

OSH

안전보건 연구동향 RESEARCH BRIEF

2012 봄
Vol.6 No.3(통권 55호)



특집 I

사업장의 재해 강도 분류 및 분석 사례 / 사고 삼각형의 오해와 진실(?) / 하인리히의 통계적 고찰과 우리나라 산업재해 강도의 변화

특집 II

진동작업 종사 근로자의 진동노출실태 / 인체진동의 측정 및 평가 / 진동에 의한 건강장해

연구동향

미국 산업안전보건인력에 대한 평가 / 미국 국립산업안전보건연구원의 건설 연구 프로그램 평가 / 건설공사 지붕작업장의 추락위험에 대한 실태조사 / 산업용 로봇의 재해 특성과 사용실태 현황

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



春夏秋冬

안전보건



추락하는 것은 날개가 있다? 없다?

이문열의 베스트셀러 소설 제목으로 유명한
'추락하는 것은 날개가 있다'의 시구 원작자는 오스트리아 출신의
여류시인 잉게보르크 바하만(Ingeborg Bachmann)이다.

날개가 꺾여 추락하는 새들은 다시 비상을 꿈꾸기 마련이지만,
건설 현장에서는 추락이란 곧 사망을 의미한다.
그러나 작업 공정상 또는 작업 여건상 등의 여러 가지 이유로
'안전'이란 날개를 달지 않은 건설 현장의 근로자가 많다.

대형사고가 발생한 다음 후회하지 말고 소중한 생명과
가족의 행복을 지킬 수 있는 '안전'이란 날개를 달기 위해
산업 현장의 안전실태를 점검, 또 점검하자.

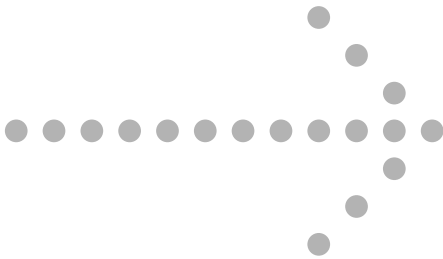
- '안전한 나날을 그리다' 중에서



OSH

안전보건 연구동향 RESEARCH BRIEF

안전보건 연구동향 / 제6권 / 제3호(통권 55호) / 간별 계간 / 발행일
2012년 4월 1일 / 등록번호 ISSN 1976-345X / 발행처 산업안전보건
연구원 / 403-711 인천광역시 부평구 무네미로 478 (구산동) / 전화
032)5100-903 / oshri.kosha.or.kr / 편집위원장 박정선 / 편집위원
김태구, 김치년, 이근석, 정경숙, 정지연, 정진주, 구권호, 권혁면, 유기호,
김은아, 송세옥, 이경용, 김기식 / 편집·제작 (주)광고연합 / 전화
02)2264-7306



2012년 봄호
생명의 소중함을 다시 깨닫는 계절.
봄은 우리에게 새로운 희망을 선사합니다.

CONTENTS

시론(時論)

04 '근거중심정책운영(Evidence-based policy)'을 위한 연구자와 행정가 간의 소통 박정선

특집 I · 1 : 29 : 300 ?

- | | | |
|----|--------------------------------|-----|
| 06 | 사업장의 재해 강도 분류 및 분석 사례 | 이근석 |
| 12 | 사고 삼각형의 오해와 진실(?) | 김기식 |
| 18 | 하인리히의 통계적 고찰과 우리나라 산업재해 강도의 변화 | 김영선 |

특집 II · 진동노출 근로자 보호

- | | | |
|----|---------------------|-----|
| 24 | 진동작업 종사 근로자의 진동노출실태 | 김갑배 |
| 32 | 인체진동의 측정 및 평가 | 박상규 |
| 36 | 진동에 의한 건강장해 | 유철인 |

연구동향

- | | | |
|----|-------------------------------|-----|
| 40 | 미국 산업안전보건인력에 대한 평가 | 정지연 |
| 46 | 미국 국립산업안전보건연구원의 건설 연구 프로그램 평가 | 권혁면 |
| 52 | 건설공사 지붕작업장의 추락위험에 대한 실태조사 | 최돈홍 |
| 58 | 산업용 로봇의 재해 특성과 사용실태 현황 | 이홍석 |

‘근거중심정책운영 (Evidence-based policy)’을 위한 연구자와 행정가 간의 소통



박정선 원장
산업안전보건연구원

수년 전부터 정부출연기관이나 국책연구기관에서 새로운 기관장이 취임할 때면 으레 하는 말이 있다. 그것은 ‘근거를 기반으로 한 정책이 수립될 수 있도록, 즉 연구결과가 정책에 반영될 수 있도록 기여할 것이다’라는 말이다.

성과중심의 관리에 중점

‘근거중심정책운영’은 정책결정자들이 정책의 성과에 대한 과학적 검증과 분석 없이 주먹구구식으로 정책 개입을 하지 않도록 해야 한다는 문제 제기와 함께 비교적 최근인 2000년대 후반부터 행정학 분야에서 새롭게 주목받고 있는 접근법이다.

‘근거중심정책운영’이라는 용어와 개념은 ‘근거중심의학(Evidence-based medicine)’이라고 하여 먼저 의료 분야에서 사용해 오고 있는 것으로, 타당한 과학적 근거가 없는 처방으로 환자에게 늘 커다란 리스크가 따르게 되는 것처럼 과학적 근거가 결핍된 정책운영도 국가에 큰 리스크를 가져다 줄 수 있다는 것이다.

‘근거중심정책운영’은 그래서 성과중심의 관리에 중점을 두고 있다. 정책 대안 결정을 할 때 과학적 근거에 기반을 둬으로써 효과가 낮은 사업들은 과도한 재정투자를 해서는 안 되며, 반대로 필요성이 높은 사업임에도 충분한 재정 지원이 부족했던 사업은 없는가를 가려내어야 한다는 것이다.

국책연구기관의 미션

‘근거중심정책운영’을 위해 과학적 근거를 제공하는 것이 국책연구기관의 미션이다. 따라서 국책연구기관은 위험사회(Risk society)의 도래, 과학기술 발전에 따른 정보 급증 등을 특징으로 하는 행정환경의 급속한 변화를 감안하여 최상의 근거(Best evidence)를 제시할 수 있

“

영어권의 나라에 있는 국책연구기관에서도

R2P(Research to Practice 또는 Research to Policy)란 과정을

중요시하면서 이를 번역(Translation)하는 작업이라 칭한다.

과학자와 행정가의 언어가 서로 다르니 ‘Translation’해야 된다는 것이다.

직업성질환이나 환경 피해의 영향을 대중에 알기 쉽고

정확하게 전달하는 Risk communication이 중요하듯이,

R2P 즉 연구결과를 행정 분야에 어떻게 제대로 전달하는가 하는 것 또한

국책연구기관의 중요한 역할이다.”

도록 역량과 책임성을 키워야 한다.

국책연구기관은 또한 그들이 만들어 낸 새로운 과학적 근거를 공유함에 앞서 국내 현실에 맞게 재해석하는 노력이 필요하다. 국책연구기관에서 생산되는 결과물은 근거중심정책의 바탕이 되므로 연구자들이 책임감을 가지고 ‘내가 제시하는 근거가 국내 현실에 부합하는지’를 생각하고, 부합하지 않는다면 국내 현실에 맞게 재해석하여 전달해야 할 필요가 있는 것이다. 또 연구결과인 과학적 근거를 공유하는 과정에서 그 근거를 활용해야 할 고객의 이해와 공감을 이끌어가는 과정이 필요하다.

R2P 과정의 중요한 역할

국책연구기관의 연구예산을 사용한 대부분의 연구자들이 그 전달과정을 너무 소홀하게 생각하는 경향이 있다. 이들은 대개 연구를 통해 만들어 낸 근거를 전달할 때 연구보고서 또는 학술논문의 형태로 발표하고 나면 ‘내 할 일은 끝’이라고 생각한다. 그런데 보고서에 담긴 근거를 전달하는 언어가 너무 어렵다. 공학이나 의학을 전공한 사람이 쓰는 언어로 된 보고서를 그대로 전달하면 행정을 하는 사람들은 도저히 이해하기가 어려운 것이다. 그래서 영어권의 나라에 있는 국책연구기관에서도 R2P(Research to Practice 또는 Research to Policy)란 과정을 중요시하면서 이를 번역(Translation)하는 작업이라 칭한다. 과학자와 행정가의 언어가 서로 다르니 ‘Translation’해야 된다는 것이다.

직업성질환이나 환경 피해의 영향을 대중에 알기 쉽고 정확하게 전달하는 Risk communication이 중요하듯이, R2P 즉 연구결과를 행정 분야에 어떻게 제대로 전달하는가 하는 것 또한 국책연구기관의 중요한 역할이다.

필자의 시론이 국책연구기관의 연구과제를 수행하는 연구자들 어깨를 너무 무겁게 만들지는 않을지 한편으로 걱정하면서 또 한편으로는 무거운 책임감만큼이나 뿌듯하게 ‘우리나라 산업안전보건정책을 내가 이끌어 간다’는 자부심을 느끼게 될 거라 믿고 싶다. ✚

사업장의 재해 강도 분류 및 분석 사례

－ 해외 건설 현장에서의 재해기록 및 분석을 통한 재해 예방활동



이근석 상무보
대우건설 경영지원본부

경제와 산업재해

우리나라는 세계에서 유례를 찾아보기 힘들 정도의 경제적인 발전을 이루었고 저개발국가에서는 우리나라를 경제 발전 모델로 삼고 있는 단계에 도달했다.

그러한 경제 성장의 배경에는 정부와 기업 그리고 근로자의 부단한 노력과 협력이 바탕이 되어 획기적인 기술 개발 및 제도 개선을 성공적으로 추진했기에 가능한 결과라고 하겠다. 다만, 그 과정에서 수많은 근로자의 희생이 있었고 지금도 계속되고 있는 실정이다. 다시 말하면, 그 간 우리는 단기간의 경제 성장을 통하여 우리의 삶과 생활 수준은 향상되었지만 더불어 살아가고 있는 사회 구성원으로서의 인간 본연의 안전과 보건에 관한 질적 수준뿐만 아니라 삶의 터전인 사업장의 쾌적하고 안전한 환경은 경제적 발전 수준에 못 미치고 있는 것이 현실이다.

물론 정부에서는 산업재해를 줄이기 위하여 법령을 정비하고 각종 제도 개선 및 정책을 수립하여 시행하고 있다. 기업에서도 안전보건에 관한 교육 및 체계적인 예방활동을 위하여 안전조직을 구축하는 한편, 안전시설 개선에 막대한 비용을 투자하고 있다. 그 결과, 우리나라의 산업재해 발생실태는 점진적으로 개선되고 있고 앞으로 더욱 향상될 것으로 기대된다. 하지만 현재 나타나고 있는 실상은 만족스럽지 못한 것이 사실이다.

지난 2011년 8월 고용노동부에서 발표한 우리나라의 '2010년 산업재해 현황 분석'에 의하면 2010년에 재해자 9만 8,645명(사망자 2,200명)이 발생하였는데, 국가 경제 규모 세계 11위의 위상에 비추어 보면 불균형 상태라고 말할 수 있다. 우리나라는 최근 G20 정상회의, G20 재무장관회의, 핵안보 정상회의 등을 연속 개최하면서 정치·경제적으로 국제사회의 중심에 있으며 선진국으로 자리매김했다고 볼 수 있다. 그러나 진정한 산업재해의 예방을 실현하지 못한다면 국가경쟁력은 물론이고 선진국으로서의 안정적인 발전은 기대하기 어렵다. 또한 기업의 지속 가능한 성장과 사회적 책임 그리고 근로자의 편안하고 안락한 근로환경은 요원한 과제로 남게 될 것이다.

지금까지 산업재해를 예방하기 위한 다양한 연구와 노력이 추진되어 왔다. 설계 및 공법 개발로써 생산시설의 근원적 위험을 제거하려는 공학적 기술(Engineering technique)과 OHSAS18001 같은 체계적이고 합리적인 안전관리 시스템(Management system)을 통하여 안전관리 수준을 향상시켰으며, 나아가서 민·관의 적극적인 협력과 근로자의 자발적인 참여가 융합되어 행동 기반의 안전(Behavior based safety)과 안전문화를 형성하게 될 때 더욱 발전할 것으로 기대하고 있다. 더불어 정부에서는 산업재해 통계 및 산업재해보상보험제도

“

사업장의 중대재해를 예방하기 위해서는 수많은 경미한 재해를 철저히 관리해야 한다. 그러나 우리나라 산업재해 현황 또는 산업재해 보고·기록제도에 경미한 재해를 예방하기 위한 실무적 방법에 대한 자료나 연구, 통계가 미흡하다. 이에 따라 해외건설 현장에서 재해를 6단계로 분류하여 관리하고 재해의 연결고리(Chain of accident)를 차단하기 위한 아차사고 분석, 안전활동 선행지표 및 후행지표의 응용 사례를 소개하고자 한다. 앞으로 이러한 재해 기록의 체계적인 연구와 실무적인 접근이 활발하게 전개되기를 기대한다.

”

개선 등을 통하여 산업재해 예방 정책을 추진하고 있다. 이와 관련하여 본고에서는 산업재해 기록의 한계에 대해 살펴보고 필자의 회사에서 수행하고 있는 해외 건설 현장의 재해기록 및 분석을 통한 재해 예방활동을 소개하고자 한다.

산업재해 통계와 재해 발생비율

먼저, 고용노동부에서 발표한 '2010년 산업재해 현황 분석'에서 우리나라의 연도별 산업재해는 <표 1>과 같이 정리해 볼 수 있다. <표 1>에 나타난 것처럼 10년간의 도수율은 제자리에서 등락을 반복하고 있다.

고용노동부에서는 산업재해 통계의 활용을 강화하기 위하여 지난 2011년 1월 '산업재해 통계 개선방안'을 마련하고 제3차 산재 예방 5개년 계획에 맞춰 단계적인 개선을 추진하고 있다. 가장 우선적인 사항은 산업재해보상보험법에서 정한 4일 이상의 요양을 기준으로 하는 산업재해에서 휴업기준재해로 통계산출 재해범위를 전환하는 것이다. 이렇게 개선을 추진하더라도 산업재해 현황 분석

에서처럼 사망과 부상 그리고 몇몇의 재해를 통계만이 산출될 것이고, 휴업의 범위를 세분화하지 않는 한 사업장에서 실무적인 재해 예방활동을 추진하는 데는 여전히 한계가 따르게 된다.

사업장에는 수많은 잠재적 위험요인(Hazard)이 존재한다. 위험요인의 발생 정도나 크기에 따라 위험(Risk)이 형성되며, 재해로 연결된다. 즉, 사업장에는 잠재적 위험에 따라 크고 작은 수많은 재해가 발생하고 있으며, 사망이나 부상에 이르지 않는 재해가 훨씬 많이 있다. 그러한 재해를 예방함으로써 사망과 부상이라는 큰 재해를 예방할 수 있다는 것이다.

1931년 허버트 윌리엄 하인리히(Herbert William Heinrich)는 자신의 저서 『산업재해 예방 : 과학적 접근 (Industrial Accident Prevention : A Scientific Approach)』에서 보험회사 근무 시 접했던 재해 사례를 분석한 통계적 법칙을 소개하였다. 그것이 유명한 '1 : 29 : 300'이라는 하인리히의 사고 발생 이론이다.

그는 큰 사고는 우연히 또는 어느 순간에 갑작스럽게 발생하는 것이 아니라 그 이전에 반드시 경미한 사고들

<표 1> 연도별 산업재해 현황

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
사망	2,748	2,605	2,923	2,825	2,493	2,453	2,406	2,422	2,181	2,200
부상	78,686	79,306	92,001	86,049	82,918	87,457	87,741	93,384	95,640	96,445
계	81,434	81,911	94,924	88,874	85,411	89,910	90,147	95,806	97,821	98,645
천인율	7.70	7.75	8.96	8.49	7.72	7.69	7.20	7.10	7.05	6.95
도수율	3.13	3.19	3.68	3.51	3.25	3.31	3.15	3.41	3.37	3.27
사망 만인율	2.60	2.46	2.76	2.70	2.25	2.10	1.92	1.80	1.57	1.55

이 반복되는 과정 속에서 발생한다는 것을 실증적으로 밝혀내고, 큰 사고가 일어나기 전에 일정 기간 동안 여러 번의 경고성 징후와 전조들이 있다는 사실을 입증하였다. 즉, 심각한 재해 1건이 일어나려면 그 전에 경미한 사고 29건과 위험에 노출되는 사건이나 부상을 당할 뻔한 잠재적 사고가 300건 존재한다는 것으로, 그러한 징후를 제대로 파악하고 대책을 세우면 큰 사고를 예방할 수 있다는 논리이다.

그 후에도 1969년 프랭크 버드(Flank E. Bird)가 제시한 '1 : 10 : 30 : 600 법칙'이나 국제노동기구(ILO)에서 제시하고 있는 '1 : 20 : 200 법칙' 등 많은 주장이 나왔지만, 의미 있는 것은 '아차사고나 경미한 재해를 관리해야만 큰 사고를 예방할 수 있다'는 사실이다.

이처럼 중요한 사실을 사업장의 안전관리자는 물론이고 정부나 학계에서도 인식하고 있지만, 정작 경미한 재해를 예방하기 위한 실무적 방법에 대한 자료나 연구 및 통계는 미흡한 실정이다. 그렇기 때문에 사업장의 근원적 위험에 대한 관리가 부족하고 큰 사고가 반복적으로 발생하고 있는 것이라고 하겠다. 이러한 문제의 관리적 방법으로 필자의 회사에서 시행한 해외 건설 현장의 재해기록방법과 분석을 통한 재해 예방활동을 소개하고자 한다.

재해 강도 분류

해외 현장에서 발생하는 모든 재해는 부상 정도에 따라 휴업 여부 및 노동기능의 수행 여부를 판단하여 다음과 같이 6단계로 분류하여 보고 및 기록하고 있다.

■ Fatality(사망)

업무상 사고 또는 질병으로 발생한 사망자 수를 말하며, 고용노동부의 산업재해 현황 분석에서 사용하고 있는 사망과 같다.

■ LWC(부상, Lost Workday Case)

업무상 사고로 인하여 24시간 이상의 휴업을 초래하는

부상자 수를 말하며, 부상을 치료하기 위한 요양일수와는 관계없고 부상으로 인하여 24시간 이내에 작업에 복귀하지 못한 경우에 해당한다.

■ RWC(근로 제한사고, Restricted Work Case)

업무상 사고로 부상을 당하여 전문 의료기관의 치료를 받고 24시간 이내에 작업에 복귀한 부상자 수를 말하며, 의사의 진단으로 일정 기간 재해자 본래의 직종에 근무하지 못하지만 가벼운 작업을 수행 가능한 경우에 해당한다.

■ MTC(의무 진료사고, Medical Treatment Case)

업무상 사고로 부상을 당하여 전문 의료기관의 치료를 받고 24시간 이내에 재해자 본연의 작업에 복귀한 부상자 수를 말한다.

■ FAC (응급 처치사고, First Aid Case)

업무상 사고로 부상을 당하였으나 현장에서 응급 처치를 받고 즉시 정상작업에 복귀한 부상자 수를 말한다.

■ NM(아차사고, Near Miss)

정상적인 상황을 이탈하는 사고가 발생하였으나 인적 상해가 수반되지 않은 사고를 말한다. 따라서 어떠한 이탈이 일어나지 않은 단순한 근로자의 불안전 행동이나 시설물의 불안전 상태는 적용되지 않는다. 여기에 인적 피해 없이 물적 피해를 가져온 사고는 해당되나, 일정 금액 이상의 물적 피해는 재산 손실사고(Property damage)로 별도 관리한다.

이렇게 재해자의 부상 정도에 따라 의료진이 결정하는 재해등급으로 등록하고 재해 발생의 심각성에 따라 재해 조사 및 기록이 이루어진다. 즉, 현장에서 발생하는 모든 사고는 보고 및 기록을 하게 되어 있으며, 특히 실질적인 재해 예방을 위하여 아차사고의 발굴과 시정 조치를 추진하는 것이 중요하다.

해외 현장의 모든 사고기록은 주간 단위로 집계하여 본사로 통보하도록 되어 있으며, 본사에서는 전체 현장의 사고 현황, 재해를 그리고 주요 사고에 대한 사고 사례(Case study)를 작성하도록 다시 현장으로 피드백하고, 현장에서는 사고 사례를 기반으로 작업계획서의 개정 및 작업방법을 개선함과 아울러 근로자교육을 통하여 유사 재해의 재발 방지를 추진하게 된다. 이와 같이 지난 5년간의 사고 현황은 6단계로 관리하고 있다(표 2).

재해율 산출 및 비교

해외 현장의 재해율은 선진국 업체에서 적용하고 있는 LTIR과 TRIR을 사용하고 있다.

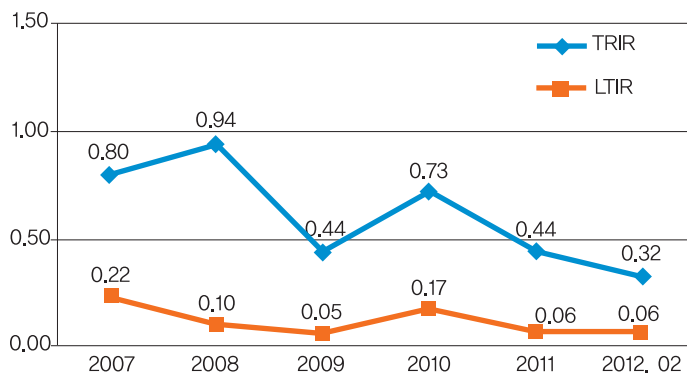
LTIR(Lost Time Injury Rate)은 100만 시간 당 재해 발생 건수를 나타내며, 사고 현황에서 사망자와 LWC를 대상으로 산출한다. LTIR은 우리나라 '산업재해조사 업무처리규정(고용노동부 예규 제185호)'에서 정하고 있는 도수율(Frequency rate)과 같은 개념이다. 일부 외국업체에서는 미국 산업안전보건청(OHSA)에서 정하고 있는 것처럼 20만 근로시간을 기준으로 산출한 경우가 있는데 이때는 보정하여 비교할 필요가 있다.

TRIR(Total Recordable Incident Rate)은 LTIR 대상 재해 건수에

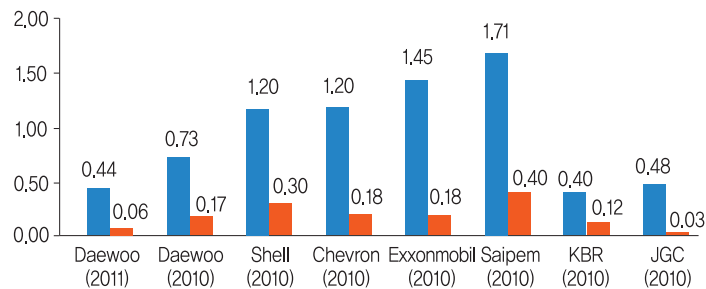
RWC 및 MTC를 포함한 모든 치료대상 재해 발생 건수의 100만 근로시간 당 발생비율을 산출한 것이다. 이러한 기준에 따라 상기 5년간 사고 현황의 재해율을 산출하면 [그림 1]과 같이 나타난다.

이렇게 선진국 업체기준에 따라 재해율을 산출하였음에도 불구하고 해당 사업장의 재해 발생이 얼마나 많고 적은지 또는 재해율이 얼마나 높고 낮은지 우리나라에서는 비교할 자료가 없다. 그렇기 때문에 해외의 발주처나 선진국 업체의 재해율과 비교하여 재해율 목표를 설정하고 안전관리대책을 수립하고 있다.

여기서 상기의 LTIR 및 TRIR을 선진국 업체와 비교하



[그림 1] 최근 5년간 LTIR 및 TRIR



[그림 2] 업체별 LTIR 및 TRIR 비교

[표 2] 대우건설 해외 전체 현장에서의 최근 5년간 사고 현황

구분	Fatality	LWC	RWC	MTC	FAC	NM	Total	Man-hour
2007	2	10	18	14	331	244	619	54,685,810
2008	0	6	20	33	320	477	856	62,694,583
2009	1	3	11	19	272	840	1,146	77,256,235
2010	5	10	12	36	229	650	942	86,725,570
2011	0	5	7	27	165	368	572	88,057,080
2012.02	0	1	1	3	32	33	70	15,825,666

면 [그림 2]와 같이 나타난다.

일부에서는 경미한 부상까지 발생 추이를 분석하고 대응하기 위해 FAC(응급 처치사고)까지를 포함하여 THIR(Total Hurt Incident Rate)을 산출하기도 하며, 우리나라 산업재해조사 업무규정에서 정하고 있는 강도를 산출하여 관리하고 있다.

재해 발생비율에 의한 현상 파악

재해 발생비율에 관한 하인리히 법칙이 시사하는 점을 해외 현장에서는 의미 있게 관찰하고 있다. 즉, 6단계 분류 사고 현황을 '1 : 29 : 300 법칙'에 대비시켜서 중대 재해의 발생 정도 및 경미한 재해의 발굴을 통한 재해 예방활동을 추진하고 있다.

먼저, 6단계로 분류된 사고 현황을 사망 + LWC : RWC + MTC : FAC + NM로 정리하고, 중상해를 기준으로 발생비율을 표시한다. 과거 5년간 사고 현황의 연도별 재해 발생비율은 <표 3>과 같이 산출된다.

<표 3> 연도별 재해 발생비율 비교

2007	12 : 32 : 575	(1 : 2.7 : 47.9)
2008	6 : 53 : 797	(1 : 8.8 : 132.8)
2009	4 : 30 : 1,112	(1 : 7.5 : 278)
2010	15 : 48 : 879	(1 : 3.2 : 58.6)
2011	5 : 34 : 533	(1 : 6.8 : 106.6)

이같은 재해 발생비율 비교는 하인리히의 분석방법과 차이가 있을지 모르지만, 여기서 착안할 점은 두 가지이다.

하나, 현장에서의 경미한 재해 발굴 노력이 부족하다는 점이다. 그만큼 우리는 경미한 재해를 간과하고 있거나 경미한 재해를 발굴하려는 인식이 약하다는 사실을 말해준다.

