즉 기타 분진의 TWA 상한치는 결정형 유리규산의 200배로 설정되어 있으며 이는 기타 분진에서의 결정형 유리규산 농도가 0.5%라는 가정 하에 설정된 것이라 볼 수 있다.

**표 II-3. 결정형 유리규산과 관련한 작업환경측정 항목 (고용노동부
고시 제 2018-62호 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’)**

일련 번호	국문표기	영문표기	화학식	노출기준 (TWA, mg/m^3)	비고 [CAS No.]
269	산화규소 (결정체 석영)	Silica (Crystalline quartz) (Respirable fraction)	SiO_2	0.05	발암성 1A, 호흡성 [14808- 60-7]
270	산화규소 (결정체 크리스토파라이트)	Silica (Crystalline cristobalite) (Respirable fraction)	SiO_2	0.05	발암성 1A, 호흡성 [14464- 46-1]
271	산화규소 (결정체 트리디마이트)	Silica (Crystalline tridymite) (Respirable fraction)	SiO_2	0.05	발암성 1A, 호흡성 [15468- 32-3]

일련 번호	국문표기	영문표기	화학식	노출기준 (TWA, mg/m ³)	비고 [CAS No.]
272	산화규소 (결정체 트리폴리)	Silica (Crystalline tripoli) (Respirable fraction)	SiO ₂	0.1	발암성 1A, 호흡성 [1317- 95-9]
273	산화규소 (비결정체 규소, 용융된)	Silica (Amorphous silica, fused) (Respirable fraction)	SiO ₂	0.1	호흡성 [60676- 86-0]
274	산화규소 (비결정체 규조토)	Silica (Amorphous diatomaceous earth)	SiO ₂	10	[61790- 53-2]
275	산화규소 (비결정체 침전된 규소)	Silica (Amorphous precipitated silica)	SiO ₂	10	[112926- 00-8]
276	산화규소 (비결정체 실리카겔)	Silica (Amorphous silicagel)	SiO ₂	10	[112926- 00-8]
299	석탄분진	Coal dust (Respirable fraction)	—	1	호흡성
731	기타 분진 (산화규소 결정체 1% 이하)	Particulates not otherwise regulated (no more than 1% crystalline silica)	—	10	발암성 1A (산화규소 결정체 0.1% 이상에 한함)

앞서 제시한 2019년 172,161건의 측정결과 중, 당해 상반기의 측정결과 86,197건에 대해 분석을 시행하였다. 해당 측정 건물에서 보고된 TWA 상한치는 다음 표 4와 같다.

표 II-4. 2019년 상반기 작업환경측정결과에서 TWA 상한치의 분포

TWA 상한치(mg/m ³)	측정건수	빈도
10	43763	50.8%
2	9798	11.4%
0.05	9526	11.1%
8	5281	6.1%
0.04	2414	2.8%
8.8889	2019	2.3%
1	1873	2.2%
1.6	1383	1.6%
그 외	10140	11.8%
계	86197	100.0%

50.8% 정도인 43,763건은 TWA 상한치 10mg/m³로 보고하였고, 11.1%는 결정형 유리규산의 상한치인 0.05mg/m³로 보고하였다. 2mg/m³의 경우에는 활석에 대한 노출기준이다. TWA는 표준근무시간 8시간동안 측정된 결과를 표준으로 하는데, 사업장의 사정으로 해당 시간동안 충분한 측정이 이루어지지 않는 경우 측정 시간을 보정하기 위하여 TWA를 조정하여 보고한다. 8과 0.04, 8.8889의 경우가 그러한 경우이며 각각 비결정형, 결정형, 비결정형에 대한 시간으로 보인다.

분석에서 이에 대한 시간 보정 TWA를 정확히 산출하는 것이 옳지만, 온전히 측정된 결과만을 이용하기 위하여 본 연구에서의 분석에서는 정규 시간동안 측정이 이루어져 보고된 10, 1, 0.1, 0.05mg/m³ 를 TWA로 기록한 분석 결과만

을 이용하였다. 2019년 상반기 이외 측정 결과에 대한 분석은 별도로 시행하였고, 해당 결과는 부록에 수록하였다.

2. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 방법

1) 분석의 틀

본 연구에서는 결정형 유리규산 노출자와 비노출자(일반인)의 폐 질환 관련 건강 성과 및 관련 질병 비용을 평가하기 위해 경제성 평가 연구 방법론을 활용하여 코호트 모델링 질병 비용 연구(cost of illness study: a simulation cohort approach)를 수행하였다. 결정형 유리규산 노출자와 비노출자에 대한 50세 남성의 가상 코호트를 각각 10,000명씩 구성하여 첫해에 Disease Free 단계에서부터 출발하여 30년 동안 폐 관련 질환의 발생을 추적하였다.

(3) 분석 시나리오: 결정형 유리규산 노출군

(4) 비교 시나리오: 비노출군(일반인군)

2) 분석 모형

- (1) 모형 구조: 본 연구에서는 폐 관련 질병 비용을 평가하기 위해 Markov model을 사용하였다. 폐 관련 질환은 장기간에 걸쳐서 발생하며, 발생 후 만성화되거나 예후를 평가해야 하므로 장기간의 분석에 알맞은 Markov model 구조를 사용하였으며, 구조에 포함된 건강 상태는 국내 직업환경의학 전문의 및 보건학 전문가들의 자문을 거쳐서 확정하였다(그림 1).

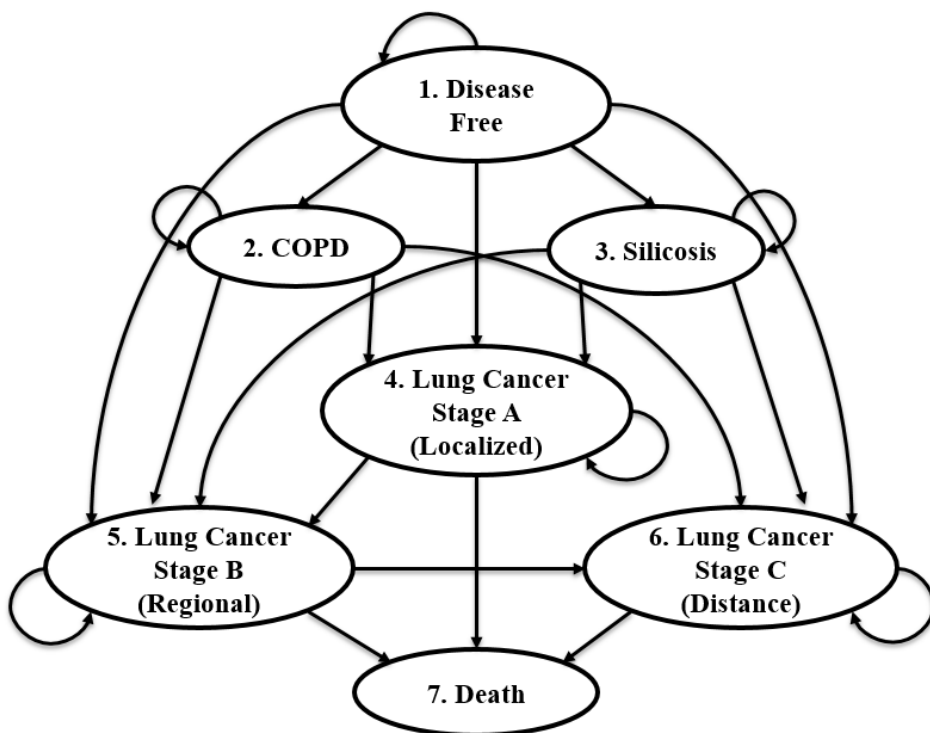


그림 II-1. 폐 관련 질환 평가를 위한 Markov model의 구조

(2) 건강 상태(health states): Markov model에 포함된 건강 상태(그림 1에서 원(bubble)으로 표현됨)은 최대한 국내 임상 현실을 반영하면서 결정형 유리규산 노출자들의 폐 관련 질환의 자연사가 모두 포함되도록 7단계로 구성하였다. 폐암은 미국의 SEER(Surveillance, Epidemiology, and End Results)의 병기 분류에 따라 Stage A(Localized), Stage B(Regional), Stage C(Distant)의 3단계로 구분하였다. 건강 상태는 더 좋은 상태로 회귀할 수 없고, 분석이 진행되는 연도에 따라 남성 1세별 일반 사망률이 적용되었다(통계청, 2020).

- 1) Disease Free: 폐 관련 질환이 없는 상태
- 2) COPD (chronic obstructive pulmonary disease): 만성폐쇄성폐질환
- 3) Silicosis: 규폐증
- 4) Lung Cancer Stage A (Localized): 폐암 국소종양
- 5) Lung Cancer Stage B (Regional): 폐암 부위병변
- 6) Lung Cancer Stage C (distant): 폐암 전이병변
- 7) Death

(5) 분석 기간: 결정형 유리규산 노출자와 비노출자의 폐 관련 질환 건강 성과가 충분히 측정될 수 있을 정도의 기간과 국내 남성의 평균 수명을 고려하여 30년으로 설정하였다. 분석 주기는 하나의 건강 상태에서 다른 건강 상태로 이동하는 고정된 시간으로 1년으로 설정하였다.

3) 전이 확률 (transition probability)

Disease Free 상태에서 COPD, 규폐증, 폐암으로 이동하는 확률은 결정형 유리규산 노출군과 비노출군에서 차이가 있을 것으로 생각하여 문헌 고찰을 통해 차이값(odds ratio)을 확정하였다. 전이 확률값은 최대한 국내의 임상 현실을 반영하는 최신의 값을 사용하기 위해 노력하였다. 일단 폐 관련 질환이 발생하면, 다음 상태로 전이하는 확률은 결정형 유리규산 노출군과 비노출군에서 차이가 없다고 가정하였다.

결정형 유리규산 노출군에서 COPD 발생률은 비노출군에 비해 1.8배(95% confidence intervals (CI): 1.0-3.3) 큰 값을 적용했으며(Holman et al., 1987), 폐암 발생률은 1.37배(95% CI: 1.14-1.65) 큰 값을 사용하였다(Cassidyy et al., 2007).

COPD의 기저발생률은 Leem 등이 안성-안산 코호트 자료를 활용하여 추정된 50세 이상의 남성에서의 연령-성별표준화 COPD의 발생률 자료를 활용하였다. Leem 등의 연구에서 50-59세 남성의 COPD 발생률을 10만명당 2,412명(95% CI: 1,873.4-2,950.7), 60-69세 남성의 COPD 발생률을 10만명당 6,933.1명(95% CI: 5,624.5-8,241.7)으로 추정하였다(Leem et al., 2018). 본 연구에서는 70-79세의 발생률도 60-69세와 같다고 가정하고 사용하였다. COPD에서 폐암으로의 연간 전이확률은 Park 등이 건강보험 청구자료에서 COPD 환자 338,548명을 추적하여 폐암의 발생률을 1000인년당 4.9명으로 보고한 값을 활용하였다(Park et al., 2020).

규폐증은 임상의의 자문에 따라 결정형 유리규산 노출군에서만 발생한다고 가정하였고, 넓은 의미로 진폐증까지 포함하였다. 규폐증의 발생률은 Shen 등이 중국에서 광업 노동자를 42년간 추적하여 채굴 노동자의 진폐증의 발생률을 28.1%로 보고한 연구와 고용노동부의 산업재해현황분석에서 진폐증 현황 자료의 광업 대 비광업(671:325) 근로자 자료를 활용하여, 연간 발생 확률을 0.0035로 추정하였다(Shen et al., 2015; 고용노동부, 2018). 규폐증에서의 폐암 발생률은 한국산업안전공단에서 수행한 진폐근로자 코호트를 통한 폐암 발생 예측에 관한 연구에서 비광업 근로자의 일반인 대비 발생비인 2.6(95% CI: 1.8-3.8)를 적용하였다(한국산업안전공단, 2004).

폐암의 발생률은 통계청에서 발표하는 2017년 암등록자료에서 남성의 10세 별 폐암 발생률을 사용하였다(통계청, 2017). 다만, 폐암의 진단 시 병기별 분포는 암등록자료에서 확인할 수 없었으므로, 정경숙 등의 연구에서 사용한 자료를 사용하여 Stage A, Stage B, Stage C, Unknown 상태를 18.3%, 25.5%, 40.6%, 15.6%로 추정하여 폐암의 발생률을 병기별로 나누어 적용하였다(정경숙 등, 2014). Unknown 상태는 Stage A 상태에 포함하여 추정하였다.

폐암의 사망률은 정경숙 등의 연구에서 사용한 병기별 5년 생존률 값을 사용하여 연간 확률로 변환하였다. 예를 들어, 50대 Stage C의 5년간 폐암 생존률이 6.8%인 경우, $-\ln(0.068)/5 = 0.53765$, $1 - \exp(-0.53765) = 0.41588$ 의 과정을 통해 연간 사망확률로 전환하여 적용하였다.

표 II-5. 주요 입력 변수 및 자료원

변수		변수 값		자료원
		결정형 유리규산 노출군	비노출군	
일반 모수	분석 대상 인구의 특성			
	인구 수 (명)	10,000	10,000	
	남성 (%)	100	100	
	50세 (%)	100	100	
	할인율 (%)	5.0	5.0	
전이 확률	Relative Risk			Holman et al. (1987)
	From Disease Free to COPD	1.8	1.0 (ref)	
	From Disease Free to 폐암	1.37	1.0 (ref)	
	Mortality Rate	1세별 남성 일반 사망률 (부록)		통계청 (2018)
	Disease Free to COPD (50-59세)	0.02		Leem et al. (2018)
	Disease Free to COPD (60-79세)	0.07		Leem et al. (2018)
	Disease Free to 규폐증	0.0035	-	Shen et al. (2015) 고용노동부 (2018)
	Disease Free to 폐암	5세별 남성 폐암 발생률 (부록)		통계청 (2017)
	COPD to 폐암	0.005		Park et al. (2020)
	규폐증 to 폐암	2.6배 vs. 일반 남성 폐암 발생률		한국산업안전공단 (2004)

변수		변수 값			자료원
		결정형 유리규산 노출군	비노출군		
전이 확률	폐암 Stage A to 폐암 Stage B	0.3			정규원 등 (2013)
	폐암 Stage B to 폐암 Stage C	0.3			
	폐암 병기별 연간 사망확률	50-59 세	60-69 세	70-79 세	정경숙 등 (2014)
	Stage A	0.084	0.162	0.272	
	Stage B	0.179	0.248	0.341	
	Stage C	0.416	0.480	0.518	
	진단 시 폐암 병기별 분포 (%)				정경숙 등 (2014)
	Stage A (Unknown 포함)	34.0			
	Stage B	25.5			
	Stage C	40.6			
비용 * (원)	COPD (J44)	634,458			건강보험심사평가 원 의료통계자료 (2014)
	Silicosis	363,954			
	진단 첫 해				정경숙 등 (2014)
	폐암 Stage A	16,296,427			
	폐암 Stage B	26,297,827			
	폐암 Stage C	28,339,581			
	진단 둘째 해부터	4,351,505			Shin 등 (2012)

4) 비용 추정

질병 비용은 2019년 시점으로 보험자 관점(payer's perspective)에서 추계하였다. Disease Free 상태에서는 폐 관련 질병 비용이 발생하지 않는다고 가정하였다. COPD와 규폐증의 질병 비용은 한국표준질병분류코드 (KCD-7th-code)를 활용하여 건강보험심사평가원 보건의료빅데이터개방시스템에서 질병 소분류(3단 상병) 통계 조회를 통해 남성에서의 연평균 건강보험 급여 진료 비용을 확인하였다(<https://opendata.hira.or.kr/home.do>). COPD의 비용 추계에는 J44(기타 만성 폐색성 폐질환) 코드를 사용하였고, 규폐증의 추계를 위해서 직업환경전문의 2인의 자문을 받아 진폐증까지 범위를 확대하여 조회한 후(표 2) 가중평균을 구하였다.

표 II-6. 진폐증 질병 비용 추계 (2019년 기준)

질병 분류 코드	설명	환자 수 (명)		보험급여 진료비용 (천원)		남성 1인당 연간 평균 보험급여 진료비용 (원)
		전체	남성	전체	남성	
J60	탄광부진폐증	1,430	1,020	857,947	562,543	551,513
J61	석면 및 기타 광섬유 진폐증	1,194	768	261,219	189,605	246,882
J62	실리카 진폐증	743	728	188,646	187,050	256,937
J63	무기물 먼지 진폐증	103	84	41,406	26,252	312,524
J64	상세불명 진폐증	2,319	2,010	827,529	683,594	340,097
J65	결핵 진폐증	89	28	133,452	41,166	1,470,214
J66	특정 유기물 먼지 기도질환	21	9	1,618	1,083	120,333
가중평균 비용						363,954

병기별 폐암의 질병 비용은 2014년 정경숙 등의 보고서〈표 75〉폐암의 의료비용 자료에서 환산하여 사용하였다. 정경숙 등의 보고서에서는 폐암의 질병 비용이 진단 첫 해 병기에 따라 비용의 차이가 크고, 둘째 해 이후부터는 병기에 따른 비용 차이가 없다고 가정하였다. 진단 둘째 해 이후의 비용은 Shin 등(2012)이 우리나라 폐암 진단자를 대상으로 연구한 자료에서 발췌하였으며, 모든 비용은 통계청의 소비자 물가조사 자료 중 보건 분야의 지수를 활용하여 2019년 시점으로 인플레이션하였다.

