

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

OSH

안전보건 이슈리포트

- 1 문화로 만드는 새로운 안전보건:
‘신뢰’ 선행지표를 통한 예방문화 전략
- 2 레질리언스 엔지니어링에 대한 고찰
- 3 ‘위험의 외주화’ 근절을 위한 도급승인제도
주요내용과 과제
- 4 의료기관 종사자의 방사선 노출현황
-방사선 중재기술(intervention)을 중심으로
- 5 미세플라스틱의 건강영향 및 노출 가능성
- 6 연구자와 연구환경의 안전관리는 누구의 몫인가?



OSH

2019년 제1호 안전보건 이슈리포트

OCCUPATIONAL SAFETY &
HEALTH ISSUE REPORT



산업안전보건연구원은 안전보건 연구개발을 통해 산업재해 예방에 기여하고자 1989년에 설립한 산업재해예방 연구기관으로, 산업현장의 안전보건 문제를 해결하기 위한 정책개발, 안전보건 이슈와 법제도에 대한 연구활동을 통해 노동자의 삶의 질 향상과 생명보호를 위해 노력하고 있습니다.

「안전보건 이슈리포트」는 산업안전보건과 관련된 시급하고 중요한 국내·외의 다양한 정보와 동향을 선제적으로 파악하여 정부, 학계 등의 안전보건정책 의사 결정자에게 알리고, 안전보건 정책을 선도할 수 있는 선제적 연구과제를 발굴하여 단기 및 중·장기 안전보건 연구과제에 반영하기 위해 정기적으로 발행하고 있습니다.

Issue 01	문화로 만드는 새로운 안전보건: ‘신뢰’ 선행지표를 통한 예방문화 전략	02
Issue 02	레질리언스 엔지니어링에 대한 고찰	14
Issue 03	‘위험의 외주화’ 근절을 위한 도급승인제도 주요내용과 과제	24
Issue 04	의료기관 종사자의 방사선 노출현황 - 방사선 중재기술(intervention)을 중심으로	32
Issue 05	미세플라스틱의 건강영향 및 노출 가능성	40
Issue 06	연구자와 연구환경의 안전관리는 누구의 몫인가?	50



안전보건 이슈리포트 (2019년 제1호)

[2019-연구원-314]

발행일 초판 | 2019년 5월

발행인 고재철(산업안전보건연구원장)

발행처 산업안전보건연구원
울산광역시 중구 종가로 400(북정동)

문의처 052-703-0816

편집디자인 한결엠 02-852-7365

※본지에 게재된 내용은 필자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식 견해와 다를 수 있습니다.

01

ISSUE

ISSUE REPORT

문화로 만드는 새로운 안전보건 ‘신뢰’ 선행지표를 통한 예방문화 전략

정책제도연구부 **김경우** 연구원



새로운 화두로 떠오른 예방문화



최근 안전문화, 안전의식, 안전분위기 등의 용어가 국내 산업안전보건 분야에서 화두가 되고 있다. 이러한 용어가 관심을 끄는 이유는 전통적인 산업안전보건 패러다임의 변화와 관련이 있을 것이다. 즉, 사업장 내 안전규정과 절차가 잘 준수되고 있음에도 불구하고 사고가 발생하는 이유에 대한 의문과 함께 사고의 핵심 원인이 다양한 계층의 의사결정 풍토 및 관행에 의존한다는 사실이 밝혀지면서 새로운 안전보건 패러다임이 시작되고 있다(Lintern, 2012; 윤석준 등, 2016).

국제적인 관점에서는 한 걸음 더 나아가 예방문화(prevention culture)에 대한 논의가 활발하다. 2008년 우리나라에서 개최한 제18회 세계산업안전보건대회 이후 언급되기 시작한 예방문화에 대한 관심이 지속적으로 성장해 왔고, 최근 독일재해보험조합(German Social Accident Insurance/Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 이하 DGUV¹⁾)과 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency, 이하 KOSHA)이 국제공동연구를 통해 그 흐름을 이어가고 있다. 국제적인 예방문화에 대한 관심과 함께 세부 실행방안으로 다루어지고 있는 신뢰(trust) 선행지표 개발에 대한 공동연구 내용의 일부를 소개하여 선도적으로 이루어지고 있는 예방문화의 연구 흐름 및 산업재해 예방의 적용가능성에 대해 논하고자 한다.

국제적 수준의 예방문화 논의의 시작



예방문화의 개념은 작업장 산업안전보건에 대한 유럽공동체 전략(European Community Strategy on Health and Safety at Work, 2002-2006)에서부터 시작되었으며, 제18회 세계산업안전보건대회를 계기로 예방문화는 국제사회에서 본격적으로 언급되기 시작했다. 이 대회는 세계최초의 안전보건 국제선언인 산업안전보건 서울선언서(Seoul Declaration)를 채택하여 국가적 차원의 예방적 안전보건 문화를 구축, 유지해야 하며 예방적 안전문화의 목적을 달성할 필요가 있음이 명시하였는데(Kim et al., 2016), 이를 계기로 국가적 수준의 예방문화에 대한 요구가 시작되었고 이후 이 개념은 지속적으로 발전되어져 왔다.

1) DGUV 연구책임자: Dr. Ulrike Ballmann



[그림 1] 제19회 산업안전보건대회
(출처: 안전보건공단 홈페이지)

예방문화 개념의 발전과정



예방문화 개념의 주요 발전 과정을 요약하자면 다음과 같다. 2011년 드레스덴에서 개최된 산업안전보건에 대한 제2차 국제전략회의에서 정부, 다국적 기업, 유럽 및 국제적 조직의 연구자들이 산업안전보건 전략의 미래 협력을 위해 작업장 사고와 직업병 예방을 위한 ‘Vision Zero’ 캠페인을 핵심 주제로 선택했다. 이후 ISSA는 예방문화를 위한 국제분과를 설립하고 의장국은 한국으로 임명되었다.

2013년 드레스덴에서 개최된 제3차 국제전략회의에서는 예방문화 용어에 대한 정의, 예방문화 측정을 위한 지표 개발, 현장 실행사례 수집 등을 포함하는 예방문화 발전 계획이 수립되었으며, 같은 해 헬싱키에서 개최된 예방문화 국제 심포지엄을 통해 Schein의 조직 문화 모델을 예방문화의 이론적 개념 체계로 확정하였다(Bollmann, 2017).

2014년 프랑크푸르트에서 개최된 제20회 세계산업안전 보건대회 중 예방에 대한 글로벌 포럼에서 ‘예방문화-예방전략-Vision Zero’가 주요 주제로 다루어졌다. 영국안전협회(Institute Occupational Safety and Health, 이하 IOSH)는 예방문화 선행지표 연구결과를 발표하였으며, Vision Zero 전략이 예방문화 발전의 기초로 확정되었다.

이후 2016년 제4차 국제전략회의에서 ISSA는 Vision Zero 전략실행을 위한 가이드라인으로 ‘7-Golden Rules’을 발표하고, 리더십, 참여, 권한, 신뢰 등이 예방문화 핵심 요소들로 결정하였다(Bollmann, 2017).



[그림 2] Vision Zero 로고

Vision zero와 7-Golden Rules

앞서 언급했듯 예방문화의 시작과 중심에는 Vision Zero 캠페인이 함께 하고 있다. 싱가포르에서 개최된 제21회 세계산업안전보건대회의 기조 연설을 통해 ISSA의 Vision zero 선포가 있었으며, 그 핵심은 모든 사고, 손실 및 질병이 예방 가능하다는 전제 하에서 안전보건과 웰빙을 통합하는 전체적인 관점에 있다. 과거 1980년대 안전보건경영시스템, 2008년도 예방문화 중심에서 2017년 이후부터 보건과 웰빙을 아우르는 예방활동으로 그 패러다임 및 과정의 변화를 내포하고 있다. Vision Zero 캠페인은 무재해(zero accidents)가 목표가 아니라 안전하고 탁월한 근로환경 조성을 위한 장기적인 과정이며, 선행지표를 활용한 예방활동, 리더십, 노동자의 참여 및 권한 부여, 학습과 조직문화를 강조하고 있다. 세부 실행방안으로 리더십, 위험 인지 및 관리, 목표 설정 및 프로그램 개발, 안전보건체계의 원활한 운영, 안전한 기계기구의 사용, 자격향상 및 역량 강화, 노동자 참여를 7가지 핵심원리(7-Golden rules)²⁾로 제안하고 있다(Zwetsloot, Leka, & Kines, 2017).

2) www.visionzero.global

7 Golden Rules for Vision Zero

1. Take leadership – demonstrate commitment
2. Identify hazards – control risks
3. Define targets – develop programmes
4. Ensure a safe and healthy system – be well-organized
5. Ensure safety and health in machines, equipment and workplaces
6. Improve qualifications – develop competence
7. Invest in people – motivate by participation

[그림 3] Vizion Zero의 7 Golden Rules

(출처 : <http://visionzero.global/guides>)

산업안전보건과 신뢰 개념

3) A culture of prevention describes safety and health as integrated patterns within an organization or society. In the center of a culture of prevention stands the human being at work and within private life. Human and societal needs are the starting point for a culture of prevention. A culture of prevention consists of artefacts (e.g. OSH Management System), espoused values or attitudes (e.g. OSH as a priority), perceptions and basic assumptions, that are often subconsciously (e.g. self-esteem). They are interrelated and impact human behavior and action. (예방문화란 조직이나 사회의 범주 내에서 융합된 양식으로서의 안전보건을 의미하며 그 중심에는 일터와 개인생활에서의 사람이 자리 잡고 있다. 예방문화는 개인 및 사회의 요구로부터 출발한다. 예방문화는 산업안전보건경영시스템과 같은 인위적인 요소, 우선순위에 둘 수 있는 산업안전보건과 같이 보편적으로 중요하게 여기는 가치나 태도, 자긍심과 같이 종종 무의식적으로 발현되는 인식과 기본적 가정요인들로 구성된다. 이러한 요소들은 상호작용을 하며 인간의 행동과 동작에 영향을 미친다.)

2013년 IOSH는 예방문화에 대한 국제 선행지표 개발 연구를 실시하게 된다. 이 연구의 주요 관심사는 안전수행, 분위기, 문화를 측정할 수 있으며 Vision Zero를 지지할 수 있는 핵심 요인이 무엇인가 하는 것이었다(Joyce, 2014). 이 연구에서 제안된 요인들 중에서 경영몰입과 가시성, 의사소통과 참여 요인이 예방문화에 가장 효과적이었으며, 안전자원, 생산성 대 안전, 사고와 아차사고 보고, 투자와 통제 등은 예방문화에 있어 그 영향력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

이 연구의 후속연구가 KOSHA와 DGUV에 위임되었다. KOSHA-DGUV 국제공동연구의 초점은 Vision Zero의 개념과 세부 실행원리 마련을 위한 선행지표 개발이다. 2016년 약 6주간의 단기 공동연구를 수행한 결과, 예방문화 기본 정의³⁾ 및 예방문화 관련 요인으로 리더십, 의사소통, 학습조직, 참여, 신뢰를 도출할 수 있었다. 이를 바탕으로 후속 연구를 진행하기로 하였으며, 2018년부터 2020년까지 총 3년간의 연구를 계획하고 시작되었다. 특히 예방문화 관련 요인(리더십, 의사소통, 학습조직, 참여, 신뢰) 중에서도 신뢰를 중심으로 선행지표를 개발하고자 하였다. 신뢰가 주요 관심이 된 이유에는 다음의 몇 가지 선행연구에서 확인할 수 있다.



[그림 4] 2018년 DGUV와 공동연구 수행 모습

첫째, 신뢰와 안전행동 간의 관련성이다. 신뢰가 의도를 반영하며 이러한 의도는 타인의 신뢰성에 대한 믿음에 의해서 드러난다는 것을 전통적인 태도 이론을 통해서도 알 수 있는데(Ajzen, 1985), 즉, 사람을 신뢰할만한 가치가 있다고 믿으면 그 사람을 신뢰하고자 하는 의도성을 증가시킨다. 의도성의 증가는 그 사람에 대한 의존성을 증가시키고, 이는 곧 관련 행동의 증가와도 연관된다. 안전과 관련해서 타인을 돕고, 안전하지 못한 작업방법에 적극적으로 대응하며, 변화에 대한 제안을 야기하는 안전몰입의 개념은 안전에 대한 일반적인 역할요구(안전순응)를 넘어서는 행동으로 신뢰와 의도성, 그리고 의존성의 관계에 대한 한 예시일 수 있다. 신뢰와 안전몰입의 관계는 안전리더십과 긍정적 안전분위기를 통해 추가 설명이 가능하다.

안전리더십에서 신뢰의 중요성과 관련해서 Watson, Scott, Bishop과 Turnbeaugh(2005)는 생산라인 감독자에 대한 신뢰가 노동자의 상해를 줄이기 위한 다양한 행동에 영향을 미침을 보여주었다. 또한, Conchie와 Donald(2009)는 건설업에서 안전에 특화된 변혁적 리더십과 안전몰입 행동의 중재변인(moderation)으로 신뢰의 역할을 주목했는데, 신뢰가 변혁적 리더십 영향을 중재하지는 못했으나, 신뢰와 리더십 간의 상호작용을 발견했다. 신뢰를 받는 느낌이 실행을 증가시킨다는 점에 대해 가능한 설명은 노동자가 책임감을 느끼기 때문이며 이것이 조직 목표에 반응하려는 준수의 느낌을 야기할 수 있다는

것이다. 즉, 책임감은 노동자의 안전작업으로 직무몰입을 유도 할 수 있다(Pearce & Gregersen, 1991).

또 긍정적 안전분위기 형성에도 신뢰가 중요한 역할을 한다는 선행연구가 있는데, Cox, Jones와 Collinson(2006)은 의사소통 및 행동 프로그램을 이용한 안전한 작업환경 조성 노력이 조직 내 신뢰를 효율적으로 증가시켰다는 것을 발견했다. 또한 Luria(2010)는 건설 현장에서 신뢰와 안전분위기의 연관성을 연구한 결과, 안전분위기가 리더에 대한 신뢰의 영향력을 중재할 수 있다는 것을 발견했다. 즉, 높은 신뢰 관계에 있는 리더는 노동자를 위해 더욱 안전한 환경 창출이 가능하다.

이처럼 신뢰는 안전분위기, 안전행동, 리더십, 참여, 의사소통, 학습 등의 주요 요인들 간의 관계를 연결하고 설명할 수 있는 역할을 할 수 있을 것으로 기대가 된다.

신뢰 개념에 대한 개방형 조사 결과 (1년차 공동연구 중 일부)



1. 방법 및 도구

KOSHA와 DGUV 국제공동연구의 초점은 예방문화의 관점에서 산업안전보건의 개념을 반영한 신뢰 선행지표는 무엇인지 조사하는 것이다. 이를 위해 한국의 노동자들을 대상으로 1년차인 2018년 4월에서 8월에 걸쳐 개방형 설문을 실시하였다.

조사는 한국의 노동자들에게 ‘산업안전보건에서 신뢰란 무엇인지’에 대해 자유롭게 기술하도록 하였다. 조사 참여자들에게 산업안전보건에서 신뢰의 개념이 생소하게 느껴질 수 있으므로 조사 전 국제공동연구 목적을 간략히 설명하고, 예방문화의 하위요인으로 리더십, 의사소통, 조직학습, 참여, 신뢰 요인이 다루어지고 있음을 알려주었다. 오류의 가능성을 줄이기 위해 신뢰에 대해 개인이 생각하는 의미, 방법, 느낌 및 관련되는 것을 함께 기술하도록 하였다.