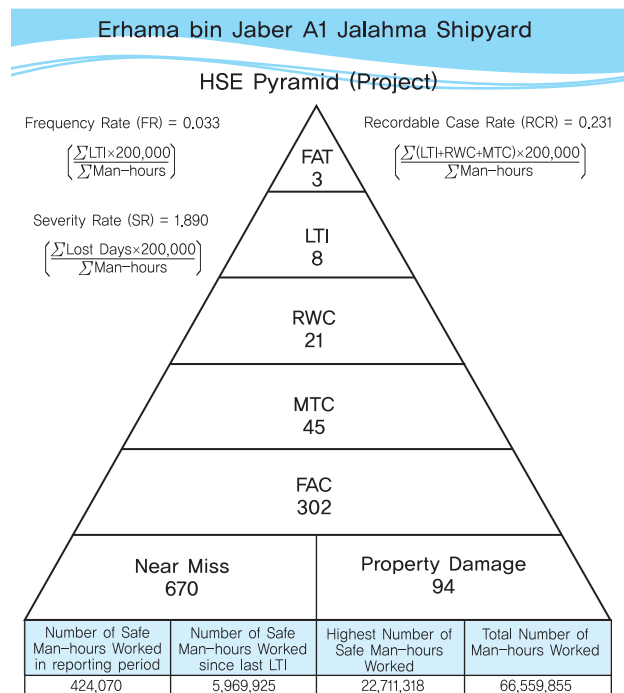
또 하나는, 경미한 재해의 발생빈도에 비하여 중대재해나 경상해가 상대적으로 많이 발생한다는 점이며, 아직도 줄여야 할 재해가 많다는 사실이다.

따라서 필자의 회사에서는 아차사고의 발굴에

역점을 두고 있으며, 현장에서 아차사고의 발굴을 통한 재해 발생 경향 분석 및 예방대책의 추진결과를 재해율과 함께 가장 중요한 안전관리 평가요소로 삼고 있다.

나아가서 재해 발생비율 비교에서 보충 설명을 한다면, 최근에 경미한 재해 및 아차사고 건수가 줄고 있는 것은 현장에서 경미한 사고 발생 이전의 불안전행동(Unsafe behavior)과 불안전상태(Unsafe condition)의 관찰(Hazard identification)을 통하여 잠재적 위험(Potential hazard)을 제거하고 있기 때문에 나타나는 경향이며, ILO에서 '1 : 20 : 200 법칙'을 주장하는 논리와 상통한다고 보겠다.

참고로, 재해 발생비율 법칙에 의한 관리 사례를 보자. 카타르 조전소 프로젝트의 발주처(Nakilat)는 2007년 12월 현장 개설 때부터 2011년 12월까지의 사고 현황을 피라미드 형태로 표시하고 있는데, [그림 3]과 같이 6단계 사고 현황 및 재산 손실 건수, 그리고 근로시간 등을 매월 집계·분석하고 있다.



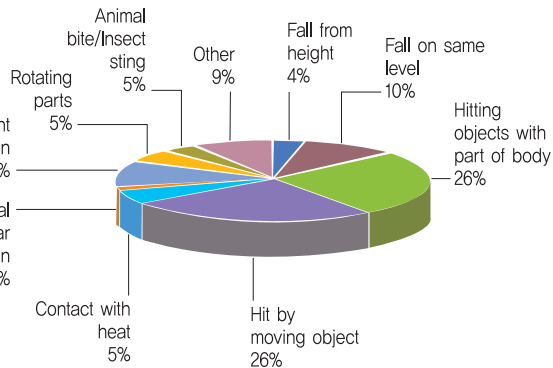
[그림 3] 재해비율 피라미드(Qatar, shipyard project)

재해 예방 선행지표 및 후행지표

이상에서 설명한 6단계 재해통계기록과 아차 사고의 발굴이 갖는 중요한 의미는 안전관리에서 가장 중요한 사고의 재발 방지활동과 연계된다. 정부에서 하고 있는 산업재해통계는 안전 정책을 수립하는 기준이 되지만, 사업장에서의 재해통계 및 분석은 현 상황에서 가장 취약한 부분을 파악하여 즉시 시정 조치하고 재해의 발생 경향에 맞는 안전활동을 추진해야 하는 실무적인 원칙(Practical principle)이 있기 때문이다.

우리는 재해 예방을 효과적으로 실현하여 무재해 사업장을 성취하기 위하여 안전목표를 설정하고 최고경영자의 의지와 안전경영을 바탕으로 안전활동을 수행하게 된다. 이렇게 여러 가지 수단과 기법들을 활용하여 안전 성과를 효과적이며 효율적으로 달성할 수 있는지 판단하고 예측하는 도구로서 선행지표(Leading indicator)를 활용하고 있다. 즉, 안전조직, 안전교육, 안전 점검, 위험성 평가 등에 관한 실태 분석을 통하여 안전활동이 올바르게 적정하게 수행되고 있는지를 검토하며 지속적인 개선을 추진하고 있다.

반면에, 재해 발생이나 문제가 야기된 곳에서 집중된 문제의 근원과 경향을 도출하여 중점적 관리요소 및 향후 방향을 설정해야 하는데 이러한 판단 도구를 후행지표(Lagging indicator)로 활용하고 있다. 즉, 응급 상황, 사고 현황, 재해율, 사고조사 및 사고 분석결과들은 향후 안

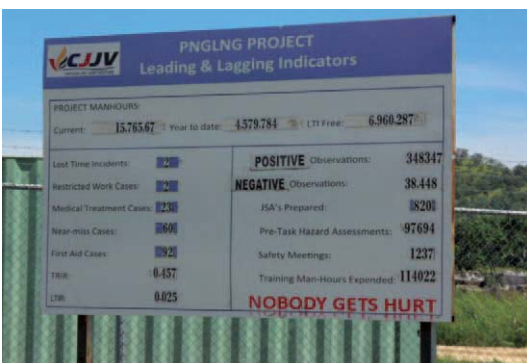


[그림 3] 아차사고(Near miss) 분석

전관리 방향을 재설정하고 중점적으로 관리해야 할 중요한 요소이다. 따라서 안전관리 수행에는 선행지표와 후행지표의 체계적 관리와 분석결과의 효과적 운영이 중요하며, 큰 사고의 예방을 위하여 경미한 재해를 기록하고 분석해야 한다.

[그림 3]은 해외 현장에서 아차사고를 분석한 하나의 사례이며, 이런 분석을 바탕으로 집중관리대상을 설정하여 관리하고 있다.

당사가 시공중인 파푸아뉴기니의 LNG 현장에서는 정문에 안전게시판을 설치하여 선행 및 후행지표를 나타내는 각각의 사고 현황, 재해율, 관찰 건수 및 관리활동을 표기함으로써 관리요소의 중요성을 부각시키고 구성원들의 적극적인 참여를 도모하고 있다. 🌸



해외 현장 안전활동 선행 및 후행지표 안내판

참고문헌

- 고용노동부, 2010년 산업재해 현황 분석, 2010.
- 고용노동부, 산업재해통계 개선방안, 2011. 1.
- 고용노동부, 산업재해조사 업무 처리규정, 노동부 예규 제 185호, 1991. 1. 17.
- 안전보건공단, 산업재해 기록·분류에 관한 지침, 2006. 7.
- 안전보건공단, 미국의 산업안전보건제도 및 재해 예방활동, 2008. 11. 3.
- 안전보건공단, 산업재해 및 업무상 질병 기록·신고, 1999. 9.
- 한국산업안전보건공단, 산업재해 정체 원인 분석 및 대책 연구, 2010. 12.
- 대우건설, 2010 Annual report, 2011.
- OECD, Guidance on safety performance indicators, 2005.

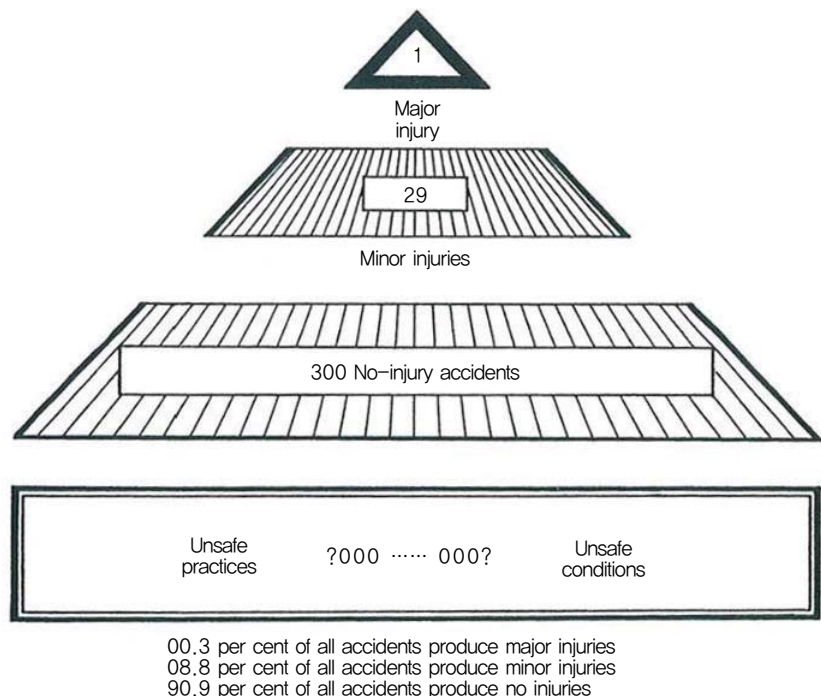
사고 삼각형의 오해와 진실(?)



김기식 팀장
산업안전보건연구원
재해통계분석팀

하인리히(Heinrich)의 사고비율

하인리히는 그의 유명한 저서 『산업재해 예방 : 과학적 접근(Industrial Accident Prevention : A Scientific Approach)』를 통해 안전의 초대 학자로 누구나 인정하는 사람이 되었다. 이 책에서 그는 '심각한 상해의 기저(Foundation of a major injury)'라는 이름의 [그림 1]을 통해 '1 : 29 : 300'이라는 사고비율을 처음으로 소개하였다. 이후 많은 사람이 이를 인용하면서 하인리히의 사고비율, 안전삼각형 혹은 '사고 피라미드'라는 여러 가지 이름으로 부르게 되었다.



[그림 1] 하인리히(Heinrich)의 사고 삼각형

하인리히는 2판인 1940년도 저서에서 다음과 같이 기술하고 있다(Heinrich, 1941).

“상해를 발생시킨 각각의 불운한 일(Mishap)에 대해 상해가 발생하지 않은 비슷한 많은 사고가 많이 발생한다는 것이 분석을 통해 증명되었다. 잠재적-상해사고의 빈도에 관하여 현재 얻을 수 있는 자료로부터 다음과 같이 평가되었다. 같은 사람들이 포함된 같은 종류의 사고

“

하인리히(Heinrich)는 초대 안전학자로서 그의 '1 : 29 : 300'이라는 사고비율은 하인리히를 대표하는 것 중의 하나이며 지금까지도 많은 책에 나와 있고 안전 관련 전문가들이 자주 인용하고 있다. 버드를 비롯하여 이후 많은 사람이 이와 유사한 결과를 발표하였다. 이와 같은 사고비율의 정확한 근거와 의미 그리고 한계점 등을 살펴본다.

”

(Accidents of the same kind and involving the same person) 330건의 단위그룹에서 300건은 상해가 없고(No-injury), 29건은 경미한 상해(Minor injury), 1건은 심각한 상해(Major injury) 또는 휴업재해(Lost-time injury)로 나타난다."

또 단위그룹 330건의 사고 중 1건인 심각한 재해가 순차적으로 나열된 330건의 사고에서 몇 번째로 발생할지는 아무도 모른다고 하였다. 즉, 운에 의해 결정되는 부분이다. 이것이 그가 말하는 산업안전의 공리(Axioms of industrial safety) 중 우리가 '손실 우연의 법칙'이라 말하는 것이다.

첫 번째 사고가 심각한 재해일 수도 있다. 그렇지만 그럴 확률은 0.3%이며 상해가 없는 사고일 확률은 90.9%이므로 심각한 재해가 일어나기 전에 비상해사고가 발생할 확률이 훨씬 더 높기 때문에(사고가 일어나기 전에 전조를 보임) 이를 예방할 대책을 세울 기회가 있다는 것이 그의 주장이다.

여기서 이 비율이 구해진 근거에 대한 내용은 단지 '같은 사람들이 포함된 같은 종류의 사고'라는 것 이외에는 없는데 이 내용은 1931년도에 발행된 초판에는 없던 것이 추가되었다(Manuele, 2002).

1941년 2판에서는 또한 상해의 경·중에 대하여는 심각한 상해를 보험업자나 주 정부의 보상보험에 신고한 것이라 하였고¹⁾ 경미상해와 상해 없음에 대한 별도의 설명은 없다(Heinrich, 1941). 그의 사후²⁾에 출판된 5판에서는 경미상해는 통상 응급 처치에 해당하는 찰과상, 타박상, 열상을 말하며, '상해가 없는 것은 사람이나 물건,

광선 등이 미끄러지거나 떨어지거나 날아가거나 흡입하는 등의 움직임이 계획되지 않고 발생하여 인적 상해나 물적 손실을 가져올 수 있는 가능성이 있는 사건'이라는 것이 추가되었다(Heinrich, Peterson, Roos, 1980). 이 정의에 의하면 응급 처치를 제외한 모든 경우가 심각한 상해에 해당된다.

불행하게도 하인리히의 이 비율이 구해진 과정이나 자료에 대한 좀 더 자세한 설명은 어디에도 찾을 수 없다. Manuele(2002)은 하인리히의 이러한 내용이 초판에서부터 4판까지 특별한 설명이 없이 조금씩 변하고 있음을 지적하며 원래의 데이터가 타당한 것이었다면 그럴 수 없다면서 이 비율이 생산된 근거를 의심을 하고 있다.

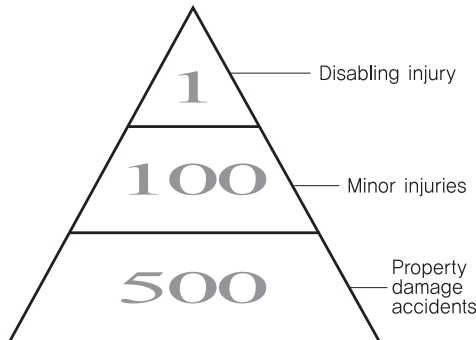
버드(Bird)의 사고비율

하인리히 이후에 많은 사람이 비슷한 연구를 하였으며, 그 중에 대표적인 것이 버드의 '1 : 10 : 30 : 600'의 비율을 가진 삼각형이 있다. 그는 손실비용을 구하기 위한 목적으로 연구를 하면서 재해비용과 관련하여 다음과 같은 두 개의 결과를 얻었다(Bird, & Luftus, 1976).

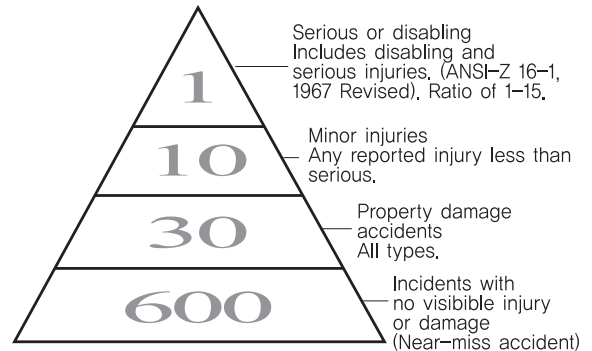
첫 번째는 그가 Lukens Steel Company의 안전관리자로 근무하면서 1959~1966년까지 7년간의 9만여 건

1) 저자는 미국의 1920년대의 보험이 일반적으로 7일 초과한 부분에 대하여 보상을 하였으므로 대부분 8일 이상의 재해일 것이라는 얘기를 지인으로로부터 들었다.

2) 하인리히(Heinrich)는 1962년에 80세로 사망하였다.



[그림 2] 1965 Lukens 연구



[그림 3] 1969 일반산업 연구

의 사고 기록을 분석한 것이다. 이 기간 동안 모든 사고 통제 프로그램에 포함된 7만 5,000여 건의 물적 손실 사고를 분석하였는데 많은 수의 것에 근로자 상해는 없었다. 같은 기간 동안에 1만 5,000여 건의 상해가 보고되어 분석하였는데 145건이 장애가 남았다. 전체 9만여 건을 분석하여 [그림 2]와 같이 1건의 장애상해에 대하여 100건의 경미한 상해, 500건의 물적 손실의 비를 구하였다. 이는 쉽게 받아들일 수 있도록 대략의 숫자로 만들었다.

두 번째는 그가 Insurance Company of North America에 있으면서 이전에 중공업 분야에서의 연구를 일반산업에 확장을 시도한 것이다. 이 연구는 1969년에 297개의 회사에서 보고된 175만 3,498건의 사고를 분석하였다. 21개의 서로 다른 업종에 속해 있는 회사에서 근무하는 175만명의 근로자가 30억 인시 이상 작업한 분량의 분석에 해당된다.

이 연구는 재해의 심각도를 ANSI Z16.1(1967)에 따라 구분하였다.³⁾ 심각 및 장애 상해(Serious or disabling injury) 1건에 대해 9.8건의 심각 이하의 상해가 발생하는 것으로 나타났다. 95개의 회사에서 수집된 자료에 의하면 1건의 장애(Disabling)에 대해 15건의 심각한(Serious) 상해가 발생하였다. 연구에 참여한 회사 중 47%가 모든 물적 손실을 조사하였고, 84%는 심각 및 장애 상해를 조사하였으며, 이를 근거로 하여 최종적으로

심각 및 장애 상해 1건 당 30.2의 물적 손실 사건이 발생한다고 하였다.

훈련된 관리감독자가 4,000시간의 근로자 면담을 통해 조금만 상황이 달랐으면 상해나 물적 손실을 가져 올 수 있는 사건 발생에 대한 자료를 수집하였다. 이렇게 하여 [그림 3]과 같은 사고비율이 얻어지게 되었다. 그는 이 비율과 관련하여 사건과 사고가 보고된 것만을 나타내며 실제로 발생한 것이 아니라는 점을 기억하고 있어야 한다고 하였다.

버드는 이 두 연구에 모두 참여한 사람으로서 이 결과를 비교하는 데 주의할 점을 말하고 있다.

“무엇보다 먼저 각각의 연구에서 비교를 할 수 있는 기초가 다르므로 비교하여서는 안 된다. Lukens의 연구는 장애 상해를 기초로 한 것이고, 두 번째 연구는 장애 및 심각재해를 기초로 한 것이다. 둘째로 이 비율이 자신의 회사나 조직에서도 같을 것이라고 가정하지 말아야 한다. 특정활동에서의 비율은 전혀 중요하지 않다. 일반적으로 중요하다고 할 수 있는 점은 손실로 나타나는 것보다 더 많은 물적 피해와 아차사고가 있다는 것이다.”

3) 장애(Disabling) 상해는 장애가 남거나 1일 이상의 휴업이 있는 경우이고, 심각(Serious) 상해는 장애 상해가 아니면 의사의 처치가 필요한 눈 상해, 골절, 의학적 관찰이 필요한 상해, 의식소실(작업 관련), 의사의 처치를 받은 상해, 작업이나 운동의 제한 혹은 다른 직무로 전환하게 된 상해를 말한다.



하인리히나 버드는 자신들의 사고비율은 재해를 구분하는 기준, 작업의 종류, 기업의 안전문화, 사고의 유형 등에 따라 이 비율이 변할 수 있음을 언급하면서 삼각형에 나타난 수치에 집착하는 것을 경계하고 있다.

기타 사고비율

영국 HSE는 1990~1991년에 5개의 사업장에 대하여 연구를 진행하여 <표 1>과 같은 결과를 얻었는데(HSE,

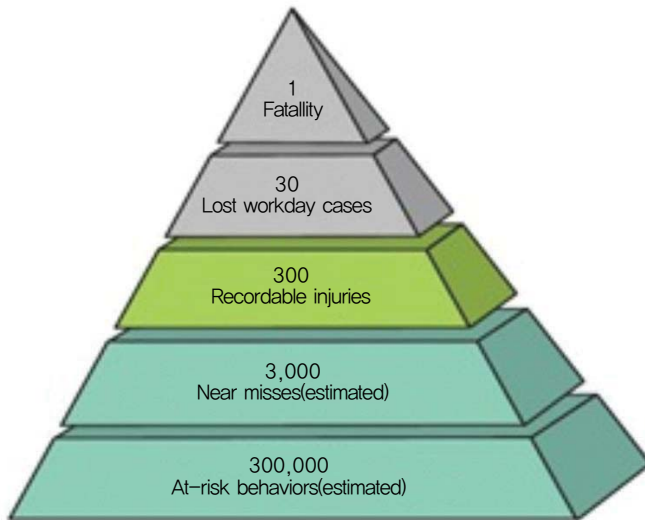
1993), 이 연구의 경우 연구설계는 비교적 잘 되었다고 볼 수 있겠지만 조사대상의 크기와 자료 수집 기간에서 큰 약점이 있다.

2003년 ConocoPhillips Marine 사도 비슷한 연구를

<표 1> HSE 연구

	Construction	Creamery	Transport	Oil platform	Hospital	All studies	All except construction
Study period weeks	18	13	13	13	13	70	52
Number working on site	120	338	80	210	700	1,448	1,328
Over-3-day lost time injuries	0	6	0	2	6	14	14
Minor injuries	56	31	0	8	58	153	97
Non-injury accidents	3,570	889	296	252	1,168	6,175	2,605
Total accidents	3,626	926	296	262	1,232	6,342	2,716
Accident ratios							
Injury : Non-injury Accident Ratio	1:64	1:24	NA	1:25	11:18	1:37	1:23
Accident /yr / employee	87	11	14	5	7	17	8

하였으며(Rockwell Automation, 2007), 이 연구에서는 사망사고 1건 당 최소한 30만 건의 위험행동(At-risk behavior)이 있다고 보고하고 있다[그림 4].



[그림 4] ConocoPhillips Marine 사의 연구

사고비율 연구에 대한 고찰

많은 사람이 사고 삼각형을 언급하는데, 여기서는 두 가지 오해를 지적하고자 한다. 그 중 하나는 심각도 구분에 관한 것으로 특히 우리나라에서 많이 볼 수 있다. 'Major injury'를 '중대재해'로 번역하여 산업안전보건법

상의 중대재해로 여기거나, '중상'으로 번역하여 우리말 어감과 차이에서 오해를 하는 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 하인리히 삼각형의 정점은 보험에 신고된 것

이고, 버드의 것에서는 ANSI Z16.1의 구분에 의한 것-1일 이상 휴업-이다.

또 다른 오해는 삼각형에 표시된 숫자를 매우 엄격하게 적용하려고 한다는 것이다. 이 비율은 특정한 조직에 대해 특정한 시점에서 구한 것이며, 다른 어떤 조직이나 시점에서도 그런 비율이 일치하지는 않는다.

하인리히와 버드는 모두 재해를 구분하는 기준, 작업의 종류, 기업의 안전문화, 사고의 유형 등에 따라 이 비율이 변할 수 있음을 언급하면서 삼각형에 나타난 수치에 집착하는 것을 경계하고 있다(Heinrich, 1941, Bird, & Luftus, 1976).

이 비율이 삼각형이 아닌 사각형이나 심지어 마름모 형태로 나타날 가능성도 배제할 수는 없겠지만 대부분의 연구에서 보이듯 삼각형의 형태를 가지게 되는 것이 일반적이다. 즉, 비율 자체가 중요하다기보다는 그러한 경향에 주목하여 더 자주 발생하는 경미한 재해나 아차사고를 통제함으로써 심각한 재해를 줄일 기회를 가질 수 있음을 보여주기 위한 목적으로 만든 것이라고 보아야 한다.



현재의 작업장은 기계화·자동화로 변모하였고 많은 안전규정이 도입되었다는 점 등을 감안하면 하인리히의 생각이나 주장은 현재의 상황을 반영하는 데 제한이 있을 수 있다

그동안 많은 조직에서 하인리히나 버드의 이론을 따라 경미한 재해를 예방하여 자연스럽게 심각한 재해를 예방하려는 노력을 하여왔다. 그렇지만 이러한 노력의 결과에 대해 회의적인 시각이 생겨나고 있다. 경미한 재해를 예방하려는 노력으로 전체적인 재해건수는 감소하였지만 사망과 같은 보다 심각한 재해는 별로 감소하지 않았다는 결과가 보고되고 있다(Smith, 2006, Krause, 2012).

Peterson(2001)은 많은 양의 자료를 바탕으로 연구해보면 일시적인 장애를 발생시키는 사고의 유형은 영구적인 장애나 사망을 일으키는 사고의 유형과 다르다는 것을 쉽게 알 수 있다고 하였다. 또한 심각한 결과를 가져오는 많은 사고는 경미한 재해나 아차사고와 다른 원인을 가지며, 알기 쉽지 않기 때문에 특별한 주의가 필요하다고(Manuele, 2003), 심각한 상해를 예방하기 위하여 하인리히로부터 비롯된 사고 발생에 대한 가정에서 새로운 가정⁴⁾에 근거한 재해 예방 패러다임의 전략 수립을 제안하고 있다(Krause, 2012).

결론

사고 심각형의 의미가 그 비율의 정확한 수치에 있지는 않다. 하인리히나 버드는 자신들이 원하지는 않았겠지만, 이 수치에 집착하는 많은 사람을 만들어 내었다. 또 그들이 경미한 사고를 감소시키면 심각한 재해가 줄어든다는 것을 주장할 때, 이것이 재해 강도에 관계없이 모든 재해에 적용된다고 명시적으로 말하지는 않았지만 사람들은 그런 방향으로 해석하여 예방대책을 수립했다고 생각할 수 있다.

하인리히가 최초의 저서를 낸 것이 1931년이라면 그 내

용의 기본은 1920년대의 미국이라는 상황을 기초로 한 것이라 볼 수 있다. 그 이후 작업장은 기계화·자동화되었고 많은 안전규정이 도입되었다. 그리고 인간공학을 비롯하여 사고나 질병 예방을 위한 많은 지식이 축적되어왔다. 이러한 것을 감안하면 하인리히의 생각이나 주장은 현재의 상황을 반영하는 데 제한이 있을 수 있다는 것에 유념하여 그의 주장이나 철학을 사용함에 있어 주의하여야 한다.

그들이 진정으로 원한 것은 많이 발생하는 경미한 재해나 아차사고의 자료를 심각한 재해의 예방에 이용하자는 데 있다고 봐야 한다. 🌸

참고문헌

- American National Standards Institute[ANSI], (1967), Method of recording and measuring work injury experience, New York.
- Bird, F.E. & Loftus, R.G. (1976), Loss Control Management, pp.104~108, Institute Press, Loganville, Georgia.
- Health and Safety Executive[HSE], (1993), The Costs of Accidents at Work, HSE, London.
- Heinrich, H.W. (1941), Industrial Accident Prevention : a Scientific Approach, 2nd. ed., McGraw Hill.
- Heinrich, H.W., Peterson, D., & Roos, N. (1980), Industrial Accident Prevention : a Safety Management Approach, 5th. ed., McGraw Hill.
- Krause, T.R. (2012), New findings on serious injuries and fatalities, <http://bstsolutions.com/images/stories/newfindingsonseriousinjuriesandfatalities.pdf>(2012. 3)
- Manuele, F.A. (2002), Heinrich Revisited : Truism or Myths, pp.35~42, National Safety Council[NSC].
- Manuele, F.A. (2003), Severe Injury Potential, Journal of Professional Safety, Feb. 2003.
- Peterson, D. 2001, Safety Management : A Human Approach, American Society of Safety Engineers [ASSE], 3rd edition, 11p., Des Plaines, Illinois.
- Rockwell Automation (2007), Proving the value of safety, Justification and ROI of safety programs and machine safety investments, Lyle Masimore, Rockwell Automation. Publication : SAFETY-WP004A-EN-P - March 2007.
- Smith, P. (2006), Hits and myths, Safety & Health Practitioner, 20 Feb. 2006, [http://www.shponline.co.uk/features-content/full/hits-and-myths\(2012. 3\)](http://www.shponline.co.uk/features-content/full/hits-and-myths(2012. 3)).