표 II-7. 폐암의 병기별 질병 비용 추계 (2019년 기준)

항목	연간 질병 비용* (US dollar)	2019년 기준 연간 질병 비용 (원)
진단 첫 해		
Stage A	14,303	16,296,427
Stage B	23,081	26,297,827
Stage C	24,873	28,339,581
진단 둘째 해 이후	3,779	4,351,505

표 II-8. 보건 분야의 연도별 소비자 물가지수 (통계청 자료)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
지수	97.725	98.074	98.765	100.0	100.99	101.88	101.83	102.30

5) 결과 평가 방법

(1) 사망자 수 비교: 결정형 유리규산 노출군과 비노출군에서 30년간 누적하여 발생한 전체 사망자 수 및 폐 관련 질환으로 인한 사망자수를 비교하였다.

(2) 폐 관련 질환 발생 비교: COPD, 규폐증, 폐암의 발생을 두 군에서 비교하였다.

(3) 관련 질병 비용 평가: 폐 관련 질환의 직접 의료 비용의 차이를 두 군에서 분석하였다. 비용 추정에 할인율 적용 유무에 따라 결과를 비교하였다.

(4) 민감도 분석(sensitivity analysis): 분석 모형에 적용된 변수 값의 불확실성이 연구 결과에 미치는 영향을 평가하기 위해 주요 변수에 변동성을 주어 결과에 미치는 영향을 파악하였다. 주요 변수로는 결정형 유리규산 노출군에서의 COPD 및 폐암의 상대 발생비를 선택하였다.

표 II-9. 민감도 분석에 사용된 변수 및 자료원

변수		기본 분석 값	민감도 분석		자료원
			하한값	상한값	
전 이 확 률	Relative Risk (결정형 유리규산 노출군 vs. 비노출군)				
	From Disease Free to COPD	1.8	1.0	3.3	Holman (1987)
	From Disease Free to 폐암	1.37	1.14	1.65	Cassidy (2007)

III. 연구결과

1) 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수 추정

1) CAREX로 추정한 노출 산업 및 근로자 수

한국형 CAREX 데이터에선 결정형 유리규산을 포함한 20종의 발암물질이 선정되었다. 선정된 발암물질에 대해 작업환경 측정자료, 특수건강 진단자료 및 작업환경 실태조사를 통해 산출된 노출 유병률을 참고하여 산업 위생 전문가들이 결과를 검토하고 자체 추정치를 제공하였다. 전문가추정치에서 도출된 중앙값을 해당 산업에 대한 최종 노출 유병률 추정치로 채택하였다. 채택된 노출 유병률 추정치에 2010년 인구조사 자료에서 도출된 해당 산업에 종사하는 총 근로자 수를 곱하여 산업별 각 발암물질에 노출된 근로자의 수를 추정하였다. 본 연구에서는 한국형 CAREX 데이터에 근거한 결정형 유리규산 노출 근로자 수가 100명 이상인 36개 산업을 선정하였고, 해당 산업에 종사하는 노출자 수를 합산하였다. CAREX 데이터 기준 결정형 유리규산 노출자 수 상위 36개 산업 및 노출 근로자 수 분율은 다음과 같다 (표 III-1, 표 III-2).

기존 건강관리카드의 분진 작업에 해당하는 업무와 CAREX 데이터를 기준으로 한 결정형 유리규산 노출 상위 36개 산업을 비교하였고, 결정형 유리규산에 노출되나 기존 발급기준에서 누락된 산업이 있는지 확인하였다 (표 III-3). 기존 건강관리카드의 발급 기준은 갭내 또는 옥내 작업만을 기준으로 하였으므로, 건설업, 공사업, 선박 및 보트 건조업 등과 같은 옥외 작업자들은 발급기준에서 제외된다는 제한점이 있었다.

표 III-1. CAREX에 근거한 결정형 유리규산 노출 상위 36개 산업의 노출 근로자 수 분율 (%)

산업분류 (K SIC-9)	제1사분위수	중앙값	제2사분위수	작업환경측정	작업환경 실태조사	특수건강진단	전문가 중앙값
자동차 부품 제조업 (303)	0.05	0.86	1.51	1.22	0.02	0.01	0.86
건물 건설업 (411)	0.09	0.55	3.00	0.25	0	0	0.55
1차 철강 제조업 (241)	0.80	1.52	3.00	2.3	0.03	0.07	1.52
토사석 광업 (71)	5.00	15.00	20.00	17.47	0.16	0.08	15.00
기타 금속기공제품 제조업 (259)	0.05	0.50	1.01	1.16	0.1	0.01	0.50
특수 목적용 기계 제조업 (292)	0.01	0.50	1.00	1.1	0.04	0.02	0.50
일반 목적용 기계 제조업 (291)	0.01	0.50	1.00	1.48	0.04	0.01	0.50
건축자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466)	0.03	0.74	5.13	10.55	0.19	0	0.74
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	0.18	0.79	1.50	1.69	0.16	0.06	0.79
토목 건설업 (412)	0.81	3.01	5.71	2.94	0	0.01	3.01
실내건축 및 건축사무리 공사업 (424)	0.44	2.00	3.53	3.48	0	0	2.00

산업분류 (KSIC-9)	제1사분위수	중앙값	제2사분위수	작업환경측정	작업환경 실태조사	특수건강진단	전문가 중앙값
건물설비 설치 공사업 (422)	1.00	3.87	7.96	8.17	0	0	3.87
금속 주조업 (243)	9.04	22.50	35.13	49.12	0.22	0.18	22.50
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	6.12	9.33	15.00	11.32	0.24	0	9.33
도자기 및 기타 요업제품 제조업 (232)	5.62	17.75	22.78	21.53	0.38	0	17.75
기반조성 및 시설물 축조 관련 전문 공사업 (421)	0.15	3.00	4.94	3.67	0	0.06	3.00
유리 및 유리제품 제조업 (231)	4.66	10.00	15.00	10.01	0.11	0.25	10.00
건설장비 운영업 (425)	0.40	2.64	5.97	10.13	0	0	2.64
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	5.84	10.00	17.87	19.93	0.51	0	10.00
선박 및 보트 건조업 (311)	10.00	2.64	0.76	0.45	0.07	0	0.33
1차 비철금속 제조업 (242)	0.01	0.33	3.00	2.39	0.02	0.02	1.64
폐기물 수집 운반업 (381)	0.28	2.00	5.11	6.79	0.05	0	2.00

산업분류 (KSIC-9)	제1사분위수	중앙값	제2사분위수	작업환경측정	작업환경 실태조사	특수건강진단	전문가 중앙값
금속 및 비금속 원료 재생업 (383)	1.00	3.73	7.72	0	0	3.73	1.64
폐기물 처리업 (382)	0.49	2.15	5.30	7.42	0.01	0	2.15
자동차용 엔진 및 자동차 제조업 (301)	0.02	0.38	0.77	0.85	0.01	0	0.38
기타 화학제품 제조업 (204)	0.03	0.50	1.22	2.07	0.06	0	0.50
기타 비금속광물 광업 (72)	2.79	13.52	20.04	26.17	0	0	13.52
전기 및 통신 공사업 (424)	0.44	2.00	3.53	3.48	0	0	2.00
그 외 기타 제품 제조업 (339)	0.03	0.50	1.00	2.44	0.03	0.03	0.50
비료 및 질소화합물 제조업 (202)	0.05	2.68	6.25	15.47	0.03	0	2.68
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	0	0.13	0.67	1.23	0.02	0	0.13
고무제품 제조업 (221)	0.03	0.50	1.00	1.27	0.05	0	0.50
기계 및 장비 수리업 (951)	0	0.15	1.00	1.24	0.07	0	0.15

산업분류 (KSIC-9)	제1사분위수	중앙값	제2사분위수	작업환경측 정	작업환경 실태조사	특수건강진단	전문가 중앙값
안전, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업 (273)	0.07	0.68	2.50	4.44	0.07	0.38	0.68
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (203)	0.02	0.50	0.92	1.39	0.04	0.24	0.50
플라스틱제품 제조업 (222)	0	0.10	0.50	0.52	0.03	0	0.10

표 III-2. CAREX에 근거한 결정형 유리규산 노출 상위 36개 산업의 노출 근로자 수

산업분류 (KSIC-9)	총 근로자 (명)	노출 분율 (%)	노출 근로자 (명)
토목 건설업 (412)	232,797	3.01	7,007
실내건축 및 건축마무리 공사업 (424)	344,988	2.00	6,900
건물설비 설치 공사업 (422)	148,555	3.87	5,749
금속 주조업 (243)	21,440	22.50	4,824
시멘트, 석회, 플라스틱 및 그 제품 제조업 (233)	46,567	9.33	4,342
도자기 및 기타 요업제품 제조업 (232)	24,405	17.75	4,332
기반조성 및 시설물 축조 관련 전문 공사업 (421)	135,191	3.00	4,056
유리 및 유리제품 제조업 (231)	32,785	10.00	3,279
건설장비 운영업 (425)	112,186	2.64	2,956
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	24,792	10.00	2,479
자동차 부품 제조업 (303)	253,513	0.86	2,168
건물 건설업 (411)	384,479	0.55	2,115

산업분류 (KSC-9)	총 근로자 (명)	노출 비율 (%)	노출 근로자 (명)
1차 철강 제조업 (241)	113,462	1.52	1,725
토사석 광업 (71)	9,527	15.00	1,429
기타 금속가공제품 제조업 (259)	224,885	0.50	1,124
특수 목적용 기계 제조업 (292)	208,749	0.50	1,044
일반 목적용 기계 제조업 (291)	146,576	0.50	733
건축자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466)	87,980	0.74	651
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	78,922	0.79	623
선박 및 보트 건조업 (311)	182,785	0.33	594
1차 비철금속 제조업 (242)	28,642	1.64	470
폐기물 수집 운반업 (381)	22,045	2.00	441
금속 및 비금속 원료 재생업 (383)	11,477	3.73	428
폐기물 처리업 (382)	17,944	2.15	386
자동차용 엔진 및 자동차 제조업 (301)	102,819	0.38	386

산업분류 (KSIC-9)	총 근로자 (명)	노출 분율 (%)	노출 근로자 (명)
기타 화학제품 제조업 (204)	71,544	0.50	358
기타 비금속광물 광업 (72)	2,214	13.52	299
전기 및 통신 공사업 (423)	198,387	2.00	298
그 외 기타 제품 제조업 (339)	57,598	0.50	288
비료 및 질소화합물 제조업 (202)	9,583	2.68	256
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	165,259	0.13	215
고무제품 제조업 (221)	41,255	0.50	206
기계 및 장비 수리업 (951)	92,412	0.15	134
안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업 (273)	19,105	0.68	129
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (203)	25,341	0.50	127
플라스틱제품 제조업 (222)	130,157	0.10	124
총 합	3,810,366		62,675

표 III-3. 결정형 유리규산 관련 기준 건강관리카드 발급 기준

구분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
카	육내에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 작업 1) 유리 또는 법랑을 제조하는 공정에서 원료를 혼합하는 작업이나 원료 또는 혼합물을 용해로에 투입하는 작업 (수중에서 원료를 혼합하는 작업은 제외한다) 2) 도자기 · 내화물 · 형상토제품(형상을 본떠 흙으로 만든 제품) 또는 연마재를 제조하는 공정에서 원료를 혼합 또는 성형하거나, 원료 또는 반제품을 건조하거나, 반제품을 차에 싣거나 쌓아 두는 장소에서의 작업 또는 가마 내부에서의 작업(도자기를 제조하는 공정에서 원료를 투입 또는 성형하여 반제품을 완성하거나 제품을 내리고 쌓아 두는 장소에서의 작업과 수중에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업은 제외한다) 3) 탄소제품을 제조하는 공정에서 탄소원료를 혼합하거나 성형하여 반제품을 노(爐: 가공할 원료를 녹이거나 굽는 시설)에 넣거나 반제품 또는 제품을 노에서 꺼내거나 제작하는 장소에서의 작업	
타	육내에서 내화 벽돌 또는 타일을 제조하는 작업 중 동력을 사용하여 원료(습기가 있는 것은 제외한다)를 성형하는 장소에서의 작업	

구분	건강장해가 발생할 우려가 있는 업무	대상 요건
파	옥내에서 동력을 사용하여 반제품 또는 제품을 다듬질하는 장소에서의 작업 중 다음의 의 어느 하나에 해당하는 작업을 1) 도자기 · 내화물 · 형상토제품 또는 연미재를 제조하는 공정에서 원료를 혼합 또는 성형하거나, 원료 또는 반제품을 건조하거나, 반제품을 차에 싣거나 쌓은 장소에서의 작업또는 가마 내부에서의 작업(도자기를 제조하는 공정에서 원료를 투입 또는 성형하여 반제품을 완성하거나 제품을 내리고 쌓아 두는 장소에서의 작업과 수중에서 원료를 혼합하는 장소에서의 작업은 제외한다) 2) 탄소제품을 제조하는 공정에서 탄소원료를 혼합하거나 성형하여 반제품을 노에 넣거나 반제품 또는 제품을 노에서 꺼내거나 제작하는 장소에서의 작업	
하	옥내에서 거푸집을 해체하거나, 분해장치를 이용하여 사형(砂形: 광물의 결정형태)을 부수거나, 모래를 털어 내거나 동력을 사용하여 주물모래를 재생하거나 혼련(攪練)과 기계를 사용하여 내용물을 고르게 섞는 것)하거나 주물품을 절삭(切削)하는 장소에서의 작업	
거	옥내에서 수지식(手指式) 용융분사기를 이용하지 않고 금속을 용융분사하는 장소에서의 작업	

표 III-4. CAREX에 근거한 노출 근로자 수 기준 상위 산업분류와 기존 건강관리카드 발급기준 비교

산업분류 (KSIC-9)	기존 건강관리카드 발급기준	노출 근로자 (명)
토목 건설업 (412) 실내건축 및 건축마무리 공사업 (424) 건물설비 설치 공사업 (422) 금속 주조업 (243) 시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233) 도자기 및 기타 요업제품 제조업 (232) 기반조성 및 시설물 축조 관련 전문 공사업 (421) 유리 및 유리제품 제조업 (231) 건설장비 운영업 (425) 기타 비금속 광물제품 제조업 (239) 자동차 부품 제조업 (303) 건물 건설업 (411) 1차 철강 제조업 (241)	자, 차 사 하, 사 바, 사, 아, 자, 차 바, 사, 아, 자, 차, 카-2), 타 아, 자, 차 바, 사, 차, 카-1), 파-1) 나, 다, 라, 마, 바, 아, 차, 카-2), 카-3), 파-2) 바, 사, 아, 자, 차 사	7,007 6,900 5,749 4,824 4,342 4,332 4,056 3,279 2,956 2,479 2,168 2,115 1,725

산업분류 (KSC-9)	기존 건강관리카드 발급기준	노출 근로자 (명)
토사석 광업 (71) 기타 금속가공제품 제조업 (259) 특수 목적용 기계 제조업 (292) 일반 목적용 기계 제조업 (291) 건축자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466) 구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251) 선박 및 보트 건조업 (311) 1차 비철금속 제조업 (242) 폐기물 수집 운반업 (381) 금속 및 비금속 원료 재생업 (383) 폐기물 처리업 (382) 자동차용 엔진 및 자동차 제조업 (301) 기타 화학제품 제조업 (204)	가, 나, 다, 라 사, 자, 카-1), 파-1) 사, 자 사, 자 사, 자 아, 자, 차 아 자	1,429 1,124 1,044 733 651 623 594 470 441 428 386 386 358

산업분류 (KSC-9)	기존 건강관리카드 발급기준	노출 근로자 (명)
기타 화학제품 제조업 (204)		358
기타 비금속광물 광업 (72)		299
전기 및 통신 공사업 (423)		298
그 외 기타 제품 제조업 (339)		288
비료 및 질소화합물 제조업 (202)		256
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)		215
고무제품 제조업 (221)		206
기계 및 장비 수리업 (951)		134
안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업 (273)	사	129
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (203)		127
플라스틱제품 제조업 (222)		124
그 외	거	

2) 작업환경측정 자료로 추정한 노출 산업 및 근로자 수

우선 86,197건의 2019년 상반기 작업환경측정 보고건 중, TWA를 10mg/m³로 보고한 43,763건에 대한 검토 결과, 사업장별 중복을 모두 제거하고 난 후 5개의 사업장에서는 기준치의 100%를 초과하였고, 114개의 사업장에서는 기준치의 50%를 초과하였다. 이들 사업장에 근무하는 근로자의 총 합은 91,357명이었으며, 개별 사업장의 데이터를 한국 표준산업분류 (KSIC-10)의 소분류를 기준으로 통합한 결과는 표 5와 같다.