2. 결과

산업안전보건 관련 교육에 참여한 노동자 141명(안전보건 관리자 48명, 일반 노동자 80명, 안전보건 관련기관 종사자 13명)을 대상으로 조사를 실시하였다. 개방형 설문에 대한 응답은

부 록

[부록 1] 개방형 설문지

○ 직책 : ☐ 안전보건관리자 ☐ 일반 근로자 ☐ 안전보건 관련직원
☐ 기타 ()

○ 연령 : ☐ 20대(20~29세) ☐ 30대(30~39세) ☐ 40대(40~49세)
☐ 50대(50~59세) ☐ 60대 이상

○ 성별 : ☐ 남성 ☐ 여성 ☐ 기타 ()

○ 산업재해는 무엇보다 예방이 중요하며, 최근 예방문화에 대한 관심이 높아지고 있습니다. 아래에는 예방문화에 대한 개념적인 정의가 있습니다. 이를 참고하여, 현장에서 느낌, 경험 등을 토대로 산업안전보건법에 있어서 “예방”과 “안전”의 무상적인 가운데에 주석해 보시기 바랍니다.

※ 예방문화란, 조직이나 사회의 범주 내에서 돌출된 형태로 그 중심에 있는 상태 전 단계의 사람을 두고 있다. 예방문화는 개인 및 사회의 습관에서 출발하며, 안전보건관리시스템과 같은 전략적인 요소, 산업안전보건과 같이 보편적으로 중요한 위기는 대체로 제도, 그리고 특히식적으로 나타나는 인식과 기본적인 가함들로 구성된다. 이러한 각 요소들의 상호작용이 인간적 행동에 영향을 미친다.

- 예방문화를 구성하는 요소 : 2021년, 의사소통, 조직학습, 리더, 신뢰

· 산업안전보건법에 예방이란? (지배, 방위, 노력, 관련되는 것 등)

1. _____

2. _____

3. _____

· 예방문화의 관점에서, 산업안전보건법에 있어서 안전란? (지배, 방위, 노력, 관련되는 것 등)

1. _____

2. _____

3. _____

※ 문의처 : 산업안전보건연구원 정책제도연구부 김 경 우
(T.02-5705-0835)

[그림 5] 개방형 설문지 내용

전문가 회의를 통해 유사한 내용 분류 및 연관성 있는 요인을 중심으로 정리하였다. 반복적으로 나타나는 응답들은 이후 신뢰 예비문항 구성시 참고자료로 활용하기로 하였다. 개방형 설문 분석결과 응답 빈도가 높은 순으로 규정준수(21), 의사소통(21), 상호간의 신뢰(19), 리더십(17), 안전작업환경(14), 믿음(13) 등을 확인할 수 있었다.

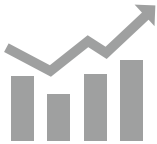
3. 논의

이러한 결과는 신뢰 선행연구와 연관 지어 생각해 볼 수 있다. 규정 준수와 안전작업 환경 관련 내용을 응답한 결과는 신뢰를 구성하는 개념 중 자선(박애)과 관련되는 것으로 타인의 복지와 안전을 보장하는 것에 대해 진정한 관심과 우려를 갖는 것과의 관련성을 생각해 볼 수 있다(Colquitt 등, 2007). 의사소통과 관련되는 응답 결과는, 신뢰가 개방적 의사소통, 구성원의 의사결정 참여, 주요정보의 공유, 진솔한 공감과 관련성이 있다고 언급한 Mishra와 Morrissey(1990)의 연구와 연관된다.

또한 상호 간의 신뢰, 믿음과 관련해서는 자신의 이해관계와 관련된 위험 부담이 있는 상황에서 타인이 자신에게 해로운 결과를 가져오지 않을 것이라고 판단하고 자신의 이해관계를

타인에게 믿고 맡기는 것(Heimer, 2001), 그리고 행동적 관점으로는 상대방이 외현적인 행동의 형태로 믿음을 주는 행동을 보여줄 때 발생하는 상호 간의 믿음으로 신뢰를 정의할 수 있다는 선행연구(문형구, 최병권, 내은영, 2011)와 관련이 있을 수 있다. 리더십 관련 응답들 역시, 인지 또는 감정에 기반한 신뢰와 리더의 역량 또는 능력, 복지에 대한 관심 간의 관련성을 언급한 선행연구 결과(Conchie 등, 2012)와의 관련성을 검토해 볼 수 있다.

예방문화를 통한 기대효과



이상의 국제공동연구가 가지는 가장 큰 기대효과는 변화하는 안전보건 패러다임에 기반을 두어 국제적인 수준에서 다루어지고 있는 예방문화의 개념과 실행방안이 가까운 미래에 산업재해예방에 있어 주요한 역할을 할 수 있을 것이라는 점이다. 여전히 안전문화, 안전분위기의 개념적 접근에 대한 현실적인 제한점과 구체적인 중재방안 부재가 이슈가 되는 것이 사실이다. 그러나 산업안전보건의 미래를 바라보는 장기적인 관점의 선도적 국제연구가 이러한 막마름을 해소할 수 있는 방안을 제시해 줄 수 있을지 모른다는 기대감이 있는 것도 사실이다.

본 연구는 현재 2년차 연구가 진행 중에 있다. 산업안전보건의 신뢰에 대한 조작적 정의를 바탕으로 1년차 연구에서 도출된 예비요인과 예비문화에 대한 정교화 작업 및 현장조사를 통한 요인구조 확인, 지표개발에 따른 신뢰도 및 타당도 검증 과정들이 이어질 예정이다. KOSHA와 DGUV는 질적 연구와 양적 연구를 병행하여, 두 국가의 노동자를 대상으로 개발된 신뢰 선행지표의 적용가능성을 확인함으로써 두 나라의 문화적 차이를 확인할 예정이다. Vision Zero 캠페인을 중심으로 하는 예방문화 실행방안 일환으로 현장적용 가능한 국제 선행지표의 개발을 기대한다.



참고문헌

- 문형구, 최병권, 내은영 (2011). 국내신뢰 연구의 동향과 향후 연구방향에 대한 제언. 경영학연구, 40(1), 139-186.
- 윤석준 등 (2016). 기업의 안전문화 평가 및 개선사례 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behaviour. In J. Kuhl & J. Beckman (Eds.), Action-control: From cognition to behaviour (pp. 11-39). Heidelberg: Springer.
- Colquitt, J. A., Scott, B. A., & LePine, J. A. (2007). Trust, trustworthiness, and trust propensity: A meta-analytic test of their unique relationships with risk taking and job performance. Journal of Applied Psychology, 92, 902-927.
- Conchie, S. M., & Donald, I. J. (2009). The moderating role of safety-specific trust in the relation between safety-specific transformational leadership and safety citizenship behaviours. Journal of Occupational Health Psychology, 14, 137-147.
- Conchie, S. M., Taylor, P. J., & Donald, I. J. (2012). Promoting safety voice with safety-specific transformational leadership: The mediator role of two dimensions of trust. Journal of Occupational Health Psychology, 17, 105-115.
- Cox, S., Jones, B., & Collinson, D. (2006). Trust relations in high-reliability organizations. Risk Analysis, 26, 1123-1138.
- Bollmann, U. (2017). International Leading Indicators for a Culture of Prevention. X X I World Congress on Safety and Health at Work 2017(A culture of prevention on OSH, Singapore).
- Heimer, C. A. (2001). Solving the problem of trust. In Trust in Society, Edited by: Cook, K. 40-87. NY: Russell Sage Foundation.



참고문헌

- Joyce, J. (2014). Developing a prevention culture index-literature review. Leicester: Institute for Occupational Safety and Health.
- Kim, Y. H., Park, J. S., & Park, M. J. (2016). Creating a culture of prevention in occupational safety and health practice. *Safety and Health at Work*, 7(2), p.89-96.
- Lintern, G. (2012). Organizational Mindfulness: Safety Culture and Change Management. <http://www.cognitivesystemsdesign.net/Tutorials/Safety%20Culture%20&%20Change%20Management.pdf>.
- Luria, G. (2010). The social aspects of safety management: Trust and safety climate. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1288-1295.
- Mishra, J., & Morrissey, M. A. (1990). Trust in employee/employer relationship: A survey of west Michigan managers. *Public Personnel Management*, 19, 443-485.
- Pearce, J. L., & Gregersen H. B. (1991). Task interdependence and extra-role behavior: A test of the mediating effects of felt responsibility. *Journal of Applied Psychology*, 76, 838-844.
- Watson, G., Scott, D., Bishop, J., & Turnbeaugh, T. (2005). Dimensions interpersonal relationships and safety in the steel industry. *Journal of Business and Psychology*, 19, 303-318.
- Zwetsloot G., Leka, S., & Kines, P. (2017). Vision zero: from accident prevention to the promotion of health, safety and well-being at work. *Journal of Policy and Practice in Health and Safety*, 15(2), p. 88-100.



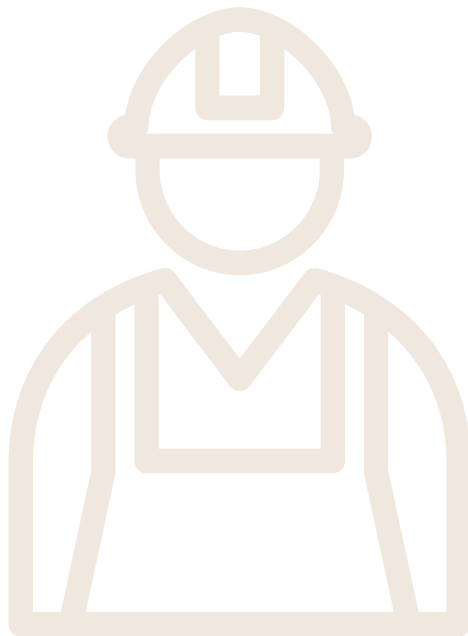
02

ISSUE

ISSUE REPORT

레질리언스 엔지니어링에 대한 고찰

산업안전연구실 **양정열** 선임연구위원



레질리언스 엔지니어링의 등장



최근 산업현장의 환경변화로 위험의 대형화, 복합화, 집적화, 고도화된 위험사회로 진입하고 있다. 특히 플랫폼에 기반을 둔 공유경제의 확산으로 노무 제공 방식의 변화가 초래되고 있으며, 이와 관련된 업종에서 위험의 사각지대가 발생하고 있다. 기업의 경우 비용절감, 조직관리 효율화, 디지털 산업의 발달 등에 따라 직접 고용 방식에서 간접 고용 등 비전형적인 고용형태로 전환되고 있는 것도 현실이다. 산업현장의 환경과 고용형태 등의 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 산업안전관리 시스템을 모색할 시점이다.

기존의 위험관리에 대한 접근방법은 하인리히(H. W. Heinrich)¹⁾에 의해 만들어진 1세대 사고분석 방법인 기계적 인과관점을 기반으로, 사고는 나쁜 것이며 당연히 시스템 내의 어떤 결함이 발생해 연쇄적 결과물로서 일어난다는 도미노 모형²⁾으로 접근하였다. 나아가 노동자의 실수 역시 부품의 결함과 같은 확률적 결함으로 다루어졌다.

따라서 기존의 산업안전관리 시스템의 한계를 극복하기 위한 연구가 필요하고, 이러한 관점에서 산업공학에서 파생된 레질리언스 엔지니어링(Resilience Engineering)을 고찰해 보고자 한다.

시스템 안전 패러다임의 변천과 사고모형의 발전

지금까지 안전에 대한 생각의 발전은 원인과 메커니즘에 대한 생각의 발전과 맞물려 설명할 수 있다. 사고의 원인은 사회적으로 알려진 기원 또는 사고 이유 특히 실패한 성분, 부분, 구성요소가 어떻게 사고의 원인이 되었는지를 보여주었다. 새로운 사고는 인과관계로 전제된 기본적 가설을 바꾸거나 도전하기보다는 새로운 종류의 원인을 찾아내고 이를 도입함으로써 시스템 위험수준의 개선을 목표로 대응방안을 도출하고 있다.

1) 하인리히 법칙이란 대형사고 발생 전에 관련 된 수많은 사고와 경미한 징후들이 존재한다는 것을 밝힌 법칙을 말한다.

2) 도미노 모형이란 유전적 요인, 사회적 환경 → 개인적인 결함 → 불안정한 행동 및 불안정한 상태 → 사고 → 상해라는 요소 중에 한 가지 요소라도 제거되면 사고는 발생되지 않는다는 이론이다.

3) Erik Hollnagel, 윤완철, 홍성현, “안전패러다임의 전환 I”, 세진사, 2016, p34~37면, 인용

1

안전 1세대 : 대부분의 위험은 사용된 기술로부터 유래³⁾

시스템 안전 1세대 기술의 사고 모형은 ‘선형적 인과관계’로 사고가 일어난다고 해석하였으며 안전에 대한 생각과 발전은 사고는 기술요소의 주된 원인을 찾고 제거함으로써 예방하는

방법으로 사고의 원인을 분석하였다. 사회 기술 시스템이 그다지 복잡하지 않은 경우 전문가는 하드웨어 구성 요소의 고장이나 오작동과 같은 기술적인 이유로 문제가 발생하고 기술의 발전으로 사고와 재해를 예방할 수 있다고 생각하였다. 하인리히 사고 피라미드와 같은 이론은 과거 단순작업위주의 공장과 같은 경우는 부정적인 결과의 원인 요소를 찾고 제거함으로써 예방이 가능하였다. 따라서 재해예방 위험성평가는 부정적인 결과의 수가 가능한 낮은 상태를 유지할 수 있는 평가기법이 활용되었으며, 주요평가 기법은 위험과 운전분석(HAZOP)⁴⁾, 고장모드 및 영향분석(FMEA)⁵⁾, 사건수 분석(ETA)⁶⁾, 결합수 분석(FTA)⁷⁾ 등으로 사고원인을 분석하였다.

2 안전 2세대 : 인간의 오류 시대(인간-기계 인터페이스 고려)⁸⁾

첨단 기술이 도입됨에 따라 시스템 안전 2세대인 ‘인간의 오류 시대’는 시스템 운영자 또는 사용자의 용량한계를 초과한 시스템 복잡성과 인적오류로 인한 조직에 잠재한 문제들이 중첩되어 사고를 일으킨다고 보았다. 석유화학, 운송, 항공과 같은 새로운 산업들은 과거 목재, 금속, 제련공장의 작업조건과는 달랐다. 따라서 노동자의 신체적, 인지적 특성에 적합한 인간-기계 인터페이스를 고려하여 위험 경보 우선순위에 따라 중요하지 않은 경보 억제 시스템이 도입되었다. 확률론적 위험도평가(PRA)⁹⁾, 인적신뢰도평가(HRA)¹⁰⁾ 등 인간 공학적 시스템을 안전시스템에 반영하여 사고 발생 가능성을 크게 줄일 수 있었다.

3 안전 3세대 : 기술, 인간 그리고 조직의 오류 시대¹¹⁾

1980년대 이후 기술, 인간, 경영, 조직 및 사회 내에서 잘못된 상호작용으로 광범위한 피해를 초래하는 일이 발생하였다. 체르노빌 4호기 사고, 우주왕복선 챌린저호 사고 등이 이러한 예로, 조직 간의 의사소통 결여와 의사결정 태도 결여와 같은 조직적 요소가 사고의 원인이었다. 이러한 사고 후 안전 3세대인 ‘사회 기술적 상호작용 시스템’은 안전문화라는 개념을 도입해 조직에 대한 이해와 시스템을 반영할 필요성이 대두되었다. 레질리언스 엔지니어링은 이러한 필요성으로 제안되었다.