4) ① 모든 경미한 재해가 심각성 측면에서 같지는 않다. 심각도가 낮은 재해의 일부가 심각한 재해의 징후일 수 있다. ② 심각도가 다른 상해는 다른 원인을 갖는다. ③ 심각한 재해는 덜 심각한 재해를 줄이는 것과는 다른 전략이 필요하다. ④ 심각한 재해를 줄이려면 사고, 상해, 아차 사고, 노출로부터 얻은 위험상황에 대한 자료를 이용해야 한다.

하인리히의 통계적 고찰과 우리나라 산업재해 강도의 변화



김영선 연구위원
산업안전보건연구원
재해통계분석팀

들어가며

하인리히(Herbert William Heinrich)는 미국 트래블러스 보험사(Travelers Insurance Company) 재직 시 『산업재해 예방 : 과학적 접근(Industrial Accident Prevention : A Scientific Approach)』¹⁾이라는 저서를 통해 무상해사고(No-Injury accidents)와 경미한 상해(Minor injuries), 심각한 상해(Major injury)에 대한 직접적 관계를 발표하였다.

하인리히의 피라미드(Heinrich pyramid) 혹은 빙산의 일각(Iceberg model)으로 잘 알려진 '1 : 29 : 300'이라는 하인리히 법칙은 그 특정 숫자가 과학적 타당성은 갖지 않음에도 불구하고 그럴듯한 개념의 직관성에 의해 수년 동안 안전 전문가에게 인정을 받고 있다.

반면, 하인리히 법칙의 회의론자들은 통계자료를 통한 실증적 연구결과와 발생 원인인자가 다름을 지적하며 비판을 하고 있다. 이들은 무상해사고와 경미한 상해, 심각한 상해에 대한 관계들을 상수들의 비의 개념으로 접근하여 통계를 이용한 실증²⁾결과를 통해 하인리히 법칙의 문제점을 지적하고 있다.

예를 들어, 사무직종과 건설 근로자에게 하인리히 법칙의 같은 비율을 기대할 수 없으며 자주 일어나는 사고라고 해서 중대사고를 일으키는 것은 아니고 일시적 완전 상해(Temporary total disability)의 원인이 된 사고의 타입이 영구적 일부 상해(Permanent partial disability), 영구적 완전 상해(Permanent total disability) 혹은 사망(Fatality)의 원인과는 다르다는 것을 주장하고 있다.³⁾

본고에서는 하인리히 법칙에 대한 통계적 고찰과 중대사고와 소형사고 관계를 분포화하여 우리나라 산업재해 현황을 살펴보고자 한다.

미지의 모수 상수인가, 확률변수인가?

영국의 수도사였던 베이즈(Thomas Bayes)는 두 권⁴⁾의 저서를 통해 '베이즈 정리(Bayes' theorem)'라는 확률의 형식을 만들었다. '베이즈 정리'란 조건부 확률에서는 새로운 정보를 알았을 때 확률의 개선이 일어나게 된다는 것이다.

가끔 우리는 어떤 실험결과에서 나온 정보를 이용하여 어떤 사건의 처음 확률을 개선시킬 수 있는데, 여기서 처음 확률은 사전 확률(Prior probability)이라 하고, 개선된 확률을 사후 확률(Posterior probability)이라고 한다. 이러한 확률의 개선을 이룩하는 것이 베이즈의 정리

(Bayes' theorem)이다.

베이즈 이론은 전통적인 확률론과 대수론에 상반되기 때문에 통계학자들로부터 많은 배척을 받았지만 최근 들어 제프리(Harold Jeffreys, 1961)에 의해 확장되었다. 베이즈 정리 및 이론을 이용하여 하인리히 법칙에서의 1, 29, 300이라는 숫자를 미지의 모수로 판단할 것인지, 하나의 확률실험을 통해 나온 추정치로 생각할 것이지를 생각해보자.

1931년 하인리히 법칙이 발표된 직후 해당 분야의 전문가들을 사로잡은 것은 미지의 모수에 대해 1과 29, 300이라고 제시한 구체적인 숫자일 것이다. 여기서 1과 29, 300은 모비율에 대한 상수가 아닌 확률변수로서 하인리히의 실험을 통해 나온 결과이며 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 하인리히는 트래블러스 보험사 재직 당시 모집단을 통해 1 : 29 : 0.3의 모비율을 도출한 것이 아니라 5,000명의 표본을 통해 표본비율을 도출하였다. 추정된 표본비율은 모비율과의 오차를 가질 수밖에 없으며, 전문가들이 다양한 자료를 통해 증명하고자 했던 하인리히 법칙은 애초 잘못된 시도였을 수밖에 없다. 예를 들어, 앞면과 뒷면이 나올 확률이 동일한 동전을 이용하여 10번의 실험을 한 결과는 앞면이 4회 나오기도 하고 5회가 나오기도 한다. 다만, 10번의 시행이 아닌 무한한 반복 n 회가 이루어진다면 동전의 앞면은 $0.5 \times n$ 회에 근사하게 발생할 것이다.

둘째, 하인리히의 1 : 29 : 300의 비례관계는 상수가 아닌 확률분포를 따른다. '사고 발생 여부'와 '사고의 심각도'의 2단계로 접근하여 해석해 볼 수 있다. 정확히 알지는 못하지만 재해 발생과 관련된 수많은 위험인자들을 F_i , 재해 발생 여부를 X 라고 가정할 경우 재해 E 가 발생할 확률에 대해 우리는 $P(E) = P(X|F_i)$ 와 같은 조건부 확률로 정의할 수 있다. 이때 발생한 재해의 강도(입원기간 혹은 사고, 부상 여부)인 Y 에 따라 심각한 재해 여부를 나타내는 발생 확률 S 는 $P(S) = P(Y|E)$ 로 정의하게 된다. 이 두 개의 조건부 확률을 베이즈 정리를 이용하여 결합하게 되면 $P(S) = P(Y)/P(E)$ ⁵⁾를 나타내고 있다. 이때 $P(Y)$ 는 재해의 강도를 나타내는 확률분포이고, $P(E)$ 는

사고 발생에 대한 확률분포로서 서로 독립이며 $P(S_i)$ 는 상수의 값을 가지지 못하게 된다. 다시 말해, 하인리히의 특정 숫자 1, 29, 300은 우연에 의해 발생하는 숫자이며 재해강도인 $P(Y)$ 가 상수거나 혹은 균일분포(Uniform dist.)를 따르지 않는 한 선형적 상관성을 기대하기는 어렵다. 우리는 사고 발생에 대한 확률 $P(E)$ 와 치료기간 $P(Y)$ 의 비를 통해 재해 심각도에 대한 확률분포 $P(S_i)$ 를 만들어 낼 수 있으며 $P(S_i)$ 의 수준에 따라 재해 심각도의 지표로 활용할 수 있을 것이다.

셋째, 베이즈 이론에 근거할 경우 1 : 29 : 300은 상수가 아닌 하나의 확률변수이다. 이들 비율은 1 : 40 : 200, 1 : 10 : 100 등 어떠한 비율의 수치도 나타낼 수 있다. 다만, 이들 추정 비율값에 대한 가능성의 차이가 있을 뿐이다. 베이즈 이론에서는 사전 확률을 현상의 자료(우도, Likelihood)를 이용하여 사후 확률을 만들어내고 있다. 하지만 베이즈 이론의 가장 큰 약점의 하나는 사전 확률, 사전 분포에 대한 정의, 즉 산재와 관련된 비례관계에 대한 사전 분포를 정의하는 것은 쉽지가 않다.

하인리히 법칙에 대한 통계적 고찰결과를 중심으로 우리나라 산업재해 현황자료를 통해 산업재해 강도의 분포를 살펴보았다. 이때 재해 강도는 1명의 사고 사망자에게서 발생하는 사고 부상자의 수(이하 사고 발생비⁶⁾)로 정

1) H. W. Heinrich, Industrial Accident Prevention : A Scientific Approach, 1950, McGraw-Hill, New York.

2) A. Saloniemi, H. Oksanen Accidents and fatal accident-Some paradox, Safety Science 29 (1998) 59-66.

3) Dan Petersen, Setting Goals Measuring Performance - Frequency versus severity, Professional safety 2005 ; 43-48.

4) Divine Benevolence, or an Attempt to Prove That the Principal End of the Divine Providence and Government is the Happiness of His Creatures (1731), An Introduction to the Doctrine of Fluxions, and a Defence of the Mathematicians Against the Objections of the Author of the Analyst (1736).

5) $P(S_i) = \{P(Y)P(F_i)\} / \{P(X \cap F_i)\} = P(Y)P(F_i) / \{P(E)P(F_i)\} = P(Y) / P(E)$.

6) 사고 부상자 1명 당 사고 사망자의 비율로 사고 발생비를 정의할 경우 재해 강도를 바로 설명할 수 있었으나 하인리히 법칙 1 : 29 : 300과 유사하게 설명하기 위해 사고 사망자 1명 당 사고 부상자의 비율로 정의함. 따라서 재해 강도는 사고 발생비의 역수로 해석을 해야 함.

의하였고, 사업체의 특성과 재해자의 특성에 따른 재해 강도의 분포를 도출하였다.

우리나라 재해 강도의 분포

2011년 우리나라에서 발생한 사고 사망자 수는 1,383명, 사고 부상자 수는 8만 4,662명으로 사고 발생비는 2011년 기준으로 61.22이다. 1999년 사고 발생비는 전체 35.18, 남성 32.05, 여성 110.42로 사고 강도가 높았으나 사고 발생비가 매년 증가하여 사고 강도는 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는 과거에 비해 사업장에서 사망 사고 발생의 원인인자가 많이 제거되었음을 의미한다.

성별에 따른 사고 발생비를 살펴보면 남성(51.16)의 경

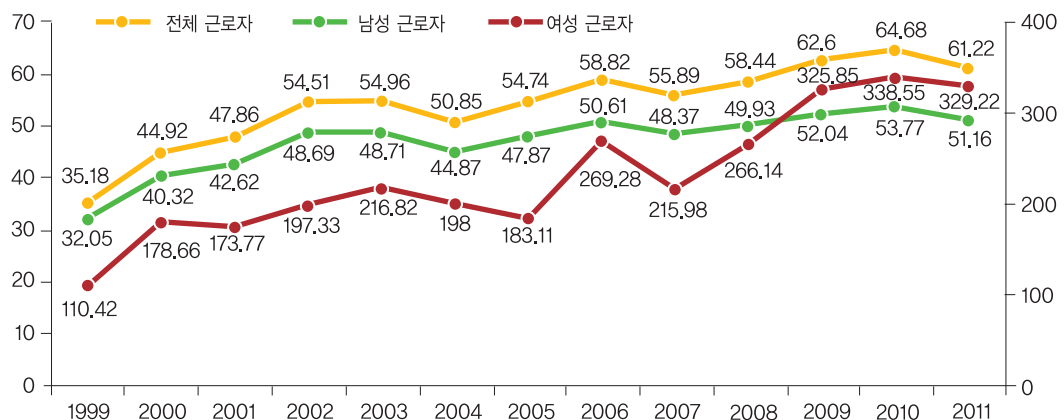
우 여성(329.22)보다 매우 낮게 나타나고 있어 남성의 재해 강도가 여성보다 높게 나타나고 있다. 이는 남성 근로자들이 건설업, 광업, 전기가스 및 상수도업, 운수 및 창고통신업 등 재해 강도가 높은 업종에서 많이 종사하고 있으며, 여성 근로자는 재해 강도가 낮은 서비스업의 종사비율이 높기 때문이다.

사업장 특성에 따른 재해 강도의 분포

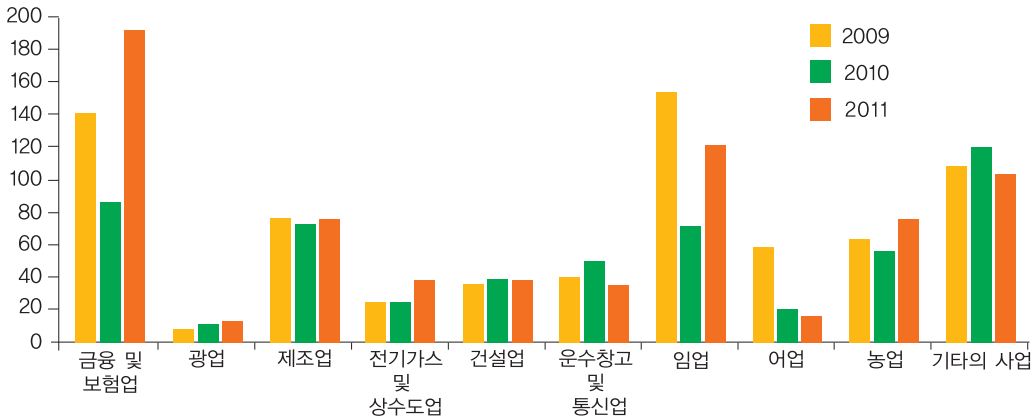
지난 2009년에서 2011년 사이 산재보험 요율상 업종과 사업장 종사 근로자의 규모에 따라 재해 강도 분포를 살펴보았다. 광업과 전기가스 및 상수도업, 건설업, 운수 창고 및 통신업, 어업에서 사고 발생비가 낮게 나타나고

〈표 1〉 1999~2011년 사고 부상자 수, 사고 사망자 수, 사고 발생비의 분포

연도	전체 근로자			남성 근로자			여성 근로자		
	부상(a)	사망(b)	사고 발생비(a/b)	부상(a)	사망(b)	사고 발생비(a/b)	부상(a)	사망(b)	사고 발생비(a/b)
1999	51,216	1,456	35.18	44,811	1,398	32.05	6,405	58	110.43
2000	63,511	1,414	44.92	55,114	1,367	40.32	8,397	47	178.66
2001	74,230	1,551	47.86	63,456	1,489	42.62	10,774	62	173.77
2002	75,116	1,378	54.51	64,460	1,324	48.69	10,656	54	197.33
2003	84,261	1,533	54.96	71,902	1,476	48.71	12,359	57	216.82
2004	78,154	1,537	50.85	66,274	1,477	44.87	11,880	60	198.00
2005	76,518	1,398	54.73	63,517	1,327	47.87	13,001	71	183.11
2006	78,343	1,332	58.82	64,879	1,282	50.61	13,464	50	269.28
2007	77,292	1,383	55.89	63,901	1,321	48.37	13,391	62	215.98
2008	84,624	1,448	58.44	69,454	1,391	49.93	15,170	57	266.14
2009	87,699	1,401	62.60	70,103	1,347	52.04	17,596	54	325.85
2010	89,459	1,383	64.68	71,516	1,330	53.77	17,943	53	338.55
2011	84,662	1,383	61.22	68,201	1,333	51.16	16,461	50	329.22



[그림 1] 1999~2011년 사고 발생비의 성별간 분포



[그림 2] 2009~2011년 사고 발생비의 업종별 분포

있어 재해의 강도가 매우 높았다. 특히 어업의 경우 사고 발생비가 2009년 58, 2010년 50, 2011년 15.50으로 매년 감소하고 있어 재해의 강도가 계속 커지고 있었다. 반면, 광업의 경우 타 업종에 비해 재해 강도가 가장 높지만 사고 발생비가 2009년 7.55에서 2010년 10.95, 2011년 12.63으로 증가하는 추세를 나타내고 있어도 재해 강도는 다소 감소하고 있다. 따라서 재해 예방활동에서 재해 강도가 높은 광업과 전기가스 및 상수도업, 건설업, 운수창고 및 통신업, 어업의 경우 사고 사망자를 위한 예방 정책이 보강되어야 할 것이다.

사업장 규모에 따른 사고 발생비를 살펴보면 2011년 기준 5인 미만 소규모 사업장의 경우 66.53으로 가장 큰 수치를 나타내고 있어 재해 강도가 낮게 나타나고 있었다. 사업장 규모가 커질수록 사고 발생비가 감소하여 재해 강도가 증가하는 추세를 나타내고 있는데 100~199인 사업장 규모의 경우 2011년 기준 36.74의 사고 발생비를 나타내고 있었으며, 1,000~1,999인의 경우 27.08로 가장 낮은 사고 발생비를 나타내고 있어 재해의 강도가 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

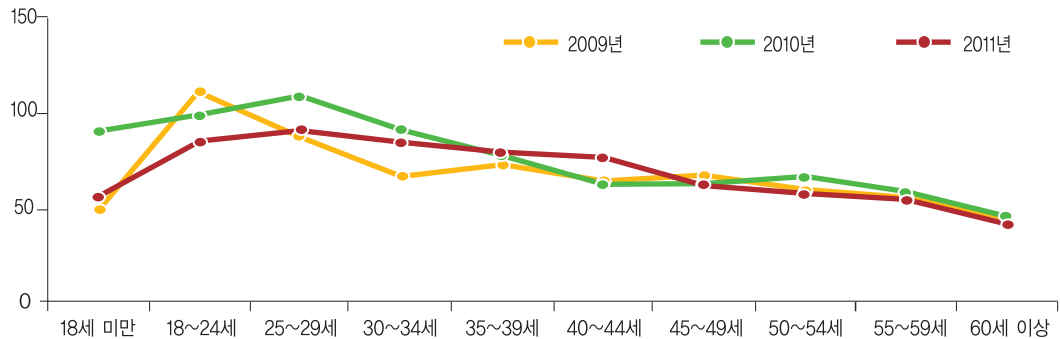
사업장 규모가 커질수록 재해율은 감소하는 경향을 나타내고 있는데 오히려 재해 강도는 증가하고 있다. 이는 사업장 규모가 클수록 경미한 사고로 인해 산재보험 처리가 이루어지고 있지는 않지만 재해가 발생할 경우 그 강도는 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 재해 예방 정책

에서도 소규모 사업장의 경우 경미한 재해를 대상으로 하고, 대규모 사업장에 대해서는 중대재해를 중심으로 고려해야 할 것이다. 다만, 2,000인 이상의 사업장 규모에서는 사고 발생비가 70.60으로 재해 강도가 매우 낮게 변하는 현상이 나타나고 있었다.

재해자 특성에 따른 재해 강도의 분포

산업재해자 특성인 연령과 직종, 국적, 근속 기간에 따른 사고 발생비의 분포 특성을 살펴보았다. 먼저, 지난 3년간의 자료를 분석한 결과 근로자의 연령이 증가할수록 사고 발생비가 감소 추세를 나타내어 재해 강도가 증가하고 있었다. 2011년 기준 25~30세 연령대 근로자의 사고 발생비는 90.26으로 가장 높게 나타나는 반면, 60세 이상에서는 41.85로 약 2배의 차이를 나타내고 있다. 연령이 증가할수록 재해율이 증가하는 현상을 감안하였을 때 재해 강도가 동시에 증가할 경우 고령 근로자를 대상으로 한 적극적 산재 예방활동이 필요할 것이다. 고령 근로자의 경우에는 신체기능의 저하와 사고 발생 후 회복이 쉽지 않아 중대재해로 발전될 가능성이 높은 특성을 가지고 있기 때문이다.

직종에 대한 분석에서 서비스업과 판매 종사업, 사무 종사자에서는 사고 발생비가 높게 나타나 재해 강도가 낮은 편이었으며, 장치, 기계 조작 및 조립 종사자, 기능



[그림 3] 2009~2011년 사고 발생비의 연령별 분포

[표 2] 1999~2011년 사고 발생비의 직종별 분포

직종별	2009년			2010년			2011년		
	사고 부상	사고 사망	사고 발생비	사고 부상	사고 사망	사고 발생비	사고 부상	사고 사망	사고 발생비
의회의원, 고위 임직원 및 관리자	3,121	129	24.19	3,965	121	32.77	5,873	110	53.39
전문가	3,692	72	51.28	4,088	75	54.51	4,820	74	65.14
기술공 및 준전문가	3,042	47	64.72	3,133	58	54.02	3,241	61	53.13
사무 종사자	6,216	57	109.05	6,186	72	85.92	5,828	65	89.66
서비스 종사자	7,012	12	584.33	7,449	19	392.05	6,786	20	339.30
판매 종사자	1,432	14	102.29	1,308	12	109.00	1,080	10	108.00
농업, 임업 및 어업 숙련 종사자	1,284	12	107.00	1,130	19	59.47	1,240	20	62.00
기능원 및 관련기능 종사자	14,026	390	35.96	14,920	348	42.87	16,248	373	43.56
장치, 기계 조작 및 조립 종사자	7,472	184	40.61	7,379	183	40.32	6,636	181	36.66
단순노무 종사자	36,348	368	98.77	35,731	416	85.89	32,598	421	77.43

원 및 관련기능 종사자, 기술공 및 준전문가, 의회의원, 고위 임직원 및 관리자 직종의 경우에는 사고 발생비가 낮아 재해 강도가 낮은 편으로 나타나고 있었다.

하지만 기능원 및 관련기능 종사자의 경우에는 재해 강도가 높을 뿐만 아니라 재해자 수도 많기 때문에 재해 예방활동에 많은 관심을 기울여야 할 것이다. 그 외 단순노무 종사자 역시 사고 발생비가 77.43으로 평균 수준의 재해 강도가 나타나고 있었으나 직종으로 보면 사망자 수가 가장 많이 나타났다. 지금까지 업종 위주의 재해 예방활동이 중심이었으나 직종에 대한 관심으로의 전환이 필요할 것이다. 특히 근로자의 업무 혹은 재해위험인자에 대한 동질성이 업종보다는 직종이 높게 나타나고 있기 때문에 직종 중심의 예방활동이 재해 예방 측면에 효율성이 있다고 생각된다.

사고 발생형태에 대한 분석에서는 빠짐·익사, 감전, 폭발, 화재, 유해화학(중독), 질식, 사업장 내 교통사고에 대

한 재해 강도가 높게 나타나고 있었으며, 무리한 동작, 절단, 이상온도, 전도 등의 경우에는 낮게 나타나고 있었다. 재해 강도가 높게 나타나는 경우 재해 사례 수는 많지는 않았지만 사고 발생 시 사망으로 이어지고 있다.

그밖에 근속 기간이 짧을수록 재해 강도가 높을 것이라는 예상과는 달리 근속 기간에 따라 재해 발생비는 특별한 패턴을 나타내고 있지는 않았으며, 국적별 분석에서는 과거 내국인에 비해 외국인의 재해 강도가 높은 것으로 나타나고 있었으나 2010년 이후 비슷한 수준을 나타내고 있다.

하인리히와 사고 발생비(재해 강도)의 분포

하인리히의 1 : 29 : 300이라는 관계식 제시는 무상해 사고가 증가하였을 때 경미한 상해, 심각한 상해 역시 증

〈표 3〉 1999~2011년 사고 발생비의 재해 발생형태별 분포

발생형태별	2009년			2010년			2011년		
	사고 부상	사고 사망	사고 발생비	사고 부상	사고 사망	사고 발생비	사고 부상	사고 사망	사고 발생비
추락	13,139	450	29.20	13,587	453	29.99	13,293	452	29.41
전도	20,090	94	213.72	21,145	97	217.99	19,560	104	188.08
충돌	8,368	70	119.54	8,588	75	114.51	6,967	60	116.12
낙하·비래	8,251	86	95.94	7,812	87	89.79	8,162	86	94.91
붕괴·도괴	904	73	12.38	783	64	12.23	642	71	9.04
감김·끼임	16,051	123	130.50	16,745	136	123.13	15,917	129	123.39
절단	7,309	1	7309.00	7,973	6	1328.83	7,569	2	3784.50
감전	419	39	10.74	428	36	11.89	358	42	8.52
폭발	413	28	14.75	337	36	9.36	313	40	7.83
파열	68	1	68.00	57	1	57.00	47	0	-
화재	454	43	10.56	373	30	12.43	363	22	16.50
이상온도·기압 접촉	2,224	11	202.18	2,540	14	181.43	2,198	9	244.22
빠짐·익사	8	25	0.32	3	24	0.13	1	26	0.04
광산사고	0	0	-	1	0	-	5	1	5.00
무리한 동작	2,078	1	2078.00	2,328	0	-	2,469	0	-
유해화학(중독), 질식	401	33	12.15	423	39	10.85	335	24	13.96
사업장 내 교통사고	220	30	7.33	96	11	8.73	119	8	14.88
체육행사	1,499	9	166.56	1,500	6	250.00	1,625	13	125.00
폭력 행위	476	10	47.60	415	11	37.73	433	11	39.36
동물 상해	321	7	45.86	288	6	48.00	243	9	27.00
기타	9	1	9.00	10	1	10.00	72	3	24.00

가할 수 있는 가능성을 제시하기 위함이지 이들의 법칙 성립 유무나 수학적 관계식, 통계적 타당성을 밝히려는 목적으로 한 것은 아니었다.

하인리히 법칙이 발표된 후 수십 년이 지나서도 관계식에 대한 통계적 고찰, 이들 숫자가 상수가 아닌 변수로의 전환은 이루어지지 않았다. 따라서 본고에서는 하인리히 법칙을 통계변수로 전환하여 우리나라 산재 현황자료를 통해 살펴보고, 재해 강도가 심각한 사업장과 재해자의 특성을 살펴보았다.

분석결과 첫째, 우리나라 재해 강도는 지속적으로 감소하고 있으며 앞으로도 이러한 현상은 가속될 것으로 전망된다. Nishikitani의 연구결과⁷⁾에 따르면 우리나라의 사고 부상률은 OECD 국가에서 매우 낮은 편에 속하나 사고 사망률은 높게 나타나고 있어 Lethality(치사율 혹은 재해 강도)가 매우 높은 국가로 분류하고 있다. 선진국 수준에 도달한 재해율과는 달리 재해 강도의 측면에서는 선진국 도달을 위해서는 많은 노력과 변화가 필요할 것이다.

둘째, 우리나라 전체 재해 강도를 낮추기 위해서는 대규모 사업장과 재해 강도가 높은 업종을 중심으로 하여

사고 사망자의 특성 분석 후 강도 높은 예방활동이 필요하다. 다행히도 이들 업종의 연도별 재해 강도의 분포를 살펴보면 감소를 하고 있으나 아직까지도 매우 높은 수준을 유지하고 있다.