표 III-5. TWA 상한치 10mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과 사업장의 산업 분류와 근로자 수

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
선박 및 보트 건조업 (311)	기타광물성분진	41009	100%	36358
			50%	2200
	기타분진 (유리규산1%이하)	41012	100%	20163
건물 건설업 (411)	기타광물성분진	41009	50%	5569
	규산염 (포틀랜드시멘트)	41005	50%	7291
1차 철강 제조업 (241)	기타광물성분진	41009	100%	6508
			50%	565
기초 화학물질 제조업 (201)	기타광물성분진	41009	50%	7000

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
토목 건설업 (412)	기타광물성분진	41009	50%	281
	규산염 (포틀랜드시멘트)	41005	100%	55
			50%	1170
1차 비철금속 제조업 (242)	기타광물성분진	41009	50%	960
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	기타광물성분진	41009	50%	695
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	기타광물성분진	41009	50%	212
	규산염 (포틀랜드시멘트)	41005	50%	395
실내건축 및 건축마무리 공사업 (424)	규산염 (포틀랜드시멘트)	41005	50%	580
유리 및 유리제품 제조업 (231)	기타광물성분진	41009	50%	487
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	기타광물성분진	41009	50%	212
폐기물 처리업 (382)	기타광물성분진	41009	50%	47
	기타분진 (유리규산1%이하)	41012	50%	107
건물설비 설치 공사업 (422)	규산염 (포틀랜드시멘트)	41005	50%	110
특수 목적용 기계 제조업 (292)	기타광물성분진	41009	50%	85

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
기타 화학제품 제조업 (204)	기타광물성분진	41009	50%	26
	기타분진 (유리규산1%이하)	41012	50%	46
금속 주조업 (243)	기타광물성분진	41009	50%	39
의약품 제조업 (212)	기타광물성분진	41009	50%	36
기타 전기장비 제조업 (289)	기타광물성분진	41009	50%	32
토사석 광업 (71)	기타광물성분진	41009	50%	31
그 외 기타 제품 제조업 (339)	기타광물성분진	41009	50%	31
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	기타광물성분진	41009	50%	16
	기타분진 (유리규산1%이하)	41012	50%	2
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (202)	기타광물성분진	41009	50%	13
코크스 및 연탄 제조업 (191)	기타광물성분진	41009	50%	11
플라스틱 제품 제조업 (222)	기타광물성분진	41009	50%	10
일반 목적용 기계 제조업 (291)	기타광물성분진	41009	50%	10
그 외 기타 개인 서비스업 (969)	기타광물성분진	41009	50%	4

2019년 상반기 작업환경측정결과에서 TWA를 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 로 보고한 결과는 없었다. 결정형 유리규산에 대한 기준치인 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 로 보고한 9,526건에 대한 검토 결과, 사업장별 중복을 모두 제거하고 난 후 24개의 사업장에서는 기준치의 100%를 초과하였고, 72개의 사업장에서는 기준치의 50%를 초과하였다. 이들 사업장에 근무하는 근로자의 총 합은 13,088명이었으며, 개별 사업장의 결과를 한국 표준산업분류 (KSIC-10)의 소분류를 기준으로 통합한 결과는 다음과 같다.

표 III-6. TWA 상한치 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한 사업장의 산업분류와 근로자 수

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
건물 건설업 (411)	규산(석영)	41001	100%	249
			50%	3611
자동차 신품 부품 제조업 (303)	규산(석영)	41001	100%	103
			50%	1585
석탄 광업 (51)	규산(석영)	41001	100%	1272
			50%	332
토목 건설업 (412)	규산(석영)	41001	100%	112
			50%	843
1차 비철금속 제조업 (242)	규산 (트리디마이트)	41003	50%	950
특수 목적용 기계 제조업 (292)	규산(석영)	41001	100%	343
			50%	499

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	규산(석영)	41001	100%	88
			50%	529
금속 주조업 (243)	규산 (트리디마이트)	41003	50%	40
			100%	222
	규산(석영)	41001	50%	219
			100%	222
기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업 (421)	규산(석영)	41001	50%	375
전기업 (351)	규산(석영)	41001	50%	254
플라스틱 제품 제조업 (222)	규산(석영)	41001	50%	224
실내건축 및 건축마무리 공사업 (424)	규산(석영)	41001	50%	173
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	규산(석영)	41001	50%	162
유리 및 유리제품 제조업 (231)	규산(석영)	41001	50%	156
항공기, 우주선 및 부품 제조업 (313)	규산(석영)	41001	100%	120
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	규산(석영)	41001	100%	35
			50%	66
철 광업 (61)	규산(석영)	41001	100%	96
토사석 광업 (71)	규산(석영)	41001	100%	75

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
기초 화학물질 제조업 (201)	규산(석영)	41001	50%	56
기타 비금속광물 광업 (72)	규산(석영)	41001	100%	34
			50%	16
폐기물 처리업 (382)	규산(석영)	41001	50%	44
기타 화학제품 제조업 (204)	규산(석영)	41001	50%	36
일반 목적용 기계 제조업 (291)	규산(석영)	41001	50%	35
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	규산 (트리디마이트)	41003	50%	10
	규산(석영)	41001	50%	20
코크스 및 연탄 제조업 (191)	규산(석영)	41001	50%	23
비료, 농약 및 살균, 살충제 제조업 (203)	규산(석영)	41001	50%	20
보관 및 창고업 (521)	규산(석영)	41001	50%	18
그 외 기타 제품 제조업 (339)	규산(석영)	41001	100%	14
1차 철강 제조업 (241)	규산(석영)	41001	100%	13
건축 자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466)	규산(석영)	41001	50%	9
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	규산(석영)	41001	50%	5
반도체 제조업 (261)	규산(석영)	41001	50%	2

각각 10, 1, 0.05mg/m³ 의 TWA 기준에 대하여 91,357, 19,845, 13,088명, 총합 124,290명의 근로자가 작업환경측정에서 결정형 유리규산 및 그와 관련한 분진 노출 기준치의 50%를 초과하는 사업장에서 근무하는 것으로 나타났다. 분진노출 사업장에 근무하는 근로자의 총합 124,290명 중 실제 유의미한 분진에 노출되는 분율을 50%로 산정할 경우 62,145명이고, 20%로 산정할 경우 24,858명이다. 이들에 대해서 결정형 유리규산 건강관리카드 발급을 고려해 볼 수 있을 것으로 보인다. 작업환경측정을 실시하지 않은 사업장, 실시하더라도 보고가 누락된 사업장, 8시간 기준 TWA를 보고하지 않은 사업장 등을 고려하여 보았을 때, 유의미한 결정형 유리규산 함유 분진에 노출되고 있는 근로자의 수는 약 3만명에서 10만명 정도로 추정된다.

3) 전문가 자문의견

본 연구에서는 CAREX 데이터 및 작업환경측정 자료를 이용하여 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수를 추정하였다. CAREX 데이터는 작업환경측정, 특수건강진단 및 작업환경실태조사를 기반으로 한 노출 근로자 수 추정값이므로, 근로자 수가 적은 소규모 산업 및 사업장의 경우 누락될 가능성이 있다. 따라서, 본 연구에서 노출이 확인되는 산업 이외에 노출 가능한 산업 및 업무에 대해서는 직업환경의학 전문의 및 산업위생 전문가 10인에게 자문을 구하였다. 전문가 자문단 구성은 현재 관련 업무에 종사하고 있으며 다년간의 직업성 폐질환관련 경험이 있는 연구자 및 실무자로 구성하였다.

또한 소규모 사업장이 누락되는 문제점에 대한 보완 방법으로 본 연구에서 확인되는 산업 이외의 산업에 종사하였거나, 교부 기준 종사기간 미만이라도 직업환경의학 전문의가 과거 직력, 작업환경측정 자료 및 특수건강진단 이력 등을 검토하여 특별 소견서를 발부하는 방안을 제시하였으며, 이에 대한 전문가 자문을 구하였다.

현행 건강관리카드 발급기준에서 진폐증이 확인된 자만 건강관리카드 교부대상자로 선정하고 있으며 이는 과도하게 높은 진입장벽으로 작용하고 있다. 따라서, 진폐의증(0/1)이 확인되는 경우 건강관리카드 교부대상자로 확대하는 방안을 고려하였으며, 이에 대해 전문가 자문을 구하였다.

(1) CAREX 및 작업환경측정 데이터에서 확인한 결정형 유리규산
노출 산업 및 근로자 수에 대한 의견

가) 전문가 #1

결정형 유리규산 노출 관련 문헌 검토를 통해 고노출군을 구분하는 것을 추천한다. 국내 CAREX는 노출 인구만 있으므로, 노출량이 있는 핀란드 직무-노출매트릭스(Finnish National Job-Exposure Matrix, FINJEM)나 캐나다 CAREX 검토를 권고한다. 국내 작업환경측정 자료는 검출한계(Limit of Detection, LOD) 이하나 검출되지 않음(Not detected, ND)이 많아, 평균 노출량 해석에 주의를 요한다.

나) 전문가 #2

고노출 종사자는 기존 건강관리카드 발급기준처럼 작업 내용에 따라 관리했으면 한다. 기존 건강관리카드 발급 대상 업무는 모두 고노출자로 보아야 하며, 다만 옥내나 갯내가 아니더라도 고노출자가 있을 수 있다. 옥내에 대한 명확한 기준 설립이 필요하다. 결정형 유리규산으로 인해 폐암 인정이 인정된 직종을 분석하여, 일정 건수 이상 폐암이 발생한 경우를 고노출 종사자로 하는 것이 좋을 것 같다.

다) 전문가 #3

발급기준을 좀 더 구체화할 필요가 있을 것 같다. 현재 안대로 시행할 경우 발급대상자 수가 너무 많아 비용-효과의 문제가 있을 수 있고, 측정하지 않는 소규모 사업장에 (예, 비석 혹은 조각상 제작) 대한 누락의 위험이 있을 것 같다. 작업환경측정 결과 노출기준을 초과하거나 50%이상이 5년 이상인 경우를 검토하여 기준에 추가하는 방법도 고려할 수 있다.

라) 전문가 #4

현재 기준에선 옥외작업에 대한 내용이 빠지게 되며, 따라서 주택건설 및 토목건설업의 대부분이 제외된다. 건축업 종사자 중 하스리작업 (할석작업 등) 수행 후 진폐 발생자가 다수 확인된다.

마) 전문가 #5

작업환경측정결과 이용 자료에 보정 노출기준을 적용한 사례도 포함시키는 것이 좀 더 정확한 분석이 될 것 같다. 우리나라의 결정형 유리규산 분석은 “여과채취법 FTIR법”이 유일한 방법이므로, 정확한 결정형 유리규산 노출을 파악하기 위해 측정 및 분석방법도 매칭해 확인해 보는 것을 권한다.

결정형 유리규산을 함유한 원료를 직접 취급하는 업종도 있으나, 건설업처럼 업무로 인해 노출되는 근로자들도 포함하고 있어 특정 업무를 대상으로 하기보다는 노출 근로자를 대상으로 종사기간 뿐만 아니라 누적 노출량에 대한 기준을 제시하는 방안을 검토했으면 한다.

바) 전문가 #6

작업환경측정을 실시하지 않은 사업장, 실시하더라도 보고가 누락된 사업장, 8시간 기준 TWA를 보고하지 않은 사업장 등을 고려하여 보았을 때, 유의미한 결정형 유리규산 함유 분진에 노출되고 있는 근로자의 수는 약 3만명에서 10만명 정도로 추정된다는 의견에 동의한다.

현재 개선되고는 있으나, 근로자 숫자가 적은 사업장이나 비정규직 노동자일 경우 작업환경측정, 특수건강검진, 보건관리대행 등에 대한 내용을 전혀 모르는 경우가 많다.

건강관리카드 발급에서 나뉘어져 있는 산업분류에서 발전소나 신재생 에너지를 만드는 곳을 추가했으면 한다. 발전소나 신재생에너지 생산업체에서 석탄이나 쓰레기 수거차가 수거해온 쓰레기를 고열로 태워서 전기를 생산하는 곳이

있기 때문이다.

사) 전문가 #8

선별된 업종 이외에도 다음 업종에 대한 검토가 필요하다. 역학조사 사례를 고려할 때, 결정형 유리규산에 의한 폐암, 규폐증 발생에 있어 우선순위가 높은 업종은 다음과 같다.

건설업 (탐다운 공사와 할석/견출 등 특정 직업군만), 석제품가공업, 주물업, 석산(채석업), 레미콘/콘크리트/벽돌 관련업, 요업(성형 등 일부공정), 일부 세라믹 분말 제조/취급업 등

- (2) 결정형 유리규산 노출 업무에 10년 미만 근무하였더라도,
직업환경의학과 전문의가 작업환경측정 및 특수건강진단 이력
등을 확인 후 특별 소견서를 발부하는 것에 대한 의견

가) 전문가 #1

노출기준 10년에 대해선 학문적 근거, 전문가의 합의 등이 필요하다. 특별 소견서 발급에 대해선수첩발급대상을 공단에서 정하고 있으므로, 직업환경의학과 전문의의 판단에 의해 단축한다는 것이 의미가 있을지 의문이다.

현재 대부분 단순흥부방사선 사진만 찍을 수 있으므로, 외국 연구의 권고 사항에 따라 진폐, 호흡기 발암물질에 대한 장기간 노출, 흡연력이 있는 경우 저선량 흥부 CT를 촬영할 수 있게 하는 것이 필요하다.

나) 전문가 #2

10년 미만도 고농도 노출자라면 관리하는 것이 좋다고 생각한다. 예방목적이 라면 고노출 종사작업(주물, 터널공사자, 석공 등 파쇄)에 대해서는 5년을 기준으로 해도 무방하다고 생각한다.

다) 전문가 #3

작업환경측정이 1회성인 것을 고려하면 좋은 의견인 것 같다. 보건관리자나 보건관리대행 의사의 소견이 있는 경우도 추가하면 좋을 것 같다.

라) 전문가 #4

업무기간에 대해서는 관리 목표질환의 선정이 중요하다.

진폐의 경우 고농도 노출을 전제했을 때 1년 이내라도 충분히 발생할 수 있다. 폐암이 목표질환이라면 고형암의 doubling time을 고려하여 10년 정도이나 향후 업무관련성평가 등과도 연계되어서 논의가 필요하다.

진폐 없이 필수 직력 노출 10년이상이나 10년 미만이라도 리스트에 따라서, 직업환경의학과 전문의 인정자 정도로 방향을 잡아야 할 듯하다.

마) 전문가 #7

10년 이상 종사한 사람은 이미 사회적 합의에서 ‘폐암’, ‘COPD’ 등을 보상해 줄 수 있는 충분한 노출로 보고 있으므로, 예방 입장(건강장해의 발생할 우려)에서는 10년을 줄일 필요가 있을 것 같다.

직업환경의학과 전문의의 특별 소견서 발급 자체에 대해서는 타 물질에는 없는 중간 판단이 들어가므로, 해당 업무에 종사한 기간으로 하는 것이 적절한 것 같다.

바) 전문가 #8

행정적 관리적으로 10년 이상 작업자를 대상으로 함이 합리적이라 생각되나, 드물게 급성 고농도 노출이나, 10년 미만이라도 누적노출량이 높은 경우가 있기 때문에 상기 방안이 조금 더 옳은 방향이 아닌가 생각한다.

전문의의 세부자격요건은 아무래도 호흡기 질환에 대한 전문가, 진폐/규폐/직업분진노출/작업장 분진노출 등에 관한 전문교육을 이수한 전문의 등으로 한정하는 것이 상기 방안의 취지에 더욱 부합하다고 생각되나, 실 상황을 고려한 논의가 더 필요하다.

(3) 진폐의증(0/1)에 대해 건강관리카드 발급 대상을 확대하는
것에 대한 의견

가) 전문가 #1

진폐의증 인정자 확대 방안에 대해선 진폐 의증자의 기초 통계를 먼저 확인하는 것이 좋을 것 같다. 진폐의증은 진폐정밀기관에 따라 다른 결과가 나올 수 있고, 발생 빈도도 비교적 높은 편이다. 진폐 의증자에 대해 저선량 CT 폐암 검진 적용대상이 된다면, 예방효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

제도의 일관성 측면에서는 진폐의증을 카드 발급대상자에서 제외하는 것이 좋을 것으로 생각되지만, 이 부분은 연구진의 합의가 필요할 것으로 생각된다.

나) 전문가 #2

예방 목적이라면 진폐증자보다 의증자만 넣는 것이 타당하다고 생각한다. 진폐의증의 판정 기준이 중요한데, 단순흉부촬영에서 의증이라면 흉부 CT에서는 진폐증일 수 있다. 진폐 의증자에 대해선 흉부 CT로 판단해야 한다고 생각한다.

다) 전문가 #4

진폐의증은 의료 진료 체계에서는 없는 내용으로, 국제노동기구(International Labor Organization, ILO)에서 준용한 체계이다. 과거 X-ray로 진폐를 평가하던 수준에서 1형 미만의 profusion으로 평가하기 어려운 음영을 의증으로 판정하였는데, 현재 판정자간의 일치율이 매우 낮은 상태이다. 이와 같은 문제점을 고려해볼 때, 건강관리카드의 발급기준에 진폐의증이란 특정한 요인을 넣을 필요는 없다고 판단된다.

건강관리카드는 근로자 건강관리 외에도 진폐정밀진단 수진을 위한 용도 및 진폐급수 변경 또는 요양과정 신청 등 다양하게 이용될 수 있다. 기존 진폐환

자들을 위한 용도(급수 변경을 위한 1차 정밀진단 신청 목적)와 진폐 급수를 받지 못한 근로자들의 진폐 또는 폐암 등의 타 질환 발생을 확인하기 위한 용도 두 가지를 모두 고려해야 한다.

진폐 요양환자가 아닌 근로자들에게 진폐정밀진단을 개시하기 위한 목적으로 건강관리카드는 유용하다. 예방관리 측면 외에도 요양 측면에서 필요하므로, 기존 진폐 요양환자가 아닌 이상은 건강관리카드의 발급대상이 될 수 있다고 판단한다.

라) 전문가 #7

진폐의증 인정자 확대 논의는 기존 분진에 포함하는 것이 좋을 것 같다. 결정형 유리규산은 목표질환이 COPD나 폐암(추후 자가면역질환 등)으로 확대될 경우 진폐와는 무관하다. (특히 폐암은 전반적 폐 병변과 상관없이 발병함). 다만 결정형 유리규산에 노출되면 3-7년 사이에 진폐 의증 소견이 있다면, 넣는 방향이 있다. 따라서, 과거 분진 작업에 대한 기준이 3년이였으므로, 규폐가 있는 경우 3년 이상, 규폐 의증일 경우우 3-7년도 가능, 규폐가 없는 경우 7년 이상 정도가 적당하다고 판단된다.