4) 위험과 운전분석(Hazard & Operability studies)

5) 고장모드 및 영향분석(Failure Mode and Effects Analysis)

6) 사건수 분석(Event Tree Analysis)

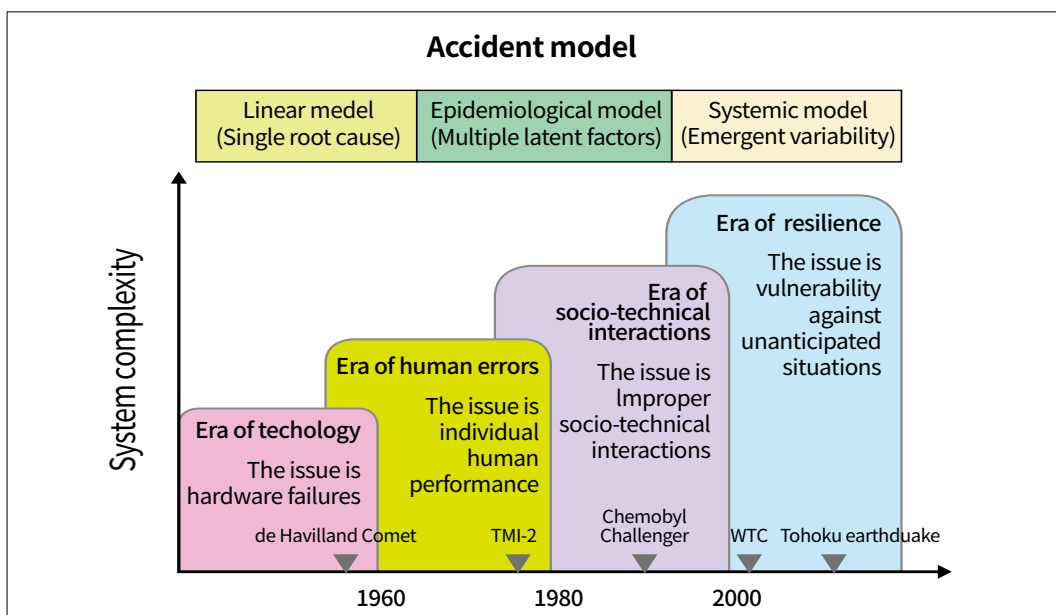
7) 결합수 분석(Fault Tree Analysis)

8) Erik Hollnagel, 윤완철, 홍성현, “안전패러다임의 전환 1”, 세진사, 2016, p37~39면, 인용

9) 확률론적 위험도평가(Probabilistic Risk Assessment)

10) 인적 신뢰도평가(Human Reliability Analysis)

11) Erik Hollnagel, 윤완철, 홍성현, “안전패러다임의 전환 1”, 세진사, 2016, p39~40면, 인용



[그림 1] 시스템 안전 패러다임의 변천(아래)과 사고모형의 발전(위)

레질리언스 엔지니어링 (Resilience Engineering)의 정의 및 관련 평가 기법



1. 레질리언스 엔지니어링 (Resilience Engineering)의 정의

(1) 레질리언스(Resilience) 등장과 개념

Resilience(레질리언스)는 ‘to jump back’, ‘to rebound’ 또는 ‘to recoil’을 의미하는 라틴어 ‘resilio’를 기원으로 하며, 심리학과 생태학을 중심으로 등장하기 시작하여, 1973년 생태학자 Holling의 논문 ‘Resilience and stability of ecological systems’을 통해 처음 소개되었다.¹²⁾ 이후 공학, 환경공학, 에너지, 농업 및 생명공학뿐만 아니라 사업관리 및 회계, 경영학, 경제학, 정치학, 인문지리학 등 더욱 폭넓은 학문에서 채택되어 다양한 논의가 이루어지고 있다.

생태학자 Holling은 주로 예기치 못한 외부의 변화와 방해에 노출된 시스템의 동작을 정량적 관점에서 검토하기 위해 레질리언스 개념을 사용하였으며, 레질리언스를 “시스템 내 관계의 지속성”, “변화와 방해(disturbance)를 흡수하고, 인구나 상태변수 간의 동일한 관계를 유지하는 시스템 능력(Holling, 1973)”이라고 정의하였다.¹³⁾

12) Holling, C. S., “Resilience and stability of ecological systems”, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 4, pp. 2~24, 1973. 인용

13) “a measure of the persistence of systems and of their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables(Holling, 1973, p.14)

이러한 레질리언스 개념은 생태학에서 파생되어, 복잡성과 예측불가능성이 높아진 현실에서 사회경제분야, 제도분야로 확산되어 적용되고 있다. ‘Resilient children, resilient communities, resilient societies’에 대한 최근의 연구는 이를 반영하였고, 레질리언스를 외부의 압력이나 충격에서 원래 상태를 유지하고, 복원하는 능력의 관점이 아닌 외부의 영향에 대한 자기조직화(selforganization) 또는 지속적인 학습(learning)을 통한 적응(adaptation)으로 이해하려는 학계의 움직임도 존재하고 있다.¹⁴⁾

(2) 레질리언스(Engineering Resilience) 개념의 확장

(가) 공학적 개념(Engineering Resilience)

엔지니어링 레질리언스(Engineering Resilience)은 가장 전통적인 레질리언스 개념으로 1973년 Annual Review of Ecology and Systematic 학술지에 캐나다 생태학자 Holling이 ‘Resilience and Stability of Ecological System’을 발표했던 이론에 근거하고 있다.¹⁵⁾

초기 생태학자들은 균형 상태(Equilibrium or steady state)에 있던 시스템이 외부의 방해(Disturbance)에 의해 일시적으로 균형이 깨질 때 이에 대한 회복시간을 레질리언스로 정의하였다.¹⁶⁾ 즉, 공학적 레질리언스는 외부에 가해진 방해로 인해 시스템의 균형이 깨졌을 때 얼마나 빠른 속도로 균형을 회복할 수 있는지에 초점을 맞추고 있으며, 회복에 소요되는 속도를 강조하는 개념¹⁷⁾이다. 또한, 기능의 효율성, 시스템의 불변성과 예측가능한 단일의 안정 상태에 초점을 맞추는 개념¹⁸⁾으로 표명하고 있다.

(나) 생태적 개념(Ecological resilience)

생태적 레질리언스(Ecological resilience)은 이전 상태로 되돌아오는 능력 그 이상의 의미를 지니게 된다. 공학적 의미에서의 회복력은 되돌아오는 기능 그 자체에 주목했으나, 생태학에서의 회복력은 시스템 차원에서의 발생하는 변화로 설명하고 있고, 이를 위해서는 일정 시간이 필요하거나 혹은 이전과 동일한 상태로 회복 불가능한 경우도 발생하는 것으로 설명할 수 있다.¹⁹⁾

14) 한국해양수산개발원, “기후변화 대응을 위한 연안지역 레질리언스 강화 방안”, 2009. 12, 24면, 인용.

15) Thoma, K. (Ed.). (2014). Resilien-Tech: Resilience-by-Design: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen. Herbert Utz Verlag.

16) 서지영 외 4명, “미래위험과 회복력”, 과학기술정책연구원, 2014, 13면, 인용.

17) Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global environmental change, 16(3), 253-267.

18) Pisano, U. (2012). Resilience and Sustainable Development: Theory of resilience, system thinking and adaptive governance, ESDN Quarterly Report N°26, European Sustainable Development Network.

19) 서지영 외 4명, “미래위험과 회복력”, 과학기술정책연구원, 2014, 17면, 인용.

(다) 사회-생태학적 개념(Social-ecological resilience)

사회-생태학적 레질리언스(Social-ecological resilience) 개념은 주로 자연에 의한 위험과 밀접히 연관되어 이해되었으나, 사회과학의 영역으로 회복력 개념의 활용이 확장되어 경제학 또는 사회적인 영역에서 발생하는 위험과 관련하여 활용되고 있다.²⁰⁾ 또한 사회과학분야에서 회복력은 “혼란 속에서도 본래의 기능과 구조, 정체성을 유지할 수 있도록 하는 능력”으로 이해되고 있다.²¹⁾

여기서 주목해야 할 부분은 공학적, 생태학적 회복력 개념에서 볼 수 없었던 사회적, 정치적 변화가 주요 충격요소로 작용한다는 점이다. 이러한 충격에 의해 그 사회 내의 권력관계, 자원배분의 질서와 같은 공동체 구성원 사이에 존재했던 상호 작용의 규범에 변화를 가져온다는 것을 주목해야 할 것이다.²²⁾

(3) 레질리언스 엔지니어링(Resilience Engineering)의 정의

레질리언스 엔지니어링(Resilience Engineering)은 시스템 안전에 대한 최신의 개념이며 2000년대 초반 인지공학적 안전 연구학자 Hollnagel 등에 의해 주창된 후 널리 인정받는 시스템 안전 개념이다. 레질리언스 공학은 시스템안전을 기존 방식인 “감수할수 없는 위험으로부터 벗어남”이라고 이해하기보다 “변동적인 조건하에서도 성공하는 능력”이라고 정의할 수 있다. 이와 같이 내외부 변화에 대응하여 사고 회피 능력을 유지하는 것이다. 안전탄력성을 유지하려면 시스템은 모니터링, 변화대응, 조직학습, 장기예측 등 4대 역량을 갖추어야 한다.²³⁾

20) Christmann G, Ibert O, Kilper H. et al.(2012), “Vulnerability and resilience from a socio-spatial perspective: Towards a theoretical framework”, IRS Working Paper, 45, Erkner: Leibniz Institute for Regional Development and Structural Planning, Available from http://www.irs-net.de/download/wp_vulnerability.pdf.

21) Walker, B. et al.(2004), “Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems”, Ecology and Society, 9(2), p. 5.

22) 서지영 외 4명, “미래위험과 회복력”, 과학기술정책연구원, 2014, 17면.

23) Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2006). Resilience engineering: Concepts and precepts. Ashgate Publishing, Ltd

2. 레질리언스 엔지니어링 관련 평가 기법

레질리언스 공학의 이론적 개념을 기반한 위험성 평가 기법은 Accimap, STAMP, FRAM이 가장 널리 실험적으로 적용되고 있다.

(1) Accimap(Rasmussen, 1997)

Accimap은 사고를 보는 관점을 도미노이론에서 시스템 문제로 관점을 이동한 분석으로, 전체 시스템 상호작용을 고려한 분석이다. 복잡한 사회시스템에서 이 시스템 관련 당사자와

조직간의 수직적 구조를 분석논의에 포함시켰다. Rasmussen은 정부, 규제자(regulator), 회사, 경영자, 관리자, 노동자라는 6가지 계층을 가져와 그들의 상호작용을 분석했다.

즉, 계층간 상호작용의 정의를 통하여 조직적 문제 추적이 가능한 분석이다.

(2) STAMP(Leveson, 2004)

Leveson은 빠른 기술의 변화에 따라 새로운 형태의 사고들이 발생하고 있고 과거의 사고와 달리 현재와 미래의 사고는 막대한 피해를 초래할 것이라 예측했다. 이는 시스템의 복잡성과 더불어 인간과 기계간의 복잡해진 관계에서 비롯된다고 보았다.

STAMP는 사회기술적 제어 모형으로 사고원인을 사람, 환경 및 사회까지 확대 고려하고 있으며 분석 관점은 준수사항이 중심이며 설계오류, 기계설비 결함, 개별요소의 상호작용, 사람, 조직, 환경 및 사회 범위까지 확대하여 시나리오 구성이 가능하다.

(3) FRAM(Hollnagle, 2004)²⁴⁾

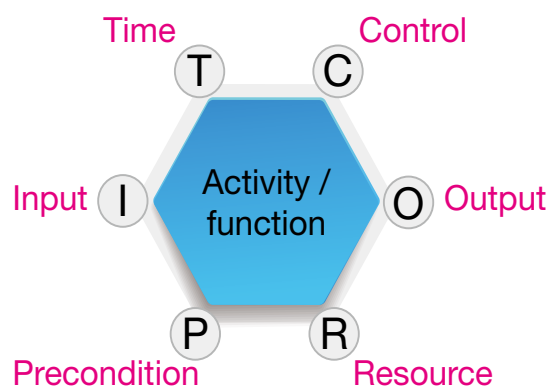
Hollnagle은 예기치 않은 상황들이 결합되어 사고가 발생하며, 이를 비선형적 모델을 통해 분석했다. FRAM은 사고의 원인을 동적 시스템에서의 복잡한 상황을 세세히 설명하면서 그 대책과 유형을 찾는 데 매우 효과적인 방법이다.

사고분석 및 위험도 분석으로 활용이 가능하고 입력, 출력, 선행조건, 자원, 제어, 시간 등 6개 기능간의 상호작용을 분석하는 안전 시스템이어서 위험성평가를 통한 위험성의 파급현상 표현하고 있으며 모든 정상과 이상의 기술을 통하여 사고 영향 기능과 요인의 발견을 통한 시스템 개선방안을 도출이 가능하다.

세 방법론을 비교하자면 Accimap은 분석시간이 짧고 필요한 데이터 수가 적다. 또한 복잡성이 적으며 사용하기 쉽고 매우 포괄적이다. 반면 STAMP와 FRMA는 Accimap에 비해 분석시간이 많이 걸리지만 이는 데이터를 많이 사용하기 때문이다. STAMP는 여러분야에 적용하기 매우 쉽다는 장점이 있다. FARM은 계층적 구조를 필요로 하지 않는 분석에 적용할 수

24) FRAM(Functional Resonance Analysis Method)

있다는 장점이 있다.



[FRAM 다이어그램 형식]

레질리언스 엔지니어링 활용의 향후과제



국가재난안전관리 정책 및 ICT 기반의 국가 안전관리 패러다임 전환 전략 등 국내 다양한 분야에서 이미 안전관리 패러다임 전환 전략에 대한 연구가 수행되었으며 행정안전부, 국토교통부 등 정부부처에서도 재난원인조사 워크숍을 통해 레질리언스 공학과 사고조사 기법 등을 소개하고 있다.

레질리언스 공학 관련 사고분석에 관한 외국 논문은 STAMP, AcciMap, FRAM 등의 개념에 입각한 3세대 시스템적 사고모형에 집중되고 있다. 이는 세계적으로 시스템 안전에서 새로운 안전 패러다임 전환을 위한 연구가 진행 중이라는 사실을 뚜렷이 나타낸다.

사고분석 및 위험도분석에서 시스템적인 사고 및 전체론적 관점을 실무적으로 활용하기 위해서는 강력한 시스템 표현 및 분석도구가 필요하다. 과거의 선형적인 인과관계에 근거한 전통적인 사고분석 및 위험도분석 기법은 안전-1의 원리에 맞는 안전시스템 표현 분석이 불가능하다.

레질리언스 공학을 위한 조직안전역량 평가도구는 레질리언스 능력분석 RAG(Resilience Analysis Grid)가 있다. 시스템의 능동적 적응능력 및 조직 내의 기능을 상호 모니터링하여 안전한 시스템이 유지되는지를 평가하는 역량진단방법이다. 변화하는 산업환경과 고용환경 변화에 능동적으로 대응하고 기존

한계를 극복하기 위해서는 산업안전 관리시스템에 레질리언스 엔지니어링 적용 안전 방법론 고찰을 통해 국내의 제도와 문화 실정에 맞추어 적용해볼 수 있는 산업안전 관리시스템을 고민할 필요가 있다.