셋째, 고령 근로자와 재해 강도가 높은 직종이나 발생 형태와 관련성 있는 근로자와 사업주는 재해 예방을 위해 노력해야 한다. 교육이나 홍보활동을 통해 재해의 심각성을 인지하고 사업장 내 재해위험인자를 제거해야 할 것이며, 근로자의 특성에 맞는 업무가 배분되어야 할 것이다.

하인리히 법칙과 유사하게 우리나라의 재해 강도의 분포를 살펴본 결과 사용 변수에 따라 재해 발생비는 매우 많은 차이를 나타내었으며, 이러한 차이를 통해 중대재해의 위험인자를 선별할 수 있었다. 우리나라가 산업재해 선진국으로 좀 더 빠르게 도달하기 위해서는 재해 강도 지표에 대한 관리와 예방활동이 필요할 것이다. 🌸

7) M. Nishikitani, E. Yano, Differences in the lethality of occupational accidents in OECD countries, Safety Science, 2008, 46(7), 1078-1090.

진동작업 종사 근로자의 진동노출실태



김갑배 연구원
산업안전보건연구원
직업환경연구소

들어가며

사람이 진동하는 물체를 잡고 있을 때 손으로 전달되는 진동을 수완계(Hand-arm vibration), 수 전달 진동(Hand-transmitted vibration) 혹은 수진 진동(Hand-held vibration)이라고 한다.

진동 발생 공구를 사용하는 작업자들이 극심한 진동 및 충격에 장시간 노출되면 혈관계, 신경계 및 근골격계질환이 나타날 수 있다. 이 중에서도 혈관계 장애가 가장 빈번하게 나타나는 증상으로, 혈액 순환이 제대로 되지 않아서 일부 손가락이 하얀색이 된다. 이와 같은 현상을 백지증(Vibration-induced white finger)이라고 하는데 신체 조직에 혈액이 공급되지 않으면 조직이 괴사하는 단계에까지 이를 수 있다.

이러한 증상 외에도 공구에서 발생하는 저주파수 진동이나 충격에 의해 손목의 뼈 사이를 지나는 신경다발이 눌림으로써 나타나는 손목 터널 증후군(Carpal tunnel syndrome)이 있으며, 저주파수 진동과 과도한 부하로 인해 근육과 근골격계의 손상이 나타날 수 있다.

이처럼 동력공구에서 발생하는 진동이 작업자의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 선진국에서는 이미 오래전부터 작업 현장에서의 진동 노출을 제한하는 강제적인 규정을 시행해 오고 있는데, 최초의 규제는 1955년 구(舊) 소련 보건규정(U.S.S.R Hygiene Regulation 191-55)이다. 이후 일본, 유럽, 미주지역의 많은 나라에서 단체별 혹은 국가별로 법규나 시행령들이 제정되고 사용되어왔다.

특히, 유럽공동체(EC)에서는 Machinery Directive(2006/42/EC)에 의해서 2010년부터 기계류에서 전달되는 진동이 손과 팔에 전달되는 수진진동의 경우 2.5m/s^2 , 전신진동의 경우 0.5m/s^2 초과 시 제품 사용설명서에 진동가속도를 명시하는 것을 의무화하고, 이러한 조치를 취하지 않으면 진동 발생 기계류의 수출·입에 제한을 둬으로써 진동에 의한 근로자 건강장해 예방 노력을 하고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 국소진동노출 평가 관련 연구가 시작되었고, 이 시기의 국소진동 연구는 국제표준화기구(ISO; International Organization for Standardization)에서 제시한 ISO 5349(1986년)에 의해 측정 및 평가가 이루어졌으며, 이에 우리나라에서도 국소진동에 대한 측정·평가기준의 필요성이 대두되었다.

국내 국소진동노출 평가와 관련된 연구의 대부분은 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 중심으

“

유럽공동체(EC)에서는 2010년부터 기계류로부터 전달되는 진동에 의한 근로자 건강장해 예방 노력을 하고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 국소진동노출 평가 관련 연구가 시작되었으나 대부분의 연구는 자동차 조립공정의 임팩트 렌치에 대하여 실시되었으며, 이 시기의 국소진동 연구는 국제표준화기구에서 제시한 ISO 5349(1986년)에 의해 측정 및 평가가 이루어졌다.

”

로 실시되었으나, 최근 5년간(2006~2010년) 진동 관련 전체 산업재해자 56명의 분포를 살펴보면 채석업을 포함한 석탄광업에서 27명, 선박 건조 및 수리업에서 14명, 기계기구제조업에서 4명, 건설업에서 3명, 수송용기계기구제조업에서 1명, 금속가공업에서 1명 그리고 기타 업종에서 6명의 재해자가 발생하는 등 석탄광업과 선박 건조 및 수리업이 73%를 차지하고 있었다. 또한 대부분의 국내 연구에서 측정 및 평가기준으로 사용한 ISO 5349(1986년)는 2001년에 개정되었으나 개정된 기준에 의해 측정 및 평가된 국소진동자료는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 점점 강화되고 있는 진동관리의 국제적 추세를 고려하여 산업안전보건기준에 관한 규칙에 명시된 진동작업에 해당하는 기계·기구를 대상으로 진동재해 발생률이 높은 석탄광업과 선박 건조 및 수리업 중심의 근로자 진동노출실태를 파악하고, 개정된 ISO 기준에 따라 진동공구로부터 근로자에게 전달되는 진동을 측정 및 평가하여 향후 진동에 관한 노출기준 마련을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

연구대상 사업장은 선박 건조 및 수리업과 석탄광업 등 재해자가 많이 발생한 업종을 위주로 측정할 수 있도록 선정하였다.

측정대상 국소진동 발생 기계·기구는 산업안전보건기준에 관한 규칙에 명시된 '진동작업'에 해당하는 기계·기구인 착암기, 동력을 이용한 해머, 체인톱, 동력을 이용한 연삭기, 임팩트 렌치로 선정하였다.

본 연구에서 국소진동노출 평가를 실시한 사업장 일반 현황은 <표 1>과 같다.

<표 1> 측정대상 사업장 일반 현황

사업장	업종	측정 근로자	측정대상 기계기구
A	석탄광업	2	착암기
B	선박 건조 및 수리업	4	동력을 이용한 연삭기 (그라인더)
C	선박 건조 및 수리업	2	동력을 이용한 연삭기 (그라인더)
D	동력용 전기기계기구제조업	4	동력을 이용한 연삭기 (그라인더), 임팩트 렌치, 동력을 이용한 해머(치핑 해머)
E	영림업	5	체인톱

본 연구에서 사용한 국소진동측정장비는 SVANTEK 사의 SVAN 948 Four Channels Sound & Vibration Analyser였다. 진동은 3축 가속도계인 SV 3023M2 (Triaxial accelerometer 10 mV/g, 4 pin side connector, M3 hole mounting)을 통해 Analyser로 전달되어 분석되었다.

진동 발생 기계·기구로부터 근로자에게 전달되는 진동을 측정하기 위해서 2001년판 ISO 5349(Mechanical vibration-Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration)에 근거한 KOSHA Code(국소진동측정 및 평가지침)에 의해 진동을 측정하였다.

대부분의 국내 연구에서 측정 및 평가기준으로 사용한 ISO 5349(1986년)는 X, Y, Z축의 가속도값 중 가장 큰 가속도값을 나타내는 축(Dominant axis)의 가속도값을 4시간 기준 주파수 가중 에너지 등가가속도로 변환하여 국소진동의 수준을 평가하였다. 그러나 ISO 5349의 2001년 개정판에는 3축 방향의 가속도를 벡터합으로 한

8시간 기준 주파수 가중 에너지 등가가속도를 사용하도록 하였다.

진동측정은 진동가속도계를 손으로 잡을 수 있는 어댑터에 체결하여 검지와 중지 사이에 어댑터를 낀 상태에서 하였다. 그리고 장갑을 착용한 상태에서 어댑터를 잡고 작업하였을 때 측정한 경우와 맨손에 어댑터를 잡고 그 위에 장갑을 착용하고 작업하였을 때의 두 가지 경우로 측정하였는데 전자의 경우는 어댑터와 진동 발생 기계·기구 사이에 이물질이 없이 직접 닿게 해서 측정하여 이를 장갑을 착용하지 않고 작업한 것으로 보았다. 연구범위는 다음과 같다.

- 착암기, 체인톱, 엔진 커터, 동력을 이용한 연삭기, 임팩트 렌치 및 동력을 이용한 해머 등에 대한 진동가속도 측정
- 작업 공정별 진동가속도 수준 평가
- 장갑 착용 전후의 진동가속도 수준 평가
- 방진장갑 등 진동보호구 착용 여부
- 진동가속도 정보 제공실태 파악

진동노출수준은 사상작업, 착암작업, 체인톱 작업 및 임팩트 작업 순으로 높아

A사업장은 석탄 채광 광업소로, 착암기에 서 발생하는 진동을 측정하였다. A사업장에서는 2명의 근로자에 대해 착암기로부터 전달되는 진동을 측정하였다. 근로자들은 목장갑을 착용하고 작업하였고, 각 측정방법에 대하여 5회씩 측정하여 평균한 값으로 평가하였다.

〈표 2〉에서 보듯이 장갑 밖에 어댑터를 잡고 측정한 경우에는 $26.39 \sim 30.18 \text{ m/s}^2$ 의 진동가속도가 발생하였고, 장갑을 착용한 경우에는 $16.43 \sim 24.59 \text{ m/s}^2$ 의 진동가속도가 발생하였다.

〈표 2〉 A사업장 진동 발생 기계·기구 일일 진동노출량

근로자	가속도계 부착 위치	3축 가중 가속도값 (m/s^2)	노출시간 (min)	일일 진동노출량 A(8), (m/s^2)
A-1	장갑 밖	30.18	90	13.1
	장갑 안	24.95	90	10.8
A-2	장갑 밖	26.39	90	11.4
	장갑 안	16.43	90	7.1

사업장 B와 C는 선박 건조 및 수리업체로서 사상작업에서 그라인더 작업 시 발생하는 진동을 측정하였다. 사용하는 그라인더는 앵글식 그라인더(Angle grinder)와 베이비 혹은 핸드 그라인더라고 불리는 다이 그라인더(Die grinder) 두 가지를 사용하였다. 앵글식 그라인더는 7인치 연마석과 4인치 연마석을 교대로 탈·부착하면서 사용하고 있어서 7인치, 4인치 및 다이 그라인더의 세 가지 그라인더에서 발생하는 진동을 측정하였다. 각각의 측정에 대해 2~5회 측정한 값을 평균하여 평가하였다. 근로자들은 목장갑 위에 용접장갑을 착용하고 작업하였다.

〈표 3〉 B/C 사업장 진동 발생 기계·기구 일일 진동노출량

사업장 / 근로자	진동 발생 기계·기구	가속도계 부착 위치	3축 가중 가속도값 (m/s^2)	노출시간 (hr)	일일 진동노출량 A(8), (m/s^2)
B-1	4인치 그라인더	장갑 밖	4.95	4	3.5
		장갑 안	3.82	4	2.7
	다이 그라인더	장갑 밖	7.71	1	2.7
		장갑 안	5.94	1	2.1
	합계	장갑 밖	6.20	5	4.4
		장갑 안	4.76	5	3.4
B-2	다이 그라인더	장갑 밖	27.0	5	21.4
		장갑 안	14.8	5	11.1
B-3	7인치 그라인더	장갑 밖	7.51	5	5.9
		장갑 안	7.41	5	5.9
B-4	7인치 그라인더	장갑 밖	9.32	5	7.4
		장갑 안	8.87	5	7.0
C-1	4인치 그라인더	장갑 밖	5.68	4	4.0
		장갑 안	4.71	4	3.3
	핸드 그라인더	장갑 밖	7.11	1	2.5
		장갑 안	5.31	1	1.9
	합계	장갑 밖	6.36	5	4.7
		장갑 안	4.99	5	3.8
C-2	7인치 그라인더	장갑 밖	6.37	5	5.3
		장갑 안	5.42	5	4.3



진동가속도계를 손으로 잡을 수 있는 어댑터에 체결하여 진동을 측정하는 모습

〈표 3〉에서 보는 것처럼 장갑 밖으로 어댑터를 부착하고 측정한 경우 4인치 그라인더와 다이 그라인더를 같이 사용한 근로자는 $4.4\sim 4.7\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에 노출되었다. 그리고 7인치 그라인더를 사용하는 근로자는 $5.3\sim 7.4\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에, 다이 그라인더만 사용하는 근로자는 21.4m/s^2 의 진동가속도에 노출되었다. 또한 장갑 안에 어댑터를 잡고 측정한 경우 4인치 그라인더와 다이 그라인더를 함께 사용한 근로자는 $3.4\sim 3.8\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에 노출되었다.

한편, 7인치 그라인더를 사용한 근로자는 $4.3\sim 7.0\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에, 다이 그라인더만 사용한 근로자는 11.1m/s^2 의 진동가속도에 노출되었다.

D사업장은 경남 창원에 소재한 발전소 차단기 및 변압기 등을 생산하는 업체로, 차단기 생산공장의 주요공정 중 모터케이싱 사상작업에서 사용하는 그라인더로부터 인체에 전

달되는 진동과 배전변압기 조립공정에서 볼트 체결 시 사용하는 임팩트 렌치로부터 근로자에게 전달되는 진동을 측정하였다.

〈표 4〉 D사업장 진동 발생 기계·기구 일일 진동노출량

근로자	진동 발생 기계·기구	가속도계 부착 위치	3축 가중 가속도값 (m/s^2)	노출시간 (min)	일일 진동 노출량 A(8), (m/s^2)
D-1	4인치 그라인더	장갑 밖	3.43	210	2.3
		장갑 안	3.04	210	2.0
	7인치 그라인더	장갑 밖	4.91	210	3.2
		장갑 안	3.93	210	2.6
	합계	장갑 밖	4.10	420	4.0
		장갑 안	3.44	420	3.3
D-2	다이 그라인더	장갑 밖	9.37	252	6.8
		장갑 안	7.53	252	5.5
	치핑 해머	장갑 밖	14.86	168	8.8
		장갑 안	13.89	168	8.2
	합계	장갑 밖	11.14	420	11.1
		장갑 안	9.84	420	9.9
D-3	임팩트 렌치	장갑 밖	4.25	60	1.5
		장갑 안	4.24	60	1.5
D-4	임팩트 렌치	장갑 밖	4.78	60	1.7
		장갑 안	4.46	60	1.6

그라인더 사용 근로자들은 작업하는 동안 그라인더 및 치핑해머를 이용하여 주조된 모터케이싱의 돌출 부분을 매끄럽게 하는 작업을 하였으며, 남성 근로자는 7인치 그라인더와 4인치 그라인더를 사용하여 모터케이싱 표면의 돌출된 부분을 매끄럽게 하는 작업을 수행하였다. 여성 근로자는 남성 근로자가 표면작업을 한 모터케이싱을 다시 그라인더와 치핑해머를 이용하여 틈 부분이나 내부 모서리를 매끄럽게 하는 작업을 하였다.

측정방법 당 2~4회 측정한 값을 평균하여 평가하였다. 남성 그라인더 작업자는 목장갑을 착용하고 그 위에 용접장갑을 추가로 착용하였고, 여성 근로자는 목장갑 2장을 착용하였다. 임팩트 렌치 작업자는 목장갑 1장을 착용하였다.

장갑 밖에 어댑터를 부착하고 측정한 경우는 <표 4>와 같이 4인치 그라인더와 7인치 그라인더를 같이 사용한 근로자는 4.0m/s^2 의 진동가속도, 다이 그라인더와 치핑해머를 사용한 근로자는 11.1m/s^2 의 진동가속도, 임팩트 렌치 사용 근로자는 $1.5\sim 1.7\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에 노출되었다. 그리고 장갑 안에 어댑터를 잡고 측정한 경우 4인치 그라인더와 7인치 그라인더를 같이 사용한 근로자는 3.3m/s^2 의 진동가속도, 다이 그라인더와 치핑해머를 사용한 근로자는 9.9m/s^2 의 진동가속도에 노출되었으며, 임팩트 렌치 사용 근로자는 $1.5\sim 1.6\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에 노출되었다.

E사업장에서는 5종의 체인톱으로 원목을 절단할 때 손으로 전달되는 진동을 측정하였다. 각각의 측정방법에 대하여 3~4회 측정해서 그 결과의 평균으로 측정결과를 분석하였다.

E사업장 근로자의 장갑 착용 시 전달되는 국소진동에 대해서는 목장갑을 착용한 경우와 보호장갑을 착용한 경우의 두 가지에 대해 측정하였다. 보호장갑은 사업장에서 안전장갑이라 불리는 체인톱 제조사에서 제공되

는 장갑으로서 진동 저감을 위한 목적보다는 벌목작업 시 나뭇가지 등에 의한 부상을 예방하기 위한 장갑이다. <표 5>에서 보듯이 장갑 밖에 어댑터를 부착하고 측정한 경우에는 $2.4\sim 5.2\text{m/s}^2$ 의 진동가속도, 목장갑을 착용한 경우에는 $1.8\sim 2.8\text{m/s}^2$ 의 진동가속도, 보호장갑을 착용한 경우에는 $1.7\sim 2.8\text{m/s}^2$ 의 진동가속도가 발생하였다.

실제 근로자에게 작업시간을 고려하지 않고 단순히 기계·기구에서 발생하는 진동 수준을 비교했을 때는 <그림>과 같이 착암기에서 $26.39\sim 30.18\text{m/s}^2$ 로 가장 높은 진동가속도가 전달되었다. 치핑 해머에서는 14.86m/s^2 다이 그라인더에서는 $7.11\sim 27.0\text{m/s}^2$, 7인치 그라인더에서는 $4.91\sim 9.32\text{m/s}^2$ 4인치 그라인더에서는 $3.43\sim 5.68\text{m/s}^2$, 임팩트 렌치에서는 $4.25\sim 4.78\text{m/s}^2$ 체인톱에서는 $3.40\sim 7.36\text{m/s}^2$ 의 진동가속도가 전달되었다.

국내의 기존 연구들은 대부분 개정 전 ISO 기준에 의하여 측정 및 평가되어 본 연구결과와 기존 연구결과를 직접적으로 비교하는 것은 어렵다. 하지만 사상작업 중 사용하는 기계·기구에 있어서 앵글 그라인더보다는 다이 그라인더나 치핑 해머로부터 전달되는 진동가속도가 더

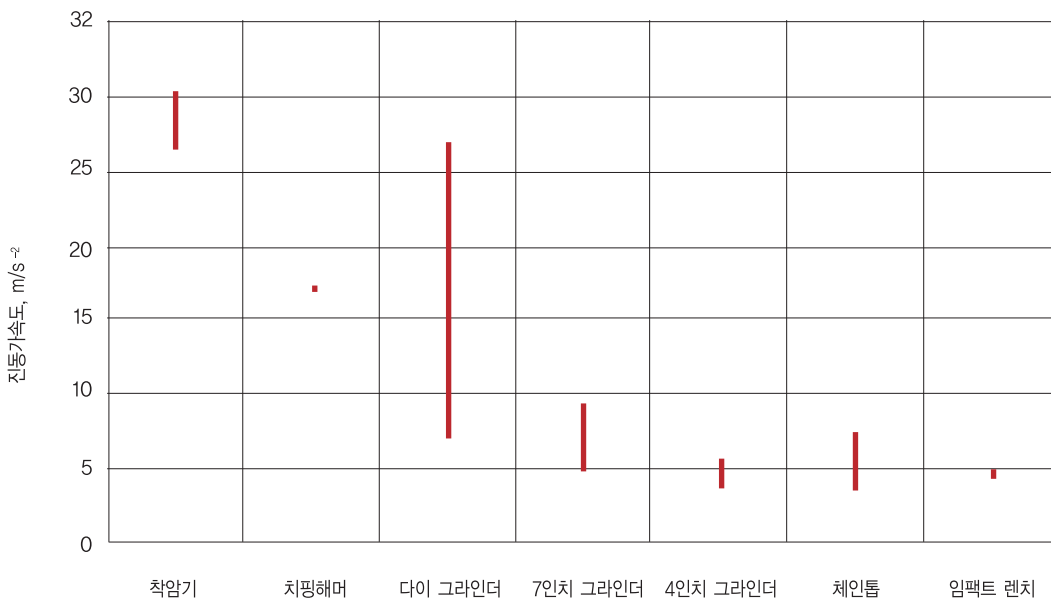
<표 5> E사업장 진동 발생 기계·기구 일일 진동노출량

제조사	가속도계 부착 위치	3축 가중 가속도값 (m/s^2)	노출시간 (hr)	일일 진동 노출량 A(8), (m/s^2)
E-1	장갑 밖	3.94	4	2.8
	보호장갑 안	3.93	4	2.8
	목장갑 안	3.98	4	2.8
E-2	장갑 밖	4.64	4	3.3
	보호장갑 안	3.17	4	2.2
	목장갑 안	3.48	4	2.5
E-3	장갑 밖	7.36	4	5.2
	보호장갑 안	3.24	4	2.3
	목장갑 안	3.28	4	2.3
E-4	장갑 밖	3.64	4	2.6
	보호장갑 안	2.51	4	1.8
	목장갑 안	2.65	4	1.9
E-5	장갑 밖	3.40	4	2.4
	보호장갑 안	2.35	4	1.7
	목장갑 안	2.54	4	1.8

“

2001년 개정된 기준에 의해 측정 및 평가된 국내 국소진동자료는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 점점 강화되고 있는 진동관리의 국제적 추세를 고려하여 산업안전보건기준에 관한 규칙에 명시된 진동작업에 해당하는 기계·기구를 대상으로 진동재해 발생률이 높은 석탄광업과 선박 건조 및 수리업 중심의 근로자 진동노출실태를 파악하고, 개정된 ISO 기준에 따라 근로자에 전달되는 진동을 측정 및 평가하여 향후 진동에 관한 노출기준 마련을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

”



[그림] 기계·기구별 진동가속도 수준

큰 값을 보이는 부분 등에서는 동일한 경향을 보여주고 있었다.

국내생산 진동 발생 기계·기구도 진동 가속도 정보 제공 필요

진동 발생 기계·기구로부터 전달되는 진동가속도의 측정 및 평가 외에 사업장에서 사용하고 있는 진동 발생 기계·기구에 대해 제조 국가, 사용설명서 보유 여부 및 진동가속도 정보 제공실태도 파악하였다.

총 20개의 기계·기구 중 국내 생산품은 11개였고, 9개는 수입품이었다. 그 중 4개는 유럽 제품이고 3개는 일본 제품 그리고 2개는 미국 제품이었다. 그리고 20개의 기계·기구 중 5개 기계·기구만이 제품 사용설명서를 사업장에 비치하고 있었다.

사업장에서 보유한 제품 사용설명서와 제조사 홈페이지를 통해 제공되는 제품 사용설명서를 통틀어서 20개의 기계·기구 중 20%에 해당하는 4개의 기계·기구만 진동가속도 정보를 제공하고 있었다. 국내에서 생산되는 제품 중 진동가속도 정보가 제공되는 기계·기구는 없었으

며, 진동가속도 정보가 제공되는 4개의 제품 중 3개는 유럽에서 생산되었고, 1개는 일본에서 생산되었다.

이는 유럽의 경우 기계류로부터 전달되는 진동이 2.5m/s^2 를 초과할 경우 제품 사용설명서에 진동가속도를 명시하는 것을 의무화하여 근로자 건강장해 예방에 노력하고 있기 때문이라고 판단된다.

진동 발생 기계·기구 사용 시 장갑 착용 여부를 조사한 결과, 모든 근로자가 장갑을 착용하고 작업을 하였으나 진동 보호장갑을 착용하고 작업한 근로자는 없었다.

17명의 근로자 중 목장갑 혹은 보호장갑 1개를 착용하고 작업하는 근로자는 52.9%, 목장갑 2개 혹은 목

장갑과 용접장갑을 동시에 착용하는 근로자는 47.1%였다.

2004년 박희석이 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 주로 사용하는 작업자 20명을 대상으로 장갑 착용 여부에 대한 면담조사를 실시한 결과, 목장갑 1개 착용이 16.7%, 목장갑 2개 혹은 목장갑 1개와 코팅장갑을 동시에 사용하는 근로자가 83.3%로 조사되었으며, 방진장갑 착용 근로자는 없었다.

2004년에 발표된 연구결과는 단일 사업장에서 임팩트 렌치를 사용하는 근로자에 대해서만 조사를 한 자료여서 본 연구결과와 직접적인 비교는 어렵지만 단순한 경험

파악을 위해 비교해보면 위에서 보듯이 산업안전보건기준에 관한 규칙에 진동작업관리 조항이 신설되기 전과 후의 진동 보호용 장갑 착용에는 큰 차이가 없었다.

맺는말

본 연구에서는 5개 사업장 17명의 근로자들에게 전달되는 국소진동을 측정하였다. 실제 근로자들이 작업 시 장갑을 착용하고 작업하는 점을 감안하면 체인톱을 사용하여 작업한 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량은 $1.7\sim 2.8\text{m/s}^2$ 이었다. 전체 근로자 중 가장 높은 진동가속도에 노출된 착암기 사용 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량은 $7.1\sim 10.8\text{m/s}^2$ 이었다.

그라인더 작업자의 경우 그라인더의 종류에 따라 진동노출량에 차이가 있었다. 다이 그라인더 한 종류만 사용하거나 다이 그라인더와 치핑 해머를 함께 사용한 근로자에



동력공구에서 발생하는 진동이 작업자의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 선진국에서는 오래전부터 작업 현장에서의 진동 노출을 제한하는 강제적인 규정을 시행해 오고 있다.

게 비교적 높은 진동가속도가 전달되었다. 4인치나 7인치 그라인더 하나만 사용하거나 4인치, 7인치 및 다이 그라인더 중 두 가지를 함께 사용한 경우에는 전자에 비해 비교적 낮은 진동가속도값을 나타내었다. 전자의 경우 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량은 $3.9 \sim 11.1 \text{ m/s}^2$ 이었고, 후자의 경우는 $3.3 \sim 7.0 \text{ m/s}^2$ 이었다. 그리고 임팩트 렌치를 사용하여 작업하는 근로자들이 $1.5 \sim 1.6 \text{ m/s}^2$ 로 가장 낮은 진동가속도에 노출되었다.

국내에는 노출기준이 없는 관계로 유럽연합(EU)의 노출기준인 5 m/s^2 로 노출기준 초과 여부를 판단해 보면, 측정대상 17명의 근로자 중 6명의 근로자가 노출기준을 초과하였다. 노출기준 초과과정에서 작업하는 근로자는 착암작업 근로자, 일부 그라인더 작업자 및 치핑 해머 작업자였다.

국소진동노출 평가와 관련된 국내 연구의 대부분은 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 중심으로 개정 전 ISO 기준에 근거하여 실시되었다. 본 연구에서는 진동재해자가 실제로 많이 발생하는 선박 건조 및 수리업과 석탄광업에 종사는 근로자에게 노출되는 진동 수준을 조사하였으며, 개정된 ISO 기준에 의하여 국소진동노출 평가를 실시하였다는 데 의의가 있다.