(4) 전문가 자문의견 종합

작업환경측정 자료 및 CAREX 데이터로 확인한 결정형 유리규산 고노출 종사자의 범위에 대한 의견에선 결정형 유리규산에 고농도로 노출되나 기존 건강관리카드 발급 기준에서는 제외되는 업종에 대한 의견이 다수 있었다. 기존 건강관리카드는 분진 작업에 대해 건강장해가 발생할 우려가 있는 업무로 ‘가’목에서 ‘거’목까지 정하고 있으며, 이는 모두 갯내나 옥내에서의 작업만을 대상으로 하고 있다. 현재 옥외 작업 근로자 중 건물 건설업, 토목 건설업 등은 세부 업무에 따라 결정형 유리규산에 고농도로 노출될 수 있으나, 기존 건강관리카드의 발급기준에서는 제외되는 문제점이 있다.

건설업 외에 고려해야 할 산업/업종으로 석제품 가공업, 주물업, 석산(채석업), 레미콘/콘크리트/벽돌 관련업, 요업(성형 등 일부공정), 일부 세라믹 분말 제조/취급업에 대한 의견이 있었으며, 발전소나 신재생에너지 생산업체에서 석탄이나 쓰레기 수거차가 수거해온 쓰레기를 고열로 태워서 전기를 생산하는 업무를 수행하는 경우 고농도로 노출될 수 있다는 의견이 있었다. 또한, 노출되는 근로자 수를 기준으로 산업을 분류할 경우 근로자 수가 적은 소규모 사업장이 누락될 수 있다는 점에 대한 지적이 있었다. 기타 의견으로 고노출 종사자 범위에 대한 검토를 위해 문헌 고찰을 권고하는 의견이 있었고, 결정형 유리규산으로 인해 폐암 인정이 인정된 직종을 분석하여, 일정 건수 이상 폐암이 발생한 경우를 고노출 종사자로 하는 것이 좋을 것 같다는 의견이 있었다.

노출 기간에 대해선 해당 업무에 10년 이상 종사한 경우 건강관리카드를 발급하는 방안에 대해서는 대부분 이견이 없었다. 10년 미만 종사한 근로자에 대해 직업환경의학과 전문의가 작업환경측정결과와 특수건강진단 이력을 검토하

여 특별 소견서를 발부하는 방안에 대해서는 다양한 의견이 있었으나, 다수의 전문가가 10년 미만 종사하였더라도 급성 고농도 노출이나, 누적 노출량이 높은 경우 또는 목표 질환에 따라서 건강장해가 발생할 수 있다는 점에는 동의하였다. 다만, 전문의의 세부자격요건에 대해선 추후 논의가 필요할 것으로 보인다.

건강관리카드 발급 대상자를 진폐의증(0/1) 인정자로 확대하는 방안에 대한 의견에서는 진폐의증의 진단 기준 및 방법에 대한 의견이 있었다. 진폐의증(0/1)은 발생 빈도는 비교적 높은 편이나 의료 진료 체계에는 없는 내용으로, 판정 기준이 명확하지 않아 판정자간 일치율이 낮고, 진폐정밀기간에 따라 다른 결과가 나올 수 있다는 지적이 있었다. 다만, 판정 기준에 있어서는 기존의 흉부단순촬영 대신 흉부 CT를 이용하여야 한다는 점에는 다수의 전문가가 동의하였다. 예방을 위해서는 진폐의증을 발급대상에 포함하거나 진폐 의증시 해당 업무 종사 기간을 단축해야 한다는 의견이 있었으며, 반대로 제도의 일관성 측면 또는 진단 기준의 모호함 때문에 진폐의증은 발급 기준에서 제외해야 한다는 의견 또한 있었다.

위 의견들을 종합했을 때, 기존 분진작업과 관련한 건강관리카드 발급기준으로는 결정형 유리규산에 고농도로 노출되거나 발급대상에서 누락되는 인원이 있음이 명확하다. 결정형 유리규산은 폐암에 대한 IARC group 1 발암물질로, 석면과 같이 기존 분진작업과 별도의 항목으로 구분하여 관리하는 것이 필요하다. 작업환경측정결과와 CAREX 데이터로 확인한 노출 근로자 수가 많은 상위 산업에 종사하는 근로자에 대해서는 작업환경측정결과, 특수건강검진 등에서 해당 업무에 10년 이상 종사하였다는 것이 확인되면 건강관리카드 발급기준에 포함하여야 한다. 다만, 다수 전문가들의 의견에서 노출 기간이 10년 미만이라도 급성으로 고농도에 노출되거나, 누적노출량이 높은 경우, 작업환경측정이

나 특수건강검진을 제대로 실시하지 않은 소규모 사업장의 근로자들은 누락되는 문제점이 있으므로, 10년 미만 종사하였더라도 직업환경의학과 전문의가 과거 직력과 업무 내용을 검토하여 소견서를 발부하는 경우에 대해서는 발급을 고려할 수 있다. 진폐의증(0/1)에 대해서는 여러 전문가들의 지적처럼 판정 기준이 명확하지 않고, 진폐의증자에 대한 추계가 명확하게 되고 있지 않은 상황이므로, 발급기준에 포함하는 것은 적절하지 않을 것으로 판단된다. CAREX 데이터로 추산한 결정형 유리규산 노출 근로자 수는 약 63,000명이었으며, 작업환경측정자료로 추산한 결정형 유리규산 결정형 유리규산 관련 측정 기준치의 50%를 초과한 사업장에 근무하는 근로자 수는 약 130,000명이었다. 작업환경측정이나 특수건강검진을 실시하지 않은 소규모 사업장, 실시하더라도 보고가 누락된 사업장, 8시간 기준 TWA를 보고하지 않은 사업장 등을 고려하였을 때, 유의미한 결정형 유리규산 함유 분진에 노출되는 근로자 수는 과소평가되었을 것으로 추정된다.

2. 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무

1) 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무

CAREX 데이터를 기반으로 한 결정형 유리규산 노출 근로자 수 기준 상위 36개 산업(소분류)과 2019년 상반기 작업환경측정 보고에서 규산(석영) 노출 기준의 50%를 초과했던 8개 산업(소분류)은 상기 표와 같다. 제조업에서 산업소분류 별 유리규산 사용 용도는 유리규산 사용 및 유통 실태조사에서 확인하였으며 (고동희 등, 2008), 건설업, 광업 및 기타 산업에 대해서는 작업환경측정 보고에서 사업체별 공정명과 전문가 자문의견을 참고하였다.

CAREX 및 작업환경측정 자료로 노출이 확인된 산업(소분류)별 노출세부업무에 대해서는 2007년 산업안전보건연구원에서 시행한 ‘화학물질 유통, 사용 실태조사 결과보고서: 결정형 유리규산’을 참고하였다. ‘화학물질 유통, 사용 실태조사 결과보고서’는 직업병 발생 화학물질 취급 사업장을 대상으로 화학물질의 유통, 사용 및 근로자 노출실태를 조사하였으며, 고위험 공정 및 근로자 건강실태에 대한 정보를 포함하고 있다. 결정형 유리규산에 대해서 2004년 유리규산 작업환경측정 사업장 896개소 중 1차 목표 48개소, 대체사업장 42개소, 신규발굴 사업장 61개소 등 총 151개소의 사업장을 직접 방문하여 조사하였으며, 사업장을 세분류업종 별로 분류하여 결정형 유리규산을 취급하는 공정명과 공정별 용도, 취급 및 노출실태, 노출 근로자수 등을 조사하였다. 상기 자료로 추정한 산업분류별 결정형 노출 사업장 공정별 결정형 유리규산 사용 업무는 다음과 같다 (표 III-7).

**표 III-7. CAREX 및 작업환경측정 자료로 추산한 산업분류별 결정형 유리규산 노출 근로자 수 및 사업장
공정별 유리규산 사용 업무**

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정		사업장 공정별 유리규산 사용용도
토목 건설업 (412)	7,007	100%	112	할식, 미장, 건축, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 뿔칠, 철거 업무 레미콘, 콘크리트, 벽돌 관련업
		50%	843	
실내건축 및 건축사무리 공사업 (424)	6,900	50%	173	할식, 미장, 건축, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 뿔칠, 철거 업무
건물설비 설치 공사업 (422)	5,749			할식, 미장, 건축, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 뿔칠, 철거 업무
금속 주조업 (243)	4,824	100%	222	선철주물 주조업에서 용융, 용해, 조형, 성형, 탈사, 시상 코팅 공정 강주물 주조업에서 용해, 중자, 조형, 탈형, 주조, 탈사, 쇼트, 용접 공정 동주물 주조업에서 투입, 코팅 공정 비철금속 주조업에서 원료 투입 후 계량, 배합, 중자, 조형, 탈형 공정
		50%	259	

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리기산 사용용도
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	4,342	50%	콘크리트 타일, 기와, 벽돌 및 블록 제조업에서 원료 혼합 후 소성, 성형 공정
		162	콘크리트 판 및 조립주조재 제조업에서 원료 투입 후 분쇄, 혼합하여 성형 및 주조하는 공정 시멘트 제조업에서 원료 투입 후 혼합, 성형 공정
			가정용 및 장식용 도자기 제조업에서 도자기 성형, 정형 및 시유 공정 산업용 도자기 제조업에서 원료혼합 및 압축성형, 건조 공정 구조용 정형내화제품 제조업에서 원료 투입, 성형 후 분쇄, 연마하는 공정 기타 내화요업제품 제조업에서 원료배합 후 성형, 소성, 건조 공정 점토벽돌, 블록 및 유사 비내화 요업제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형 후 분쇄, 소성, 건조 공정
도자기 및 기타 요업제품 제조업 (232)	4,332	100%	타일 및 유사 비내화 요업제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형 후 분쇄, 소성, 건조 공정 요업(성형 등 일부공정)
		529	일부 세라믹 분말 제조, 취급업
기본조성 및 시설물 축조 관련 전문 공사업 (421)	4,056	50%	할식, 미장, 건축, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 팽질, 철거 업무 레미콘, 콘크리트, 벽돌 관련업

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리규산 사용용도
유리 및 유리제품 제조업 (231)	3,279	50%	판유리 제조업에서 원료를 용해, 절단, 성형, 용착, 압착, 도색, 건조, 검사하는 공정 기타 1차 유리 제조업에서 원료 투입 후 배합, 용해, 성형, 기공, 포장하는 공정 유리섬유 및 광학용 유리 제조업에서 원료를 배합하여 용해, 용융 등 열처리 후 절단하는 공정
		156	판유리가공품 제조업에서 가공품을 절단, 조립하는 공정 기타 산업용 유리제품 제조업에서 유리제품을 절단, 용접, 가공 후 연마, 세척하는 공정 가정용 유리제품 제조업에서 원료 배합 후 용해, 성형, 가공하는 공정 포장용 유리용기 제조업에서 원료 투입 후 용해, 성형하는 공정 그 외 기타 유리제품 제조업에서 원료 투입 후 용해, 성형, 가공하는 공정
간설장비 운영업 (425)	2,956		*간설장비 운영업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	2,479	100%	석재 성형 가공품 제조업에서 가공품 재단 및 성형, 강화 공정 아스콘 제조업에서 원료 투입하여 건조 공정 아스팔트 성형제품 제조업에서 원재료 코팅 후 냉각, 절단 공정 연마제 제조업에서 원료 투입 후 분쇄, 배합하여 절단 후 소성, 건조 공정 석면, 암면, 및 유사제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형하고 증기로 양생하는 공정 비금속광물 분쇄물 생산업에서 원료 투입 후 분쇄, 계량, 포장 공정 기타 비금속광물 제조업에서 원료 배합, 성형 후 증기 양생, 탈형 공정
		50%	

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리규산 사용용도
자동차 부품 제조업 (303)	2,168	100% 103 50% 158 5	*자동차 부품 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
건물 건설업 (411)	2,115	100% 249 50% 361 1	활석, 미장, 건축, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 뿔칠, 철거 업무 레미콘, 콘크리트, 벽돌 관련업
1차 철강 제조업 (241)	1,725	100% 13	합금철 제조업에서 재료 용해 후 조형, 탈형 거쳐 절단 후 가공하는 공정 기타 철강산업에서 재료 용해 후 조형, 탈사 공정
토사석 광업 (71)	1,429	100% 75	광업에서 2차 분쇄포장, 광물분쇄, 선광, 천공, 절삭 업무 석산 (채석업)
기타 금속기공제품 제조업 (259)	1,124	50% 30	금속입형제품 제조업에서 조형을 주조, 가공하는 공정 도장 및 기타 피막처리업에서 도장 및 연마공정 기타 금속처리업에서 금속 분해 및 세척 후 연마공정 철선조립제품 제조업에서 원료 배합 후 성형, 탈지 공정 수동식 식품 가공기기 및 금속 주방용기 제조업에서 성형 후 샌딩, 도장 공정 금속위생용품 제조업에서 중해, 중자, 절단, 가공 공정 기타 조립금속제품 제조업에서 사출, 용해, 조형, 코팅, 소입, 신선, 탈사 공정

산업분류 (KSC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리규산 사용용도
특수 목적용 기계 제조업 (292)	1,044	100% 343 50% 499	*특수 목적용 기계 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
일반 목적용 기계 제조업 (291)	733	50% 35	*일반 목적용 기계 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
건축자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466)	651	50% 9	*건축자재, 철물 및 난방장치 도매업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	623	50% 5	구조용 금속제품 제조업에서 원료 투입 후 배합 및 절단, 샌딩 공정
선박 및 보트 건조업 (311)	594		*선박 및 보트 건조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
1차 비철금속 제조업 (242)	470	50% 950	제1차 비철금속산업에서 조형, 탈사 가공 후 절단, 사상, 열처리, 검사 공정

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리규산 사용용도
폐기물 수집 운반업 (381)	441		*폐기물 수집 운반업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
금속 및 비금속 원료 재생업 (383)	428		*금속 및 비금속 원료 재생업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
폐기물 처리업 (382)	386	50% 44	수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업에서 생산, 선별, 파쇄 업무
자동차용 엔진 및 자동차 제조업 (301)	386		자동차용 엔진 제조업에서 용해, 조형 및 후처리 공정
기타 화학제품 제조업 (204)	358	50% 36	요업용 유약 및 관련제품 제조업에서 원료 투입하여 계량, 배합, 용해 후 검사, 포장하는 공정 기타 화학제품 제조업에서 원료 투입하여 계량, 배합 후 검사, 포장하는 공정
기타 비금속광물 광업 (72)	299	100% 34 50% 16	광업에서 2차 분쇄포장, 광물분쇄, 선광, 천공, 절삭 업무
전기 및 통신 공사업 (423)	298		*전기 및 통신 공사업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

산업분류 (KSC-9)	CAREX	작업환경측정		사업장 공정별 유리규산 사용용도
그 외 기타 제품 제조업 (339)	288	100%	14	자석 및 자석제품 제조업에서 원료 투입, 혼합, 분쇄 공정 귀금속 장신구 및 관련제품 제조업에서 가공, 성형, 열처리, 건조, 세척, 연마 공정
비료 및 질소화합물 제조업 (202)	256	50%	20	*비료 및 질소화합물 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	215			*자동차 및 모터사이클 수리업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있 는 업무.
고무제품 제조업 (221)	206			산업용 비경화 고무제품 제조업에서 원료 투입하여 계량, 배합 후 건조, 검사, 포장하는 공정
기계 및 장비 수리업 (951)	134			*기계 및 장비 수리업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업 (273)	129			*안경, 사진장비 및 기타 광학기기 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정	사업장 공정별 유리규산 사용용도
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (203)	127		*합성고무 및 플라스틱 물질 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
플라스틱제품 제조업 (222)	124	50% 224	건축용 플라스틱 조립제품 제조업에서 원료 투입 후 압착하고 절단하는 공정
플라스틱제품 제조업 (222)	124	50% 224	건축용 플라스틱 조립제품 제조업에서 원료 투입 후 압착하고 절단하는 공정
석탄 광업 (51)	(0)	100% 1272 50% 332	*석탄 광업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
전기업 (351)	(18)	50% 254	전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업에서 운탄 업무 발전소나 신재생에너지 생산업체에서 석탄이나 쓰레기 수거차가 수거해온 쓰레기를 고열로 태워서 전기를 생산하는 공정
항공기, 우주선 및 부품 제조업 (313)	(51)	100% 120	*항공기, 우주선 및 부품 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.
철 광업 (61)	(0)	100% 96	광물분쇄, 선광, 천공, 절삭 업무

산업분류 (K SIC-9)	CAREX	작업환경측정		사업장 공정별 유리규산 사용용도	
기초 화학물질 제조업 (201)	(9)	50%	56	*기초 화학물질 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업 무.	
코크스 및 연탄 제조업 (191)	(46)	50%	23	*코크스 및 연탄 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업 무.	
보관 및 창고업 (521)	(0)	50%	18	*보관 및 창고업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.	
반도체 제조업 (261)	(94)	50%	5	*반도체 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.	
스포츠 서비스업 (911)	(0)			경마장에서 말(마필)을 관리하는 업무.	
총 합	62,675	100%	2776		
		50%	10312		

본 연구에서는 결정형 유리규산에 대한 노출 기준 100%를 초과한 산업을 상대적 고농도 노출 산업으로 간주하였으며, 추가 산업에 대해서는 앞선 전문가 자문의견을 참고하였다. 위 표의 산업 소분류 중 2019년도 상반기 작업환경 측정 결과에서 규산(석영) 노출 기준(TWA 0.05mg/m³) 을 100% 초과한 산업은 15개의 산업으로 각 산업 소분류와 노출 근로자 수(CAREX 데이터 기준)는 다음과 같다.