주요 선진국의 레질리언스 신개념 적용 사례를 보면 미국은 OSHA(Occupational Safety and Health Administration) 안전보건 권고안, DoE(Department of Energy) 기술보고서 및 영국 HSE(Health & Safety Executive) 연구 및 컨설팅을 통해 사고분석 및 위험도평가에서 전향적 접근 및 시스템 접근법을 강조하고 있다. 따라서 변화하고 있는 산업환경과 고용 환경 변화에 능동적으로 대응하고 국내 산업현장에서 레질리언스 엔지니어링을 기반으로 한 위험성평가 기법을 적용해볼 수 있는 사례 개발을 위한 연구가 필요하다.



참고문헌

- Christmann G, Ibert O, Kilper H. et al.(2012), “Vulnerability and resilience from a socio-spatial perspective: Towards a theoretical framework”, IRS Working Paper, 45, Erkner: Leibniz Institute for Regional Development and Structural Planning, Available from http://www.irs-net.de/download/wp_vulnerability.pdf.
- Erik Hollnagel, Safety- I and Safety- II : The Past and Future of Safety Management
- Erik Hollnagel, FRAM : the Functional Resonance Analysis Method
- Erik Hollnagel, Resilience Engineering in Practice
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global environmental change, 16(3)
- Holling, C. S., “Resilience and stability of ecological systems”, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 4
- Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2006). Resilience engineering: Concepts and precepts. Ashgate Publishing, Ltd
- Pisano, U. (2012), Resilience and Sustainable Development: Theory of resilience, system thinking and adaptive governance, ESDN Quarterly Report N°26, European Sustainable Development Network.
- Thoma, K. (Ed.). (2014). Resilien-Tech: Resilience-by-Design: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen. Herbert Utz Verlag.
- Walker, B. et al.(2004), “Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems”, Ecology and Society, 9(2)
- Dohyung Kee(2017), Comparison of Systemic Accident Investigation Techniques Based on the Sewol Ferry Capsizing, J Ergon Soc Korea 2017; 36(5): 485-498
- 윤완철, 함동한, 재난원인기관 공동 워크샵 발표자료, 국립재난안전연구원, 2019
- 서지영 외 4명, “미래위험과 회복력”, 과학기술정책연구원, 2014
- 한국해양수산개발원, “기후변화 대응을 위한 연안지역 레질리언스 강화 방안”, 2009. 12

03

ISSUE

ISSUE REPORT

‘위험의 외주화’ 근절을 위한 도급승인제도 주요내용과 과제

산업화학연구실 **이권섭** 부장



산업안전보건법 개정 취지



산업안전보건법(이하 산안법)은 1981. 12. 31일(시행 1982. 7. 1일) 제정되어 1990. 1. 13일 한차례 전면개정 되었다. 이후 산안법은 28년만인 2018. 12. 27일 2차 전면개정이 이뤄졌다. 이번 산안법 전면개정은 태안화력발전소 청년노동자故김용균 사망사고(2018. 12. 10일) 이후 ‘위험의 외주화’를 막기 위해 보호대상을 확대하고, 도급 제한과 하청의 재하청을 금지하는 조치를 통해 원청의 안전보건책임을 강화한 내용이 핵심이다.

안전보건공단에서는 지난 1월 30일 안전문화캠페인 새 슬로건으로 “안전은 권리입니다.”를 발표하였다. 일하는 사람이라면 원 하청, 국적, 성별을 불문하고 안전은 차별없이 누려야 할 기본 권리라는 점을 강조하였다. 공단에서는 안전권 확보를 위한 국민적 참여를 유도하겠다는 의지로 새 슬로건을 개발하였다. 사업주에게 안전은 선택과 배려가 아니라 반드시 이행해야 할 책임이며, 노동자는 일터 안전을 요구할 권리가 있으며, 언제 어디서든 누구든지 안전을 기본 권리로 노릴 수 있는 인식 확산의 의지를 담고 있다.

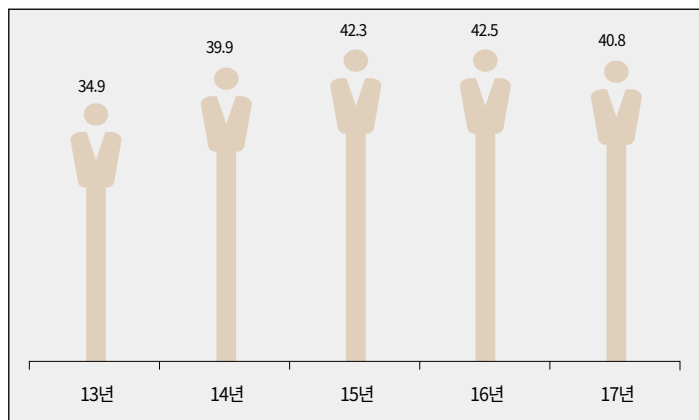
이와 같은 산안법 개정과 공단의 새 슬로건 채택의 취지는 ‘위험의 외주화’ 등을 근절하여 보호 대상의 권리를 강화하고 안전한 삶을 보장하자는 것이다. 도급 금지와 도급 승인이라는 것은 산업재해 예방적 관점과 안전 문화적 관점에서 참으로 매력적이다. 하도급 노동자를 보호하기 위해서 이보다 더 확실하고 명쾌한 해결책은 없어 보인다. 잘만하면 이를 통해 유해 위험한 작업의 외주화를 근절할 수 있는 수단일 수 있다.

우리나라는 2017년 기준 연간 1,780여명의 근로자가 사고로 사망하였다. 경제개발협력기구(OECD) 국가 중 1, 2위를 다투는 사망률이다. 또한 사내 하도급에 위한 기업의 ‘위험의 외주화’에 따른 하도급 소속 근로자의 사망 비율이 상대적으로 매우 높다. 사업장 안전보건관리와 책임의 일차적 주체가 기업이라는 점을 고려하면 지금의 상황에서 기업의 안전보건관리의 책임을 강화할 수밖에 없다. 원청업체에서 하청업체에 유해·위험한 작업을 일임하지 않고 원청업체가 직접 유해·위험한 작업을 진행하고, 하청업체의 작업관리를 철저하게 할 필요가 있다.

하청노동자를 위한 도급인가 제도개선 필요성



우리나라는 산업재해로 인한 근로자의 사고 사망자 수가 여전히 높은 수준이다. 유해 위험한 작업이 대기업(원청)에서 중소기업(하청)으로 외주화되는 과정에서 안전관리의 사각지대가 확대되고 있다. ‘위험의 외주화’ 확산에 따라 안전관리 능력이 취약한 하청업체 노동자의 사망사고 비율이 [그림 1]에서와 같이 '13년 34.9%에서 '16년 42.5%로 증가하는 추세 수준에 따라 고용노동부에서는 ‘중대 산업재해 예방대책’을 발표('17. 8. 17.) 하는 등 하청노동자 보호를 위한 다양한 정책을 추진하였다.



[그림 1] 하청업체 근로자의 사망자 비율(%)

(출처 : 고용노동부 - 중대 산업재해 예방대책(2017. 8. 17.) 등)

1) 근로자의 안전 및 보건에 유해하거나 위험한 작업

- 도급작업
- 수은, 납 또는 카드뮴을 제련, 주입, 가공 및 가열하는 작업
- 산업법 제 118조 제1항에 따른 허가대상물질 제조하거나 사용하는 작업

2) 도급인가 대상 작업 수행 사업장 : 6,065개소 (추정, ①+②+③-④)

- ① 공단의 업종별 통계 분류상 도급업종(용융도금업, 전기도금업 등) 2,995개소('16년 작업환경측정결과)
- ② 허가대상물질 제조 및 사용하는 작업 1,738개소('14년 작업환경실태조사 결과)
- ③ 수은, 납, 카드뮴 등 중금속 제련·주입·가공·가열 작업 1,497개소('16년 작업환경측정결과)
- ④ 도금(①), 허가대상물질 제조·사용(②), 중금속 제련 등(③) 사업장 중복 165개소

위험 주체별 안전관리 책임과 도급인가 제도의 강화를 위해 유해성·위험성이 특히 높은 작업(도금작업, 중금속 제련작업 등)¹⁾은 현행 제도와 같이 도급을 금지할 필요가 있다. 하지만 2014년 작업환경 실태조사 및 2016년 작업환경측정결과 등에 따르면 도급인가 대상 작업을 수행하는 사업장은 전국에 약 6천여개소 정도²⁾이지만, 대부분 원청이 직접 해당 작업을 수행하고 있으며, 도급인가 대상 작업을 사내 도급한 사업장은 20개소 정도인 것으로 조사되어 있어 도급인가 실적도 그렇게 많지 않은 것으로 확인되고 있다.

하청노동자 건강보호를 위한 실효성 있는 도급인가 제도를 관리하기 위해서는 그 대상 범위를 우선적으로 확대하고, 원청이 안전·보건조치를 완료한 후 도급을 주는 경우에만 인가를 승인할 수 있도록 할 필요가 있다.

개정제도

도급작업 등 유해·위험작업
산업재해 예방책임 강화



2019. 1. 15일 전면 개정되어 공포된 산안법에서는 도급작업 등 유해·위험한 작업에 대한 도급금지 및 도급인의 산업재해 예방책임을 강화하였다. 유해성·위험성이 매우 높은 작업의 사내도급 등 외주화로 인하여 대부분의 산업재해가 수급인의 근로자에게 발생되고 있는 ‘위험의 외주화’ 문제를 개선하기 위한 조치다[표 1 참조]. 개정 전 산안법과 달리 제5장 도급 시 산업재해 예방의 신설 구분을 통해, 제1절 도급의 제한(제58조(유해한 작업의 도급금지)~제61조(적격 수급인 선정 의무)), 제2절 도급인의 안전조치 및 보건 조치(제62조(안전보건총괄책임자)~제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치)) 등으로 법조문을 세분화하여 도급작업 등 유해·위험한 작업에 대한 산업재해 예방책임을 강화하였다.

[표 1] 산안법 전면 개정을 통한 도급 시 산업재해 예방책임을 강화 내용

개정 전	개정 후
제4장 유해·위험 예방조치 제28조(유해작업 도급 금지)	제5장 도급 시 산업재해 예방 제1절 도급의 제한 제58조(유해한 작업의 도급금지) 제59조(도급의 승인) 제60조(도급의 승인 시 하도급 금지) 제61조(적격 수급인 선정 의무)
제29조(도급사업 시의 안전·보건조치) 제29조의2(안전·보건에 관한 협의체의 구성·운영에 관한 특례)	제2절 도급인의 안전조치 및 보건 조치 제62조(안전보건총괄책임자) 제63조(도급인의 안전·보건 조치) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) 제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치)

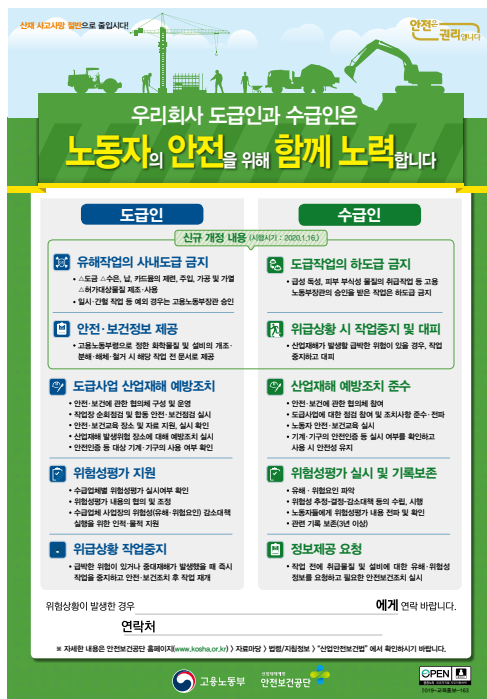
사업주 자신의 사업장에서 그 작업에 대한 도급을 원칙적으로 금지하되, 일시·간헐적으로 작업을 하는 등의 경우에만 안전 및 보건에 대한 평가를 받은 후 고용노동부장관의 승인을 받아 도급할 수 있도록 하였다. 또한 관계수급인 근로자에 대하여 도급인이 안전조치 및 보건조치를 하여야 하는 장소를 도급인의 사업장뿐만 아니라 도급인이 제공하거나 지정한 장소로 확대하여 도급인의 관계수급인에 대한 산업재해 예방책임을 강화하였다. 이러한 도급승인의 유효기간은 3년이며, 안전 및 보건에 대한 평가를 받은 경우 연장하여 승인할 수 있다. 사업주는 자신의 사업장에서 안전 및 보건에 유해하거나

위험한 작업 중 급성 독성, 피부 부식성 등이 있는 물질의 취급 등 대통령령으로 정하는 작업을 도급하려는 경우에는 고용노동부장관의 승인을 받도록 하였다. 마찬가지로 도급승인의 유효기간은 3년이며, 안전 및 보건에 대한 평가를 받은 경우 연장하여 승인할 수 있으며, 도급인 승인되었거나 연장승인 또는 변경승인을 받은 작업을 도급받은 수급인은 그 작업을 하도급 할 수 없도록 금지하였다.

도급인의 안전 및 보건 조치 이행과 관련된 내용은 다음과 같다.

- 1 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에는 그 사업장의 안전보건관리책임자를 도급인의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위한 업무를 총괄하여 관리하는 안전보건총괄책임자로 지정
- 2 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에 자신의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 안전 및 보건 시설의 설치 등 필요한 안전조치 및 보건조치 실시(다만, 보호구 착용의 지시 등 관계수급인 근로자의 작업행동에 관한 직접적인 조치는 제외)
- 3 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우 도급인과 수급인을 구성원으로 하는 안전보건협의체의 구성 및 운영하여 자신의 근로자 및 관계수급인 근로자와 함께 정기적으로 또는 수시로 작업장의 안전 및 보건에 관한 순회 점검
- 4 관계수급인이 근로자에게 실시하는 안전보건교육을 위한 장소와 자료의 제공 등의 지원 및 안전보건교육의 실시 확인
- 5 발파작업과 화재·폭발, 토사·구축물 등의 붕괴 또는 지진 등이 발생한 작업 장소에 대한 도급인의 경보체계 운영과 대피방법 등 훈련의 실시
- 6 위생시설 등의 설치를 위하여 필요한 장소의 제공 또는 도급인이 설치한 위생시설 이용의 협조
- 7 폭발성·발화성·인화성·독성 등의 유해성·위험성이 있는 화학물질 또는 그 화학물질을 함유한 혼합물을 제조·사용·운반·저장하는 반응기·증류탑·배관·저장탱크 등의 설비를 개조·분해·해체·철거하는 작업 및 해당 설비 내부에서 이루어지는 작업등을 수행하는 수급인에게 관련 안전 및 보건에 관한 정보를 제공³⁾ 등

3) 도급인이 안전 및 보건에 관한 정보를 해당 작업 시작 전까지 제공하지 아니한 경우에는 수급인이 정보 제공을 요청할 수 있으며, 도급인은 수급인이 제공받은 안전 및 보건에 관한 정보에 따라 필요한 안전조치 및 보건조치를 하였는지를 확인하여야 한다. 또한 수급인은 정보 제공 요청에도 불구하고 도급인이 정보를 제공하지 아니하는 경우에는 해당 도급 작업을 하지 아니할 수 있다. 이 경우 수급인은 계약의 이행 자체에 따른 책임을 지지 아니한다.