산업안전보건법 제 43조(건강진단)에 의해 진동작업 중사 근로자에 대한 진동 관련 특수건강진단은 매년 실시되고 있다.

최근 진동에 관한 작업환경측정결과를 분석하여 보면 2009년 및 2008년에는 진동에 대한 작업환경을 측정하는 사업장이 없었다. 2007년에는 1개 사업장에서 6개 단위 작업 장소에 대해서만 진동에 관한 작업환경측정이 실시되었다.

이렇듯 산업안전보건기준에 관한 규칙에 진동 관련 조항이 신설된 이후에도 사업장의 진동관리가 제대로 이루어지지 않는 이유는 현재 국내 진동 발생 기계·기구에 대한 노출기준이 설정되어 있지 않고 작업환경측정대상도 아니기 때문이라고 판단되었다. 따라서 진동재해를 예방하기 위해서는 진동 발생작업의 주기적인 모니터링을

통해 진동 발생 기계·기구의 점검 및 보수 등의 적절한 관리와 국소진동 관련 노출기준이 조속히 설정되어야 할 것이다. 🌸

참고문헌

- M. J. Griffin., 1990, Handbook of Human vibration, Academic press, London.
- Directive 2006/42 EC of the european parliament and of the council on machinery, 2006, Official Journal of the European Union, pp.24~86.
- Park, H. S. and Huh, S. M., 2004, A Study on Measurement and Analysis of Local Vibration Induced by the Powered Hand Tools Used in Automobile Assembly Lines, IE Interface, Vol. 17, No. 3, pp.375~383.
- Jeung, J. Y. and Kim, J. M., 1995, Hand-Arm Vibration and Noise Levels of Double-Hammer Type and Oil-Pulse Type Impact Wrenches in Automobile Assembly Lines, J Korean Soc Occup Environ Hyg, Vol. 5, No. 2, pp.147~159.
- Youn, J. T., Park, S. K., Kim, S. Y., Lee, T. Y. and Jang, J. Y., 1999, Evaluation of Hand-Arm Vibration of Steel Processing Factory Workers, J Korean Soc Occup Environ Hyg, Vol. 9, No. 2, pp.52~65.
- Park, I. S., Park, W. H., Park, S. K. and Kim, K. S., 2001, Evaluation of Hand-Arm Vibration in Swaging Process, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp.275~286.
- Ju, Y. S., Choi, H. R., Kim, M. K., Sohn, H., Jeon, S. J., Cho, S. I. and Kim, H. S., 1998, Evaluation of Health Exams on Local Vibration Illness among Shipyard Workers, Korean J Occup Environ Med, Vol. 10, No. 4, pp.413~427.
- Philips, J. I. and Heyns, P. S., 2007, Rock Drills used in South African Mines: a Comparative Study of Noise and Vibration Levels, Ann. Occup. Hyg., Vol. 51, No. 3, pp.305~310.
- ISO 5349., 2001, Mechanical vibration -Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, ISO, Switzerland.
- Jang, J. K., 2004, Guidance for measurement and evaluation of Hand-transmitted vibration, Korea Occupational Safety and Health Agency.

인체진동의 측정 및 평가



박상규 교수
연세대학교 환경공학부

서론

근로자들이 과도한 진동에 노출되는 경우 건강에 치명적인 문제를 발생시킬 수 있으며, 이를 예방하기 위하여 국내·외 여러 연구자에 의하여 연구가 진행되어 왔다.

이러한 진동문제를 산업안전보건 관점에서 예방하고 대책을 수립하기 위해서 전신진동과 국소진동으로 분류하였다. 트럭이나 버스와 같은 대량 운송 교통수단의 운전자 및 승객 또는 비행기, 헬리콥터의 조종사와 같이 전신진동에 폭로될 위험이 있는 환경에는 이에 따른 적절한 보호대책이 필요하다. 그래서 전신진동의 측정 평가를 위한 연구가 해외에서 많이 진행되어 왔으며, 그 결과는 ISO 2631(1997)에 수록되었다. 또한 착암기, 그라인더 등의 진동공구를 사용하는 근로자는 국소진동에 노출되는데 이를 측정하고 평가하는 방법은 ISO 5349(2001)에 명시되어 있다.

본고에서는 ISO 2631(1997) 및 ISO 5349(2001)의 내용을 중심으로 현재 적용되고 있는 측정 평가방법을 소개하고자 한다.

전신진동

전신진동측정

전신진동을 측정하기 위한 장비로는 진동기록장치(Tape recorder), 전신진동용 Pad형 3축 가속도계(3 Axes acceleration pick up pad), 진동레벨측정기(Vibration level meter), 증폭기 및 전원공급장치(Amplifier & power supply)가 사용된다.

이들 장비는 전신진동이 발생하는 차량 또는 건물에서 주파수분석기(FFT analyzer)를 이용하여 진동가속도와 주파수 성분을 분석하거나 진동기록장치에 저장하여 실험실에서 정밀 분석을 수행한다. [그림 1]과 (사진 1)은 측정장치의 개요 및 실제 측정 시의 측정장비를 나타낸다.

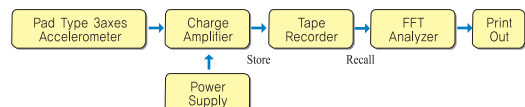
전신진동 평가

현재 전신진동에 대한 폭로 정도를 평가하는 기준으로 널리 사용되고 있고 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 것이 ISO-2631

(1997)로서 다른 평가기준의 기초

가 되고 있다. 이 기준을 기초로

ACGIH(미국정부 산업위생전문가



[그림 1] 전신진동 측정장치의 개요



(사진 1) 전신진동 측정장비



협회)와 유럽연합(EU), FTA(미연방수송청) 등에서 기준을 제시하고 있으나 국가마다 통일된 기준이 아직은 제시되지 않고 있다.

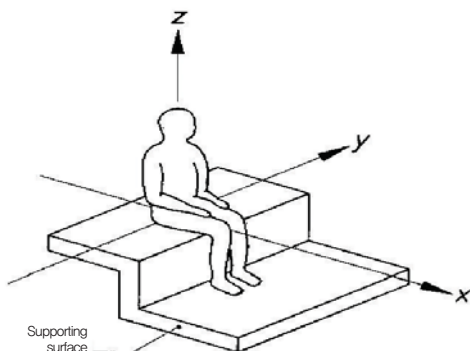
우리나라의 경우, 외국의 기준은 인종, 체질, 개인의 감수성, 기후 조건, 작업환경 등 다양한 측면에서 우리의 현실과 다소 거리감이 있는 게 사실이다. 그렇지만 국내에는 아직 전신진동에 대한 명확한 기준이 제시되어 있지 않다. 때문에 이들 외국의 자료를 위주로 설명하고자 한다.

■ 기본중심 좌표계

진동이 발생하는 각각의 방향은 ISO 2631에서 제시한 자료를 근거로 차량의 진행 방향인 운전자의 앞뒤 방향을 x축, 좌우 방향을 y축 그리고 상하 방향을 z축으로 설정하였으며 [그림 2]와 같다.

■ 가속도값의 계산 및 평가

전신진동의 평가는 주파수 가중 가속도(Frequency weighted acceleration)값을 이용한다. 이 주파수 가중 가속도 값은 주파수 가중인자(Weighting factor)와 1/3



[그림 2] 기본중심좌표계(Basicentric Coordinate System -seated position)

옥타브(Octave)로 분석된 각각의 가속도값의 곱을 제곱하여 합한 후 이 값에 다시 제곱근을 취한 값으로 얻어지며 식 (1)을 이용한다.

$$\cdot \text{식 (1)} : a_w = \left[\sum (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

a_w : 주파수 가중 가속도 값

W_i : i 번째 1/3 옥타브밴드의 주파수가중 값

a_i : i 번째 1/3 옥타브밴드의 r.m.s 가속도 값

아울러 이 기준에서는 가장 큰 가속도값을 기준으로 폭로량을 평가하는 Dominant axis method를 이용하도록 하고 있으나, 각 축의 값이 크게 차이를 보이지 않을 경우 축 방향 보정인자(Multiplying factor) $k_x = k_y = 1.4$ 및 $k_z = 1.0$ 을 곱하여 Vector sum method를 사용할 것을 권장하고 있다. Vector sum method를 구하는 공식은 식 (2)와 같다.

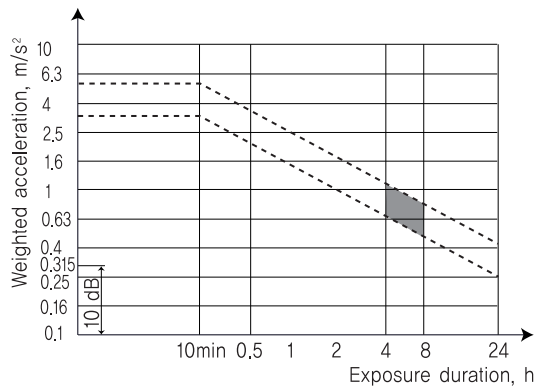
$$\cdot \text{식 (2)} : a_w = \sqrt{(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + (1.0a_{wz})^2}$$

ISO 2631(1997) Part-1의 부록 B에서는 이동차량에서 발생하는 진동의 영향에 대해 Health guidance caution zone을 설정[그림 3]하여 이동차량에서 발생한 진동 수준이 이 범위 아래 있으면 인체에 대한 어떠한 영향도 명확하게 보고되어지지 않거나 객관적으로 관찰되어지지 않은 것으로 나타낸다. 그리고 이 범위 내에 있으면 진동에 대해 잠재적인 위험이 내재되어 있음을, 이 범위를 넘어서면 인체 건강에 대한 위험 가능성이 있는 것을 의미한다.

국소진동

국소진동측정

국소진동의 측정은 주로 ISO 5349(2001) 규정에 따른

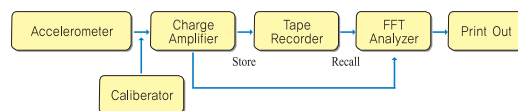


[그림 3] 건강지표 경계 영역(Health guidance caution zone)

다. 진동공구에서 발생하는 국소진동의 크기를 측정하기 위하여 [그림 4]에 나타난 바와 같이 3개의 가속도계 (Accelerometer), 증폭기(Charge amplifier), 진동기록 장치(Tape recorder), 주파수 분석기(FFT analyzer), 가속도계 고정용 어댑터(Handle adaptor set), 보정기 (Vibration calibrator)를 사용한다. 측정장치 세트(Set)는 (사진 2)에 나타내었다.

공구진동에 의해 가속도계에서 발생하는 전기적 신호를 증폭하기 위해서는 각각의 가속도계의 감도를 고려하여 증폭기의 스위치를 설정해야 한다. 그리고 손에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 가속도계를 어댑터에 설치하여 진동공구에서 작업자가 작업 시에 접촉하는 부위에 흔들리거나 틈이 없게 밀착한다(사진 3).

국소진동 측정을 위한 가속도계의 선정 및 어댑터 설치 방법 등에 관한 지침은 ISO 5349(2001)-2에 명시되어 있다. 또한 3축 방향의 설정은 ISO 5349(2001)의 좌표



[그림 4] 국소진동 측정장치의 개요



(사진 2) 국소진동 측정장비



계를 이용[그림 5]하며, 이를 근거로 대표적인 국소진동 공구에 대한 각각의 축의 방향을 나타내었다.

각 공구에서 발생하는 진동은 즉시 분석하거나 테이프 레코더에 저장하여 실험실에서 주파수 분석기의 1/3 옥타브를 이용하여 1~2,000Hz의 주파수 범위에 대하여 분석한다. 분석측정의 정확성을 위해 이들 장비에 대해 측정 전후에 보정기를 통해 보정하게 된다.

국소진동 평가

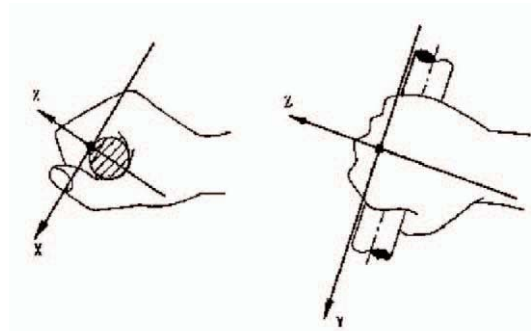
국소진동의 평가는 진동 장비에서 발생하는 가속도값뿐만 아니라 작업 근로자들이 실제로 작업하여 진동에 노출되는 시간을 고려해야 하는데 이때는 업무별·사용공구별로 현장에서 스톱워치를 사용하여 시간 당 실제 노출시간을 측정하거나 기타 실제 작업시간을 파악할 수 있는 방법을 동원한다.

현재 국소진동에 대한 폭로 정도를 평가하는 방법으로는 ACGIH(미국 산업위생전문가협회)에서 정하고 있는 기준과 ISO(국제표준화기구)에서 제시하고 있는 권고값 그리고 국소진동 제어를 위한 EU 기준들이 사용되고 있다. 각각의 기준은 ISO 5349에서 제시한 측정방법에 따라 측정하여 폭로 수준을 평가하고 있으며, 아직 국가별로 국소진동 제어를 위한 통일된 기준은 설정되지 않은 실정이다.

ISO-5349(1986)에서는 가장 큰 진동가속도값을 나타내는 축의 값을 기준으로 하여 폭로량을 평가하는 Dominant axis method를 이용하므로 이 값을 'Dom'으로 표시한다. 그러나 2001년도에 개정된 ISO 5349(2001)와 EU 기준에서는 3축의 모든 값을 이용하며 이를 'Sum method'라 지칭한다. 이 값의 계산은 식 (3)과 식 (4)에 나타내었다.



(사진 3) 가속도계 고정용 어댑터 부착 모습



[그림 5] 기본 중심 좌표 체계

$$\cdot \text{식 (3)} : a_{hv} = \sqrt{(a_{hwx})^2 + (a_{hwy})^2 + (a_{hwz})^2}$$

$$\cdot \text{식 (4)} : A(8) = a_{hv}(T/8)^{1/2}$$

여기서 a_{hv} 는 주파수 가중 총 가속도값이며, a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} 는 세 축 방향의 주파수 가중 가속도값, $A(8)$ 는 8시간 주파수 가중 에너지 등가가속도값을 나타낸다.

〈표〉는 D_y 년 동안 국소진동에 노출된 한 근로자집단의 10%에서 백지증이 발생한다고 예측되는 $A(8)$ m/s^2 값을 나타낸다.

아울러 〈표〉에서 주어진 $A(8)$ m/s^2 값과 노출 기간에 대한 관계는 보간법을 이용하여 식 (5)와 같이 표시할 수 있다.

$$\cdot \text{식 (5)} : \frac{D_y}{\text{year}} = 31.8 \left(\frac{A(8)}{m/s^2} \right)^{-1.06}$$

식 (5)는 국소진동의 크기에 따라 근로자에게 나타날 수 있는 노출 기간을 정의한 것으로, 진동공구를 사용하는 집단의 한 개인에 대한 것이 아니고 한 집단의 근로자 중 10%가 백지증에 걸릴 수 있는 $A(8)$ 값이다. 이 값은 최장 25년간 근무하는 동안 최고 30 m/s^2 인 진동공구에 노출된 근로자들에게 대한 연구를 통해서 얻어진 결과이다.

한편, 국소진동이 혈관에 미치는 영향에 대한 ISO 5349 지침은, 주로 30~50Hz 범위의 진동을 발생하는 도구(Chain saws, Grinder, Rock-drills)에 의해 발생된 질병과 관련된 것이다. 그래서 특히 20Hz 이하의 낮은 주파수를 갖는 진동의 주파수 가중 가속도를 측정할 때는 주의가 필요하다.

〈표〉 진동 노출값 $A(8)$ 로 인해 한 집단에서 백지증을 일으키는 근로자가 10% 나올 수 있는 노출년수 D_y

D_y , years	1	2	4	8
$A(8)$, m/s^2	26	14	7	3.7

결론

본고에서는 근로자들의 건강에 심각한 영향을 미치는 전신진동과 국소진동의 측정 평가에 대해서 ISO 2631(1997) 및 ISO 5349(2001) 규정을 중심으로 서술하였다. 지면 관계상 상세한 내용을 수록하지 못하였으므로 ‘참고문헌’ 자료를 참고하면 도움이 되리라고 판단된다.

한편, 전신 및 국소진동 관련하여 현재 국내에는 운송 수단에서 발생하는 전신진동이나 진동공구에 의한 국소진동에 대해 작업환경 측면에서의 명확한 규제기준이 미흡한 실정이며, 이에 대한 연구도 소수에 불과하다. 외국의 자료에 의하면 진동과 인체와의 상관관계가 큰 것으로 파악된 만큼 국내에서도 하루빨리 보다 구체적이고 체계적인 연구가 전문 연구기관, 회사와 노동조합 그리고 정부의 삼위일체를 통해 보다 다양한 방법으로 이루어져야 하리라고 사료된다. ✚

참고문헌

- ISO 2631-1. (1997) Mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration in the working environment. Part 1-general requirements.
- ISO 5349-1. (2001) Mechanical vibration-measurement and assessment of human exposure to hand transmitted vibration-Part 1: general guidance.
- Goggins M, Lente EV, McCallig M et al. (2010) Evaluation of hand arm and whole body vibrations in construction and property management. Ann. Occup. Hyg., Vol.54, No.8, pp.904-914.
- Jang J, Kim S, Park S, Roh J.(2002) Quantitative exposure assessment for shipyard workers exposed to hand-transmitted vibration from a variety of vibration tools, AIHA J:63:305-10.

진동에 의한 건강장해



유철인 교수
울산대학교병원 직업환경의학과

수완진동증후군(Hand arm vibration syndrome)이란?

‘수완진동증후군’이란 주로 손으로 잡고 사용하는 진동기구의 국소진동에 의해 손이나 손목 주위에 생기는 여러 가지 증상이나 증후를 총칭하는 용어이다. 이는 주로 말초혈관과 말초신경, 근골격계에 여러 가지 의학적 문제를 야기한다.

말초혈관장해

수완진동증후군 중 말초혈관장해의 전형적인 증상이나 증후는 손가락이 하얗게 변하는 것으로 진동유발 창백지(VWF; Vibration induced White Finger) 혹은 직업성 레이노드 증후군이라는 용어로 아직까지 사용되고 있다.

이것은 1911년에 로마의 Loriga가 진공기구를 사용한 이탈리아 광부 사이에서 나타난 병을 ‘죽은 손가락(Dead finger)’이라고 보고한 이후 인식되기 시작했다. 이 증상은 손가락 동맥들의 수축에 의한 일시적 폐쇄 때문에 나타나며, 특히 몸 전신이 식어 있을 때 추위에 노출되어 유발된다.

손가락 창백은 수 분 혹은 그 이상 지속될 수 있고, 그동안 이환된 손가락은 감각이 둔해지고 종종 회복될 때 심한 따끔거림이나 통증을 경험한다. 수완진동증후군 환자들은 또한 건강한 사람들에 비해 추운 계절에 손발이 차다는 감각을 더 쉽게 느낀다.

손가락 생검에서 관찰된 조직병리학적 혈관 변화는 손가락 세동맥과 소동맥 혈관벽 두께의 증가를 동반한 전형적인 중심성 근육 비대(Medial muscular hypertrophy)이고, 이로 인해 궁극적으로 동맥 내경이 좁아지게 된다. 특히 몇몇 심한 경우에는 내벽 섬유화증(Intimal fibrosis)도 발견



레이노드 현상(창백지)이 나타난 근로자의 손.

“

진동에 의한 건강장해는 크게 국소진동에 의한 장해와 전신진동에 의한 장해가 있다. 국소진동에 의한 장해는 주로 손과 발에 국소진동이 노출되어 일으키는 장해로 수완진동증후군(Hand arm vibration syndrome)이라고 알려져 있다. 수완진동증후군이 문제시되는 이유는 특별한 치료법이 없고, 장기간 일정 수준 이상 진동에 노출되면 나중에는 진동폭로를 중단하여도 교감신경의 항진으로 계속하여 병이 진행할 수 있기 때문이다.

”

된다.

수완진동증후군 환자의 말초 혈액 순환 저하는 병태생리적으로 추위에 대한 혈관 수축 반응 때문이다. 이로 인해 손가락에서 피부 온도가 더 낮아지고 혈류가 감소하며, 혈관 수축에 의한 혈액 공급 중단으로 손가락 창백증이 발생한다. 수완진동증후군 환자들은 또한 소음과 추위에 대한 혈관 수축 반응이 증가하게 된다. 추위에 대한 혈관 수축 반응 강화는 수완진동증후군 환자가 추위로 인한 교감신경계의 반응이 과장되어 있어서 혈관 수축 반응이 더 커지고 궁극적으로 경련이 더 커지는 것으로 설명할 수 있다.

말초신경장해

손과 팔의 저림과 이상 감각 같은 신경학적 증상은 별다른 임상 검사 없이 발생할 수 있으나, 항상 피부 감각 저하, 악력 감소 그리고 때때로 손동작의 민첩성 감소와 함께 나타난다. 이런 증상들이 일상생활에서 방해와 불편감을 유발할 수 있다.

신경학적 증상은 처음에는 간헐적이나, 진동노출이 계속되면서 점점 지속적으로 나타난다. 동물 실험에 의하면 단기간의 진동노출에 의한 신경 변화는 가역적일 수 있다. 그러므로 초기의 말초 신경 손상은 가역적이지만, 진동노출이 길어지면 손상이 비가역적이 되는 경향이 있고, 아마도 그것은 손상된 신경의 불완전한 재생 때문이라고 추정할 수 있다. 역학조사에서 진동노출을 중단한 후에도 저린감과 이상 감각은 계속 된다는 사실이 지적된 바 있

다. 이런 지속성은 대체로 말초신경의 병리학적인 변화를 반영한 것이다.

진동노출 환자들에 대한 손가락의 생검에서 말이집(Myelin sheath)의 심각한 파괴와 손실이 있는 탈말이집(Demyelinating) 신경병증과 신경섬유의 두드러진 손실을 보였다. 또한 슈반 세포와 콜라겐이 있는 섬유모세포들의 증가 및 신경 주위 섬유화도 있다.

파치니 소체에서 때때로 축삭이 사라지는 것이 관찰된다. 환자의 표피 쪽에 가까이 있는 피부신경과 신경 말단의 병적인 변화가 더 깊은 곳의 피하에 있는 주된 손가락 신경과 수용체의 변화보다 먼저 발생한다.

말초신경 손상의 초기에는 신경전도 검사는 정상으로 나타나는데 이는 초기에는 표피 쪽에 있는 말이집이 없는 작은 신경섬유가 손상되고 오래 진행된 후에야 말이집이 있는 큰 섬유가 손상되기 때문이다. 심한 경우 신경전도 검사상 진동에 노출된 근로자의 손에서 감각신경과 운동신경의 전달 속도가 감소하는 것으로 나타났는데, 운동신경보다는 감각신경에서 더 자주 관찰되었다. 특히 팔보다는 손의 감각 신경에서 더 심했고, 정중신경과 척골신경이 모두 이환될 수 있다. 비정상적인 신경 전달은 진동 지각 역치 손상과 악력 감소와 연관되어 있다.

근육골격계 이상

손에 들고 사용하는 진동공구에 의한 진동은 필연적으로 손에서 상지, 어깨, 머리로 전달되고, 관절을 지나면서

점차 약해진다. 저주파수의 진동이 상지에 더 잘 전달되고, 10~20Hz에서는 손목과 팔꿈치에서 공명이 있다.

손에 쥐는 진동기구를 조작할 때는 작업자는 팔을 구부린 채로 기구(보통 5~30kg 정도의 무게)를 단단하게 붙잡아야 한다. 그러므로 상지의 관절들은 손에서 전달되는 진동은 물론 긴장성 자세에 의해서도 동적인 부담과 정적인 부담 모두의 영향을 받을 수 있다.

일반적으로 손에 쥐는 진동기구를 조작하면 손목과 팔꿈치의 퇴행성 관절염의 위험도가 높은 것으로 알려져 있다. 관절에 대한 반복적인 충격 부담은 연골이나 연골 밑의 뼈에 손상을 입히고, 그리하여 퇴행성 관절염과 연관된 연골 퇴화와 연골 밑 뼈의 변화를 발생시킬 수 있다는 점이 동물 실험을 통해서 입증되었다.

진동노출 근로자에서 손뼈의 낭종 형성과 Kienbock's disease(손목 월상골의 퇴화)의 유병률 증가 및 전완부에서 골밀도의 저하가 보고되었다. 이러한 변화들은 무거운 수작업과 함께 손목에서 혈액 공급이 감소하기 때문



일반적으로 손에 쥐는 진동기구를 조작하면 손목과 팔꿈치의 퇴행성 관절염의 위험도가 높은 것으로 알려져 있다.

일 수 있다. 그러나 많은 상반된 연구가 있고 어떤 뼈 낭종 형성 증가는 아직 직접적으로 진동에 의한 것이라고 밝혀지지 않았다.

그 때문에 수지 진동노출이 골낭종, 액포 그리고 Kienbock's disease의 유병률이 과도한 원인이 된다는 주장은 아직 증거가 불충분하여 증명되지 않았다고 볼 수 있다. 하지만 진동 도구를 조작하는 것과 이러한 비정상 소견들과는 가능한 연관성이 있기 때문에 더 많은 연구가 필요하다.

손과 손가락의 손바닥 근막(Palmar fascia)의 섬유성 띠(Fibrous band)의 구축을 Dupuytren 구축이라고 하는데, 진동노출 근로자에서 정상 대조군에 비해 어느 정도의 용량-반응 관계를 가지고 더 자주 발견된다.

상지가 아프고 뻣뻣해지고 관절 운동성이 감소되는 것은 진동-노출 근로자에서 종종 발생한다. 통증 또는 마비나 손, 손목, 주관절의 운동 범위 감소 등은 진동노출이 증가한 대조군보다 진동노출 근로자에서 더 자주 보고되었다. 또한 어깨와 목의 방사선학적 변화와 증상의 유병률이 벌목꾼과 건설 근로자에서 높았고, 용량-반응 관계가 증명되었다. 더 많은 진동에 노출되는 근로자는 손과 팔꿈치와 마찬가지로 어깨와 목에서 그러한 증상을 겪는 경향이 더 높다.

국내 현황과 예방대책은?

국내에서 수완진동증후군의 유병률에 대한 보고는 노재훈 등(1981)이 탄광의 착암 근로자 135명을 대상으로 조사한 결과 유병률이 12.6%라고 보고하였으며, 이후 1988년에 착암기 사용 근로자 79명을 대상으로 조사하여 진동 유발 창백지를 호소한 근로자가 18명(22.8%)이라고 보고한 바 있다.