표 III-8. TWA 상한치 0.05mg/m³ 대상 유해인자 100% 초과한 사업장의 산업분류 및 근로자 수

산업분류 (KSIC-9)	노출 근로자 수
토목 건설업 (412)	7,007
금속 주조업 (243)	4,824
도자기 및 기타 요업제품 제조업 (232)	4,332
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	2,479
자동차 부품 제조업 (303)	2,168
건물 건설업 (411)	2,115
1차 철강 제조업 (241)	1,725
토사석 광업 (71)	1,429
특수 목적용 기계 제조업 (292)	1,044
기타 비금속광물 광업 (72)	299
그 외 기타 제품 제조업 (339)	288
항공기, 우주선 및 부품 제조업 (313)	51
전기업 (351)	18
석탄광업 (51)	0
철광업 (61)	0
합 계	27,761

결정형 유리규산 노출에 의한 건강영향에서는 누적 노출량이 중요하다. Steenland 등(2001)이 10개의 코호트에 속한 65,980명을 추적한 연구에서 결정형 유리규산의 누적노출량과 폐암 사망률은 밀접한 연관성이 있었으며, 평생 누적노출량이 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 를 초과하는 경우 폐암으로 인한 사망의 위험이 현저하게 증가했다. Liu 등 (2013)이 34,018명의 중국 근로자 코호트를 대상으로 한 연구에서는 그보다 낮은 누적노출량인 $1.12\text{mg}/\text{m}^3$ 이상에서도 폐암으로 인한 사망의 위험도가 약 1.5배 증가하는 것으로 보고하였으며, Kachuri 등(2014)의 캐나다 남성을 대상으로 한 연구에서는 저농도의 노출에서도 30년 이상 노출될 경우 폐암 발생의 위험이 증가하는 것으로 나타났다. Zoghbi 등 (2017)이 폐암 환자만을 대상으로 한 case-only study에서 결정형 유리규산 노출과 관련한 연구대상자의 직종을 분석하였을 때, Jig tender의 경우 평균 재직년수가 6년으로 이는 단기간의 고농도로 노출되는 경우 또한 폐암 발생과 연관성이 있음을 의미한다. 과거 문헌들을 고찰했을 때, 결정형 유리규산으로 인한 건강영향은 누적노출량과 연관이 있으므로, 고농도로 노출될 가능성이 있는 근로자에 대해서는 기준이 되는 근로기간을 단축하는 것을 고려하여야 한다. 해당 유해인자로 인한 건강영향의 예방이라는 건강관리카드의 목적을 고려했을 때, 노출 기준 100%를 초과한 고농도 노출 산업에 대해서는 5년의 근무기간, 그 외의 산업에 대해서는 10년의 근무기간을 기준으로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

2) 전문가 자문의견

(1) 본 연구에서 확인한 산업 소분류별 결정형 유리규산 노출 세부 업무에 대한 의견

가) 전문가 #2

제조업이나 건설업 이외의 업종 종사자에 대해서도 언급했으면 한다. 폐암이 2건 이상 발생한 직무 등을 고려해 보면 될 듯 한데 경마장 종사자가 그 예이다. 또한, 제조업 중 과거 도료제조업의 체질안료(expander)로 실리카가 포함되는 경우가 상당히 많았다고 하고 직업병으로도 인정한 사례가 있었다. 도장공의 폐암이 석면과 실리카가 지목되고 있으며, 결정형유리규산에 대해서는 산업위생 전문가들도 견해가 다르기 때문에, 도료제조업, 스프레이 도장자 등에 대한 것을 검토해 보기 바란다.

나) 전문가 #3

발급대상자 수 추정에 인용된 국가 통계 포털의 근속년수는 동일 회사에 근속년수일 가능성이 있으므로 확인이 필요하다.

동일 업종으로 할 경우 대상자 수가 증가할 가능성이 있다는 점을 추가적으로 기술해야 할 것 같다.

다) 전문가 #5

결정형 유리규산 노출군으로 추가 검토 했으면 하는 직종이 있다. 경마장에 말(마필)관리사 분들이 있는데 최근 10년간 결정형 유리규산에 의한 폐암발생이 6건 있었으며, 근로자 수는 850명 정도이다. 현재 작업환경측정도 진행하고 있으며, 말을 훈련시키는 바닥재가 모래로 이에 매일 노출되고 있습니다.

건설업 관련 세부 업무 중 '방수 업무'는 유기화합물 노출이 적절할 것 같아

세부 업무에서는 제외하는게 좋을 거 같다. 반도체 제조업에서 “유리절단 공정”이 결정형 유리규산을 평가하는 경우가 있었는데, 모두 자동화 공정으로 불검출되는 경우가 대부분이었다. 노출군에서 제외하여도 무방할 것 같다.

라) 전문가 #7

호흡성 분진에 대해 우리나라 기준과 외국 ACGIH 기준을 비교하였을 때, $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ vs $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 로 두 배 가량 낮다.

최근 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 정도 노출이 있었던 경마장 말 관리사의 경우도 폐암이 발생한 적이 있다. 따라서 노출량 100%를 유동성 있게 조절 가능한지 검토하길 바란다.

마) 전문가 #9

산업분류를 기반으로 한 규모 추정 및 연속 근속연수를 추정하는 경우 제한점이 존재하기 때문에, 자료의 한계점으로 인한 추정의 어려움을 명확히 하여 최소추계와 최대추계 모두 보수적으로 제시하는 것이 필요하다.

명확히 건강에 위협이 되는 근로자들을 대상으로 하기 위하여, 큰 틀에서의 ‘잠재 대상자 군’은 위의 산업분류와 근속연수로 제안하되, 실제 대상자 선정은 별도의 기준을 제시하여 현장에서 활용할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 구체적인 기준에 대하여 주요 핵심 사항을 리스트업하되 현장에서 해석할 여지를 주는 것이 필요할 것 같다.

(2) 전문가 자문의견 종합

상기 표의 노출 산업 및 세부업무에 대해서는 추가로 검토가 필요한 산업 및 직종에 대한 자문의견이 있었다. 경마장 마필관리사의 경우 말을 훈련시키는 바닥재가 모래로 이에 노출될 수 있으며, 결정형 유리규산에 의한 폐암으로 다수 인정된 사례가 있었다. 또한 도료제조업 중 체질안료의 경우 실리카가 포함되는 경우가 많으며, 직업병으로 인정된 사례가 있어 추가로 검토가 필요하다는 의견이 있었다.

반대로 건설업 관련 업무 중 방수 업무와 반도체 제조업의 경우 실제로 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 낮아 노출군에서는 제외하여도 무방하다는 의견이 있었다.

건강관리카드 발급 대상자수 추산 과정에 있어서는 국가통계포털 자료를 이용하는 경우 동일 회사의 근속년수를 기준으로 하기 때문에 동종업계에 종사한 근속년수를 기준으로 하는 경우 발급 대상자 수가 더 늘어날 수 있다는 의견이 있었다. 또한 실제 건강관리카드 발급에 있어서는 상기 산업에 종사하는 개별 근로자를 대상으로 구체적인 기준을 정하여 현장에서 해석할 여지를 주는 것이 필요하다는 의견이 있었다.

3. 건강관리카드 발급대상 근로자 수 추정 결과

결정형 유리규산에 노출되는 근로자 수는 보고하는 문헌과 추계방법에 따라 차이가 있다. 한국 CAREX 데이터에서는 결정형 유리규산 노출 근로자 수를 62,675명으로 추산하고 있으며, 작업환경측정 보고건으로 노출 기준 50%를 초과하는 근로자 수를 추정하였을 때에는 규산(석영)만을 대상으로 했을 때, 13,088명, 총 분진 노출자를 포함했을 때 124,290명으로 확인된다.

CAREX 데이터를 근거로 했을 때, 상기 표에서 고농도 노출 산업 14개에 종사하는 근로자 수는 총 27,761명이다. 국가통계포털에서 확인한 근로자 중 근속년수 5년 이상인 근로자의 비율은 제조업에서 약 49%, 건설업에서 약 39%, 광업에서 약 50%이다. 따라서, 고농도 노출 산업에 5년 이상 근무한 근로자를 대상으로 건강관리카드를 발급했을 때, 발급대상 인원은 최대 약 12,700명으로 추산할 수 있다 (세부 업무 내용을 판단하지 않고 근로자 총 인원으로 추산한 발급대상 최대치임). 고농도 노출 산업을 제외한 산업에 종사하는 총 근로자 수는 34,914명이다. 국가통계포털에서 확인한 근속년수 10년 이상 근로자 비율은 제조업에서 약 27%, 건설업에서 약 19%, 광업에서 약 30%이다. 고농도 노출 산업을 제외한 결정형 유리규산에 노출되는 산업에 10년 이상 종사한 근로자를 대상으로 건강관리카드를 발급하는 경우 발급대상 인원은 최대 약 7,800명으로 추산되어, 상기 기준으로 하였을 경우 건강관리카드 발급 대상자 최대치는 약 2만 여명으로 추산할 수 있다.

건강관리카드 발급기준에서 노출산업 및 종사기간을 CAREX 및 작업환경측정 자료만을 이용하여 제한할 경우, 고농도 급성 노출 및 소규모 사업장의 근로자들이 누락될 가능성이 있다. 이에 대한 지적은 앞선 전문가 자문의견에서

도 확인할 수 있었으며, 이에 대한 보완책으로 특별 소견서 발부를 고려할 수 있다. 앞서 확인된 산업이나 업무 이외에 종사하였거나, 종사한 기간이 기준 미만이라도 노출이 의심될 경우 직업환경의학 전문의 등 자격을 갖춘 전문가가 근로자의 과거직력, 특수건강진단 이력, 작업환경측정 결과 등을 종합하여 특별 소견서를 발부하는 경우에 한해 건강관리카드 발급할 수 있다. 이러한 방안은 교부 대상이 되는 산업 및 업무를 열거하였을 때 소규모 사업장 근로자들이 누락되는 문제점을 보완할 수 있으며, 이를 고려하면 발급 대상자는 앞선 추계치 보다 늘어날 것으로 보인다.

4. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 결과

1) 주요 결과

결정형 유리규산 노출자와 일반인 남성 10,000명의 폐 관련 질환 건강상태를 50세부터 30년간 추적한다면, 결정형 유리규산 군에서는 폐암 관련 사망이 820명, 일반인에서는 617명 발생하여 결정형 유리규산 군에서 폐암 관련 사망이 203명 더 발생하는 것으로 계산되었다 (표 6, 그림 2). 폐암의 신규 발생은 결정형 유리규산 군에서 1,211명, 일반인 군에서 1,001명으로 결정형 유리규산 군에서 210명이 더 발생하였다. 1인 기준 50세 이후 30년 동안의 기대 수명은 결정형 유리규산 군에서 25.39년, 일반인 군에서 25.71년으로 결정형 유리규산 군에서 폐 관련 질환의 발생과 사망으로 인해 0.32년(약 4개월)의 기대 수명이 축소되는 것으로 분석되었다.

**표 III-9. 결정형 유리규산 노출자와 일반인 남성과의 폐 관련 질환
건강 상태 분포 및 질병 비용 추정**

10,000명 기준 분석	결정형 유리규산 군	일반인 남성군	점증적 차이 (결정형 유리규산 군 - 일반인 남성 군)
총 사망자 수 (명)	4,372	4,232	140
폐암 관련 사망자 수 (명)	820	617	203
폐암 발생자 수 (명)	1,211	1,001	210
30년 후 건강 상태 분포 (명)			
COPD	5,109	4,627	482
규폐증	226	0	226
전체 폐암	75	71	4
Stage A	18	17	1
Stage B	21	20	1
Stage C	36	34	2
1인 기준 50세 이후 기대 수명 (년)	25.39	25.71	-0.32
1인 기준 폐 관련 질환의 직접 의료비 추정 (원) (할인율 미적용)			
전체 비용	12,607,413	9,335,182	3,272,230
COPD	8,573,537	6,501,683	2,071,854
규폐증	275,355	-	275,355
전체 폐암	3,758,520	2,833,500	925,021
Stage A	597,164	493,714	103,449
Stage B	1,359,440	917,114	442,326
Stage C	1,801,917	1,422,671	379,246

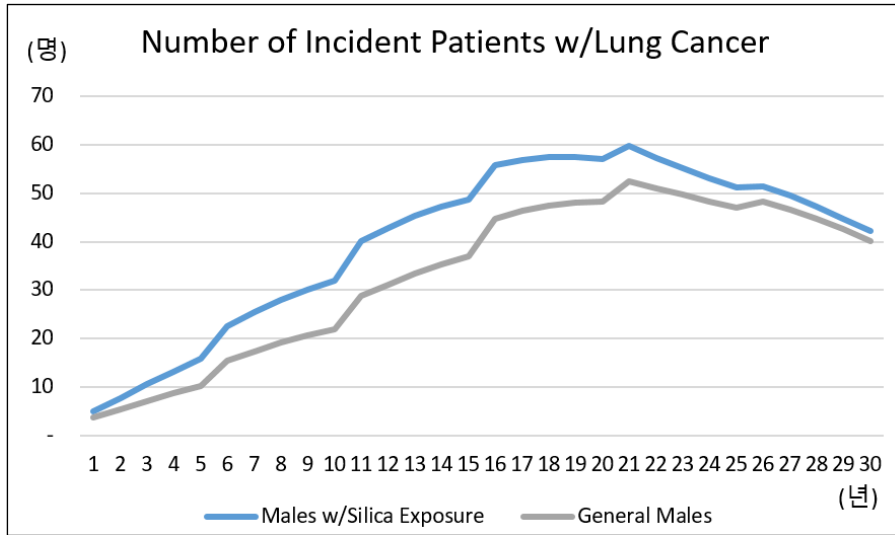


그림 III-1. 폐암 연도별 신규 발생자 수 (10,000명 기준)

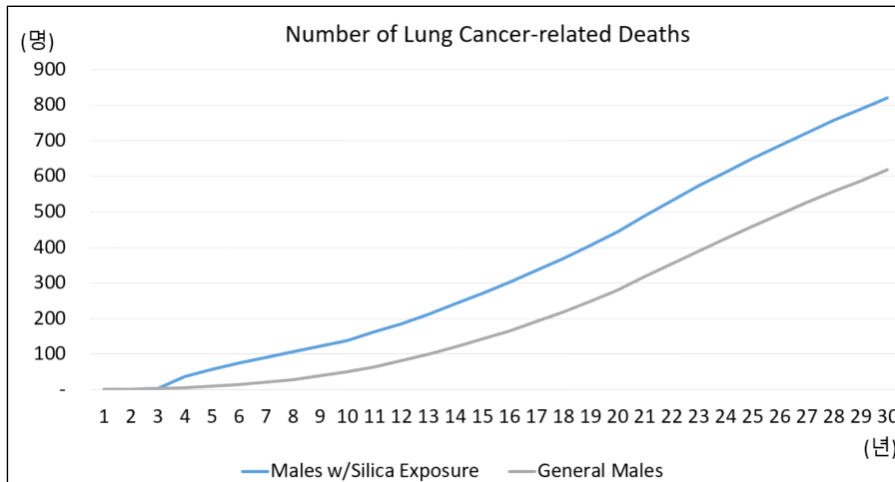


그림 III-2. 폐암 관련 누적 사망자 수 (10,000명 기준)

30년간 결정형 유리규산 군과 일반인 군에서 발생한 폐 관련 질환 의료비를 1인당 비용으로 비교하면, 개인의 위험 부담을 측정할 수 있다. 결정형 유리규산에 노출되었다면, 일반인보다 폐 관련 질환에 대한 직접적인 의료비로 약 330만원 정도를 더 부담해야 하는 것으로 분석되었다. 결정형 유리규산 군은 일반인 군보다 모든 폐 관련 질환(COPD, 규폐증, 폐암)에서 의료 비용 지출이 높을 것으로 예상되었다.

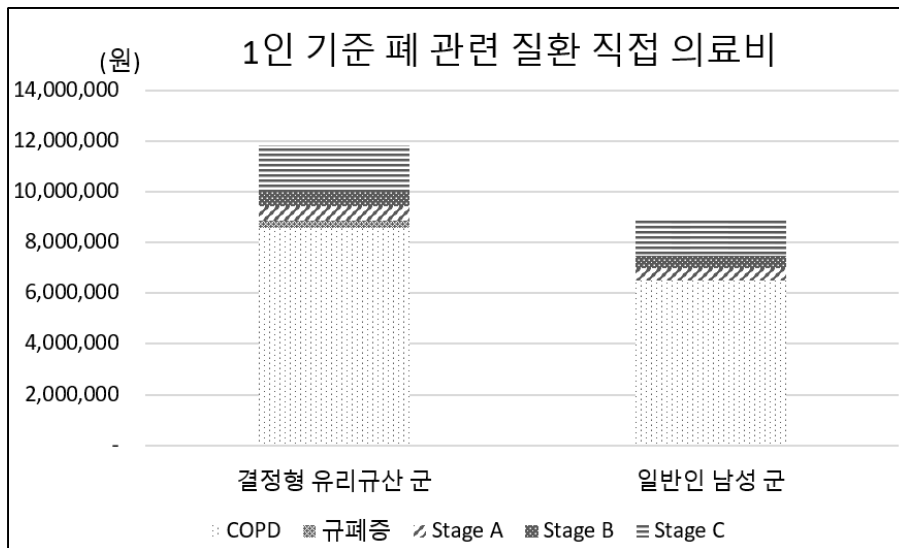


그림 III-3. 1인 기준 폐 관련 질환 직접 의료비 구성 비교

2) 할인율 적용에 따른 주요 결과

시간에 대한 선호를 반영하기 위해 질병 비용에 할인율 5%를 적용한 결과는 다음과 같다. 할인율 적용 시, 두 군에서 1인 기준 직접 의료비 차이는 약 164만원으로 분석되었다.