[그림 2] 도급인과 수급의 안전보건조치 내용

신규제도

도급승인 대상 화학물질의
확대 범위



위험 주체별 안전관리 책임과 도급인가 제도의 강화를 위해 신규로 도입된 산안법 제59조(도급의 승인)의 규정에 관련된 도급 승인의 인가의 범위 확대와 관련된 관리대상 범위는 다음과 같다. 첫째, 사업장에서 안전 및 보건에 유해하거나 위험한 작업 중 급성 독성, 피부 부식성 등이 있는 물질의 취급 설비를 개조 분해 해체 철거하는 작업 및 해당 설비 내부에서 이루어지는 작업에서 사용되는 화학물질 중에서 직업병 및 중독사고 발생빈도가 높은 화학물질(중량비율 1% 이상의 황산, 불산, 질산 또는 염산 등)⁴⁾을 중심으로 원청이 안전·보건조치를 완료한 후 도급을 줄 수 있도록 하여야 한다. 둘째, 유해하거나 위험한 작업으로서 「산업재해보상보험법」 제8조제1항에 따른 산업재해보상보험및예방심의위원회의 심의를 거쳐 고용노동부장관이 정하는 작업에 대하여 도급인가 관리를 실시하도록 하고 있다.

도급인가를 승인할 경우에는 반드시 원청이 안전·보건조치를 완료한 후 도급을 주는 경우에만 인가를 승인하고, 승인을 받은 작업을 도급받은 수급인은 그 작업을 하도급 할 수 없도록 관리할 필요가 있다. 도급의 연장승인 또는 변경승인의 경우에도 마찬가지로 원청이 안전·보건조치를 완료한 경우에만 인가될 수 있도록 승인하여야 한다.

4) '09 '14.4월간 직업병 및 중독사고 발생빈도가 높은 화학물질 분석결과: 황산 111건, 불산 77건, 질산 50건, 염산 46건(출처: 박두용 등, 도급금지 대상 등 선정 및 산안법령 개정을 위한 규제영향 분석, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원)

향후과제



2019. 1. 15일 전면 개정되어 공포(시행 : 2020. 1. 16일)된 산안법에서는 ‘위험의 외주화’를 막기 위해 보호 대상을 확대하고, 도급 제한과 하청의 재하청을 금지하는 조치를 통해 원청의 안전보건책임을 강화하였다. 법 제도의 개선만으로 첨예화된 사회적 이슈인 ‘위험의 외주화’ 문제를 모두 해결할 수는 없으며, 그 제도의 집행에 대한 행정적 책임을 강화하고, 제도의 운영에 따른 문제점을 수시로 발굴하여 개선할 필요가 있다. 도급 승인에 관련된 제한적인 화학물질의 관리범위를 산업현장의 직업병 및 중독사고 발생빈도가 높은 화학물질을 취급하는 작업 공간 질식 등의 사고에 의한 하청업체 근로자의 사망사고 발생 확률이 높은 원인물질(아르곤, 질소, 이산화탄소, 암모니아 등)의 누출 위험이 있는 작업 공간⁵⁾과 사고 사망자 수가 상대적으로 높게 발생하는 위험설비 점검 및 보수작업 등을 중심으로 유연성 있게 변경할 수 있도록 정기적인 정책적 관리가 있어야 한다. 도급승인에 관련된 안전 및 보건에 대한 평가업무를 실효성 있게 수행하고 관리할 수 있도록 도급승인 기술검토 점검표를 체크리스트 방식으로 작성하여 관리하고, 관련 점검표를 산업 현장에 온라인 방식으로 보급할 필요가 있다. 또한 도급이 승인되었거나 연장승인 또는 변경승인을 받은 작업에 대한 수급인의 해당 작업에 대한 하도급이 절대 산업현장에서 이루어질 수 없도록 엄정한 법집행 관리가 있어야 한다.

5) 질식 등의 사고에 의한 하청업체 근로자의 사망사고 발생 확률이 높은 원인물질(아르곤, 질소, 이산화탄소, 암모니아 등)의 누출 위험이 있는 작업 공간



참고문헌

- 고용노동부. 산업안전보건법(시행령, 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙). 2019
- 고용노동부. 산업안전보건법 전부개정 법률(제16272호). 2019
- 고용노동부. 산업재해 현황분석 2017. 2018.
- 고용노동부. 중대 산업재해 예방대책(2017. 8. 17일, 국정현안조정회의). 2017
- 고용노동부. 제4차 산재예방 5개년계획(2015~2019), 산업현장의 안전보건 혁신을 위한 종합계획. 2015.
- 박두용, 강태선, 임대성, 곽현석. 도급금지 대상 등 선정 및 산안법령 개정을 위한 규제영향 분석. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 연구용역보고서, 2014.
- 이권섭. 위험의 외주화 근절을 위한 유해작업 도급관리의 개선 필요성. 안전보건연구동향(ISSN 1976-345X)-안전보건 이슈리포트(ISSUE REPORT) Vol.10 No.1(통권70호): 26-33
- 한국경제. 안전보건공단, 9년 만에 새 슬로건. 2019. 01. 31, 사회 Y28면. 2019
- 한국산업안전보건공단. 2014년 전국사업장 작업환경 실태조사 보고서(2014-보건-1070). 2014
- 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원. 2016년 작업환경측정결과 전산자료. 2019

04

ISSUE

ISSUE REPORT

의료기관 종사자의 방사선 노출 현황 -방사선 중재기술(Intervention) 중심으로

직업건강연구실 **이상길** 부장, **최준혁** 연구원



영상의학 방사선 중재시술(Intervention)이란 칼을 대지 않고도 실시간 영상유도 방법을 통해 인체 내부를 치료하는 것을 말한다. 영상의학 방사선 중재시술은 의사의 눈 역할을 하는 방사선발생장치(X선)와 더불어 CT(Computed Tomography), CBCT(Cone Beam CT), PET-CT(Positron Emission Tomography CT)까지 기술이 발전되어 활용되고 있다.

최근 평균수명의 연장과 기술의 발전은 방사선 중재시술 수요를 증가시키고 있다. 이에 중재시술 범위가 확대되고 시술 시간도 늘어나 방사선에 대한 노출도 많아질 것으로 우려된다.

영상의학 방사선 중재시술에서의 필수요소인 전리방사선을 이용한 형광투시법(Fluoroscopy)은 의료인(의사, 간호사), 의료기사(방사선사)가 방사선에 노출되게 할 수 있다. 방사선 노출을 차단하기 위하여 납 가운(Apron), 갑상선 보호대 등을 착용하고 있으나 이는 2차 산란선¹⁾에 대한 방호에 지나지 않는다. 특히 보호장비를 착용하기 어려운 눈, 손 등은 방사선에 노출될 수밖에 없는 현실이다. 영상의학 방사선 중재시술을 실시하는 노동자들에 대한 방사선 노출 실태 파악 및 피폭저감화를 위한 방사선장해방호²⁾가 필요하다. 본 리포트를 통해 영상의학 방사선 중재시술에 참여하는 노동자들의 방사선 노출 실태를 조사해 피폭저감화 및 방사선장해방호 방법을 제시하고자 한다.

영상의학 방사선 중재시술이란?



영상의학 방사선 중재시술은 방사선 장비를 이용해 혈관과 각종 장기의 이상 유무를 판별하고, 혈관의 동태와 기능에 대한 치료 및 진단을 수행하는 기법이다. 일반적인 중재시술은 색전술(색전물질³⁾을 이용하여 출혈을 방지하거나 암종으로 가는 혈류를 차단하는 시술), 성형술(혈관이 좁아져 혈류의 통과 장애가 생기는 경우 혈관을 확장시켜 혈류 증가를 유도하는 시술), 용해술(혈전으로 인해 혈류의 통과 장애가 생기는 경우 혈전을 용해시키는 시술)이 대표적이다.

방사선 중재시술 방법은 혈관의 상태를 시각적으로 확인하기 위하여 조영제를 주입한 후 방사선을 투과시켜 영상을 획득하면서 수행한다. 외과 치료의 일반적인 절개 수술법에 비해 전신마취가 필요 없고, 환자의 통증이나 고통이 적다.

1) X선이 물질과 상호작용 후 산란에 의해 발생하는 방사선

2) 전리방사선에 대한 인체의 방사선 장해 발생 방지 방법

3) Embolic Material, 문제의 혈관을 막아주는 물질

따라서 신체적 부담도 적고 입원기간도 짧아 일상으로의 복귀가 빠르다는 장점으로 현재 널리 사용되고 있다.

방사선 노출 우려 노동자 분류



1) 의사

방사선 중재시술을 수행하는 주 시술자로서 환자 테이블, 즉 방사선발생장치 바로 옆에서 시술한다. 시술이 끝난 후에도 조영제 부작용 등 응급상황에 대비한다.

2) 간호사

의사의 진단 및 시술에 대한 보조 업무를 수행한다. 방사선 중재시술 시 혈압, 산소포화도 등 환자의 상태를 확인하고 시술에 필요한 물품을 제공한다.

3) 방사선사

간호사와 함께 의사의 진단 및 시술에 대한 보조 업무를 수행한다. 방사선 중재시술 시 촬영 및 영상관리 업무를 실시한다.

4) 간호조무사

방사선 중재시술에 사용되는 물품,약품, 린넨물 등을 준비하고 주변을 정리한다. 간호사 및 방사선사를 보조하여 시술 준비를 하고 시술이 끝난 후 소독 물품 등을 정리하고 세척한다.

방사선 노출 측정



방사선 중재시술시 방사선 노출이 우려되는 종사자들의 방사선 노출량을 평가하기 위하여 부산, 경남지역 대형 종합병원 3곳의 중재시술 장소를 대상으로 2018년 6월에서 8월까지 3개월 간 노동자가 일하는 지점을 중심으로 방사선량율을 측정하였다. 방사선량율 측정은 직독식 방사선계측기와 형광유리선량계(OSL)를 동시에 사용하여 측정하였다. 방사선량율 측정 위치는 제어실, 촬영실 출입구, 방사선발생장치 기기, 방사선 검출기 총 네 지점에서 측정하였다.



[그림 1] 형광유리선량계(OSL)와 소자



[그림 2] 방사선 중재시술 도면도 및 방사선량을 측정지점

제어실은 주로 방사선사가 근무하는 곳으로 방사선발생장치를 제어하는 곳이며 촬영실 출입구는 방사선 중재시술을 위하여 많은 사람이 드나드는 곳이다. 또한 시술자인 의사의 눈(수정체) 피폭선량을 측정하기 위하여 눈높이 위치의 방사선발생장치에 측정기를 설치하였다. 검출기는 실제 X-선이 발생되어 방사선 중재시술 시 시술행위가 이루어지는 영역으로 직접적인 방사선노출 가능성이 클 것으로 예상하였다.

[표] 방사선 중재시술 시 위치별 방사선량율 측정 결과

	제어실	출입구	방사선발생장치	검출기
최 소	0.12 $\mu\text{Sv/h}$	0.15 $\mu\text{Sv/h}$	24.74 $\mu\text{Sv/h}$	-
최 대	0.39 $\mu\text{Sv/h}$	14.07 $\mu\text{Sv/h}$	48.19 $\mu\text{Sv/h}$	2 mSv/h

방사선량율 측정 결과 제어실 지점은 최소 0.12 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 최대 0.39 $\mu\text{Sv/h}$ 로 비교적 낮은 선량으로 유지되고 있는 것을 확인하였다. 촬영실 출입구 지점은 출입문을 열고 닫음에 따라 선량차이를 보였는데 출입문을 닫을 경우 최소 0.15 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 최대 7.61 $\mu\text{Sv/h}$, 출입문을 열어놓았을 경우 12.7 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 14.07 $\mu\text{Sv/h}$ 의 방사선량율이 측정되었다. 방사선발생장치 지점에서의 측정 결과는 최소 24.74 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 최대 48.19 $\mu\text{Sv/h}$ 이며 검출기 위치에서는 최대 2 mSv/h로 가장 높은 선량이 측정되었다.⁴⁾

4) 일반적으로 자연방사선 및 인공방사선량은 땅에서 0.4 mSv/h, 유럽 1회 왕복 비행기 여행시 0.07 mSv/h, 흉부 X선 촬영시 0.1~0.3 mSv/h로 알려져 있다.

작업환경 현황 설문조사



영상의학 방사선 중재시술의 작업환경을 알아보기 위하여 방사선 중재시술을 수행하는 노동자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 방사선 중재시술 종사 노동자 총 52명(의사 4명, 방사선사 28명, 간호사 20명) 대상으로 2018년 8월 한 달간 무기명으로 실시하였으며, 조사항목은 방사선피폭관리, 방사선안전관리에 대한 의식 및 근무환경, 응답자 일반특성의 4가지 항목이다.

먼저 노동자의 방사선피폭관리분야는 법적으로 주의·통보 받은 경험, 건강진단의 유무, 피폭기록에 대한 이해, 법적 선량한도 숙지 및 측정기 활용에 관한 문항으로 구성하였다. 총 5명(9.6%)는 방사선피폭선량이 높음을 주의 및 통보받았다고 응답하였으며, 24명(46%)는 분기마다 보고되는 피폭기록을 잘 모른다고 응답하였다. 방사선은 오감으로 인지하지 못하기 때문에 방사선측정기를 보유해야하나 23명(44%)은 방사선측정기를 보유하고 있지 않다고 응답하였으며, 22명(42%)은 방사선측정기 보유상태를 모른다고 응답하였다.

방사선안전관리에 대한 의식측정은 방사선안전관리 규정 및 방사선 안전관리 지식에 대한 문항으로 구성하였다. 대다수의 노동자가 방사선의 위험 및 사고대응에 관한 지식은 높은 수준을 보이고 있었으며 방사선 노출에 대한 두려움으로 방사선 중재시술 시술의 현황을 파악하여 지속적으로 작업환경을 개선하기 위해 노력하고 있었다.

방사선 중재시술 근무환경은 시술시 개인선량계의 착용, 방사선방호장구의 착용에 관한 문항으로 구성하였다. 법적으로 규정되어 있는 개인선량계를 100% 착용한다는 응답자는 16명(29%)이었으며 개인선량계를 착용하지 않는다는 응답자들은 분실의 위험과 피폭선량 기록이 높다는 이유를 들었다. 방사선 중재시술을 직접 시행하는 의사는 납 가운, 갑상선보호대, 고글 등 개인 보호장구는 100% 착용을 하였으나 개인보호장구의 착용시 시술에 어려움을 느낀다고 응답하였다. 반면 방사선 중재시술을 직접 수행하지 않는 간호사 및 방사선사의 개인보호장구의 착용율은 낮게 나타났으며 납커튼 등 방사선차폐시설 사용의 빈도도 낮은 것으로 조사되었다. 이러한 개인보호장구의 미착용의 이유로는 대다수의 개인보호장구가

납으로 만들어져 무겁고 이에 따라 행동에 제약이 발생한다는 점, 보유하고 있는 개인보호장구 수량이 부족하다는 점 등을 꼽았다.

방사선 중재시술 종사자의 안전을 위한 방법은?