그 이후에 탄광이 폐쇄되면서 보고가 없다가 2000년대 들어 부산·울산·경남지역의 직업병 감시 체계를 통하여 약 2년 동안 조선업종을 중심으로 192례의 추정 환례를 보고하여 전국적으로 제조업체 근로자들에서의 진동

〈표〉 수위 진동증후군과 관련된 수공구와 주요 대상작업

사용 공구	주요 작업대상
착암기 및 굴착기	광산작업, 도로 보수작업, 기타 건설작업
에어임팩트, 토크렌치, 에어 드라이버	자동차 조립, 자동차 정비, 기타 조립작업자
각종 그라인더	금속가공 및 전처리, 선박 건조 및 수리, 자동차 정비, 철강제조, 석재 가공, 목재 가공
각종 절단기(기계 톱 등)	목재 가공, 벌목 및 조림 작업, 철재 가공 및 절단
각종 해머(치핑 해머 등)	금속 가공, 선박 건조 및 수리, 석재 가공, 철강제조
바이브레이타	도로 및 선로 보수
제초기	제초작업, 조림작업, 정원사
동력용 재봉틀	옷 수선 및 재봉작업
오토바이	각종 배달작업

* 출처 : 산업안전보건연구원, 산업위생핸드북, 2000.

공구 사용이 보고된 수준보다 상당히 높을 것임을 시사하였다.

이전에는 착암기나 굴착기 등 주로 탄광에서 쓰는 진동 기구를 사용한 근로자들에서 주로 보고되었으나 1990년 대 이후에는 그라인더 등 제조업을 중심으로 진동기구 사용에 의한 환자가 다수 보고되고 있다. 〈표〉는 수완진동증후군을 유발할 수 있는 진동기구의 종류와 주요 업종을 정리하였다.

수완진동증후군이 현재 보고되는 것보다 훨씬 많을 것으로 추정되지만 아직까지 잘 나타나지 않는 이유는 여러 가지가 있을 수 있다. 추측컨대 가장 큰 이유는 현행 특수건강진단 시 진동에 대한 건강진단이 누락되거나 제대로 이루어지지 않을 가능성이 가장 높다.

즉, 진동은 특수건강진단 시 유해인자로 들어가 있으나 진동을 유발하는 기구에 대한 진동가속도 등의 작업환경측정은 필수적인 사항이 아니어서 이루어지지 않고 있다. 따라서 작업환경측정결과를 토대로 특수건강진단을 하는 국내 실정에 비추어볼 때 상당수의 근로자들이 특수건강진단 대상자임에도 불구하고 누락되는 경우가 많다.

현재 수완진동증후군의 치료는 혈관장애와 신경학적 증상에 대하여 약물 치료를 하거나 물리 치료를 병행하기도 하지만 완전한 치료법은 없는 실정이다. 따라서 진동에 폭로되는 근로자에 대하여 특수건강진단을 확대하

여 조기에 발견함으로써 진동폭로를 없애거나 경감시키는 방법을 써야 한다. 또한 조기에 발견하여 적절한 예방조치를 취하지 않으면 질병이 비가역적으로 계속 진행할 수 있기 때문에 진동기구 사용 시 진동기구의 진동가속도를 파악하여 그에 따른 적절한 작업시간을 준수하고 보건교육 및 금연, 방진 보호구 착용 등의 조치를 취해야 한다.

하지만 아직까지 전국 규모의 조사를 통하여 진동기구 등의 사용 현황에 대하여 확인된 것은 아무 것도 없다. 그렇기 때문에 전국적으로 국소진동에 폭로되는 근로자와 사용하는 진동기구, 진동기구의 종류에 따른 진동가속도 등에 대한 전국적인 규모의 실태조사가 필요하며, 그에 따른 예방대책 마련이 시급한 것으로 판단된다. 🌸

참고문헌

- P. L. Pelmear and D. E. Wasserman ; Hand-arm Vibration : A Comprehensive Guide for Occupational Health Professionals, 2nd, Eds, OEM Press, 1998.
- 노재훈, 일부지역 탄광 착암 근로자의 진동증후군 유병률, 예방의학회지 1981;14(1) : 75-80.
- 산업보건연구원, 산업위생핸드북, 2000.
- 이지호 · 유철인 · 정경숙, 유해인자에 의한 건강 영향과 관리 - 국소진동, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2006.

미국 산업안전보건인력에 대한 평가*

미국 산업안전보건연구원(NIOSH; National Institute for Occupational Safety and Health)은 1977년부터 시작하여 미국 내 안전보건인력의 수급실태, 전망 그리고 안전보건 분야에 요구되는 전문성에 대한 평가를 주기적으로 실시해오고 있다. 전문 인력의 수급 및 요구되는 전문성은 사회적·경제적·문화적인 변화에 따라 달라질 수밖에 없으며, 이러한 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 현 상황을 정확히 분석하고 미래를 예측하는 일이 무엇보다도 중요할 것이다. 본고에서는 가장 최근의 평가결과인 2011년도 결과를 소개함으로써 국내에서는 한 번도 실시된 적이 없는 안전보건 분야의 인력에 대한 미국의 평가결과는 어떠한지를 알아본다. 또한 이러한 결과를 도출하기까지 그들은 어떠한 과정을 거쳤는지에 대해 알아봄으로써 우리에게 시사하는 점은 무엇인지 한 번 생각해보는 계기가 되기를 기대한다.



정지연 교수
연세대학교 산업환경보건학과

미국 산업안전보건연구원(NIOSH)은 미국 내 안전보건 분야 종사인력의 수급 및 향후 전망에 대하여 국가적인 평가를 주기적으로 실시해오고 있다. 최초 평가는 1977년이었으며, 이후 1985년, 2000년 그리고 2011년에 실시하여 그 결과를 공개하였다.

들어가며

이러한 평가의 주목적은 미국 내 안전보건 분야의 현재 인력 수급이 적정한지 여부와 향후 시장에서 필요할 것으로 예측되는 인력 수급에 있어서 문제는 없는지를 평가하는 것이며, 아울러 이러한 인력들에게 요구되는 전

문성(지식, 기술, 능력 등)이 무엇인지를 파악하기 위한 것이다.

안전보건 분야에 종사하는 전문인력의 수요와 요구되는 전문성은 사회적·경제적·문화적인 변화에 따라 달라질 수밖에 없다. 따라서 이런 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 현 상태의 주기적인 진단과 향후 예측되는 인력 수급의 구조, 요구되는 전문성 등을 사전에 평가하고 대비하는 것이 국가적으로 매우 중요한 일이다.

아직까지 국내에서는 동 분야에 대한 국가적인 차원의 평가를 실시해본 적이 없다. 그러므로 미국 NIOSH가 실시하여 발표한 미국 산업안전보건인력에 대한 평가결과 중 주요한 내용을 소개함으로써 미국 내 안전보건인력의 현 상황 및 미래 동향에 대한 정보뿐만 아니라, 향후 국내에서도 이와 유사한 평가가 이루어진다면 우리는 어떤 방법론을 가지고 실시를 하는 것이 좋을지에 대한 정보

* National Assessment of the Occupational Safety and Health Workforce, USA.

를 파악할 수 있다.

이를 위해 그 평가결과를 소개하고자 한다.

평가목적

- 안전보건 전문인력의 현 고용실태와 향후 예측되는 소요인력을 평가
- 향후 5년 안에 요구되는 전문성 분야(지식, 기술, 능력 등)가 무엇인지를 파악

‘안전보건 분야 종사인력’이라 함은 산업안전(Occupational safety), 산업위생(Industrial hygiene), 산업의학(Occupational medicine), 산업간호(Occupational health nursing), 인간공학(Ergonomics), 보건물리(Health physics), 산업역학(Occupational health epidemiology), 산업심리(Occupational health psychology), 산업 손상 예방(Occupational injury prevention)에 종사하는 인력을 말한다.

실태조사 설계(Survey design)

실태조사목적을 달성하기 위해 다음과 같이 5개의 주요 질문에 대한 답을 구할 수 있도록 설문지 내용이 구성되었다.

- 미국 전역에서 안전보건 전문인력으로 배출되는 인력의 수는 어느 정도인가?
- 미국 내 안전보건 전문인력의 고용 수준은 어느 정도인가?
- 향후 5년 안에 안전보건교육과정을 통해 배출될 것으로 예상되는 인력의 수는 어느 정도 될 것인가?
- 향후 5년 안에 안전보건인력으로 새로 고용될 것으로 예측되는 인력의 수는 어느 정도 될 것인가?
- 고용자 입장에서 향후 5년 이내에 필요로 하는 안전보건 분야의 전문성은 무엇인가?

상기와 같은 질문내용에 대한 답을 구하고자 본 실태조사는 두 종류의 설문지, 즉 사업주 설문지(Employer questionnaire)와 안전보건 전문인력 공급자 설문지

(Provider questionnaire)를 개발하여 설문조사를 실시하였다.

NIOSH는 본 평가를 실시하는 데 있어 경영계, 정부, 노동조합, 학계의 주요 전문가 23명으로 자문위원회(Advisory task force)를 구성하였으며, Westat라는 전문조사기관과의 계약을 통해 조사를 수행하였다.

본 평가는 NIOSH, Westat 및 자문위원회가 2009년부터 활동을 시작하여 설문지 개발, 검토·수정 등의 과정을 거쳤으며, 2009년 11월에 설문조사를 실시한다는 내용을 담은 60일 동안의 관보 게시(Federal register notice)를 통해 의견 수렴과정을 거쳤다. 그런 다음, 2010년 10월에 NIOSH의 OMB(Office of Management and Budget)의 승인을 거쳐 최종 조사표가 완성되었다.

본 설문조사는 2011년 1월부터 4월까지 웹 설문조사(Web survey) 방식으로 자료 수집과정이 진행되었다. 웹 설문조사를 실시하는 데 있어서 먼저 설문조사를 요청하는 편지(Invitation letter)가 발송되었고, 3~4일 후에 이메일(Invitation email)이 발송되었다. 이메일 발송 후 10일이 경과되어도 설문에 참여하지 않은 기관의 경우 설문조사를 촉구하는 편지(Non-response letter)를 보내고, 다시 3~4일 후 이메일(Non-response email)을 보냈다. 이 과정을 거쳐도 설문조사에 응하지 않은 기관에 대해서는 최소한 7회 이상 전화를 걸어 설문조사 참여를 독려하는 방식으로 설문조사가 진행되었다.

사업주 실태조사방법론(Employer survey methodology)

사업주 실태조사는 표본조사방식으로 진행되었으며, 층화표본추출법에 의해 미국 내 안전보건 전문인력의 75% 이상을 고용하고 있는 산업이 모두 포함될 수 있으면서 본 설문조사에 완전한 응답이 가능한 사업체를 최소 400개 이상 확보하는 것을 목표로 설계되었다. 이를 위해 7,602개의 예비 표본이 선정되었고, 이들을 대상으로 직접 전화를 걸어 본 조사의 취지에 적합할

것으로 생각되는 사업체를 1,000개 이상 확보하였다. 이들을 대상으로 설문조사를 실시한 결과 최종적으로 설문문에 완전히 응답한 사업체는 470개였고, 부분적으로 참여한 업체는 69개였다. 최종 설문 응답률은 34.5%였다.

공급자실태조사방법론(Provider survey methodology)

공급자실태조사를 위한 대상은 NIOSH의 교육 및 훈련 프로그램(ERCs; Education and Research Centers, TPGs; Training Project Grants) 지원을 받거나 받지 않는 미국 내 기관과 대학교로 9개의 안전보건 분야 영역 중 1개 이상의 교과과정을 포함하거나 학사학위 이상의 학위과정을 운영하는 총 340개 기관으로 확정되었다.

사업주실태조사와 같이 웹 조사 방식으로 진행되었으며, 설문지에는 5년 이내에 졸업할 것으로 예상되는 졸업자 수, 입학생 수 경향, 학생의 질, 외부 재정 지원 여건, 안전보건 영역에 학생들이 지원하는 데 있어서 장애 요인, 취업 경향 등을 파악하는 내용이 들어 있고, 최종적으로 202개 기관이 설문문에 참여하였다. 최종 설문 응답률은 65.2%였다.

조사결과(Survey results)

■ 현 안전보건 종사자 규모

2010년 12월 현재 9개 안전보건 전문 영역에 종사하는 전문가 수는 4만 8,000여 명으로 추정되었다. 구성원비를 분야별로 구분해보면 산업안전 59%, 산업위생 15%, 산업간호 9%, 산업의학 3%로 나타났다.

■ 향후 5년 이내 채용을 필요로 하는 인력 수 분포

향후 5년 이내에 2만 5,000여 명, 즉 매년 약 5,000명 정도의 안전보건 전문인력이 고용될 것으로 예측되고 있으며, 분야별 고용이 예측되는 전문인 수 분포는 <표

<표 1> 전문 분야별로 고용된 안전보건 전문인력 수 분포(2010년 12월 현재)

(단위 : 명)

분야	추정치	표준 오차	95% 신뢰구간
산업안전	28,722	4,230	20,429 ~ 37,016
산업위생	7,348	1,496	4,415 ~ 10,282
산업의학	1,455	240	984 ~ 1,927
산업간호	4,498	562	3,396 ~ 5,600
인간공학	831	194	452 ~ 1,211
보건물리	1,305	579	170 ~ 2,439
산업 손상 예방	1,249	461	344 ~ 2,153
산업역학	132	52	29 ~ 234
산업심리	22	21	0 ~ 63

주) <표 1>의 전문 분야별 합계 총원이 4만 8,000여 명이 안된 이유는 조사 응답자 중 일부가 전문 분야에 대한 응답이 없어 이들을 제외했기 때문이다.

<표 2> 전문 분야별로 향후 5년 이내에 채용이 기대되는 안전보건인력 수 분포

(단위 : 명)

분야	추정치	표준 오차	95% 신뢰구간
산업안전	17,801	6,417	5,219 ~ 30,382
산업위생	2,310	770	801 ~ 3,819
산업의학	489	174	147 ~ 830
산업간호	1,373	253	877 ~ 1,870
인간공학	314	118	84 ~ 545
보건물리	742	328	98 ~ 1,386
산업 손상 예방	1,145	300	556 ~ 1,734
산업역학	99	63	0 ~ 222
산업심리	92	62	0 ~ 214

주) <표 2>의 분야별 전체 인원이 2만 5,000여 명이 안된 이유는 상기 9개 전문 분야 이외의 분야에서 채용하겠다는 인력이 제외되었기 때문이다.

2)와 같다.

향후 5년 이내에 채용이 기대되는 인력인 2만 5,000명 중 가장 많은 분야는 산업안전으로 71% 정도이며, 이들 인력 중 76%는 학사학위 소지자를 원하는 것으로 나타났다. 그 다음으로 인력 수요가 많은 산업위생 분야의 경우 2만 5,000여 명의 9% 정도인 2,310명이며, 이 중 67%는 학사학위 소지자를 원하는 것으로 나타났다.

■ 향후 5년 이내 인력 채용 시 가장 중요하게 요구되는 전문성

향후 5년 이내 인력 채용 시 어떠한 전문성을 가진 사람을 우선 채용할 것인지를 9개 전문 분야별로 조사한 결과도 모두 제시하고 있는데, 여기서는 지면상 산업안전, 산업위생 그리고 산업의학 분야의 결과만 소개하기로 한다.



미국의 2010년 12월 현재 안전보건 전문 영역 중사 전문가 구성원비는 분야별로 구분해보면 산업안전 59%, 산업위생 15%, 산업간호 9%, 산업의학 3%로 나타났다.

산업안전 분야의 경우는 '사고조사 분야에 전문성을 가진 사람을 채용하겠다'는 응답률이 47%로 가장 높았고, 그 다음이 '산업위생 분야 전문성을 가진 안전 전문가를 채용하겠다'는 응답률이 33%, '안전 프로그램 실행에 따른 효과측정(건강 상태, 사고율 등) 능력을 가진 사람을 채용하겠다'는 응답률이 30%였다.

고용되어 있는 산업안전 전문인에게 다른 분야의 전문성 훈련을 시킨다고 하면 어느 분야를 선택할 것인가에 대한 응답은 산업위생 분야가 62%로 가장 높았고, 그 다음이 산업 손상 예방 분야로 60%였다.

산업위생 분야의 경우 '노출측정자료의 적절한 해석을 할 수 있는 사람을 채용하겠다'는 응답률이 36%로 가장 높았고, '실내 공기질 분야에 전문성을 가진 사람을 채용하겠다'는 응답률이 30%로 그 다음을 차지했다. 고용된 산업위생 전문인에게 다른 분야의 전문성을 훈련시킬 경우 '산업안전 분야를 선택하겠다'는 응답률이

40%로 가장 높았고, 그 다음이 산업 손상 예방 분야로 29%였다.

산업의학 분야의 경우 '작업 적합성을 결정할 수 있는 전문성을 가진 사람을 채용하겠다'고 한 응답률이 41%로 가장 높았고, 그 다음이 '근거 기반의 임상 평가 및 치료 분야의 능력을 가진 사람을 채용하겠다'는 응답률이 40%를 차지했다. 고용된 산업의학 전문인력에 대한 추가 훈련을 시킨다면 '산업 손상 예방 분야를 선택하겠다'는 응답률이 51%로 가장 높았고, 산업안전 분야 36%, 인간공학 분야 28%였다.

한편, 산업안전보건 분야에 종사하고 있는 전문인력의 나이는 50세 이상이 많은 것으로 나타났는데, 산업안전 및 산업위생 분야보다는 의사나 간호사인 경우 나이가 더 많은 것으로 나타났다. 또한 현재 배출되고 있는 안전보건인력의 전문성에 대해서 고용주들은 '대체적으로 만족하고 있다'고 조사되었다.

■ 인력 배출

2011년에 약 2,844명이 학사학위 이상의 안전보건 전문인력으로 배출될 것으로 조사되었으며, 향후 5년 동안 약 1만 3,000명 정도가 배출될 것으로 예측되었다. 배출 예상인력은 산업안전 분야 67%, 산업위생 11%, 산업의학과 산업간호가 각각 3% 정도 될 것으로 예측되었다.

〈표 3〉 2011년에 배출될 학위별 안전보건인력 수*

(단위 : 명)

구분	추정치	ERCs*	TPGs**	Non-NIOSH funded
학사	1,397	8	118	1,271
석사	1,249	320	199	730
박사	198	82	21	95
총계	2,844	410	338	2,096

* 합계가 잘못 표기된 부분은 필자가 수정하여 원문과 상이한 부분이 있음.

** ERCs; Education and Research Centers

*** TPGs; Training Project Grants

〈표 4〉 향후 5년 이내에 배출될 것으로 예측되는 학위별 안전보건인력 수*

(단위 : 명)

구분	추정치	ERCs	TPGs	Non-NIOSH funded
학사	6,623	83	874	5,666
석사	5,544	1,500	910	3,134
박사	970	414	84	472
총계	13,137	1,997	1,868	9,272

* 합계가 잘못 표기된 부분은 필자가 수정하여 원문과 상이한 부분이 있음.

〈표 5〉 2011년에 배출될 전문 분야별 인력 수

(단위 : 명)

분야	추정치	ERCs	TPGs	Non-NIOSH funded
산업안전	1,979	47	231	1,701
산업위생	317	158	53	105
산업의학	69	39	18	12
산업간호	65	65	-	-
인간공학	198	51	21	125
보건물리	85	-	-	-
산업 손상 예방	8	-	-	-

〈표 6〉 향후 5년 이내에 배출될 것으로 예측되는 전문 분야별 인력 수

(단위 : 명)

분야	추정치	ERCs	TPGs	Non-NIOSH funded
산업안전	8,843	271	1,084	7,488
산업위생	1,484	730	243	510
산업의학	373	217	86	70
산업간호	336	327	-	-
인간공학	808	210	82	516
보건물리	418	-	-	-
산업 손상 예방	53	-	-	-

미국 산업안전보건연구원(NIOSH)이 산업안전보건인력을 평가하는 주목적은 미국 내 안전보건 분야의 현재

인력 수급이 적절한지 여부와

향후 시장에서 필요할 것으로 예측되는

인력 수급에 있어서 문제는 없는지를 평가하는 것이며, 아울러 이러한 인력들에게 요구되는 전문성(지식, 기술, 능력 등)이 무엇인지를 파악하기 위한 것이다.

아직까지 국내에서는 동 분야에 대한

국가적인 차원의 평가를 실시해본 적이 없다.

그러므로 미국 NIOSH가 실시하여 발표한

미국 산업안전보건인력에 대한 평가결과 중

주요한 내용을 소개함으로써 미국 내 안전보건인력의

현 상황 및 미래 동향에 대한 정보뿐만 아니라,

향후 국내에서도 이와 유사한 평가가 이루어진다면

우리는 어떤 방법론을 가지고 실시를 하는 것이

좋을지에 대한 정보를 파악할 수 있다.

NIOSH는 본 평가를 실시하는 데 있어

경영계, 정부, 노동조합, 학계의 주요 전문가 23명으로

자문위원회(Advisory task force)를 구성하였으며,

Westat라는 전문조사기관과의 계약을 통해

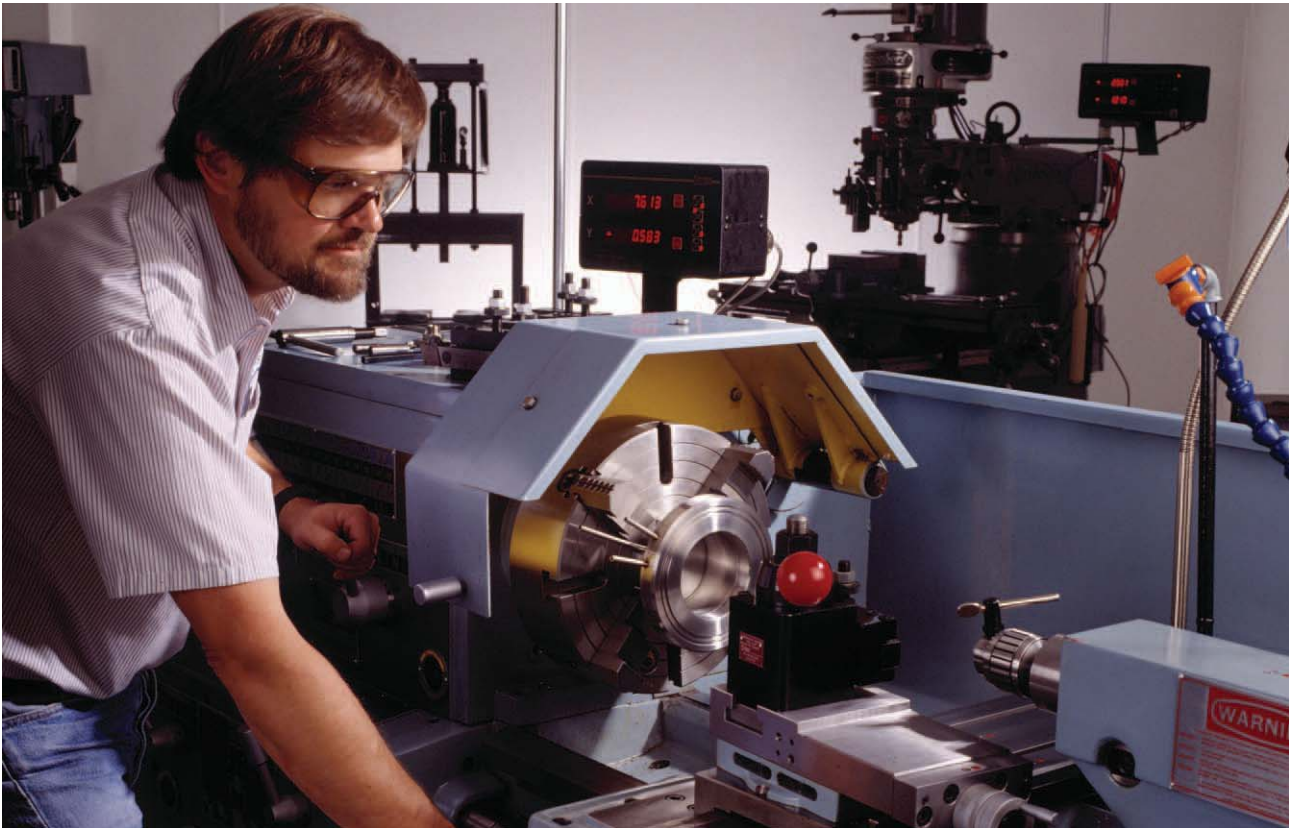
조사를 수행하였다.

〈표 3〉과 〈표 4〉의 결과를 전문 분야별로 구분하여 2011년도 및 향후 5년 이내에 배출될 것으로 예측되는 전문인의 수를 정리한 것이 〈표 5〉와 〈표 6〉이다.

연도별로 향후 5년간 신입생 수를 추정한 결과를 보면 약간 감소할 것으로 보이는데, ERCs 프로그램은 3%, TPGs 프로그램은 8% 그리고 NIOSH 지원을 받지 않은 기관의 경우 13% 정도 감소될 것으로 예측되었다. 또한 과거 5년 동안 안전보건 프로그램에 대한 펀드 지원이 전반적으로 감소한 것으로 평가되었고, 이러한 경향은 NIOSH의 지원을 받지 않은 기관에서 두드러지게 나타났다.

주요 결론(Conclusions)

■ 안전보건 전문인력의 경우 수요보다 공급이 부족할 것이다.



미국의 산업안전보건인력은 향후 5년 이내에 공급 가용한 인력 수보다 현장에서 필요로 하는 인력 수가 많을 것으로 예측되었다.

향후 5년 이내에 공급 가용한 인력 수보다 현장에서 필요로 하는 인력 수가 많을 것으로 예측되었다. 새로 고용될 인력 중 얼마 정도가 새로이 배출되는 인력 양성기관의 인력에서 채용할 것인지, 현장 근무하고 있는 인력에서 스카우트할 것인지, 아니면 안전보건 분야 이외의 인력을 채용할 것이지가 불분명하지만 모자라는 인력 수급을 위해서는 공급을 늘려야 한다고 권고하고 있다.

■ 안전보건 분야의 펀드 지원이 명백히 감소하고 있다.

NIOSH로부터 교육 및 훈련 지원 프로그램의 펀드를 지원받고 있지 않은 기관이나 대학교의 경우, 안전보건 프로그램에 대한 기관 자체에서의 펀드 지원이 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 이는 안전보건 분야에 우수 학생 유치를 어렵게 하는 주요 장애요인으로 작용하리라고 예측되었다.

우수 학생 유치에서 가장 큰 장애요인은 학비 지원 부

족과 안전보건 프로그램에 대한 인식 부족인 것으로 파악되었으며, 산업안전보건인력의 공급자나 수요자 모두 학생들이 대학 입학 전에 또는 저학년 때 안전보건 프로그램의 이해를 높이는 최선의 방법이 무엇인지를 도출해내는 데 공동의 노력을 경주해야 한다고 권고하고 있다.