표 III-10. 5% 할인율 적용 시의 질병 비용 추정 결과

1인 기준 폐 관련 질환의 직접 의료비 추정 (원) (할인율 적용)	결정형 유리규산 군	일반인 남성 군	점증적 차이
전체 비용	5,467,778	3,826,403	1,643,376
COPD	3,661,407	2,646,191	1,015,216
규폐증	126,459	0	126,459
전체 폐암	1,679,912	1,180,212	499,701
Stage A	261,959	207,779	54,181
Stage B	613,617	382,523	231,094
Stage C	804,336	589,910	214,426

3) 민감도 분석 결과

질병이 없는 상태에서 COPD 및 폐암 발생에 대한 변수를 대상으로 수행한 민감도 분석의 결과, 결정형 유리규산 군과 일반인 군에서 폐암 관련 누적 사망자 수는 10000명 기준 169명에서 236명으로 기본 분석 값인 203명의 약 -17%에서 +16%로 까지로 분석되었다. 민감도 분석에 따른 폐암 발생자 수의 차이는 163명에서 300명으로 기본 분석 값인 210명의 약 -20%에서 +43%로 추계 되었다.

표 III-11. 민감도 분석 결과

변수	결정형 유리규산 군	일반인 남성 군	점증적 차이
폐암 관련 사망자 수 (명)			
From Disease Free to COPD - 하한값	786	617	169
From Disease Free to COPD - 상한값	879	617	262
From Disease Free to 폐암 - 하한값	793	617	176
From Disease Free to 폐암 - 상한값	853	617	236
폐암 발생자 수 (명)			
From Disease Free to COPD - 하한값	1,163	1,001	163
From Disease Free to COPD - 상한값	1,301	1,001	300
From Disease Free to 폐암 - 하한값	1,167	1,001	167
From Disease Free to 폐암 - 상한값	1,263	1,001	262

4) 주요 결과에 대한 고찰

본 연구는 결정형 유리규산 노출자들의 폐 관련 질환 직접 의료 비용을 추계하기 위해 Markov 모델링 기법을 도입함으로써 일반인 군과의 차이를 객관적으로 분석했다는 것에 의의가 있다. 결정형 유리규산에 노출되면 비 노출자에 비해 폐 관련 직접 의료비의 부담이 1인당 약 330만원이 증가되고, 기대 수명도 4개월 축소되는 것으로 분석되었으며, 민감도 분석 결과에 의해서도 두 군간의 차이가 확정되었다.

결정형 유리규산 노출자 10,000명을 기준으로 분석 시 일반인에 비해 약 164억(547억-383억)의 직접 의료비가 추가적으로 소요된다. 이는 질병에 의한 시간 비용이나 생산성 손실 비용이 포함되지 않은 보험자 관점의 직접 의료 비용만을 추계한 것으로 분석의 관점을 보건의료체계 관점이나 사회적 관점으로 확대한다면 두 군의 점증적 차이는 더욱 확대될 것으로 예측된다. 또한, 본 연구에서 추계한 고농도의 결정형 유리규산 노출자의 규모인 27,761명을 기준으로 분석한다면, 약 456억의 폐 관련 직접 의료비가 결정형 유리규산 군에서 추가적으로 발생할 것으로 예측된다.

건강관리카드의 1회 발급 비용은 건당 5,000원이고, 건강관리카드 발급자에 대한 추가적인 검진 비용은 연간 43,300원(진찰료 15,920원, 행정관리비 1,800원, 폐활량검사 18,130원, x-ray 7,450원)이다 (표 9). 결정형 유리규산 노출자 1인에 대해 건강관리카드 관련 비용을 20년간 추계한다면, 약 87만원, 30년간 약 130만원, 50년간 약 217만원으로 분석할 수 있다. 따라서, 향후 결정형 유리규산 노출자 중에서 질병발생에 의한 시간 비용이나 생산성 손실 비용을 고려한 비용 산출과 건강관리 카드 발급에 대한 임상적 우월성이 입증된다면, 건강관리카드의 비용-효과 분석을 통해 건강관리 카드 발급에 대한 객관적인 근거

를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

표 III-12. 건강관리카드 관련 비용 추계

건강관리카드 발급 관련 항목	단가 (원)
발급 비용	5,000
추가 검진 비용	43,300
진찰료	15,920
행정관리비	1,800
폐활량검사	18,130
X-ray	7,450

5) 연구의 한계점

본 연구에서는 결정형 유리규산 노출자의 건강 상태에 대한 직접 분석 값이 아닌 문헌 값을 사용하였다. 결정형 유리규산 노출자의 건강보험 청구자료 접근에 대한 제한성이 있어서 국내의 현실을 반영할 수 있는 최신 문헌 값과 전문가 자문을 통해 분석의 변수 값을 확정하였다. 추후 결정형 유리규산 노출자 및 건강카드 발급 대상자에 대한 추적 관리 및 건강보험 청구 자료와의 연계 분석이 가능하다면, 실현 가능성이 높은 정책을 제안하고 정책의 예측 가능성을 높이면서 학문적으로도 의미 있는 성과 분석을 할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 결정형 유리규산 노출자 들의 폐 관련 질환에 대한 직접 의료비를 추계한 연구로 폐 이외의 질환 및 시간 비용 등의 간접비용이 포함되지 않았다. 다만, 보수적인 관점에서 추계한 결과에서도 결정형 유리규산 노출자와 비 노출자의 직접 의료비 차이가 상당하다는 것은 노출자들의 건강관리의 중요성에 대한 근거가 될 수 있음을 시사한다.

IV. 고찰

1. 결정형 유리규산 노출 산업 및 근로자 수 추계

본 연구에서는 결정형 유리규산에 노출되는 근로자의 수를 추산하기 위해 한국형 CAREX (CARcinogen Exposure) database 및 산업안전보건연구원으로부터 작업환경측정자료 원시자료를 제공받아 분석하였다. 작업환경측정자료 데이터베이스 중, 유해인자 명 ‘규산’, ‘규산염’, 및 ‘광물성 분진’과 관련한 유해인자에 대한 추출을 요청하여 연구진은 2009년부터 2019년까지 10년간의 결정형 유리규산과 관련된 작업환경측정 원시자료를 제공받을 수 있었다.

그 중 결정형 유리규산 그 자체에 대한 노출이라고 할 수 있는 결정체 석영, 결정체 크리스토파라이트, 결정체 트리디마이트에 대해서 분석을 진행 하였고 TWA를 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 로 있는 유리규산 측정 자료를 분석 하였다.

86,197건의 2019년 상반기 작업환경측정 보고건 중, TWA를 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 로 보고한 43,763건에 대한 검토 결과, 사업장별 중복을 모두 제거하고 난 후 결정형 유리규산에 대한 기준치인 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 로 보고한 9,526건에 대한 검토 결과, 사업장별 중복을 모두 제거하고 난 후 24개의 사업장에서는 기준치의 100%를 초과하였고, 72개의 사업장에서는 기준치의 50%를 초과하였음을 확인 하였고 개별 사업장의 결과를 한국 표준산업분류 (KSIC-10)의 소분류를 기준으로 통합하였다. 각각 10, 1, $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 의 TWA 기준에 대하여 91,357, 19,845, 13,088명, 총합 124,290명의 근로자가 작업환경측정에서 결정형 유리규산 및 그와 관련한 분진 노출 기준치의 50%를 초과하는 사업장에서 근무하는 것으로 나타났다. 분진노출 사업장에 근무하는 근로자의 총합 124,290명 중 50% 노출군은

62,145명이고, 20%로 산정할 경우 노출군은 24,858명이다. 그러나 작업환경측정을 실시하지 않은 사업장, 실시하더라도 보고가 누락된 사업장, 8시간 기준 TWA를 보고하지 않은 사업장 등을 고려하여 보았을 때, 유의미한 결정형 유리규산 함유 분진에 노출되고 있는 근로자의 수는 적게는 3만명에서 많게는 10만명 정도로 추정된다.

CAREX 데이터를 근거로 했을 때에도 상기 분석결과 상 고농도 노출 산업 14개에 종사하는 근로자 수는 총 27,761명으로 작업환경 측정 자료와 유사한 숫자를 보였다.

상기 대상자로 노출 근속년수를 고려하여 보면 국가통계포털에서 확인한 근로자 중 근속년수 5년 이상인 근로자의 비율은 제조업에서 약 49%, 건설업에서 약 39%, 광업에서 약 50%이다. 따라서, 고농도 노출 산업에 5년 이상 근무한 근로자를 대상으로 건강관리카드를 발급했을 때, 발급대상 인원은 최대 약 12,700명으로 추산할 수 있다 (세부 업무 내용을 판단하지 않고 근로자 총 인원으로 추산한 발급대상 최대치임). 고농도 노출 산업을 제외한 산업에 종사하는 총 근로자 수는 34,914명이다. 국가통계포털에서 확인한 근속년수 10년 이상 근로자 비율은 제조업에서 약 27%, 건설업에서 약 19%, 광업에서 약 30%이다. 고농도 노출 산업을 제외한 결정형 유리규산에 노출되는 산업에 10년 이상 종사한 근로자를 대상으로 건강관리카드를 발급하는 경우 발급대상 인원은 최대 약 7,800명으로 추산되어, 상기 기준으로 하였을 경우 건강관리카드 발급 대상자 최대치는 약 2만 여명으로 추산할 수 있다.

2. 경제성평가 모형을 활용한 질병 비용 모델링 방법

본 연구에서는 결정형 유리규산 노출자와 비노출자(일반인)의 폐 질환 관련 건강 성과 및 관련 질병 비용을 평가하기 위해 경제성 평가 연구 방법론을 활용하여 코호트 모델링 질병 비용 연구(cost of illness study: a simulation cohort approach)를 수행하였다. Markov model에 포함된 건강 상태(그림 1에서 원(bubble)으로 표현됨)는 최대한 국내 임상 현실을 반영하면서 결정형 유리규산 노출자들의 폐 관련 질환의 자연사가 모두 포함되도록 7단계로 구성하였고 폐암은 미국의 SEER(Surveillance, Epidemiology, and End Results)의 병기 분류에 따라 Stage A(Localized), Stage B(Regional), Stage C(Distance)의 3단계로 구분하였다. 결정형 유리규산에 노출되었다면, 일반인보다 폐 관련 질환에 대한 직접적인 의료비로 약 330만원 정도를 더 부담해야 하는 것으로 분석되었다. 결정형 유리규산 군은 일반인 군보다 모든 폐 관련 질환(COPD, 규폐증, 폐암)에서 의료 비용 지출이 높을 것으로 예상되었다. 본 연구는 결정형 유리규산 노출자들의 폐 관련 질환 직접 의료 비용을 추계하기 위해 Markov 모델링 기법을 도입함으로써 일반인 군과의 차이를 객관적으로 분석했다는 것에 의의가 있으며 결정형 유리규산에 노출되면 비 노출자에 비해 폐 관련 직접 의료비의 부담이 1인당 약 330만원이 증가되고, 기대 수명도 4개월 축소되는 것으로 분석되었다. 그리고 민감도 분석 결과에 의해서도 두 군간의 차이가 유의하게 확정되었다. 결정형 유리규산 노출자 10,000명을 기준으로 분석 시 일반인에 비해 약 164억의 직접 의료비가 추가적으로 소요된다. 이는 질병에 의한 시간 비용이나 생산성 손실 비용이 포함되지 않은 보험자 관점의 직접 의료 비용만을 추계한 것으로 분석의 관점을 보건의료체계 관점이나 사회적 관점으로 확대한다면 두 군의 점증적 차이는 더욱 확대될 것으로 예측된다. 또한, 본 연구에서 추계한 고농도의 결정형 유리규산 노출자의 최소 규모인 27,761명을 기

준으로 분석한다고 해도, 약 456억의 폐 관련 직접 의료비가 결정형 유리규산 군에서 추가적으로 발생할 것으로 예측된다. 질병으로 인한 기대 수명은 일인당 4개월 축소되는 것으로 나타났다. 이는 일인당 0.3228년 손실로 총 8961.25년 손실($0.3228\text{년} \times 27,761\text{명}$)을 예상 할 수 있다. 향후 건강보험 및 산재 자료 등을 이용하여 연령별 자료를 산출 가능 한 경우 이들의 근로 손실액 등을 추정하는 자료를 확보 할 수 있다면 좀더 확장된 사회적 비용을 산출 할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대한 산출이 이루어진다면 본 연구에서 폐질환으로 한정된 기대수명 손실 및 직접 의료비 456억 이외에 추가적으로 이를 상회하는 경제적 영향 및 건강영향의 효과를 평가 할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 산업별 결정형 유리규산 노출 세부업무 분류

CAREX 데이터를 기반으로 한 결정형 유리규산 노출 근로자 수 기준 상위 37개 산업(소분류)과 2019년 상반기 작업환경측정 보고에서 규산(석영) 노출 기준의 50%를 초과했던 8개 산업(소분류)으로 분류 하였으며 제조업에서 산업 소분류 별 유리규산 사용 용도는 유리규산 사용 및 유통 실태조사에서 확인하였으며 건설업, 광업 및 기타 산업에 대해서는 작업환경측정 보고에서 사업체 별 공정명과 전문가 자문의견을 참고하였다.

산업별 결정형 유리규산 노출 업무 중 고농도 노출 업무는 아래와 같다.

가) 토목 건설업의 할석, 미장, 견출, 석공, 조적, 형틀, 콘크리트 타설, 뿔칠, 철거 업무

레미콘, 콘크리트, 벽돌 관련업

나) 금속 주조업 중

1. 선철주물 주조업에서 용융, 용해, 조형, 성형, 탈사, 사상 코팅 공정
2. 강주물 주조업에서 용해, 중자, 조형, 탈형, 주조, 탈사, 쇼트, 용접 공정
3. 동주물 주조업에서 투입, 코팅 공정
4. 비철금속 주조업에서 원료 투입 후 계량, 배합, 중자, 조형, 탈형 공정

다) 도자기 및 기타 요업제품 제조업 중

1. 가정용 및 장식용 도자기 제조업에서 도자기 성형, 정형 및 시유 공정
2. 산업용 도자기 제조업에서 원료혼합 및 압축성형, 건조 공정
3. 구조용 정형내화제품 제조업에서 원료 투입, 성형 후 분쇄, 연마하는 공

정

4. 기타 내화요업제품 제조업에서 원료배합 후 성형, 소성, 건조 공정
5. 점토벽돌, 블록 및 유사 비내화 요업제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형 후 분쇄, 소성, 건조 공정
6. 타일 및 유사 비내화 요업제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형 후 분쇄, 소성, 건조 공정
7. 요업(성형 등 일부공정), 일부 세라믹 분말 제조, 취급업

라) 석재 성형 가공품 제조업 중

1. 석재 가공품 재단 및 성형, 강화 공정
2. 아스콘 제조업에서 원료 투입하여 건조 공정
3. 아스팔트 성형제품 제조업에서 원재료 코팅 후 냉각, 절단 공정
4. 연마재 제조업에서 원료 투입 후 분쇄, 배합하여 절단 후 소성, 건조 공정
5. 석면, 암면, 및 유사제품 제조업에서 원료 투입 후 배합, 성형하고 증기로 양생하는 공정
6. 비금속광물 분쇄물 생산업에서 원료 투입 후 분쇄, 계량, 포장 공정
7. 기타 비금속광물 제조업에서 원료 배합, 성형 후 증기 양생, 탈형 공정

마) 자동차 부품 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

바) 합금철 제조업 중

1. 합금철 제조업 중 재료 용해 후 조형, 탈형 거쳐 절단 후 가공하는 공정
2. 기타 철강산업에서 재료 용해 후 조형, 탈사 공정

사) 광업 중

1. 2차 분쇄포장, 광물분쇄, 선광, 천공, 절삭 업무
2. 석산 (채석업 종사자)

아) 특수 목적용 기계 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

자) 자석 및 자석제품 원료 투입, 혼합, 분쇄 공정

차) 귀금속 장신구 및 관련제품 제조업에서 가공, 성형, 열처리, 건조, 세척, 연마 공정

카) 석탄 광업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

타) 항공기, 우주선 및 부품 제조업에 종사하는 근로자 중 결정형 유리규산에 노출될 가능성이 있는 업무.