현재의 방사선 중재시술은 과거에는 없었던 기술과 기법을 사용하여 진단과 치료를 실시하는 방법으로 적용 분야가 점점 확대되고 있다. 방사선 중재시술 시간이 증가함에 따라 방사선에 대한 노출 가능성도 높아지고 있다. 방사선 중재시술 환경은 시술자에 따라 복잡하고 가변적이므로 최선의 방사선방호를 위해서는 시술자 본인의 방사선방호에 대한 상당 수준의 지식과 경험이 있어야 하지만 실제 환경은 그러지 못하다. 방사선 중재시술 의사에게 피부암(Sugita etc(2000), Freedman etc(2003) 등), 눈 수정체 혼탁과 백내장이 증가(Lie etc(2008), Vaňo etc(2016) 등) 했다는 여러 연구가 보고되고 있으며 이에 노동자 스스로 개인선량계 패용 및 개인방호장구 착용에 경각심을 가지고 방사선 노출을 줄이기 위한 노력이 필요하다.

방사선 중재시술의 모든 노동자는 개인피폭선량계를 착용해야 한다. 개인피폭선량계는 납가운 안에 패용하지 말고 되도록 납가운 안과 밖 양쪽 모두에 패용하여야 하며, 실제 방사선 노출량 모니터링이 필요하다. 또한 눈, 손 등의 부위에 따라 적절한 선량계를 착용하여 방사선 노출량을 정확하게 분석할 필요가 있다. 방사선피폭선량이 높게 측정되어 행정적인 제약 때문에 개인피폭선량계를 패용하지 않는 경우가 많으나 개인피폭선량계 패용은 반드시 필요하므로 미착용에 대한 경각심을 가져야 한다.

두 번째 납 가운, 납장갑, 고글(납안경) 등 개인보호장구를 착용해야 한다. 보통 납 가운은 0.25 mm, 0.35 mm 납 등가물을 내장하고 있으며 70~100 Kv 범위의 산란방사선으로부터 몸통을 95% 차폐하는 효과가 있다. 의사는 방사선 노출 중 영상 모니터를 바라보기 때문에 눈의 측면이나 하부에서 방사선에 노출될 수 있으므로 납안경을 착용하는 것이 중요하다. 또한 방사선 중재시술 시 불가피하게 시술자의 손가락이 방사선이 발생되는 영역(콜리메터⁵⁾)안으로 들어가는 경우가 많이 발생되므로 납장갑을 필히 착용해야 한다. 납장갑은 고가이고

5) 방사선의 방향과 확산을 한정시키기 위하여 납이나 텅스텐과 같은 방사선을 흡수하는 물질로 만든 기구

손가락의 감각이 둔화되어 착용을 기피하는 노동자가 많은데 만약 납장갑을 착용하지 않으면 콜리메터 범위 안에는 절대 들어가지 않도록 주의한다.

세 번째 납 장막, 납 커튼 등 방사선 차폐 시설 활용이다. 천장걸이형 납 아크릴 차폐의 적절한 사용으로 머리 전체나 목 부위의 선량을 줄일 수 있으며 침상 말단에 차폐 커튼을 설치하여 하부의 방사선 노출량을 줄일 수 있다. 또한 바퀴가 달려 있는 이동식 차폐물을 사용하여 방사선 기기와 시술자 사이에 위치시켜 가변적인 상황에 따라 활용 할 수 있다.

마지막으로 방사선에 대한 이해 향상 및 교육 실시이다. 납 가운, 납커튼 등 방사선방호장구들은 산란선에 대한 2차 방호를 목적으로 만들어진 것이지 직접적인 1차 방사선에 대한 방어는 될 수 없다. 또한 1차 방사선에 차폐물이 들어가게 된다면 제동방사선의 발생으로 시술자의 선량을 증가시키는 효과가 발생된다. 따라서 교육을 통하여 방사선에 대한 특성을 정확하게 이해하고 외부피폭방지 3요소인 시간·거리·차폐(예를 들면 조영제를 주입하거나 시술이 이루어지지 않을 때는 환자로터 거리를 멀게 한다) 등 간단하게 방사선 노출량을 줄이는 방법들을 습득할 필요가 있다.

현대 의학에서의 방사선의 사용은 불가피하다. 따라서 방사선에 대한 정확한 이해와 인식을 바탕으로 노동자 스스로가 경각심을 가지고 자각할 필요가 있다.



참고문헌

- 최준혁, 이상길 등(2018). 의료기관 종사 노동자의 방사선 노출 관리방안. 산업안전보건연구원.
- ICRP Report no. 139. Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures.
- Sugita K, Yamamoto O, Suenaga Y, Seven cases of radiation-induced cutaneous squamous cell carcinoma, J UOEH 2000;22:259-267.
- Freedman DM, Sigurdson A, Roa RS, et al, Risk of melanoma among radiologic technologists in the United States Int, J Cancer 2003;106:556-562.
- Lie, Paulsen G.U, Wohni T, et al, Assessment of effective dose and dose to the lens of the eye for the interventional cardiologist, Radiat. Prot. Dosim 2008;132:313-318
- Va E, Gonzalez L, Fernandez J.M, Haskai Z.J, Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution in warranted. Radiology 2008;248:945-953

05

ISSUE

ISSUE REPORT

미세플라스틱의 건강영향 및 노출 가능성

직업건강연구실 중부권역학조사팀 이지혜 팀장



미세플라스틱, 무엇이 문제인가?



미세플라스틱(microplastics)은 작은 플라스틱으로, 처음부터 미세플라스틱으로 제조되거나 기존 플라스틱 제품이 부서지면서 생성된다. 일반적으로 미세플라스틱은 333 μ m로 정의하지만(Moore, 2001), 최근에는 5mm 보다 작은 입자로 정의하고 있다(Moore, 2008). 또한 미세플라스틱은 인위적으로 제조된 1차 미세플라스틱과 물리·화학적으로 인한 파쇄나 분해에 의한 2차 미세플라스틱으로 나눌 수 있다(이혜성 등, 2017). 한국에서는 1차 미세플라스틱 배출량이 2차 미세플라스틱 배출량보다 약 10배 많은 것으로 조사되었다.

미세플라스틱은 햇빛 차단, 표면 손상 등을 통해 해양 서식지 변형 또는 붕괴 등 해양과 해안 서식지에 지속적인 위협을 가하고 있다(박지혜, 2018). 또한 대기 및 물에 존재하는 잔류성 유기독성물질은 플라스틱에 잘 흡착되는데, 이를 통해 미세플라스틱을 섭취한 생물체의 독성물질 축적에 영향을 끼친다. 미세플라스틱은 생물증폭(Biomagnification)과 생물농축(Bioaccumulation)모두를 야기하는 것으로 알려져 있다(이혜성 등, 2017). 또한 생물이 섭취(ingestion)한 플라스틱은 소화기를 막거나 소화기 계통을 손상시키며, 때로는 포만감을 유발하여 생물을 굶어죽게 만들기도 한다. 미세플라스틱이 인간의 건강에 미치는 영향은 과학적으로 충분히 확립되지 않고 있다. 미세플라스틱 역시 흡입(inhalation) 노출 가능성이 있으며, 흡입은 직업적 노출의 중요한 경로이다. 따라서 현재 진행되고 있는 미세플라스틱과 관련된 환경 및 건강영향 연구결과를 정리할 필요가 있다. 또한 직업적으로 미세플라스틱에 노출될 가능성을 평가할 필요가 있다.

본 리포트에서는 미세플라스틱에 대한 종합 정보의 예로 미세플라스틱으로 인한 건강영향과 관련한 연구결과를 정리하여 쉽게 읽어볼 수 있는 정보를 제공하고자 한다. 또한 직업적으로 노출 가능성을 평가하고자 한다. 이를 통해 미세플라스틱에 대하여 조사하고 관심을 환기하여 국내 노동자 보건 관리에 도움을 주고자 한다.

미세플라스틱의 정의와 건강영향



아직까지 미세플라스틱에 대하여 국제사회와 각 국가에서 합의된 정의는 없는 실정이다. 일반적으로 미세플라스틱은 크기가 5mm 이하의 입자이며, 나노미터 크기의 입자까지 포함하고 있다(Moore, 2008). 현재 대부분의 국가에서 금지하고 있는 미세플라스틱은 1차 미세플라스틱 종류로 치약, 세안용 스크럽, 바디워시 등 생활용품과 화장품에 사용되는 플라스틱 입자이다(박정규 등, 2018). 또한 의약품과 산업 현장에서 사용되기도 한다(Galloway & Lewis, 2016).

미세 플라스틱은 환경을 파괴하는 것은 물론 인간의 건강을 위협한다는 점에서도 문제가 된다. 미세 플라스틱을 먹이로 오인해 먹은 강·바다의 생물들을 결국 인간이 섭취하게 되기 때문이다. 미세플라스틱에 포함되어 있는 물질로 비스페놀 A, 프탈레이트, 폴리염화비페닐(PCBs) 등 내분비계 교란물질 뿐만 아니라 다환방향족탄화수소(PAHs), 디클로로디페닐 트리클로로에탄(DDT) 등의 발암물질도 포함되어있어 그 관리가 필요하다(그린피스 과학연구팀, 2016).

플라스틱 입자가 유발할 수 있는 세 가지 독성 영향은 다음과 같다. 첫째, 플라스틱 입자 그 자체 때문이며, 둘째는 플라스틱에 흡착 된 유기 오염 물질의 방출이고, 셋째는 플라스틱 첨가제의 침출이다.

플라스틱 섭취의 영향에 대한 실험연구는 다음과 같다. 소화관 차단 및 물리적 상해, 산화 스트레스, 섭식 행동의 변화(Watts et al., 2015; Wright et al., 2013), 에너지 할당의 감소(Cole et al., 2015), 성장과 재생산에 대한 노크-온 효과(Sussarellu et al., 2016)가 있다. 또한 플라스틱 관련 물질이 조직으로 이동하여 호르몬 교란을 일으키며(Diamanti-Kandarakis et al., 2009), 호르몬 작용과 연관된 신호 전달 경로를 활성화시켜 잠재적인 독성 가능성이 있다.

Sussarellu 등(2016)은 굴을 연구했는데, 굴은 높은 생태학적 및 경제적 성과의 종석 종(keystone species)이다. 얕은 연안 해역에서 굴은 대개 암초를 형성하는데, 이는 거대한 양의 물을 여과하고 수질과 생물 다양성을 개선하는 역할을 한다. 연구팀은 성인 굴을 환경적으로 관련이 있는 미세

폴리스티렌(micropolystyrene)에 노출하였다. 생식주기의 중요한 지점에서 2개월 동안 환경적으로 적절한 농도의 미세 폴리스티렌에 성인 굴을 노출 시켰다. 노출 된 굴은 음식물 섭취량과 흡수 효율이 변화하였으며, 생식력(난자 생산량), 난모세포 질 및 정자 수영 속도가 감소하였다. 또한 이 영향에 이월 효과(carryover effect)가 있었다. 재생산의 감소를 유발하는 에너지 재할당은 미세플라스틱 만성 노출 연구에서 항상 언급되는 주제이다(Gall & Thompson, 2015). PVC 미립자로 오염된 퇴적물에 노출된 침전물 서식 벌레에서는 장 이동시간이 증가하고 지방 축적이 감소했다(Wright et al., 2013). 유사하게, 장기간 미세 폴리스티렌에 노출된 플랑크톤 요각류는 음식 소비를 줄였고, 결국 생식 결과가 감소하였다(Cole et al., 2015). 또한 조류 먹이에 대한 선호도가 하향으로 바뀌어 섭식 양상이 바뀌거나 후유증이 발생하였다.



미세플라스틱에 대한 실험동물 연구는 Lu et al.(2018)이 수행하였다. 수컷 마우스에서 폴리스티렌 미세플라스틱을 경구 노출한 결과 노출군에서 장내 미생물의 풍부성과 다양성에 변화를 나타냈고 간의 트리글리세라이드와 총 콜레스테롤 수치가 감소하였다. 이러한 결과는 폴리스티렌 미세플라스틱이 장내 미생물 구성을 변형시키고 마우스의 간 지질 장애를 유도 할 수 있음을 나타낸다. 결과적으로 동물에 대한 미세플라스틱의 건강 위험을 무시해서는 안된다고 결론짓고 있다.

미세플라스틱은 크기가 작으므로 다양한 개체군과 작용하여 협착, 염증반응, 타 기관으로 축적을 일으킨다(Wang et al.,

2016; Wright et al., 2013). 특히 공기 중 미세플라스틱원으로 의복이 지목되고 있는데 한 번 세탁시 1900개의 섬유(fibers)가 발생한다(Browne et al., 2011). 이로 인하여 공기 중에 미세플라스틱 오염이 일어날 수 있다.

미세플라스틱의 노출 가능성



미세플라스틱에 대한 인체 위해성은 아직 명확하게 규명되지 않았다. 관련 연구는 다음과 같다. 미세플라스틱은 흡입(inhalation) 또는 섭취(ingestion)로 노출될 수 있다(Wright & Kelly, 2017). 본 연구는 흡입 경로와 인체 영향에 대하여 언급한 최초의 논문으로 흡입하거나 섭취 한 경우, 미세플라스틱은 축적되어 면역 반응을 유도하거나 강화시켜 국소적 입자 독성을 나타낼 수 있다고 기술하였다. 만성 노출은 발생할 수 있는 만성 노출은 지속적 노출로 인한 효과로 더 큰 문제가 될 수 있다. 이것은 용량-의존적일 것으로 예상되며, 노출 수준에 대한 확고한 근거는 현재 부족하다. 또 다른 연구로 유럽 조개류 소비자에 대한 연간 식이 노출량은 1년에 11,000개의 미세플라스틱에 달할 수 있다고 추정하였다(Van Cauwenberghes & Janssen, 2014). 홍합, 굴과 같은 해산물은 특히 미세플라스틱에 노출될 가능성이 크다. 해산물에 미세플라스틱이 존재하면 식품 안전에 위협이 될 수 있지만, 미세플라스틱 독성을 평가하는 복잡성으로 인해 식품 내 미세플라스틱에 의해 야기되는 인체 건강에 대한 잠재적인 위험 예측은 아직 가능하지 않은 상태이다. Galloway와 Lewis는(2016) 사람이 해산물 섭취를 통해 미세플라스틱에 노출되었을 때 발생 가능한 다양한 영향에 대하여 제시하였다. 미세플라스틱이 인간의 체세포 및 조직에 직접적으로 작용할 수 있다는 것과 미세플라스틱의 표면에 흡착 및 침출될 수 있는 각종 독성 화학물질에 노출될 가능성이 있다. 또한 최근 유엔환경계획(UNEP)에서는 각국 정부로 하여금 해양오염과 생태계 파괴의 주범인 미세플라스틱에 대한 규제를 도입할 것을 권고하였다.

미세플라스틱의 환경 노출은 저농도로 노출될 가능성이 높지만, 직업적으로 노출되는 경우에는 고농도 미세플라스틱에 노출될 가능성이 있다(Prata, 2018). 노출 가능성이 높은 산업으로는 합성섬유 산업(Pimentel et al., 1975)과

염화비닐(vinyl chloride, VC)또는 염화폴리비닐(polyvinyl chloride, PVC) 산업(Xu et al., 2014)이 있다. 첫째, 합성섬유 산업에서는 합성섬유분진이 발생되는데, 구성성분으로는 나일론, 폴리에스터, 폴리우레탄, 폴리올레핀, 아크릴 및 비닐 유형 중합체가 있다(Pimentel et al., 1975). 이러한 합성섬유공장 노동자에서 직업병이 발생할 가능성에 주목할 필요가 있다. 현재 합성섬유 산업 관련 연구에서는 합성섬유의 흡인으로 인한 호흡기 증상에 초점을 맞추고 있다. 합성섬유에 노출된 기니피그(Guinea pigs)에서 호흡기에 병소가 발달했음을 관찰하였고, 만성노출로 인한 암의 경우에는 연관성을 보고한 연구와 연관성을 찾지 못한 연구가 있었다(Prata, 2018). 둘째, 염화비닐이 중합하면 염화폴리비닐을 생성하는데 이는 백색 분말의 형태이고 호흡성 분진을 형성할 수 있어 인체에 영향을 끼친다(Xu et al., 2004). 폴리염화비닐을 원료로 사용하는 작업장에서 직업적 노출이 가능하다. 이러한 직업적 노출로 인하여 천식 유사 증상, 외인성 알레르기 폐포염, 만성 폐렴, 만성 기관지염, 기흉 등의 가능성이 제기되었다(Pimentel et al., 1975).