■ 안전보건인력의 전문성은 대체적으로 만족할 만한 수준이다.

고용주들은 현재 안전보건인력의 전문성에 대해서는 대체적으로 만족하고 있다고 평가되었다. 향후 고용하고자 하는 인력들에 대해서도 현재의 고용인력과 비슷한 전문성을 가진 사람을 채용할 계획인 것으로 나타났지만, 추가적으로 '지도력과 다양한 형태의 의사소통 능력이 있으면서 자신의 전문 분야 이외에 다른 전문 분야(예 : 산업안전 분야의 경우 산업위생 분야)를 더 훈련받은 사람을 채용하겠다'는 의견이 많았다. 🌸

미국 국립산업안전보건연구원의 건설 연구 프로그램 평가

미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)은 중장기계획을 수립하고자 32개의 프로그램 중 15가지에 대한 평가를 미국 학술원(National Academy)에 의뢰하여 진행하였으며, 완료된 8개의 평가내용을 홈페이지에 발표하였다. 이에 대한 상세한 내용은 기계재된 『안전보건 연구동향』의 기획특집 기사¹⁾에서 확인할 수 있으며, 이번에 본고는 평가내용 중 건설 분야의 평가²⁾를 소개하고자 한다.



권혁면 실장
산업안전보건연구원 안전연구실

NIOSH의 연구 프로그램은 업종별 연구라 할 수 있는 Sectoral program 8개, 업종 전체를 아우르는 Cross-sector program 12개, 연구방법 및 집중 분야에 관한 12개를 운영하고 있다. 이 중 건설 연구 프로그램(NIOSH Construction Safety and Health Research Program)은 Sectoral program의 하나로 농림어업 연구 프로그램(Agriculture, Forestry and Fishing Research Program), 광업 연구 프로그램(Mining Research Program)과 함께 평가대상으로 선정되어 평가가 진행되었다. 건설 연구 프로그램의 평가 보고서는 다음과 같이 네 개의 장으로 구성되어 있다.

- Chapter 1 : NIOSH 개요 및 프로그램 평가의 근거 제시
- Chapter 2 : 미국 건설산업환경에 따른 건설 프로그

램의 전략적 절차 · 조직 및 역사

- Chapter 3 : 건설 연구 프로그램 목표 설명
- Chapter 4 : 건설 연구 프로그램의 미래를 위한 NIOSH의 비전 제시

건설 연구 프로그램 평가 보고서

미국의 건설환경

2005년 현재 미국의 건설산업은 740만명의 근로자를 고용하고 있으며, 여기에 추가로 250만명의 자영업자가 종사하는 것으로 소개하고 있다. 연간 가치는 약

1) 김은아, 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)을 평가하다, 안전보건 연구동향 pp.10~17, 2010. 1.

2) NIOSH homepage(<http://www.cdc.gov/niosh/nas/construction/>).

1조 2,000억 달러인데 약 75%의 노동력이 관리업무, 전문서비스, 영업과 같은 타 분야 종사자와 함께 일하고 있다. 71만개 건설공사의 약 80%는 10명 미만의 근로자를 고용하고 있으며 여기에 소속된 근로자는 전체의 24%에 해당한다. 500명 이상이 소속된 건설공사는 전체의 0.1% 미만으로 전체 근로자의 7%에 해당한다.

당시 미국 건설업의 안전보건문제를 요약하면 다음과 같다.

- 사망사고 : 건설 분야는 다른 어느 분야보다도 많은 근로자를 사망사고로 잃고 있으며, 2005년에는 1,186명의 건설 근로자가 사고로 사망하였다. 건설업의 사망률은 10만명 당 11.0명으로 농업, 광업, 운송업 다음으로 높은 위치에 있으며, 주요 원인은 추락, 감전, 충돌 및 협착 등이다.
- 사고와 질병 : 2005년 BLS³⁾는 건설업의 사고 및 질병자가 41만 4,900명이며, 이는 전체 정규직 전일제 인력 100명 당 6.3명의 비율이라고 발표했다. 하루 이상의 근로손실일수가 발생한 사례로 살펴보면 정규직 전일제인력 100명 당 2.4명의 비율이고 발생 건수로는 15만 7,100건이다.
- 근골격계질환 : 근로자 보상에 관한 자료는 근골격계질환(특히 염좌)이 가장 흔하고 비용이 많이 소요되는 것을 보여준다.
- 건강위험 : 신뢰성 있는 자료가 부족하여 건설과 관련된 만성질환의 숫자를 예측하기는 어렵지만, 건설 근로자와 관련된 것으로 알려진 질병으로는 규폐증, 납중독, 청력손실, 일산화탄소 중독, 망간 중독, 석면질환, 알레르기성 접촉피부염, 만성폐쇄성폐질환, 직업성천식, 과민성폐렴 등이 있다.

프로그램의 역사

건설 연구 프로그램은 의회가 100만 달러를 승인한 1990년부터 시작되었으며, 시간의 흐름으로 살펴보면 세 단계로 발전된 것으로 파악하고 있다.

1단계는 1990년부터 1995년까지로 의회가 1,200만 달러까지 예산을 증액하고 목표를 제시하여 급격한 성장

을 유도하였다. 의회는 건설기반의 재해 예방전략을 위한 국가적 ‘센터’의 설립에 동의하고, 감시자료의 개발을 포함하는 연구 역량 확장을 요구했다.

2단계는 1996년부터 2004년까지로 NORA(National Occupational Research Agenda)가 근골격계질환과 인간공학을 포함한 연구에 초점을 맞춘 21개의 우선순위 주제를 선정하고 건설 분야의 운영위원회를 구성하였다.

3단계는 2005년부터 시작되었고, 새로운 정부는 NIOSH가 ‘우선순위(Priorities)’에서 실적과 중간목표를 포함한 ‘전략적 목표(Strategic goals)’를 이행하도록 이끌었다. R2P(Research to Practice)로 불리는 ‘실행 연구’는 연구결과와 기술을 작업장에 전달하는 중요성에 초점을 맞추었다.

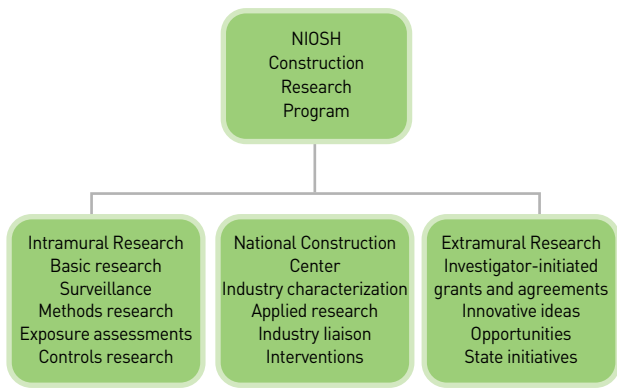
NIOSH는 첫 10년간의 NORA를 점검하고 이후 10년은 분야별 접근에 기반한 NORA를 구축하였다. 또한 미국 학술원에 그들의 프로그램 검토를 의뢰하기로 결정하였다.

프로그램 조직과 관리

프로그램의 구조는 시간이 지나면서 개선되었으며, 다음과 같은 일반적인 기능으로 구성되었다.

- 분야별 위원회 : 전략적 계획과 프로그램 절차를 검토하고 조언한다. 위원회는 모든 분야의 NIOSH 스태프와 관련 연구 공동체 및 산업체 의사결정자로 구성된다.
- 프로그램 관리자와 조정자 : NIOSH에서 프로그램을 관리하며, 이 기능의 주요 역할은 ‘건설 프로그램에 기여하는 자원을 확보하고, 분야별 위원회에 의해 적용된 전략적 결과와 조언을 수행하며, NIOSH의 기능 내에서 조직을 잘 구성하여 교차 분야의 프로그램이 수요와 적정함에서 건설 프로그램의 목표에 기여하도록 함과 아울러 외부 공동체가 가능한 프로그램의 발전과 성장에 참여하도록 유도하는 것’이다.
- 프로그램 구조 : 프로그램은 세 개의 강력한 축으로

3) 미국 노동통계국(Bureau of Labor Statistics).



[그림 1] NIOSH 건설 연구 프로그램의 구성

구성되어 있는데 하나는 NIOSH의 전문성에서 강점을 찾을 수 있는 내부 연구 및 산업계와 함께 특성화 등을 연구하고 전파하는 국립건설센터(National Construction Center), 마지막으로 기금 지원으로 창의적인 연구자들을 이끌 수 있는 외부 연구가 있다.

프로그램 자원

1997년부터 2007년까지 건설 연구 프로그램을 위한 예산은 연평균 1,780만 달러였다. 가장 금액이 많았던 1997년이 2,030만 달러였으며, 가장 적었던 2007년은 1,380만 달러였다. 연도별 전체 예산과 내·외부 연구 및 센터에 배정된 예산의 추이는 [그림 2]와 같다.

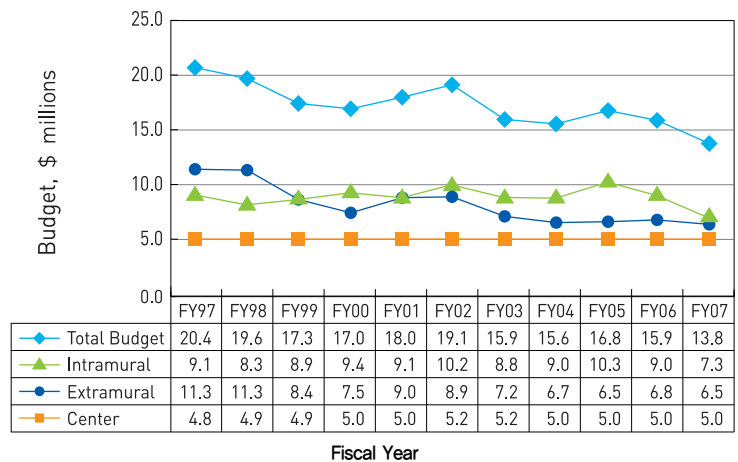
예산과 관련하여 이 보고서에서 제시한 다른 분석자료는 NIOSH 전체 예산과 건설 프로그램 예산을 비교한 그림이다. [그림 3]에 명기된 예산은 인플레이션과 다른 인지들을 고려하여 조정한 수치로, 1997년부터 NIOSH의 전체 예산은 지속적인 증가세를 보이고 있다. 하지만 건설 연구 프로그램의 예산은 증가세를 보이지 않고 있어 전체 예산에서 차지하는 비중은 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

위원회는 이러한 근거를 들어 건설 연구

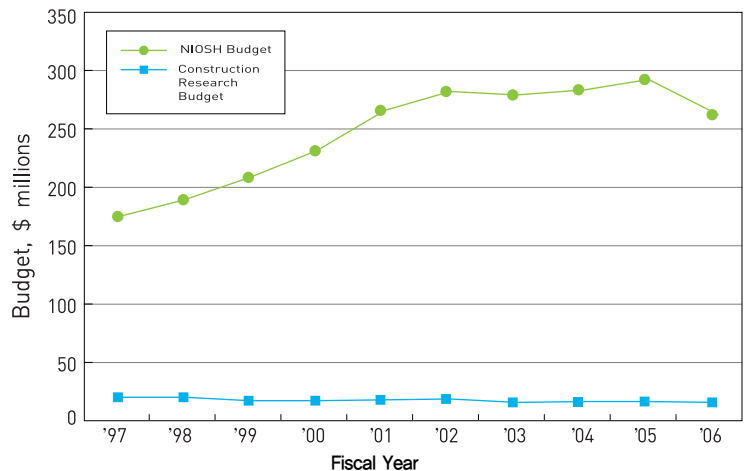
프로그램에서 활용할 수 있는 자원이 프로그램의 수행에 제한을 가하고 있음을 지적하고 있다. 또한 이와 같은 자원의 부족으로 인해 각 지역에 위치한 대다수의 소규모 건설 작업장에 대한 교육 및 감시를 수행하는 프로그램이 위축될 수밖에 없음을 언급하고 있다. 이러한 지적은 산업재해의 상당 부분을 차지하고 있으며, 그 중에서도 소규모 건설 현장에서 발생하는 재해의 비율이 높은 국내 상황을 고려하면 시사하는 바가 크다고 할 것이다.

프로그램 평가

‘건설 작업장 관련 질병 및 부상의 감소를 목적으로 하



[그림 2] 연도별 건설 연구 프로그램 기금



[그림 3] NIOSH 전체 예산과 건설 연구 프로그램 예산 비교

는 NIOSH의 건설 연구 프로그램(Construction Research Program)의 ‘영향(Impact)’과 ‘적절성(Relevance)’을 위원회가 평가하였다. 평가대상 기간은 1996년에서 2005년으로 건설 연구 프로그램이 설정한 네 개의 전략목표를 달성하는 데 적합하게 프로그램이 계획되었는가 하는 것과 프로그램 결과가 목표 달성에 기여한 정도를 평가하였다.

Research Goals and Sub-goals of the NIOSH Construction Research Program

Goal 1: Reduce the major risks associated with traumatic injuries and fatalities in construction.

- 1.1 Falls from elevations
- 1.2 Contact with electricity
- 1.3 Struck-by incidents involving vehicles/equipment
- 1.4 Confined space, excavation, and trenching
- 1.5 Construction vehicle rollovers

Goal 2: Reduce exposures to health hazards associated with major risks of occupational illness in construction.

- 2.1 Reduce noise exposures and hearing loss
- 2.2 Reduce lead exposure and related health effects (focus area)
- 2.3 Reduce silica exposure and silicosis
- 2.4 Reduce asphalt fume exposures and related health effects (focus area)
- 2.5 Reduce dermal exposures and related skin disorders
- 2.6 Reduce welding fume exposures and related health effects

Goal 3: Reduce the major risks associated with musculoskeletal disorders in construction.

- 3.1 Reduce musculoskeletal disorders
- 3.2 Reduce disorders associated with excessive exposure to vibration

Goal 4: Increase understanding of construction sector attributes that affect occupational safety and health outcomes.

- 4.1 Use and improve surveillance resources to identify and track construction safety and health risks
- 4.2 Address special populations of employers and employees within construction (e.g. immigrant workers, youth workers)
- 4.3 Optimize the role of safety and health in construction training efforts
- 4.4 Explore promising approaches for addressing construction hazards
- 4.5 Improve diffusion of safety and health research to construction practice

※ SOURCE : NIOSH(2007)

NIOSH의 건설 연구 프로그램을 평가하기 위해서 위원회는 2~3명으로 구성된 4개의 팀을 구성하여 각 팀이

4개의 프로그램 연구목표를 담당하였다. 팀은 건설 연구 프로그램의 스태프가 제공하는 자료를 심도 있게 검토하였으며, NIOSH에서 적용한 논리 모델과 용어를 사용하였다.

Logic Model Terms and Examples

Planning Inputs : 이해관계자 투입, 감시자료와 위험성 평가

Production Inputs : 내·외부 자금, 인력, 관리 구조와 물리적 시설

Activities : 프로그램, 스태프, 수혜자 및 시공자의 작업과 노력

Outputs : 연구 프로그램의 직접적 결과물

Intermediate Outcomes : 작업장의 개인, 단체 및 조직 차원에서 이루어진 프로그램과 연관된 변화 및 행동

End Outcomes : 작업장의 안전보건에서의 발전, 특정 프로그램에 기인한 재해의 감소와 같이 프로세스와 프로그램의 영향과 안전보건의 측정으로 결정

External Factors : NIOSH에서 통제할 수 없는 노동력과 규정 등 안전보건과 관련된 외부 요인

위원회에서 수행한 건설 연구 프로그램의 ‘적절성’에 대한 평가는 최고점인 5점을 획득하였다. 위원회는 건설 연구 프로그램이 Goal 1에서 제시한 사망사고의 원인에 초점이 맞춰지고, Goal 2와 Goal 3에서 제시된 많은 건설 근로자에 영향을 주는 보건위험, Sub-goal 4.2에서 제시된 특수한 근로인구인 중남미 근로자를 다루어 우선순위가 높은 분야에 맞게 수행되었다고 평가하였다. 또한 건설업 재해 예방을 위한 데이터베이스(DB)를 개발하고 보급한 점이 높게 평가되어 좋은 결과를 얻을 수 있었다고 밝히고 있다.

Framework Document Scoring Criteria for Relevance

5점 = 연구과제가 중요한 연구 영역에서 수행되었고 연구결과가 훌륭하게 활용된 경우

4점 = 연구과제가 중요한 연구 영역에서 수행되었고 연구결과가 적절히 배포 활용된 경우

3점 = 연구가 매우 NIOSH의 주요 집중대상에 수행되었으나 성과의 활용이 부족한 경우

2점 = 연구대상 선정과 활용이 모두 부족한 경우

1점 = 연구가 부적절하고 활용이 전무한 경우

건설 연구 프로그램의 '영향(Impact)'에 대한 평가도 적절성 평가와 동일한 과정을 통해 진행되었다. 최종 결과물이라고 할 수 있는 추락방지 장치(Fall-protection equipment)나 근접경고 시스템(Proximity warning system)과 같은 기술의 개발은 어느 정도 사고 예방에 기여하였다고 위원회는 평가하였다. 더불어 프로그램이 도로 포장작업 중 아스팔트 흙에 노출되는 작업자의 건강에 좋은 영향을 미쳤다고 평가하였다. 또한 근골격계 장애에 관한 연구가 이를 다루는 모든 보고서의 절반 정도에서 인용이 되고, 청력보호, 인간공학 등 OSHA standards를 개발하는 데 기여한 것으로 조사되었다. 그럼에도 불구하고 이러한 결과가 건설업 전체에 골고루 영향을 미치지 못한 것으로 판단했는데 이는 주택 부분의 사업자가 대부분 자가 사업주이거나 10명 미만의 소규모인 건설업의 특성에 기인한 것이다. 그리고 프로그램에서 활용할 수 있는 기금의 수준이 주택 분야 사업주와 근로자대상의 활동에 제약이 된다고 판단하여 이러한 기준을 바탕으로 위원회는 4점을 부여하였다.

Framework Document Scoring Criteria for Impact

- 5점 = 최종 성과 또는 중간 성과가 근로자 안전보건에 큰 기여를 한 경우
- 4점 = 최종 성과 또는 중간 성과가 근로자 안전보건에 일정 정도 기여를 한 경우
- 3점 = 연구가 아직 진행중이며 성과가 근로자 안전보건에 기여할 가능성이 큰 경우
- 2점 = 연구활동이 진행중이며 연구결과가 새로운 신기술이나 지식을 창출할 가능성이 있지만 적용 범위가 제한된 경우
- 1점 = 연구활동과 성과가 산출되지 않았으며 결과의 활용 가능성도 낮은 경우
- NA = 영향을 평가하는 것이 불가능한 경우

미래 비전

건설 연구 프로그램이 세 가지 축을 기반으로 적절한 분야에 초점을 맞추어 잘 운영되었다는 평가를 받았지만 향후 미래에도 건설환경 변화에 발맞춰 진행되어야 할 것을 인식하고 NIOSH에서는 특별히 세 분야에 초점을 맞출 것임을 제시하였다. 하나는 중남미 근로자로 대



미국 국립산업안전보건연구원의 전체 예산은 지속적인 증가세를 보이고 있지만 건설 연구 프로그램의 예산의 비중은 줄어드는 추세이다.

변되는 '취약 인구'로 그들을 위한 교육과 의사소통 기법에 대한 노력이다. 두 번째 초점은 '중소 규모 건설 현장 근로자'에 해당되는 것으로 대규모 현장에 적용되는 파트너십 및 사회 마케팅 이론과 방식을 중소 규모 현장에도 적용하는 것이다. 마지막으로 '안전을 위한 설계'로 그린 건설운동과 설계자를 파트너로 연계하는 프로그램의 진행을 제시하고 있다.

한편, 구체화한 미래 연구 분야는 다음과 같이 제시되고 있다.

- 부상과 질병 감소
 - 건설 현장에서의 부상 및 사망을 야기하는 요인 (Leading type)
 - 건설 근로자의 근골격계질환
 - 호흡기 질병 및 소음난청에 초점을 맞춘 직업성 질병(호흡계 질병은 기관지천식, 규폐증, 만성폐질환 등을 포함)
- 화학 및 물리학적 노출 방지
 - 진동
 - 아스팔트 흙
 - 납 및 먼지
- 건설 현장에서의 주요 관심대상을 고려한 접근
 - 소규모 및 자영업자

2005년 현재 미국의 건설산업은
 740만명의 근로자를 고용하고 있으며, 여기에 추가로
 250만명의 자영업자가 종사하는 것으로 소개하고 있다.
 연간 가치는 약 1조 2,000억 달러인데
 약 75%의 노동력이 관리업무, 전문서비스,
 영업과 같은 타 분야 종사자와 함께 일하고 있다.
 71만개 건설공사의 약 80%는
 10명 미만의 근로자를 고용하고 있으며
 여기에 소속된 근로자는 전체의 24%에 해당한다.
 500명 이상이 소속된 건설공사는
 전체의 0.1% 미만으로 전체 근로자의 7%에 해당한다.
 미국의 현황을 직접 우리나라의 환경과
 단순 비교한다는 것은 자료의 수집방식 등이 상이하여
 우리가 있지만 대략적인 시사점을
 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

- 건설 현장 내 취약 근로자(외국인 노동자, 일용직, 신규 근로자, 고령 근로자 등)
- 건설사고 위험관리에 초점을 맞춘 초기의 예방 수단으로서 사업설계의 역할(The role of project design)
- 건설 현장의 작업조직을 분석하여 그것이 안전과 보건에 어떤 영향을 주는지 이해도 증진
- 건물주 및 발주처와 함께 우수 사례를 발굴
- 연관된 고위험 분야인 농업 및 광업 분야의 접근 방식 참고

맺음말

NIOSH의 건설 연구 프로그램을 평가한 미국 학술원의 보고서를 통해 우리가 얻을 수 있는 시사점은 다음과 같다.

첫째는 예산 등의 규모이다. 앞서 설명한 바와 같이 NIOSH의 건설 연구 프로그램에서 사용한 연평균 투입 금액은 1,780만 달러였으며, 가장 작은 규모의 펀드가 2007년의 1,380만 달러였다. 이는 산업안전보건연구원의 1년 전체 예산이 130억원 내외이고, 이 중 건설업에 투입되는 예산이 극히 미미한 규모임을 고려하면 비교

자체가 무의미해진다. 물론 미국과 우리나라 경제 규모를 직접 비교하는 것이 무리이지만, 미국에서 건설업에 종사하는 인구는 자영업자를 포함하여 약 990만명으로 추산되는데 비해 우리나라의 경우 2011년 건설업 근로자 수는 약 300만여 명 정도로 파악되므로 우리의 건설 연구 분야가 열악함은 확실하다. 따라서 산업 규모에 적합한 자원의 확보가 선행되어야 효율적인 연구 프로그램의 진행이 가능할 것으로 사료된다. 또한 미국 학술원에서 NIOSH의 건설 연구 프로그램을 평가한 중요기준 중 하나는 목표에 얼마나 적합한 연구가 수행되고 보급되었나 하는 것이다. 이 역시도 규모의 문제와 떼어놓을 수 없는 부분이므로 적절한 규모의 인력과 자원이 배분되어야만 방향성을 가지고 중장기 과제를 지속할 수 있을 것이다

둘째는 NIOSH 평가보고서에서 제안하고 있는 현장 적용 가능 연구, 산업계와 함께하는 건설업 종합연구센터 운영, 소규모 사업장 외국인 근로자 안전, 법 제정 부서와의 원활한 소통을 위한 노력 등은 우리나라 건설 안전 발전을 위해 충분히 고려해 볼만한 연구과제들이라고 볼 수 있다.

향후 산업안전보건연구원도 우리나라 건설 규모에 걸맞은 조직과 예산을 확보하여 중장기적인 목표를 세워 다양한 건설안전 연구를 수행하고 NIOSH처럼 평가보고서를 발간할 날을 기대해본다. ✚

건설공사 지붕작업장의 추락위험에 대한 실태조사

건설공사의 마지막 단계에 수행되는 지붕작업은 구조물의 제일 높은 장소에서 실시됨에 따라 익숙지 못한 환경에 대한 작업자의 미숙함, 강풍 등 외기 영향, 경사진 지붕 바닥, 최종 마무리작업으로서 안전시설 생략, 단기간의 작업 등 특수한 작업 여건에 의해 추락재해가 지속적으로 발생된다. 지붕작업 시의 재해는 대부분 안전조치가 미비하고 단기간 공사인 3억원 미만의 영세 소규모 사업장에서 발생되고 있다. 건설업에서 지붕작업은 비계, 이동식사다리, 작업발판, 개구부와 함께 선정되어 관리되고 있는 건설추락재해 5대 기인물 중 하나이다. 본 연구에서는 지붕재해 특성 분석과 주요 중대재해 사례 분석, 지붕작업 안전기준의 실태조사, 지붕작업 건설 현장에 대한 실태조사 등 연구 전 과정을 통해 지붕작업의 주요 특성과 문제점을 도출하여 소규모 지붕작업 건설 현장에서 안전하게 적용할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.



최돈홍 연구위원
산업안전보건연구원 안전연구실

2010년도 건설업 재해통계를 보면 지붕작업에서 추락재해 발생률은 79%(지붕작업재해자 : 562명, 지붕 추락재해자 : 442명)로, 전 산업의 추락재해 발생률 14%(전 산업재해자 : 9만 8,645명, 추락재해자 : 1만 4,040명)와 건설업의 추락재해 발생률 33%(건설업재해자 : 2만 2,504명, 추락재해자 : 7,322명)에 비하여 월등히 높게 나타났다. 추락재해가 빈발하는 지붕은 비계, 이동식사다리, 작업발판, 개구부와 함께 건설 추락재해 제5대 기인물로 선정되어 관리되고 있다.

연구 배경 및 목적

건설공사의 마지막 단계에 수행되는 지붕작업은 구조물의 제일 높은 장소에서 실시됨에 따라 추락위험이 매우 높으며, 익숙지 못한 지붕작업환경에 대한 작업자의

미숙함, 강풍·강설 등 악천후의 영향, 경사진 지붕 바닥에서의 불안정한 작업 자세, 최종 마무리작업으로서 안전시설 생략, 단기간의 작업 등 특수한 작업 여건에 의해 추락재해가 지속적으로 발생된다.

지붕작업 시 발생하는 재해는 안전조치가 미비하고 단기간 공사인 3억원 미만의 영세 소규모 사업장에서 주로 발생되고 있다.

본 연구에서는 지붕작업재해 특성 분석과 주요 중대재



구조물의 가장 높은 장소에서 실시되는 경사 지붕작업.

해 사례 분석, 지붕작업 안전기준의 실태조사, 지붕작업 건설 현장에 대한 실태조사 등의 연구과정을 통해 지붕작업의 주요 특성과 문제점을 도출하여 안전하게 지붕작업을 할 수 있는 방안과 소규모 지붕작업 건설 현장에서 적용 가능한 방안을 제안하고자 한다.