파) 전기업 중

1. 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업에서 운탄 관련 업무
2. 발전소나 신재생에너지 생산업체에서 석탄이나 쓰레기 수거차가 수거해온 쓰레기를 고열로 태워서 전기를 생산하는 공정

상기 산업 항목들은 기존의 분진 노출자의 건강관리카드 기 발급 기준을 모두 포함하고 있으며 기존의 기준보다 많은 산업을 포함하고 있다. 상기 고농도

노출 가능 사업 종사자의 경우 유리규산에 노출되는 작업에 종사하였다고 확인되는 경우는 5년의 근무기간 후 건강관리카드를 발급하고, 그 외의 산업에 대해서는 10년의 근무기간을 기준으로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

V. 결론

1. 요약

본 연구를 통하여 사업장에서 직업적으로 유리규산에 노출되는 노출자와 일반 인구군을 비교하여 질병 발병 위험도를 추계하여 나타낸 비용 효과 분석을 시행하였으며 여러 가지 법률적 제한으로 인하여 자료 산출에 어려움을 겪었으나 데이터를 확보할 수 있다면 위와 같은 모델로 현재 산업보건 관련 사업들이 가지는 장점에 대하여 객관적인 비용 효과를 계산할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

상기 비용 효과 분석은 폐 관련 질환에 국한된 평가로 현재 유리규산이 발생시킬 수 있는 위암, 신장질환, 류마티스 질환 등에 대한 평가는 배제되었기에 이에 대한 효과를 평가할 수 있을 것으로 생각된다면 지금의 분석 결과는 최소 효과를 분석한 것으로 생각된다.

또한 최소 추정치로 추정되는 유리규산 노출자의 규모인 27,761명을 기준으로 분석하였을 때도 약 456억의 폐 관련 직접 의료비가 결정형 유리규산 군에서 추가적으로 발생할 것으로 예측된다는 결론을 얻었으며 질병으로 인한 기대수명도 일인당 4개월 축소되는 것으로 나타났다. 이는 일인당 0.3228년 손실로 총 8961.25년 손실($0.3228\text{년} \times 27,761\text{명}$)을 예상할 수 있으며 이는 유리규산 노출 근로자에 대한 건강 불평등의 문제로 볼 수 있다. 향후 이에 대한 건보 및 산재 자료 등을 이용하여 연령별 자료를 산출 가능한 경우 이들의 근로 손실액 등을 추정하여 사회적 비용을 산출할 수 있을 것으로 생각되며 이에 대한 산출이 이루어 진다면 폐로 한정된 기대수명 손실 및 직접 의료비 456억 이외에 추

가적으로 이를 상회하는 경제적 영향 및 건강영향의 효과를 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 제언

직업성 암을 비롯한 직업성 질환을 조기 발견하고 질환에 대한 이환을 방지하는 생활 습관 개선 및 질병 진행을 막기 위한 교육효과를 위해 건강관리카드 발급 사업을 활성화 하는 것이 필요하다. 본 연구는 CAREX 데이터 및 작업환경측정 데이터, 그리고 기존 연구 자료를 바탕으로 유리규산 노출에 따른 위험 근로자 군의 작업을 정리하였고 이를 전문가의 자문을 통해 다시한번 점검하고 기존의 작업환경측정 누락 작업들에 대하여 보완하였다. 그러나 작업환경의 다양성을 고려하여 구체적인 업무를 특정할 수 없는 경우에는 유리규산 노출 작업에 종사함을 확인할 수 있는 전문가의 의견을 반영할 수 있도록 하는 방안이 필요할 것으로 생각된다.

또한, CAREX 및 작업환경측정 자료만을 이용하여 노출 산업 및 업무를 제한할 경우, 급성으로 고농도 노출되는 경우나 제도의 사각지대에 있는 소규모 사업장의 근로자들이 누락될 가능성이 있다. 앞선 전문가 자문의견에서 우리나라와 외국의 노출 기준의 차이로 인해 노출기준의 50%인 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ 정도에 노출되었던 말 관리사에서 직업성 폐암이 다수 발생하였던 사례가 지적되었다. 따라서, 노출 기준이나 종사 기간에 대해 전문가 판단하에 유동성을 주는 것이 필요하다. 이에 대한 방안으로, 앞서 확인된 산업이나 업무 이외에 종사하였거나 종사한 기간이 기준 미만이라도 결정형 유리규산에 의한 건강영향이 의심될 경우 직업환경의학 전문의 등 자격을 갖춘 전문가가 근로자의 과거직력, 특수건강진단 이력, 작업환경측정 결과 등을 종합하여 특별소견서를 발부하는 경우 건강관리카드를 발급하는 방안을 고려할 수 있다.

유리규산 노출군에서 비노출군에 비해 약 456억의 폐 관련 직접 의료비가

추가적으로 발생할 것으로 예측되며 질병으로 인한 기대 수명도 일인당 4개월 축소되어 일인당 0.3228년 손실로 총 8961.25 년 손실($0.3228\text{년} \times 27,761\text{명}$)이 예상 되는 유의한 결과를 얻었다.

본 연구에서 추계한 고농도의 결정형 유리규산 노출자의 규모인 27,761명을 기준으로 상기 고찰에서 제안한 5년 이상의 고농도 노출자의 건강관리카드 발급대상자를 추계하여 보면 5년 이상 근무한 근로자를 대상으로 건강관리카드를 발급했을 때, 발급대상 인원은 최대 약 12,700명으로 추산되며 저농도 10년 이상 근속자의 경우 약 7,800명으로 추산되어, 상기 기준으로 하였을 경우 건강관리카드 발급 대상자 최대치는 약 2만 여명으로 추산할 수 있다.

향후 위의 내용을 종합하여 유리규산 노출자에 대한 관리방안을 확대하여 근로자 건강카드 발급사업을 진행하게 되면 이번 비용효과분석의 방식을 이용하여 근로자건강카드 발급군과 비발급군의 건강영향에 대하여 분석이 가능하며 더 나아가서는 관련 데이터 확보가 가능하다면 산업보건 전반의 사업 효과에 대한 객관적 경제성 평가가 가능할 것으로 생각된다. 따라서 본 사업이 진행되며 추후 효과 평가가 가능한 데이터를 이용할 수 있는 방안을 같이 고민하는 것이 필요할 것으로 보인다.

그리고 기존 건강관리카드 발급 기준 중 흉부 방사선 상 진폐가 진단되어야 대상자가 되는 부분은 본 연구의 서두에서 언급했듯이 우리나라 산업안전보건법 특성상 혜택의 중복으로 현실을 반영하지 못하는 것으로 보이며 질병 조기 발견 및 예방이라는 건강관리카드 발급 목적에 부합하지 않는 조건으로 생각되어 삭제 하는 것이 옳은 방향일 것으로 생각된다.

현재 건강관리카드 프로그램은 흉부 방사선 검사와 폐활량 검사 등을 포함

하고 있다. 흉부 방사선 검사는 폐암을 포함한 여러 폐질환을 진단하기 위한 선별 검사로, 노출되는 방사선량이 적으며 비교적 적은 비용으로 촬영할 수 있다는 장점이 있으나, 이미 국민건강보험공단의 일반건강진단 항목에 포함되어 있어 이를 추가로 촬영하는 것에 대한 건강관리카드 프로그램의 효용은 적은 실정이다. 이에 대한 지적으로 앞선 전문가 자문의견에서도 저선량 폐 CT 등 폐질환 선별검사에 특화된 항목을 건강관리카드 프로그램으로 포함하는 것에 대한 의견이 다수 있었다.

기존 건강관리카드 검사항목 이외의 호흡기 질환의 선별검사로 객담 세포진 검사, 혈청 종양표지자 검사(CEA, SCC-Ag, CYFRA 21-1, NSE), 저선량 폐 CT 등의 검사를 고려할 수 있다. 특히 저선량 폐 CT의 경우 폐암의 조기발견 및 사망률 감소에 있어서 효과적인 검사로 알려져 있다. 현재 국가암검진 폐암 검진 권고안 (2015)에서는 폐암선별검사로 저선량 폐 CT를 권고하고 있으며, 국외의 여러 대규모 연구에서도 고위험군을 대상으로한 저선량 폐 CT 선별검사의 효용성이 입증되고 있다. 우리나라는 2019년부터 국가 검진 프로그램에 암관리법 시행령과 암검진 실시기준(고시)에 따라 만 54-74세 남녀 중 30갑년 이상의 흡연력을 보유한 자에 대해 2년 주기로 저선량 폐 CT를 시행하는 폐암 검진을 포함하려 하고 있다. 이에 대한 근거로는 ‘우리나라에서 폐암은 암 사망 중 1위이며, 주요 암종 중 5년 상대생존율이 2번째로 낮고, 조기발견이 중요한 질환임’을 들고 있으며 흡연자는 비흡연자에 비해 폐암 발생 위험도가 11배나 높은 것으로 알려져 있어 장기간 흡연자에 대한 조기 암검진의 필요성이 높았음’을 들고 있다.

앞서 폐암 검진이 국가 검진 프로그램에 포함되는 과정에서 고위험군을 대상으로 한 저선량 폐 CT의 유용성은 이미 입증되었다. 흡연력이 있는 유리규산 노출자의 경우 상대적으로 이보다 높은 폐암 발생에 대한 위험도를 가지고

있을 것으로 생각되며, 폐암 이외의 여러 호흡기 질환의 이환율도 상대적으로 높을 것으로 추정된다. 따라서, 저선량 폐 CT등을 포함한 건강관리카드 프로그램 개선에 대한 후속 연구가 필요하다. 또한, 국가 검진 프로그램의 폐암 검진 자체의 효과로 폐암검진 이후 금연 상담과 연계할 경우 20.1%에서 금연을 하거나 30.5%에서 흡연량을 줄이는 효과를 보여주었다고 제시되어 있다. 이는 1년마다 검진을 하게 되는 건강관리카드 발급 시 흡연에 대한 교육과 함께 추가적으로 노동환경에서 노출된 유해물질 노출자에 대한 교육 효과가 있을 것으로 보이며 따라서 건강관리효과에 대하여 국가검진 프로그램 보다 높은 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 상기 내용은 향후 데이터를 통해 건강관리카드 발급 효과에 대한 객관적인 지표로 구체적인 효과를 확인 할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구를 통하여 유리규산 노출 근로자의 보호를 위해 건강관리 카드 발급 기준을 재정립 할 수 있었으며 근로자의 유해요인 노출과 질병 비용 및 기대수명과의 유의한 연관성을 확인할 수 있었다. 다만, 현재의 건강관리카드의 건강진단 프로그램에 대해서는 개선이 필요하다고 판단된다. 따라서, 후속 연구에서는 본 연구에서 제시한 내용들의 효과 확인과 유해물질 근로자 건강보호를 위해 근로자 건강관리카드 제도의 확대 및 확대 후 건강 효과 확인이 필요하다. 또한, 질병으로 인한 근로 손실 등 사회적 비용을 폭넓게 고려하여, 건강관리카드 프로그램의 건강진단 항목 추가 및 관리 주기 등에 대한 내용이 추가적인 연구를 통해 확립되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

고동희. CAREX 와 직무노출매트릭스 소개 및 개발 현황. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집 2014:145-145.

고용노동부. 산업재해 현황분석: 산업재해보상보험법에 의한 업무상재해를 중심으로. 2018.

김기웅, 임종한, 박신구 등. 결정형 유리규산에 의한 직업성 폐암: 국내 직업성암감시 결과. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집 2011:489-490.

김치년. 분진의 노출기준 개선방안. 한국산업안전보건공단 안전보건연구원 연구보고서, 2007.

정규원. 국립암센터 암연구동향. 2013.

방소연. 만성폐쇄성폐질환 환자의 삶의 질 관련요인. 한국데이터정보과학회지 2016, 27(5):1349-1360.

한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 진폐근로자 코호트를 통한 폐암 발생 예측에 관한 연구 (II). 2004.

정경숙. 건강관리수첩 발급대상 유해요인 확대에 관한 연구. [공공저작물 연계] 한국산업안전보건공단 발간자료 2015:0-0.

정혜정, 류승훈, 장지영 등. 발암인자 노출감시를 위한 CAREX (CARcinogen EXposure, CAREX) 프로그램 고찰; 한계점과 활용 방안. 한국산업보건학회지 2014, 24(3):247-255.

통계청. 24개 암종/성/연령(5세)별 암발생자수, 발생률 2020.

통계청. 고용형태별근로실태조사: 산업, 근속년수, 성별, 임금 및 근로조건, 2019.

Barboza CEG, Winter DH, Seiscento M et al. Tuberculosis and silicosis: epidemiology, diagnosis and chemoprophylaxis. Jornal Brasileiro de Pneumologia 2008, 34(11):959-966.

Calvert G, Rice F, Boiano J et al. Occupational silica exposure and risk of various diseases: an analysis using death certificates from 27 states of the United States. Occupational and environmental medicine 2003, 60(2):122-129.

Cassidy A, 't Mannetje A, van Tongeren M et al. Occupational exposure to crystalline silica and risk of lung cancer: a multicenter

case-control study in Europe *Epidemiology* 2007, 18(1):36-43.

de Klerk NH, Musk AW. Silica, compensated silicosis, and lung cancer in Western Australian goldminers. *Occupational and environmental medicine* 1998, 55(4):243-248.

Goldberg SW, Mulshine JL, Hagstrom D et al. An actuarial approach to comparing early stage and late stage lung cancer mortality and survival. *Population Health Management* 2010, 13(1):33-46.

Greenberg MI, Waksman J, Curtis J. Silicosis: a review. *Disease-a-Month* 2007, 53(8):394-416.

Hnizdo E, Vallyathan V. Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occupational and environmental medicine* 2003, 60(4):237-243.

Leem AY, Park B, Kim YS et al. Incidence and risk of chronic obstructive pulmonary disease in a Korean community-based cohort. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 2018, 13:509.

- Muir D, Julian J, Shannon H et al. Silica exposure and silicosis among Ontario hardrock miners: III. Analysis and risk estimates. American journal of industrial medicine 1989, 16(1):29-43.
- Park HY, Kang D, Shin SH et al. Chronic obstructive pulmonary disease and lung cancer incidence in never smokers: a cohort study. Thorax 2020, 75(6):506-509.
- Parks CG, Conrad K, Cooper GS. Occupational exposure to crystalline silica and autoimmune disease. Environmental health perspectives 1999, 107(suppl 5):793-802.
- Rosenman K, Moore-Fuller M, Reilly M. Kidney disease and silicosis. Nephron 2000, 85(1):14-19.
- Rushton L. Chronic obstructive pulmonary disease and occupational exposure to silica. Reviews on environmental health 2007, 22(4):255-272.
- Shen F, Liu H, Yuan J et al. Cost-Effectiveness of coal workers' pneumoconiosis prevention based on its predicted incidence within the Datong Coal Mine Group in China. PLoS One 2015, 10(6):e0130958.

Shin J-Y, Kim SY, Lee K-S et al. Costs during the first five years following cancer diagnosis in Korea. Asian Pac J Cancer Prev 2012, 13(8):3767-3772.

Sturza J. A review and meta-analysis of utility values for lung cancer. Medical Decision Making 2010, 30(6):685-693.

Yeon D-E, Choi S. Evaluation of Crystalline Silica Exposure Level by Industries in Korea. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene 2017, 27(4):398-422.

Abstract

Research on types and management methods of occupational hazardous agents that require continuous health management of worker (focused on health care cards)

Objectives:

Currently, only those who have been identified with pneumoconiosis are selected as recipients of health care cards, which is an excessively high entry barriers. Therefore, in this study, we would like to propose ways to expand the standards of health care cards related to crystalline silica by estimating economic losses from exposure to crystalline silica, and identifying the industries and the size of exposed workers.

Methods:

In this study, CAREX data and working environment measurement data were used to estimate the number of workers exposed to crystalline silica. A cohort modelling disease cost study was conducted to assess the lung disease-related costs of crystalline silica exposures. A virtual cohort of 10,000 men each of 50-year-old men exposed to crystalline silica and non-exposed was composed to track the incidence of lung-related diseases for 30 years, and we compared the lung-related direct medical cost burden and life expectancy with non-exposed group.

Results:

In the CAREX data, 62,275 workers in 36 industries were exposed to crystalline silica. In the working environment measurement data, 13,088 workers were employed at work-places exceeding 50% of the exposure standard of silicic acid (TWA 0.05 mg/m³).

It is analyzed that the burden of lung-related direct medical cost increases by about 3.3 million won per person compared to non-exposed, and the life expectancy is reduced by 4 months. An additional 45.6 billion won in lung-related direct medical cost is expected to be incurred, and life expectancy due to disease is also expected to lose a total 8961.25 years.

Conclusions:

In terms of early detection and prevention of occupational diseases, it is necessary to activate the health care card program. Under the current health care card issuance standards, it is clear that there are workers who are exposed to high concentrations of crystalline silica, but are omitted from the issuance. So, it is necessary to consider expanding and re-establishing the standards for issuing health care cards for exposed industries and workers identified in this study.

Also, it is necessary to evaluate the economic feasibility of issuing a health care cards for workers using the results of disease cost modeling in this study. In order to protect the health of workers exposed to harmful factors, follow-up research is needed to re-establish the standards for issuing health care cards and confirm the effectiveness based on this study.