미세플라스틱의 건강영향에 대한 제언



미세플라스틱은 아직 측정 방법과 노출 기준 등 이론이 정립된 분야는 아니며 건강영향에 대한 연구도 부족한 실정이다. 또한 관련 연구도 환경 분야와 이에 따른 건강영향의 연구가 대부분이다. 하지만 2018년 SBS는 공압식 공구에서 플라스틱이 발생하여 노동자의 건강이 위협받고 있다고 보도하였다(SBS, 2018). 공압식 공구는 공기의 압력을 이용해 모터를 돌려 작동하는 방식으로 들어간 공기는 날개를 돌린 뒤 밖으로 배출되고 있다. 이 모터 내부에 있는 날개는 대부분 플라스틱의 일종인 베이클라이트인데, 열과 마찰에 갈리면서 가루가 생기는 것으로 조사되었다. 공압식 모터 안에 들어가는 베이클라이트가 갈리면서 나온 가루를 모아 분석하였더니 성분에 포름알데히드가 들어있다는 제보가 보도되었다. 이 물질이 정확히 미세플라스틱의 정의에 해당하는지를 정립할 필요가 있으며, 이에 따라 환경뿐만 아니라 직업적 노출 가능성도 고려해야 하고, 노출기준을 어떻게 설정해야 하는지 등을 협의하여, 관리 방안을 마련할 필요가 있다.

전 세계적으로 미세플라스틱 사용을 규제하는 법안들이 통과되고 있다. 미국에서는 세정용품에 미세플라스틱을 사용할 수 없도록 했으며, 스웨덴에서는 화장품에 미세플라스틱 사용을 금지하고 있다. 우리나라의 경우 2017년 7월부터 미세플라스틱을 화장품에 사용할 수 없도록 규정하고 있으며, 해양수산부에서는 미세플라스틱 환경영향조사 결과를 2020년에 발표할 예정이다.

UNEP(유엔환경계획), OECD, WHO 등 국제기구에서는 미세플라스틱에 대한 직접적인 행동을 유도하는 저감활동과 함께, 관련 연구 수행, 정보 공유 등 네트워크 구성을 통한 기반 마련 등 간접적인 저감활동을 수행하고 있다(박정규 등, 2018). 직접적인 저감활동은 전반적인 플라스틱 저감활동의 일환으로 행해지는 경우가 대부분이다. 현재 미세플라스틱의 규제는 주로 제품 중심으로 이루어지고 있으며 화학물질 차원에서 원천적으로 미세플라스틱을 관리하는 수준에는 미치지 못하는 것으로 나타났다.

산업계 내의 저감 및 대체 활동은 주로 대체물질 활용이 용이한 화장품 업계를 중심으로 저감활동이 이루어지고 있다. 1차 미세플라스틱 산업분야 뿐만 아니라 2차 미세플라스틱 산업분야에서 미세플라스틱 저감 노력이 계속되기 위해서는 대체물질 개발과 함께 지속적인 소비자운동이 이루어져야 한다. 그 동안 다음과 같은 사항을 권고한다.

권고사항

- » 플라스틱 포장 재활용시 유해물질이 검출되지 않도록 처리하여 재사용 비율을 높임.
- » 재활용 되거나 퇴비로 사용 가능한 플라스틱 포장재 비율 증가시킴.
- » 불필요한 일회용 포장재는 제거하거나 다른 것으로 대체함.

미세플라스틱이 인체 건강에 영향을 줄 가능성이 있지만 현재로서는 노출 수준과 부담을 평가하는 것이 중요하다. 또한 미세플라스틱의 위해성 평가와 안전보건제도를 위한 시스템 구축을 위해서는 모니터링, 독성자료, 분석기법, 위해성 평가기법 등에 대한 추가적인 후속 연구가 필요하다.



참고문헌

- Browne MA, Crump P, Niven SJ et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ Sci Technol.* 2011; 45(21): 9175-9179
- Cole M, Lindeque P, Fileman E et al. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol.* 2015; 49(2): 1130-1137
- Diamanti-Kandarakis E et al. Endocrine-disrupting chemicals: An endocrine society scientific statement. *Endocr Rev.* 2009; 30(4): 293-342
- Gall SC & Thompson RC. The impact of debris on marine life. *Mar Pollut Bull.* 2015; 92(1-2): 170-179
- Galloway TS & Lewis CN. Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2016; 113(9): 2331-2333
- Moore CJ. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin.* 2001; 42(12): 1297-1300
- Moore CJ. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research.* 2008; 108(2): 131-139
- Lu L, Wan Z, Luo T et al. Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice. *Sci Total Environ.* 2018; 631-632: 449-458
- Pimentel JC, Avila R, Lourenco AG. Respiratory disease caused by synthetic fibers: a new occupational disease. *Thorax.* 1975; 30: 204-219
- Prata JC. Airborne microplastics; Consequences to human health? *Environmental Pollution.* 2018; 234: 115-126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043. Epub 2017 Dec 21.
- Sussarellu R et al. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2016; 113: 2430-2435
- Van Cauwenberghe L & Janssen CR. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut.* 2014; 193: 65-70



참고문헌

- Wang J, Tan Z, Peng J et al. The behaviors of microplastics in the marine environment. Mar Environ Res. 2016; 113: 7-17
- Watts AJR, Urbina MA, Corrales et al. Ingestion of plastic microfibers by the crab *Carcinus maenas* and its effects on food consumption and energy balance. Environ Sci Technol. 2015; 49(24): 14597-14604
- Wright SL & Kelly FJ. Plastic and human health?: A micro issue? Environ sci Technol. 2017; 21(12): 6634-6647
- Wright SL, Rowe D, Thompson RC et al. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. Curr Biol. 2013; 23(23): R1031-R1033
- Xu H, Verbeken E, Vanhooren HM et al. Pulmonary toxicity of polyvinyl chloride particles after a single intratracheal instillation in rats. Time course and comparison with silica. Toxicol Appl Pharmacol. 2004; 194: 111-121
- 박정규, 서양원, 조지혜 등. 미세플라스틱 관리동향 및 정책제언. 한국환경정책·평가연구원, 2018
- 박지혜. 미세플라스틱 오염현황 및 주요 국가의 관리방안과 시사점. 물 정책 · 경제. 2018; 31: 77-88
- 이해성, 한용원, 김경준 등. 미세플라스틱 검출법과 국내 배출량 추정. 한국폐기물자원순환학회 학술대회자료집. 2017
- SBS. 발암물질 뿜는 산업공구... 고스란히 노동자 '폐 속으로'. 강민우 기자, 2018.10.10.



06

ISSUE

ISSUE REPORT

연구자와 연구환경의 안전관리는 누구의 몫인가?

과학기술정책연구원 **서지영** 연구위원



* 본고는 연구실안전 연구자 그룹과의 토론을 통해 작성되었음을 밝힌다. 연구실 안전 연구자 그룹 구성원은 본고 집필자인 서지영 외, 박정임 순천향대 교수, 배선영 서울여대 교수, 김미경 덕성여대 안전관리자, 황현주 이화여대 안전관리자이다.

들어가며

지금까지 연구실이라는 시설, 설비 중심으로 안전관리가 이루어지면서 연구자 및 연구활동의 특성이 충분히 고려되지 못했다.

한 사람의 연구자가 전문적인 연구자로 성장하기까지 생애과정을 보면 긴 시간 대학에서의 연구활동이 밑받침이 되는 것을 알 수 있다. 장시간에 걸친 연구활동의 연속성은 안전관리 측면에서 중요하게 보아야 할 점이다. 작년 9월 S반도체 연구실에서 연구원이 사망하는 중대사고가 있었다. 이 사건은 오랜기간 대학의 연구실에서 연구활동을 하고, 비슷한 내용의 연구활동을 기업의 연구소에서 이어갔던 연구활동종사자가 기업 입사 후 약 2년 만에 사망에 이른 사건이다. 한 연구자가 대학에서의 연구과정에서 유해물질에 노출되어 피해를 입었다면, 본인이 자각하는 증상은 그 이후 생애과정에서 나타날 수도 있다. 이때 이 연구자의 건강권을 누가 보호해줄 것인가의 문제는 비단 대학만의 책임이나, 기업만의 책임은 아닐 것이다.

본고에서는 ‘연구실’이라는 공간과 ‘연구’라는 작업의 특수성을 고려했을 때, 현행 정부행정체계에서 취약한 점은 무엇이고, 앞으로 이를 보완하기 위해 어떤 논의와 연구가 진행되어야 하는지에 대해 살펴보고자 한다.

연구실 안전관리 현황



우리가 산업현장의 안전관리를 ‘산업 안전’이라고 부르듯, 연구현장의 안전관리는 흔히 ‘연구실 안전’이라 불린다. 안전에 대한 어떠한 법적 보호장치가 없었던 학생, 연구자, 교수 등 연구활동에 종사하는 사람들에 대한 보호의 필요성이 제기되면서 2005년 「연구실 안전환경조성에 관한 법률 (이하 연안법)」이 제정되었다. 산업현장은 산안법이, 연구현장은 연안법이 지킨다는 논리였다. 별도의 법 제정이 필요했던 것은 타 국가와는 달리, 우리나라에서 연구활동종사자들은 근로자로 분류되지 않아 산업안전보건법(이하 산안법)의 보호 대상이 아니기 때문이었다 (이익모, 2012; 박정임, 2016). 연구자들의 안전을 국가적 차원에서 보호하는 법적·제도적 장치가 마련된 것은 매우 큰 의의가 있다고 하겠다. 이후 「연구실 안전환경 조성 및 기반구축 종합계획」 (제 1차 2008년-2012, 2차 2013-2017, 3차 2018-

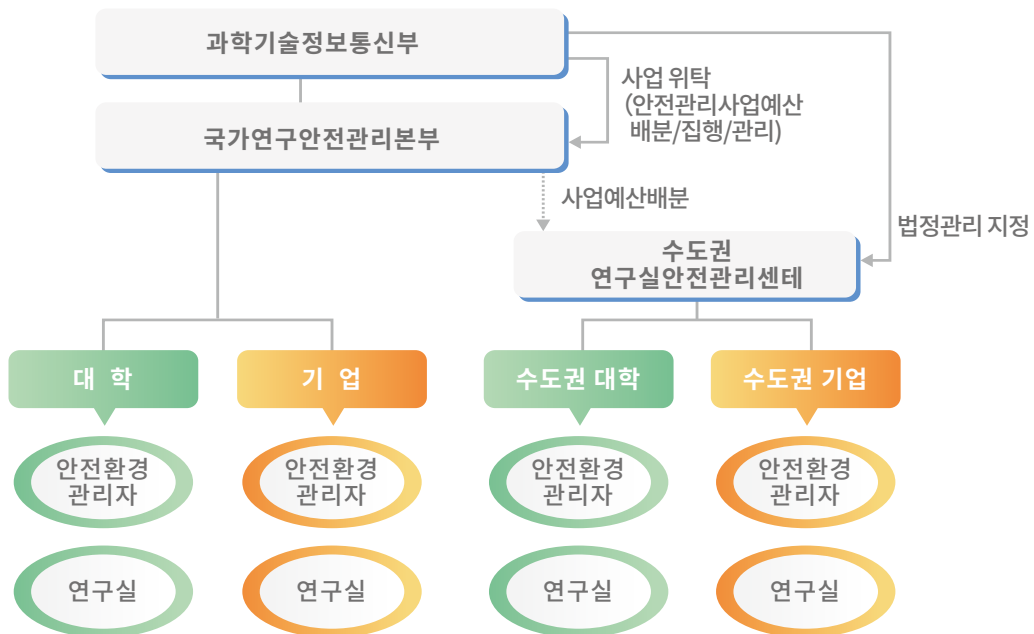
2022) 이 수립되면서 실태조사, 교육, 안전관리 우수 연구실에 대한 인증 등과 같은 다양한 제도가 차츰 마련되고, 시행 중에 있다. 이 제도에 영향을 받게 되는 우리나라의 총 연구기관과 연구실 수는 아래와 같다.

[표 1] 연구실안전법 대상 기관 수

구 분	대 학	연구기관	기업부설(연)	합 계
기 관 수	359	240	4,062	4,661
연 구 실 수	43,003	9,736	16,380	69,118

(출처: 과기부(2017) 제3차 연구실 안전관리 종합계획)

이 중에서 지금까지 연구환경의 안전관리와 관련해서 우리정부에서는 과학기술주무부처가 법·규정의 제정이나 관리체계 구축 등의 전반적 관리를 맡고 있고, 중점대상은 대학의 연구실이다. 기존 법(산안법)의 대상에 포함되지 못하여 안전관리의 사각지대에 놓여 있는 집단을 법적 보호아래 둔다는 연안법 취지에 가장 걸맞은 대상이 바로 대학의 연구자 및 연구실의 학생들이기 때문이다. 연안법 대상이 되는 대학의



[그림 1] 국가차원의 연구실 안전관리체계

수는 359개이지만, 한 대학 내에 연구실이 다수 존재하는 형태의 조직이므로 연구실로 보면 40,000 곳이 넘는다. 최근 기업부설 연구소를 중요하게 다루어야 한다는 인식이 과기부 내에서 커지고 있다. 국가 차원에서 수립한 연구실 안전관리 체계는 다음과 같이 도식화 해 볼 수 있겠다. (이 다음에 그림이 나와야하는데 그림이 왼쪽에 배치되어 있어서 이해하기 어렵습니다. 그림을 이 글 하단으로 배치 또는 다음장으로 배치할 수 있도록 재편집 부탁드립니다.)

즉, 가장 상위에 과학기술 주무부처가 있고, 국가연구안전본부가 정부의 위탁을 받아 안전관리사업의 기획 및 정책사업집행을 맡고 있다. 하위 실행조직으로는 수도권에 한해서만 별도로 수도권 안전관리센터가 있고, 나머지 지역에는 별도의 실행조직이 없다. 수도권을 제외한 지역의 대학들은 직접 국가연구안전본부의 관리 하에 있다.

출연연과 기업의 연구실은 현행법체계상 연안법과 산안법 공통 관리대상이다. 산안법에 우선권을 주고, 산안법으로 관리되지 못하는 위험인자들만 연안법에 의거해 관리하고 있다. 예를 들어 생물학적 유해인자(LMO)가 여기 해당한다. 기업연구소가 과기부의 관리대상이 되는 것이 정당한가에 대해 과기부는 기업의 연구활동에 국가연구개발사업 예산이 투입되기 때문이라는 입장이다.

[표 2] 국가연구개발사업 연구수행 주체별 투입 예산 및 비중

연구수행주체	2013		2015		2017	
	금액 (억원)	비중 (%)	금액 (억원)	비중 (%)	금액 (억원)	비중 (%)
합계	169,139	100.0	188,747	100.0	193,927	100.0
국공립연구소	8,198	4.8	9,579	5.1	10,016	5.2
출연연구소	69,923	41.3	78,235	41.4	78,838	40.7
대학	39,718	23.5	42,617	22.6	44,052	22.7
대기업	8,608	5.1	6,278	3.3	4,192	2.2
중견기업	6,608	3.9	6,130	3.2	9,504	4.9
중소기업	21,926	13.0	27,902	14.8	31,686	16.3
정부부처	4,477	2.6	6,181	3.3	4,692	2.4
기타	9,681	5.7	11,825	6.3	10,948	5.6

(출처: 국가통계포털, 2019년 4월 30일 접속)

연구실 안전관리 주요 정책과제는 제 1차~3차에 걸쳐 수립된 『연구실 안전관리 종합계획』을 통해 제시되는데, 제 1차에서는 법체계 정립에 중점이 가 있었고, 제 2차에서는 시설 및 설비의 안전관리를 넘어 사람과 환경을 고려하는 안전관리로의 질적 도약이, 제 3차에서는 자율적 안전관리 기반조성이 강조되었다 (교과부, 2008; 미래창조과학부 2013; 과기부 2017; 서지영, 2013).

연안법에서 정한대로 실태조사와 안전진단이 이루어지고 있으며, 연구활동종사자들은 일정시간의 교육을 필수로 이수해야만 한다. 유해물질을 다루는 연구실 연구활동종사자에 한해서 특수건강검진도 이루어지고 있다. 또한 사고의 사전적 예방이 강조되면서, 사전유해인자분석을 의무화 하고 있다. 안전관리 시스템상 갖춰야 할 구비요건들이 지난 2005년 이래로 차곡차곡 쌓여지고 있는 것이다.

그렇다면 우리는 법적으로나, 관리제도적으로나 상당히 앞선 시스템을 가지고 있는 것이 아닌가? 더구나 연안법에서는 연구활동종사자의 피해보상까지도 포함하고 있어, 실로 포괄적 권리 보호가 아닐 수 없다.

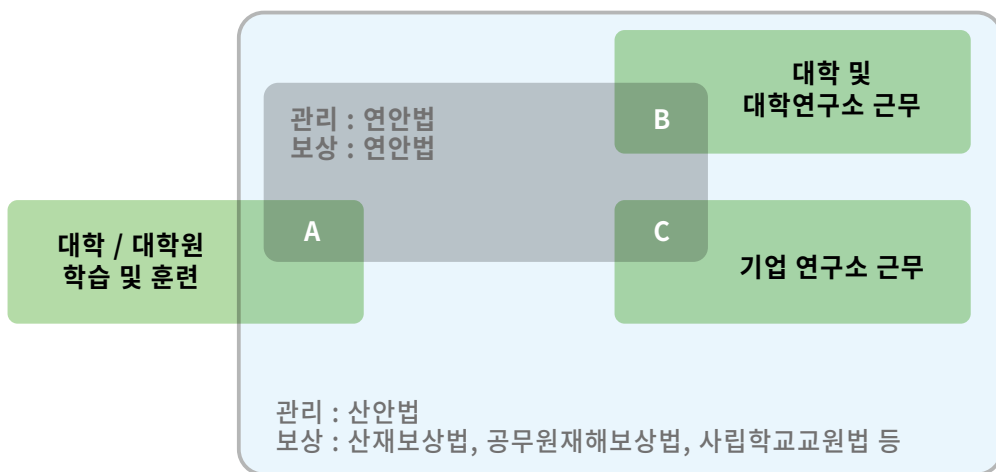
연구활동종사자는 완벽한 법의 보호와 권리를 보장받고 있다고 보아야 하는가? 우리가 눈여겨봐야 할 지점은 제도 그 자체가 아니라, 제도와 현실의 간극에 있다. 작년 9월 발생한 S반도체 연구실에서 이산화탄소 누출로 발생한 사망 사고도 바로 제도와 현실의 간극에서 비롯된 것이라 볼 수 있다.

연구실 안전관리의 문제점



그렇다면 왜 이런 간극이 발생되고, 쉽게 없어지지 않는 것일까? 여러가지 이유가 있겠지만, 가장 밑바닥에서, 광범위하게 연구실 안전관리와 관련한 다양한 행위에 구속력을 미치고 있는 구조적 문제를 꼽아 보면, 다음 두 가지를 언급할 수 있겠다.

첫째, 연구작업과 관련한 다양한 행위자들이 동일한 수준의 건강권과 안전권을 보장받지 못하고 있다. 다음은 대학에서 연구활동에 관여하는 사람들을 그룹화 해 본 그림이다.



A: 연구실에서 연구활동을 수행하는 학생, 산·학 협력사업으로 기업에 단기고용되어 훈련 중인 학생

B: 대학교수, 테크니션 등

C: 대학 소재 기업연구소 근무자로서 연구활동종사자

[그림 2] 대학의 연구활동에 관련된 다양한 행위자 그룹

위 그림의 A,B,C 모두 대학 내에서 연구활동에 관여하는 사람들이지만, 각 그룹이 받고 있는 법적 보호와 보상에 대한 권리는 조금씩 다르다. 예를 들어, B 그룹 중에서 대학교수는 여타의 연구활동종사자와 마찬가지로 연안법에 의거해 건강검진을 받거나, 안전관리교육을 받지만, 사고피해에 대해서는 공무원재해보상법(국립대의 경우)에 의해 보상받게 된다. 연구실에서 다양한 연구장비를 세팅하고, 또 때로는 폐기물처리까지 맡고 있는 테크니션들은¹⁾ 교직원으로 분류되어, 연안법 관리대상에 속하지 않는다. 학생들을 위한 예방적 관리와 사고 후 보상은 모두 연안법에 의거한다. 동일한 연구환경에서 연구를 하더라도, 연구자의 안전관리의 책임, 사고보상의 책임과 범위 등은 어디에 소속된 사람인지에 따라 달라질 수 있다는 것이다.

그러나 연구현장은 A,B,C 그룹의 구성원들이 한데 어울려 공동으로 작업하는 곳이다. 이러한 공동작업의 공간에 기업이라는 또 하나의 주체가 더해지면 안전관리와 보상에 관한 규범은 더욱 복잡해진다. 예를 들어, 대학에 소속된 학생이 대학부지 내에 건립된 기업연구소에서 진행하는

1) 이들 중에는 연구장비관리업무 뿐만 아니라, 안전관리업무를 겸직하는 경우도 있다. 안전 관리업무는 안전교육, 시설/설비관리, 폐기물처리 등 범위가 매우 넓은데, 이로 인해 건강유해물질과의 접촉 가능성도 높다고 볼 수 있다.

산학협력프로젝트에 참여할 때, 학생의 건강과 안전에 대한 예방적 관리는 연안법에 의해 보장받는다. 그러나 사고가 발생한 경우, 그 학생은 연안법에 의해 피해보상을 받게 되겠지만, 기업도 관리책임에서 벗어날 수 없으므로 산안법에 따른 조치가 뒤따른다.

연구라는 작업이 다양한 직위, 직무, 소속을 가진 사람들 간의 공동작업이라는 점을 생각했을 때, 과연 안전한 연구는 누가 책임져야 하는가의 문제를 생각해 보아야 한다. 특히 연구현장에서 발생하는 안전관리의 다양한 수요를 서로 다른 관할 법과 주무부처에 따라 즉각적으로 대응하는 것이 쉬운 일은 아닐 것이다. 대학에서는 산안법에 따른 규정까지 들여다보며 안전관리할 수 있는 역량이 안 된다는 볼멘소리가 나오고, 기업에서는 기업에 고용된 종사자가 아닌, 대학 소속의 연구활동 종사자의 예방적 안전관리의 책임을 적극적으로 떠맡고 싶어 하지 않는다.

문제는 연구자의 건강권과 연구의 안전성을 확보하기 위해 적용되고 있는 다양한 법들이 그 구속력과 보호력에 있어 동일하지 않다는 점이다. 예방을 위한 조치가 얼마나 세심하게 이루어졌는지, 또 유사시 즉각적인 대응력을 갖추고 있는지, 전문성에 바탕을 둔 조사와 점검이 이루어지고 있는지, 법 집행력이 얼마나 엄격하고, 공정한지 등등에 있어 격차가 있을 것으로 짐작된다²⁾. 이 때 연구과정에서 취약한 지점이 발생할 수 있다. 그것은 특정 직군일 수도 있고, 특정 공간일 수도 있겠다.

둘째, 현행 연구실 안전관리에 대한 국가차원의 관리체계는 연구자 생애과정을 감안하지 않고 설계되어, 연구활동 종사자가 생애 전주기에 걸쳐 지속적인 건강권 보호를 받기 어렵다. 예를 들어, 학교에서부터 취업 후까지 줄곧 연구활동을 하고 있는 노동자라면 다음과 같은 경로를 밟게 된다. 학부에서 전공지식을 쌓고, 기본적인 실험을 수행하고, 대학원과정에서 다양한 연구과제에 참여하게 된다. 학위과정 후에는 기업의 연구소에 취업하여 지금까지 갖고 닦은 지식을 활용하여 연구를 수행하게 된다. 이 경로는 대부분 10년 전후의 시간이 소요되는 지난한 과정이다. 또한 한 분야의 전문연구자로 인정받기 위해서는 특정분야에서의 연구를 계속하게 되는데, 이 점을 감안하면

2) 이와 관련한 기존 연구결과가 없어, 본고에서 근거를 제시하기는 어렵다.

대학원-기업으로 이어지는 유사한 연구환경에서 지속적으로 실험과 연구를 진행하고 있는 것이다. 연구자의 건강상태는 소속을 바꿨다고 해서 하루아침에 달라질 수 있는 것은 아니므로, 기업 연구소에 종사하는 연구자의 건강상태를 판별하는데 있어 그 이전에 소속되었던 대학에서의 건강상태를 살펴보는 것은 중요한 일이다.

현실에서 나타나는 문제는 대학과 기업 간에 건강위험의 연속적 관리를 할 수 있는 체계가 마련되어 있지 않다는 점이다. 법적으로 특수건강검진을 시행하고 있으나, 검진대상 추출-검진시행-이력관리의 과정이 아직까지 체계적이지 못하다는 지적을 받고 있다. 이러한 상황에서 최근 발생한 S반도체 연구자의 사망사고와 같이 중대사고가 발생했을 시, 그 원인을 밝히는데 많은 한계가 있을 것으로 예상된다.

제언



연구에 관여하는 사람, 즉 연안법에 의해 연구활동 종사자의 지위를 부여받은 사람이거나 타 법의 안전관리(또는 보상)의 대상인 사람들을 모두 포함하여, 이들의 건강권과 안전할 권리가 제대로 지켜지기 위해서는 다음과 같은 방향의 안전관리 정책이 필요하다.

첫째, ‘연구’라는 활동을 산업현장과 분리하여 ‘과학기술 주무부처’의 관할영역으로만 생각하는 관행을 버리고, 예방과 사고대응을 위한 다부처 협력체계를 갖추어야 한다. 연구실 안전사고에 대한 보상제도가 현행 노동부, 교육부, 과기부 등에 나누어져 있다는 이유로 연구활동 종사자의 불이익이 발생하는지를 조사하고, 불합리한 요소를 개선해야 한다.

연구현장에 대한 안전관리 체계가 여러 법으로 또 여러 부처로 쪼개져 있어 누가 어떤 권리를 가지고 있는지 당사자들조차도 알기 어렵다. 더 나아가 같은 공간에서 연구작업에 참여하고 있는 사람들 사이에 건강과 안전이 균질적으로 보장되고 있는지에 대한 점검도 필요하다.

둘째, 사고예방차원의 조치(안전점검, 환경측정, 건강검진 등)나 사고 후의 조치(사고조사 등)에서 연구활동종사자 생애과정

개념을 도입하여, 안전관리의 연속성 및 사고원인 규명의 정밀성을 확보해야 한다. 생애과정의 관점을 도입한 연구자의 건강관리 시스템 구축이 시급하다고 생각한다. 이를 위해서는 우선 위험물질을 다루는 연구자의 건강이력관리 시스템을 과기부와 노동부가 공동으로 만들어야 할 것이다. 또한 사고 후 조치에서 연구활동이 이루어진 생애과정을 전반적으로 추적하여 원인을 밝혀야 하는데, 이를 위해서는 다부처 공동조사반 구성이 필요하다.



참고문헌

- 교육과학기술부, 2008, 「제 1차 연구실 안전환경 조성 및 기반구축 종합계획」, 신용철, 인제대학교
- 과학기술정보통신부, 2017, 「제 3차 연구실 안전환경 조성 및 기반구축 종합계획」
- 미래창조과학부, 2013, 「제 2차 연구실 안전환경 조성 및 기반구축 종합계획」, 서지영, 과학기술정책연구원
- 박정임, 2016 연구실안전법 해설집, 미래창조과학부
- 서지영, 2013, 「사람과 환경, 시설의 안전을 위한 연구실 안전관리」, STEPI Insight, 제 97호, 과학기술정책연구원
- 이익모, 2012 연구실 안전환경 조성에 관한 법률과 연구실 안전, 안전보건 연구동향, 2012년 가을호, 산업안전보건연구원

OSH

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

안전보건 이슈리포트



안전보건 연구동향 Vol. 12 No. 2 [통권 79호] 내용 안내



- ▶ 산업안전보건 영역으로 들어온 직장 내 괴롭힘 관리, 어떻게 할 것인가?
- ▶ 네일숍 종사자의 생물학적 노출 위험성
- ▶ 항공기 승무원의 우주방사선 피폭 가능성
- ▶ 원유 증기 노출이 건강에 미치는 영향과 과제
- ▶ 기고 : KOSHA OSHRI WIKI 플랫폼 활용 제안



2018년 하반기호 안전보건 이슈리포트는
연구원 홈페이지(<http://oshri.kosha.or.kr> - 안전보건이슈리포트)에서
다운받아 보실 수 있습니다.

2020년도 산업안전보건 연구과제 공모

안전보건공단 산업안전보건연구원은
산업재해예방 및 노동자의 안전과 건강증진·보호에 기여할 수 있는
수요자 중심의 연구과제를 공모하오니 많은 참여를 바랍니다.

공모기간 2019. 5. 16.(목) ~ 10. 31.(목)

제안분야 안전보건정책, 제도 및 산업안전보건 일반

공모대상 안전보건에 관심 있는 대한민국 국민(제한 없음)

공모방법 제안서를 다운받아 담당자에게 이메일 또는 fax, 우편 송부
제안서 : 연구원 홈페이지(<http://oshri.kosha.or.kr>) 공지사항에서 다운로드
이메일 : cronbach@kosha.or.kr
팩 스 : 052-703-0331
우 편 : (44429)울산시 중구 종가로 400 연구기획부 연구과제 공모 담당자

결과발표 2020년 1월중 홈페이지 공지

기타사항

- 접수된 연구과제는 11월 중 연구과제 선정위원회 심사를 거쳐 2020년 연구과제로 결정
- 선정된 연구과제의 제안자가 위탁연구 수행자 입찰 응모시 가산점 부여 예정
- 참가자 전원에게 소정의 사은품 증정

문 의 처 산업안전보건연구원 연구기획부 담당자

☎ 052-703-0813 ✉ cronbach@kosha.or.kr

※ 자세한 내용은 홈페이지 참조





OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ISSUE REPORT

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



울산광역시 중구 종가로 400

www.oshri.kosha.or.kr

Tel. 052.703.0816

Fax. 052.703.0331