Key words: crystalline silica, health care card, lung cancer

부록

부록 1: 2016년 상반기 작업환경측정

TWA 상한치 10mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한 사업장의 산업분류와 근로자 수

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
선박 및 보트 건조업 (311)	기타 광물성분진	41009	100%	2359
			50%	2378
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	100%	12549
			50%	5144
1차 철강 제조업 (241)	기타 광물성분진	41009	100%	5989
			50%	2705
건물 건설업 (411)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	100%	400
			50%	1665
	기타 광물성분진	41009	50%	3610
			50%	180
철도 운송업 (233)	기타 광물성분진	41009	50%	2957
육상 여객 운송업 (492)	기타 광물성분진	41009	50%	2644
1차 비철금속 제조업 (242)	기타 광물성분진	41009	50%	1935
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	100%	21
			50%	911
	기타 광물성분진	41009	50%	67

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업 (202)	기타 광물성분진	41009	50%	660
토목 건설업 (412)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	600
	기타 광물성분진	41009	50%	39
금속 주조업 (243)	기타 광물성분진	41009	50%	469
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	기타 광물성분진	41009	50%	447
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	기타 광물성분진	41009	50%	265
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	기타 광물성분진	41009	100%	7
			50%	220
의약품 제조업 (212)	기타 광물성분진	41009	50%	178
특수 목적용 기계 제조업 (292)	기타 광물성분진	41009	50%	137
일반 목적용 기계 제조업 (291)	기타 광물성분진	41009	50%	44
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	76
전구 및 조명장치 제조업 (284)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	92
	기타 광물성분진	41009	50%	32
폐기물 처리업 (382)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	53
	기타 광물성분진	41009	50%	62
플라스틱 제품 제조업 (222)	기타 광물성분진	41009	50%	20
유리 및 유리제품 제조업 (231)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	38
	기타 광물성분진	41009	50%	

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
그 외 기타 제품 제조업 (339)	기타 광물성분진	41009	50%	46
전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업 (281)	기타 광물성분진	41009	50%	40
폐기물 수집, 운반업 (381)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	100%	38
기타 비금속광물 광업 (72)	기타 광물성분진	41009	50%	37
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	기타 광물성분진	41009	50%	5
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	16
토사석 광업 (71)	기타 광물성분진	41009	50%	15
고무제품 제조업 (221)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	15
기초 화학물질 제조업 (201)	기타 광물성분진	41009	50%	13
나무제품 제조업 (162)	기타 광물성분진	41009	50%	10
해체, 선별 및 원료 재생업 (702)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	5

**TWA 상한치 1mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
1차 철강 제조업(241)	석탄(분진)	51187	100%	5989
			50%	7332
석탄 광업 (51)	석탄(분진)	51187	100%	3222
전기업 (351)	석탄(분진)	51187	50%	1065
건물설비 설치 공사업 (422)	석탄(분진)	51187	50%	559
토목 건설업 (412)	석탄(분진)	51187	50%	305
기타 운송관련 서비스업 (529)	석탄(분진)	51187	50%	260
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	석탄(분진)	51187	50%	212
전동기, 발전기 및 전기 변환.공급.제어 장치 제조업 (281)	석탄(분진)	51187	50%	127
코크스 및 연탄 제조업 (191)	석탄(분진)	51187	100%	29
			50%	43
광업 지원 서비스업 (80)	석탄(분진)	51187	50%	54

**TWA 상한치 0.05mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자 (명)
선박 및 보트 건조업 (311)	규산(석영)	41001	50%	40616
유리 및 유리제품 제조업 (231)	규산(석영)	41001	50%	3168
자동차 부품 제조업 (303)	규산(석영)	41001	50%	2290
시멘트, 석회, 플라스틱 및 그 제품 제조업 (233)	규산(석영)	41001	50%	1125
금속 주조업 (243)	규산(석영)	41001	100%	140
			50%	917
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	규산(석영)	41001	50%	879
건물 건설업 (411)	규산(석영)	41001	100%	300
			50%	482
토목 건설업 (412)	규산(석영)	41001	100%	413
			50%	55
특수 목적용 기계 제조업 (292)	규산(석영)	41001	50%	368
철도 운송업 (491)	규산(석영)	41001	50%	363
비료, 농약 및 살균·살충제 제조업 (203)	규산(석영)	41001	50%	350
전기업 (351)	규산(석영)	41001	50%	285
토사석 광업 (71)	규산(석영)	41001	100%	35
			50%	217
1차 철강 제조업 (241)	규산(석영)	41001	50%	250
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	규산(석영)	41001	100%	11
			50%	142

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
기타 비금속광물 광업 (72)	규산(석영)	41001	100%	69
			50%	55
전자 부품 제조업 (262)	규산(석영)	41001	50%	109
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	규산(석영)	41001	50%	54
일반 목적용 기계 제조업 (291)	규산(석영)	41001	50%	53
폐기물 수집, 운반업 (381)	규산(석영)	41001	100%	53
건축 자재, 철물 및 난방장치 도매업 (466)	규산(석영)	41001	100%	8
			50%	40
인형, 장난감 및 오락용품 제조업 (334)	규산(석영)	41001	100%	46
건축 기술, 엔지니어링 및 관련 기술 서비스업 (721)	규산(석영)	41001	50%	43
그 외 기타 제품 제조업 (339)	규산(석영)	41001	100%	33
			50%	7
건물설비 설치 공사업 (422)	규산(석영)	41001	50%	40
기타 화학제품 제조업 (204)	규산(석영)	41001	50%	38
폐기물 처리업 (382)	규산(석영)	41001	50%	29
코크스 및 연탄 제조업 (191)	규산(석영)	41001	50%	21
신발 및 신발 부분품 제조업 (152)	규산(석영)	41001	50%	19
자동차용 엔진 및 자동차 제조업 (301)	규산(석영)	41001	50%	18
인문 및 사회과학 연구개발업 (702)	규산(석영)	41001	50%	14

부록 2: 2017년 상반기 작업환경측정

TWA 상한치 10mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한 사업장의 산업분류와 근로자 수

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
선박 및 보트 건조업 (311)	기타 광물성분진	41009	50%	33
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	100%	3000
			50%	4939
건물 건설업 (411)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	2234
	기타 광물성분진	41009	100%	280
			50%	2602
토목 건설업 (412)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	100%	99
	기타 광물성분진	41009	50%	550
			50%	15
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	90
비료, 농약 및 살균·살충제 제조업 (203)	기타 광물성분진	41009	50%	750
시멘트, 석회, 플라스틱 및 그 제품 제조업 (233)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	471
	기타 광물성분진	41009	50%	248
육상 여객 운송업 (492)	기타 광물성분진	41009	50%	334
자연과학 및 공학 연구개발업 (701)	기타 광물성분진	41009	50%	161

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	기타 광물성분진	41009	100%	9
			50%	111
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	11
건물설비 설치 공사업 (422)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	120
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	기타 광물성분진	41009	50%	78
특수 목적용 기계 제조업 (292)	기타 광물성분진	41009	50%	74
금속 주조업 (243)	기타 광물성분진	41009	50%	73
폐기물 처리업 (382)	기타 광물성분진	41009	50%	62
자동차 차체 및 트레일러 제조업 (302)	기타 광물성분진	41009	50%	59
기타 화학제품 제조업 (204)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	46
플라스틱 제품 제조업 (222)	기타 광물성분진	41009	50%	37
			50%	7
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	7
기타 비금속광물 광업 (72)	기타 광물성분진	41009	100%	40
폐기물 수집, 운반업 (381)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	39
섬유제품 염색, 정리 및 마무리 가공업 (134)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	38
그 외 기타 제품 제조업 (339)	기타 광물성분진	41009	50%	30
골판지, 종이 상자 및 종이 용기 제조업 (172)	기타 광물성분진	41009	50%	29

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
골판지, 종이 상자 및 종이 용기 제조업 (172)	기타 광물성분진	41009	50%	29
기타 종이 및 판지 제품 제조업 (179)	기타 광물성분진	41009	50%	26
의약품 제조업 (212)	기타 광물성분진	41009	50%	24
전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업 (281)	기타 광물성분진	41009	50%	23
기초 화학물질 제조업 (201)	기타 광물성분진	41009	50%	19
1차 비철금속 제조업 (242)	기타 광물성분진	41009	50%	18
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	기타 광물성분진	41009	50%	18
일반 목적용 기계 제조업 (291)	기타 광물성분진	41009	50%	15
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	기타 광물성분진	41009	100%	3
			50%	8
시설물 유지관리 공사업 (425)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	8

**TWA 상한치 1mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
1차 철강 제조업 (241)	석탄(분진)	51187	50%	7837
석탄 광업 (51)	석탄(분진)	51187	100%	2915
전기업 (351)	석탄(분진)	51187	50%	1876
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	석탄(분진)	51187	50%	676
건물설비 설치 공사업 (422)	석탄(분진)	51187	50%	159
사업시설 유지·관리 서비스업 (741)	석탄(분진)	51187	50%	144
코크스 및 연탄 제조업 (191)	석탄(분진)	51187	100%	14
			50%	114
건축 기술, 엔지니어링 및 관련 기술 서비스업 (721)	석탄(분진)	51187	50%	48
광업 지원 서비스업 (80)	석탄(분진)	51187	50%	47
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	석탄(분진)	51187	50%	8

**TWA 상한치 0.05mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
석탄 광업 (51)	규산(석영)	41001	100%	2209
			50%	662
건물 건설업 (411)	규산(석영)	41001	100%	80
			50%	1493
토목 건설업 (412)	규산(석영)	41001	100%	106
			50%	987
금속 주조업 (243)	규산(석영)	41001	100%	79
			50%	982
철도 운송업 (491)	규산(석영)	41001	50%	904
자동차 신품 부품 제조업 (303)	규산(석영)	41001	50%	877
선박 및 보트 건조업 (311)	규산(석영)	41001	50%	533
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	규산(석영)	41001	100%	40
			50%	430
일반 목적용 기계 제조업 (291)	규산(석영)	41001	50%	437
1차 철강 제조업 (241)	규산(석영)	41001	100%	31
			50%	230
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	규산(석영)	41001	100%	91
			50%	136
건물설비 설치 공사업 (422)	규산(석영)	41001	50%	220

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
기초 화학물질 제조업 (201)	규산(석영)	41001	100%	170
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	규산(석영)	41001	100%	45
			50%	90
토사석 광업 (71)	규산(석영)	41001	100%	60
			50%	52
유리 및 유리제품 제조업 (231)	규산(석영)	41001	100%	44
			50%	65
폐기물 처리업 (382)	규산(석영)	41001	50%	66
전기 및 통신 공사업 (423)	규산(석영)	41001	50%	58
기타 비금속광물 광업 (72)	규산(석영)	41001	50%	44
의료용 기기 제조업 (271)	규산 (크리스토 바라이트)	41002	50%	43
인형, 장난감 및 오락용품 제조업 (334)	규산(석영)	41001	100%	32
해체, 선별 및 원료 재생업 (383)	규산(석영)	41001	50%	22
기타 화학제품 제조업 (204)	규산(석영)	41001	50%	18
특수 목적용 기계 제조업 (292)	규산(석영)	41001	50%	13
그 외 기타 제품 제조업 (339)	규산(석영)	41001	50%	13
인문 및 사회과학 연구개발업 (702)	규산(석영)	41001	50%	13
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	규산 (크리스토 바라이트)	41002	50%	2

부록 3: 2018년 상반기 작업환경측정

TWA 상한치 10mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한 사업장의 산업분류와 근로자 수

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
선박 및 보트 건조업 (311)	기타 광물성분진	41009	100%	36000
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	100%	16999
			50%	7494
1차 철강 제조업 (241)	기타 광물성분진	41009	100%	13469
			50%	2912
건물 건설업 (411)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	1275
	기타 광물성분진	41009	50%	1728
			50%	1872
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	기타 광물성분진	41009	50%	1872
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	453
	기타 광물성분진	41009	50%	28
			50%	433
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	기타 광물성분진	41009	50%	433
기타 화학제품 제조업 (204)	기타 광물성분진	41009	50%	36
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	258
			50%	258

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
토목 건설업 (412)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	144
	기타 광물성분진	41009	50%	123
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	18
보관 및 창고업 (521)	규산염 (포틀랜드 시멘트)	41005	50%	250
금속 주조업 (243)	기타 광물성분진	41009	50%	228
기타 금속 가공제품 제조업 (259)	기타 광물성분진	41009	50%	159
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	11
가정용 기기 제조업 (285)	기타 광물성분진	41009	50%	140
폐기물 처리업 (382)	기타 광물성분진	41009	50%	124
전구 및 조명장치 제조업 (284)	기타 광물성분진	41009	50%	75
일반 목적용 기계 제조업 (291)	기타 광물성분진	41009	50%	61
건물설비 설치 공사업 (422)	기타 광물성분진	41009	50%	51
기타 운송관련 서비스업 (529)	기타 광물성분진	41009	100%	46
특수 목적용 기계 제조업 (292)	기타 광물성분진	41009	50%	40
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	기타 광물성분진	41009	50%	37
폐기물 수집, 운반업 (381)	기타 광물성분진	41009	50%	34
합성고무 및 플라스틱 물질 제조업(202)	기타 광물성분진	41009	50%	24

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	기타 광물성분진	41009	50%	9
	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	10
기타 비금속광물 광업 (72)	기타 광물성분진	41009	50%	17
토사석 광업 (71)	기타 광물성분진	41009	50%	16
그 외 기타 제품 제조업 (339)	기타 광물성분진	41009	50%	15
인쇄 및 인쇄관련 산업 (181)	기타분진 (유리규산 1% 이하)	41012	50%	14
동물용 사료 및 조제식품 제조업 (108)	기타 광물성분진	41009	50%	10

**TWA 상한치 1mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
1차 철강 제조업 (241)	석탄(분진)	51187	100%	6469
			50%	8261
석탄 광업 (51)	석탄(분진)	51187	100%	3167
구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업 (251)	석탄(분진)	51187	50%	1750
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	석탄(분진)	51187	50%	587
전기업 (351)	석탄(분진)	51187	50%	345
건물 건설업 (411)	석탄(분진)	51187	50%	318
건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업 (742)	석탄(분진)	51187	50%	280
실내건축 및 건축마무리 공사업 (424)	석탄(분진)	51187	50%	209
사업시설 유지·관리 서비스업 (741)	석탄(분진)	51187	50%	146
건물설비 설치 공사업 (422)	석탄(분진)	51187	50%	130
그 외 기타 개인 서비스업 (969)	석탄(분진)	51187	50%	125
1차 비철금속 제조업 (242)	석탄(분진)	51187	50%	72
토목 건설업 (412)	석탄(분진)	51187	50%	52
산업용 기계 및 장비 수리업 (340)	석탄(분진)	51187	50%	38

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
코크스 및 연탄 제조업 (191)	석탄(분진)	51187	100%	4
			50%	26
상품 종합 도매업 (468)	석탄(분진)	51187	50%	30
건축 기술, 엔지니어링 및 관련 기술 서비스업 (721)	석탄(분진)	51187	50%	17
광업 지원 서비스업 (80)	석탄(분진)	51187	50%	8

**TWA 상한치 0.05mg/m³ 대상 유해인자 100% 및 50% 초과한
사업장의 산업분류와 근로자 수**

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
1석탄 광업 (51)	규산(석영)	41001	100%	1553
			50%	1573
건물 건설업 (411)	규산(석영)	41001	100%	384
			50%	1171
토목 건설업 (412)	규산(석영)	41001	100%	200
			50%	680
철도 운송업 (491)	규산(석영)	41001	50%	828
내화, 비내화 요업제품 제조업 (232)	규산(석영)	41001	100%	93
			50%	584
전기업 (351)	규산(석영)	41001	50%	662
자동차 신품 부품 제조업 (303)	규산(석영)	41001	50%	626
금속 주조업 (243)	규산(석영)	41001	100%	175
			50%	268
특수 목적용 기계 제조업 (292)	규산(석영)	41001	50%	343
실내건축 및 건축마무리 공사업 (424)	규산(석영)	41001	50%	295
1차 철강 제조업 (241)	규산(석영)	41001	50%	230
방적 및 가공사 제조업 (131)	규산(석영)	41001	50%	177
스포츠 서비스업 (911)	규산(석영)	41001	50%	162
기타 비금속광물 광업 (72)	규산(석영)	41001	100%	81
			50%	45

산업 분류 (KSIC-10)	측정 유해인자	유해인자 번호	초과 기준	근로자(명)
그 외 기타 제품 제조업 (339)	규산(석영)	41001	100%	13
			50%	80
폐기물 처리업 (382)	규산(석영)	41001	50%	74
토사석 광업 (71)	규산(석영)	41001	100%	44
			50%	23
시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업 (233)	규산(석영)	41001	50%	65
비철금속 광업 (62)	규산(석영)	41001	50%	47
기타 비금속 광물제품 제조업 (239)	규산(석영)	41001	100%	6
			50%	34
폐기물 수집, 운반업 (381)	규산(석영)	41001	50%	18
일반 목적용 기계 제조업 (291)	규산(석영)	41001	100%	14
자동차 및 모터사이클 수리업 (952)	규산(석영)	41001	50%	14
코크스 및 연탄 제조업 (191)	규산(석영)	41001	50%	8
기타 화학제품 제조업 (204)	규산(석영)	41001	50%	2

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 순천향대학교 산학협력단

연구책임자 : 이준희 (순천향대학교 직업환경의학과 교수)

연 구 원 : 이한길 (연세대학교 보건대학원 교수)

장성인 (연세대학교 예방의학교실 교수)

이종인 (가톨릭대학교 서울성모병원 임상강사)

이유민 (가톨릭대학교 서울성모병원 임상강사)

연구보조원 : 김상우 (순천향대학교 부속 서울병원 전공의)

주재한 (순천향대학교 부속 서울병원 전공의)

이재한 (순천향대학교 부속 서울병원 전공의)

연구상대역 : 이지혜 (팀장, 중부권역학조사팀)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 06. 18 ~ 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

**지속적인 근로자 건강관리가 필요한
유해인자의 종류 및 관리방안 마련 연구
(건강관리카드 중심으로)**

(2020-산업안전보건연구원-676)

발행일	: 2020년 11월
발행인	: 산업안전보건연구원 원장 고재철
연구책임자	: 순천향대학교 교수 이준희
발행처	: 안전보건공단 산업안전보건연구원
주소	: (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전화	: (032) 5100-752
팩스	: (032) 5100-759
누리집	: http://www.kosha.or.kr/oshri