연구내용 및 방법

지붕재해 특성 분석

지붕재해의 특성을 분석하기 위하여 2010년도에 지붕작업 시 발생한 재해자 562명에 대하여 발생형태별·공사 규모별·재해자 연령별 등으로 나누어 분석하였으나 일반재해 발생자료에는 기록된 내용이 상세하지 않아 재해 특성 분석에 한계가 있다.

따라서 안전보건공단에서 실시한 중대재해보고서 자료를 토대로 지붕 사망재해자 51명에 대하여 추락 높이별·지붕형태별·지붕 재료별 등 각 세부 항목별로 심층 분석하여 재해 특성과 문제점을 도출하고 대안을 제시하였다.

지붕작업장에 대한 실태조사

지붕작업장에 잠재하고 있는 추락·전도·미끄러짐 등 위험요소와 작업 순서 등 작업방법의 적정성, 사용장비·공구 등의 적합성, 작업발판·비계·사다리 등 가시설의 안전성, 안전기준 준수도 등 지붕작업실태를 정확히 파악하기 위하여 지붕작업장에 대한 실태조사를 실시하였다.

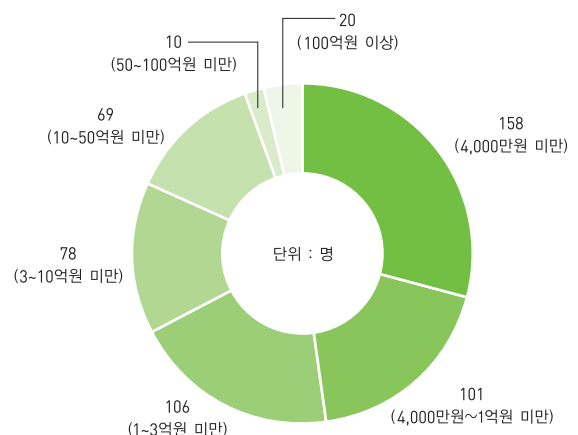
실태조사 선정은 지역·공사 종류·공사 규모·지붕형태 등에 차별 없이 모든 지붕작업을 대상으로 실시하였으나 지붕작업 기간이 1주일~1개월 등 단기간으로서 지붕작업이 실시되는 현장을 발굴하는 데 어려움이 있

었다. 또한 전국적으로 실시하지 못하고 경기도·강원도 등 수도권에 중심이 되어 다소 한계점이 있었다. 1차 실태조사는 27개 현장, 2차 실태조사는 46개 현장 등 총 73개 현장을 대상으로 실시하였고, 공사관계자와 면담 등의 방법으로 진행하였다.

지붕재해 특성 분석결과

2010년도 지붕작업 시 발생한 재해자 562명과 사망자 51명에 대한 재해 발생 특성을 분석한 결과, 그 주요 특징은 다음과 같다.

- 공사 규모별로 보면 지붕작업재해자 중 3억원 미만 소규모 현장에서 발행한 점유율(68%)이 건설업 전체 재해자 중 3억원 미만 소규모 현장의 점유율(45%)보다 월등히 높은 것으로 나타났다. 영세 소규모에 집중되어 있는 지붕재해를 예방하기 위하여 영세 소규모 지붕작업장에 맞는 맞춤형 기술 지원방안이 필요한 것으로 나타났다.
- 발생형태별로 보면 추락이 79%로 대부분을 차지하였다. 지붕작업장 진입로 확보, 지붕작업발판 사용



[그림 1] 2010년도 지붕작업 일반재해자 공사 규모별 분포도

〈표 1〉 2010년도 지붕작업 일반재해자 공사 규모별 현황

연도	계	4,000만 미만	4,000만~1억원 미만	1~3억원 미만	3~10억원 미만	10~50억원 미만	50~100억원 미만	100억원 이상
재해자	542	158	101	106	78	69	10	20
비율	100%	29%	19%	20%	14%	13%	2%	3%

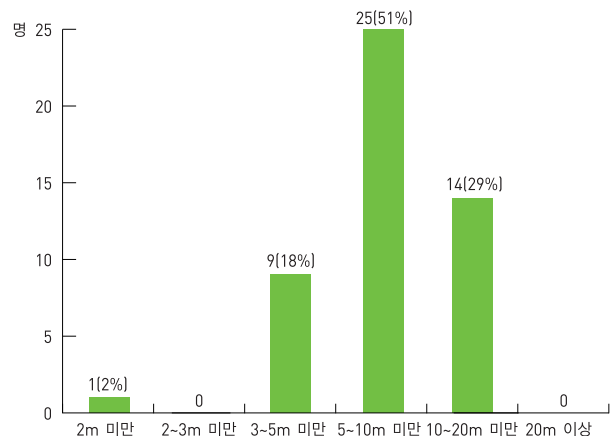
(단위 : 명)

의 활성화, 경사지붕 단부의 수직 방호책 설치, 경사지붕 바닥의 걸림과 미끄럼 방지조치 등 추락위험요인을 제거하기 위한 방안 마련과 적용이 필요하다.

- 재해자 연령별로 보면 40대와 50대가 75%로 대부분을 차지하였으며, 위험 대처 능력이 부족한 60대와 70대도 47명(9%)이나 발생하였다. 지붕작업은 고소 및 경사진 바닥작업으로 몸의 중심을 잃기 쉽고 추락위험이 높아 운동신경과 위험 대처 능력이 부족한 고령 근로자에게는 부적합하다. 고령 근로자는 지붕작업보다는 지상작업을 유도하는 등 작업 배치 시 배려가 필요하다.
- 건축물 종류별로 보면 공장이 45%, 단위작업별에서는 지붕 패널이 41%, 직종별에서는 패널공이 25%로 가장 많이 차지하였다. 최근에 단독·다세대, 공장, 창고, 근린시설, 근린상가를 건립하면서 공사 기간 단축을 위하여 철골구조 위에 지붕 패널 설치공법을 선호함에 따라 지붕 패널 사용이 증가하였다. 지붕 패널 재료의 표면은 철판으로 미끄러짐에 의한 추락위험이 높다. 철판 세우기 및 패널 설치 시 안전대 부착시설 사전 설치 및 안전대 사용과 지붕작업발판 사용이 정착되도록 기술 지원과 관리방안이 필요하다.
- 사고 원인별로 보면 중심 잃음(45%)과 지붕 파손(33%)이 대부분인 것으로 나타났다. 안전대 착용을 생활화하도록 지속적인 지도·감독이 필요하며 슬레이트, 채광판 등 취약한 지붕 재료 위에서의 작업 시 지붕작업발판을 사용토록 기술 지원 및 경량의 지붕작업발판 생산과 보급이 필요하다.
- 파손 지붕의 재료별로 보면 슬레이트가 53%로 가장 많이 차지하였다. 육안으로 지붕 재료의 취약 정도

등 안전성을 정확히 판단하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로 슬레이트 등 취약한 지붕 위에서 작업발판 없이 작업자가 직접 올라가지 않도록 하고, 지붕작업발판 사용을 의무화하도록 지속적인 지도·감독이 필요한 것으로 나타났다.

- 추락높이별로 보면 높이 5~10m 구간에서 51%로 가장 많이 발생하였다. 지붕작업은 공사 규모가 1~3층 미만으로, 지붕 높이가 10m 미만인 작업장이 71%를 차지하였다. 안전방망 설치기준이 '작업면으로부터 수직거리는 10m 이내'로 규정¹⁾되어 있음에 따라 높이 10m 미만인 지붕작업장 등에는 안전방망 설치가 강제되지 않으므로²⁾ 안전방망을 미설치하여 추락위험이 매우 높은 실정이다. 지붕작업 중 추락 사고 발생 시 외벽에 안전방망이 미설치된 경우에는 지상바닥으로 추락하여 사망 등 중대재해로 이어진다. 지붕 높이가 10m 이내인 경사지붕작업 시 외벽 지상에서 약 3m 정도의 높이에 안전방망을 의무적으로 설치하도록 안전기준 마련이 필요하다.
- 재해자의 동종 경력별로 보면 10년 이상 경력자가 71%로 대다수를 차지하였다. 1년 미만 신규 근로자



[그림 2] 지붕작업 사망재해자 추락 높이별 분포도

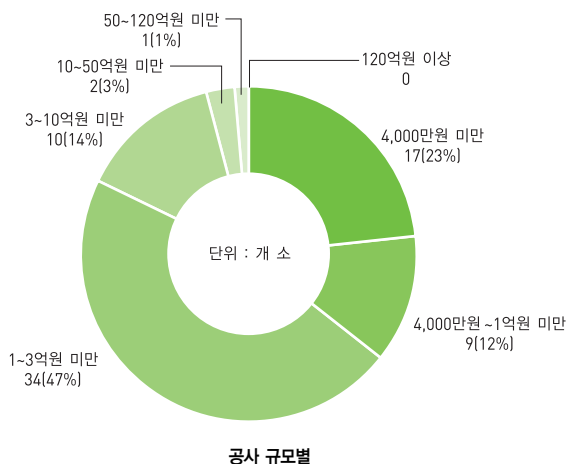
〈표 2〉 지붕작업 사망재해자 추락 높이별 현황

구분	계	2m 미만	2~3m 미만	3~5m 미만	5~10m 미만	10~20m 미만	20m 이상
사망	49	1	0	9	25	14	0
비율	100%	2%	0%	18%	51%	29%	0%

(단위 : 명)

는 없었고, 5년 미만의 근로자는 12%에 그쳤다. 10년 이상 전문 숙련공이 재해자의 대다수를 차지한 것을 보면, 지붕작업에 익숙해진 전문 숙련공이 위험에 대한 인지도가 떨어져 안전조치를 이행치 않고 무리한 작업을 실시한 것이 주요 원인인 것으로 판단된다. 지붕작업의 위험에 대한 안전의식이 부족한 10년 이상의 전문 숙련공을 대상으로 지붕작업의 특성·위험성 및 안전작업과 관련한 체계적인 안전교육이 필요한 것으로 나타났다.

- 공사 기간별로 보면 3개월 미만 단기간에서 61%로 집중적으로 발생하였다. 단기간인 지붕 건설 현장에서는 안전활동이 이루어지지 않고 있으며, 안전대 착용 등 기초적인 안전조치도 이행되지 않고 있다. 지붕작업에 소요되는 순수한 작업 기간은 대부분 1개월 이내로 매우 짧아 관계기관의 안전기술 지원과 관리·감독이 미치지 않고 있는 실정이다. 지붕작업 적기에 기술 지원과 지도·감독을 실시할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.
- 사고 위치별로 보면 경사 지붕 위(38%), 지붕 단부(15%) 등에서 가장 많이 발생하였고, 사다리, 고소작업대, 작업발판 등에서 일부 발생하였다. 경사 지붕 위의 작업, 지붕 단부작업, 채광창 위의 작업 등 각 세부작업 시 위험요소에 따른 작업별 안전작업 마련과 적용이 필요하다.



[그림 3] 실태조사 현장 현황

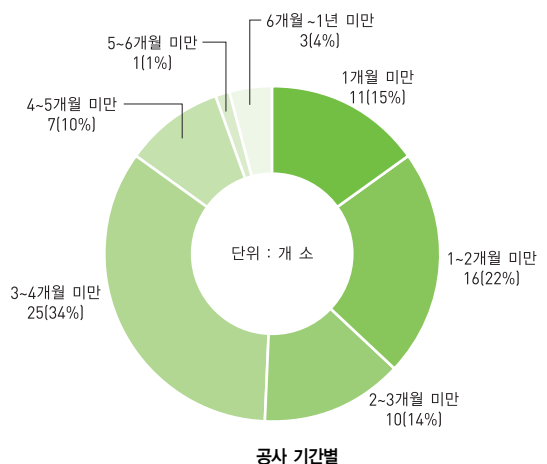
지붕작업 건설 현장에 대한 실태조사결과

실태조사는 지붕작업에서 ‘재해 발생 위험요소는 어떤 종류가 있는지’와 ‘안전기준이 지켜지지 않는 이유는 무엇인지’ 등을 파악하여 지붕작업의 근원적인 문제점을 도출하고 대안을 마련하고자 실시되었으며, 실태조사대상은 작업 종류에 구분 없이 모든 작업으로 하였고, 총 73개 현장을 대상으로 실시되었다.

- 지붕작업장 실태조사 현장은 공사형태별로 보면 신축이 90%, 공사 규모로는 3억원 미만 소규모 현장이 82%, 공사 기간으로는 4개월 미만의 단기간이 85%였다. 그리고 건축물 종류별로 보면 근린상가와 단독주택이 66%, 층수별로 보면 2층 이하가 75%를 차지하였다.
- 지붕작업 특성별 실태조사결과를 보면 단위작업 종류로는 지붕 미장작업 24%, 철재구조물작업 21%, 지붕 패널 작업 12%였고, 지붕 마감 재료별로는 지붕 싱글 40%, 경량 패널 30%였다. 지붕작업장 높이별로는 5~19m 미만이 52%, 지붕형태별로는 박공 지붕이 74%였으며, 지붕 하부구조 형식별로는 콘크리트 슬래브와 철골조가 76% 등으로 나타났다.

1) 산업안전보건규칙 제42조 1항 1호.

2) 작업발판 설치 또는 안전대 착용으로 대체 가능.

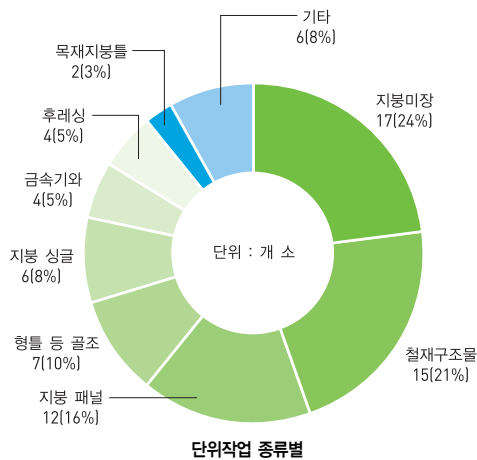


- 지붕작업환경에 대한 실태조사결과를 보면 지붕 위 진입방법에서는 외부비계 43%, 이동식사다리 34%였다. 지붕 위 작업자 위치는 콘크리트 지붕 바닥이 32%, 철골구조물 위가 16%였고, 작업통로 확보 여부는 미확보 42%, 확보 미흡 29%에 달했다. 그리고 작업통로 확보 미흡내용은 사다리 미고정 43%, 외부비계 불안전 이용 33% 등으로 나타났다.
- 지붕작업장의 위험성에 대한 실태조사결과, 낙하위험 및 매우 위험이 32%, 추락위험 및 매우 위험이 88%, 걸려 넘어질 위험 및 매우 위험이 58%, 미끄러질 위험 및 매우 위험이 70%로 나타나는 등 대부분의 지붕작업장에서 추락 등 재해위험이 높은 것으로 나타났다.

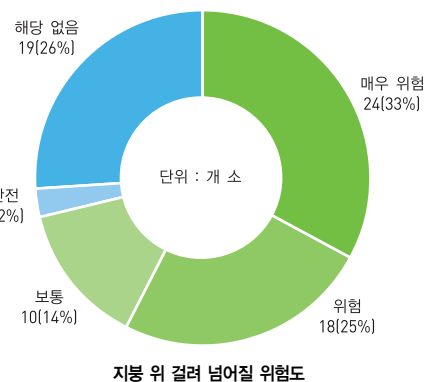
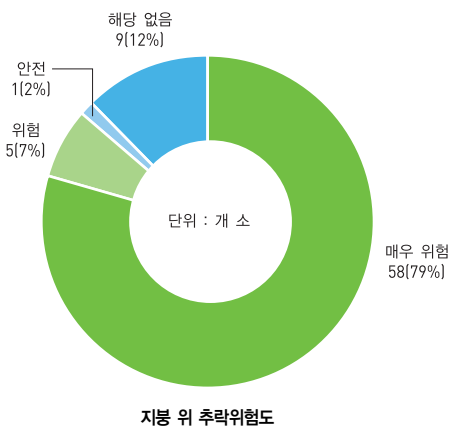
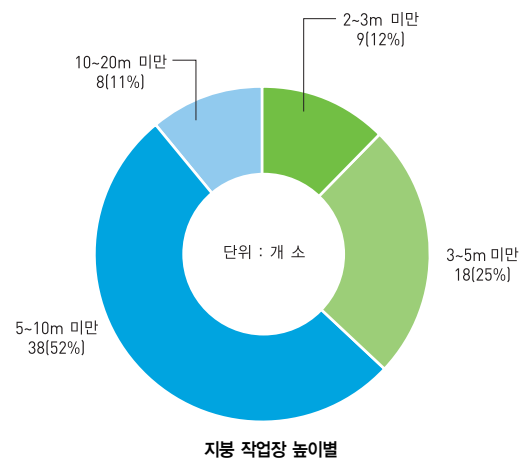
- 지붕 위 안전시설 설치 및 개인보호구 착용에 대한 실태조사결과, 지붕작업발판 없음 69%, 안전대 부착시설 미설치 92%, 지붕 끝 추락방지시설 미설치 및 미흡 88%, 안전대 미착용 및 미체결 95%, 안전모 미착용 97%로 나타나는 등 지붕작업장의 안전시설은 미설치되었으며, 지붕작업자는 안전모 등 개인보호구를 착용하지 않는 것으로 나타났다.

결론 및 제언

지붕작업장에 대한 실태조사결과, 공사 규모별로 보면 3억원 미만 소규모 현장이 82%로 대부분을 차지한 것으로 나타났다. 공사 기간별로 보면 대부분 단기간이며,



[그림 4] 지붕작업 특성별 현황



[그림 5] 지붕작업장 위험성 평가 현황

근로자의 작업통로는 확보되지 않았다. 또한 안전대 부착시설 등 최소한의 안전시설이 설치되지 않았고, 근로자는 개인보호구를 착용치 않고 있는 것으로 나타났다.

지붕작업장에 대한 안전성 평가결과, 추락 등 각종 재해위험이 매우 높은 것으로 밝혀졌다. 이와 같이 지붕작업장은 안전조직·안전관리 부재, 강풍 등 특수한 작업환경, 건설작업 중 최종 마무리작업으로서 안전시설 생략 등 열악한 작업 여건으로 인해 재해위험이 높다. 그러나 현재의 안전규정과 안전기준은 지붕작업의 특수한 작업 여건을 고려치 못하고 있으며, 정부 및 재해 예방기관의 관리·감독 및 기술 지원이 영세 소규모인 지붕작업장에 제대로 미치지 못하고 있는 실정이다.

지붕작업장 실태조사 등 연구 전 과정에서 도출된 상기와 같은 문제점을 토대로 안전하게 지붕작업을 할 수 있는 방안을 다음과 같이 제안하였다.

첫째, 박공 지붕 최상단에 수평지지대 설치를 설계단계부터 반영토록 하여야 한다.

건설공사 시는 물론 준공 후 지붕재 교체, 보수 등 유지관리 시에도 지붕에서 안전하게 작업을 할 수 있도록 박공 지붕 최상단에 수평지지대(안전대부착시설)를 본 설계단계부터 반영토록 안전규정을 마련하는 것이 필요하다.

둘째, 경사진 지붕작업 시 지붕작업발판을 사용토록 하여야 한다.

경사진 지붕 위에서는 작업과정 중 몸의 중심을 잃을 위험이 많고 미끄럼, 걸림 등에 의한 추락위험이 매우 높으므로 지붕작업발판을 의무적으로 사용토록 안전규정 마련이 필요하며, 수요가 나날이 증가하고 사고가 많이 발생하는 지붕 패널 설치작업 시 사용할 수 있는 지붕 패널 작업용 발판의 개발이 필요하다.

셋째, 외벽 3m 높이에 안전방망을 설치토록 하여야 한다.

지붕작업장을 높이별로 분석하면 높이가 10m 미만인 지붕작업장이 89%를 차지하고 있고, 지붕 사망재해 중 71%가 높이 10m 미만에서 발생한 것으로 나타났다. 하지만 안전방망 설치기준은 '작업면으로부터 수직거리

10m 이내'로 되어 있는 등 높이 10m 미만의 지붕작업장에는 안전방망 설치가 강제되어 있지 않아 높이 10m 미만의 지붕작업장에서 안전방망을 미설치하여 추락위험이 매우 높은 실정이다. 따라서 지붕작업장 외벽 약 3m 높이에 안전방망 설치를 의무화하는 안전규정 마련이 필요하다.

넷째, 경사 지붕 끝부분에 경고줄을 설치토록 하여야 한다.

지붕 끝부분에는 일반 층과는 달리 외부 비계, 형틀 등 추락사고에 대한 방호 역할을 하는 시설이 없으며, 더구나 지붕 단부에 안전난간, 안전방망 등 안전시설이 대체로 생략되어 추락위험이 매우 높다. 지붕 단부에서 1.8m 이내에 경고줄을 의무적으로 설치토록 하여 지붕작업자로 하여금 바닥 단부의 추락위험에 대한 인지력을 증대시키도록 한다(경고줄 : 지붕 단부에서 1.8m 이내에 수평 방향으로 약 0.9~1.0m의 높이로 설치하고, 경고줄에 일정 간격으로 안전표지 게시).

다섯째, 자금력과 안전관리 능력이 부족한 공사 규모 3억원 미만의 소규모 지붕공사 현장을 대상으로 수평구명줄, 지붕작업발판, 안전방망, 경고줄 등 안전시설 설치에 필요한 비용을 무이자 또는 저리 융자로 지원하여 동기를 부여하는 방안이 필요하다. 🌸

참고문헌

- 안전보건공단, 2010년 건설업 재해 발생 현황.
- 안전보건공단, 지붕공사 안전작업지침, KOSHA CODE C-36-2008.
- 안전보건공단, 지붕작업 시 근로자 안전보건(영국산업안전보건청-HSE), 일반 분야-교육자료 2004-14-484.
- UK-Health and Safety Executive, The work at Height Regulation 2005, Statutory Instrument No 735.

산업용 로봇의 재해 특성과 사용실태 현황*

로봇은 산업용 로봇뿐만 아니라 다양한 분야의 서비스 로봇이 개발되어 상품화되어 있다. 실제로 수술 로봇, 오락 로봇, 청소 로봇, 우주 탐사 로봇, 안내 로봇 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 국내 산업용 로봇은 2004년 기준 총 5만 1,302대¹⁾로 아시아에서는 일본 35만 6,483대에 이어 2위를, 전 세계적으로는 일본, 독일, 미국, 이탈리아에 이어 5위권을 유지하고 있다. 이렇듯 급속도로 보급되는 산업용 로봇과 관련된 재해 증가가 예상되어 산업용 로봇의 국내 재해 현황, 관련기준 및 설문조사 등을 통해 사용실태를 알아보고자 한다.



이흥석 과장
산업안전보건연구원 안전연구실

현대 산업사회는 기계화·자동화와 같은 생산기술의 발달로 인하여 생산 현장은 물론 일상생활에서도 작업의 효율과 작업방법의 편리성 등 많은 부분이 향상되고 있다. 특히 전자 및 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 로봇 산업이 눈부시게 발전하였고, 산업용 로봇의 보급도 급속도로 늘어나는 추세이다. 이러한 산업용 로봇은 자동차용 아크 용접, 스폿 용접, 수지성형품 추출, 액정 패널용 유리기판 반송 등의 용도로 사용된다.

연구 배경 및 목적

2008~2010년 산업재해 현황 통계를 12월 기준으로

분석한 결과, 산업용 로봇과 관련한 재해자 수는 109건으로 매년 30~40건의 재해가 발생하고 있다. 산업용 로봇의 보급에 비해 재해자 수는 적은 것으로 여길 수 있으나, 109건 중 사망자 수는 7명(6.4%)으로 산업용 로봇 관련 재해는 상대적으로 치명적인 사고를 야기하고 있다.

국내 생산시설의 자동화가 더욱 확대되고 있는 현실에서 앞으로 산업용 로봇의 수요는 폭발적으로 증가함과 동시에 재해자 수도 상대적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 산업용 로봇 관련 재해의 분석 및 사용실태의 파악이 필요하다.

재해 유형 및 특성

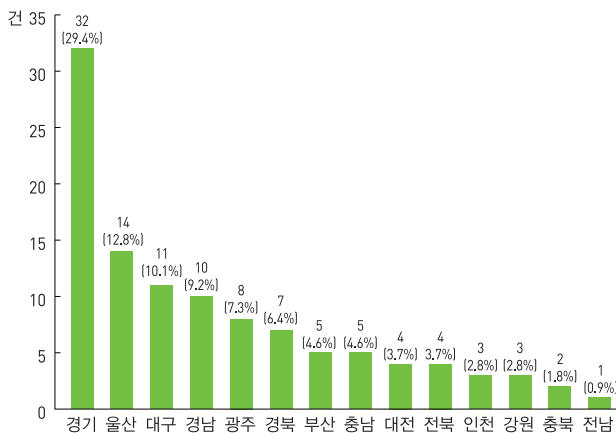
2008~2010년도에 발생한 109건의 산업용 로봇 관련 재해 분석을 토대로 그 주요 특징을 요약해보면 다음과 같다.

* 공동 집필 : 이준석 대표(D & J 안전)

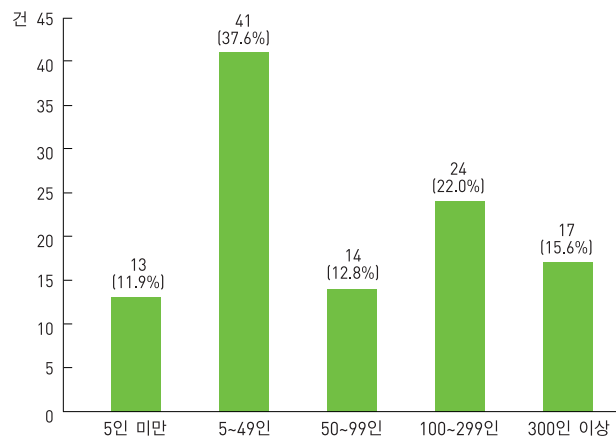
1) UNECE/IFR World Robotics 2004.

지역·규모별

지역별로는 경기 32건(29.4%), 울산 14건(12.8%), 대구 11건(10.1%) 순이고, 규모별은 5~49인 41건(37.6%), 100~299인 24건(22%), 300인 이상 17건(15.6%) 순으로 5~49인 사업장에서 가장 높다. 특히 50인 미만(49.5%)과 50인 이상(50.4%)에서 거의 같은 재해 점유율을 보이고 있는데, 이는 산업용 로봇이 전 규모의 산업에서 사용되고 있음을 짐작케 한다. 사망자는 50인 미만에서 3명, 50인 이상에서 4명이 발생하였다.



[그림 1] 지역별 산업용 로봇 관련 재해 발생 현황



[그림 2] 규모별 산업용 로봇 관련 재해 발생 현황

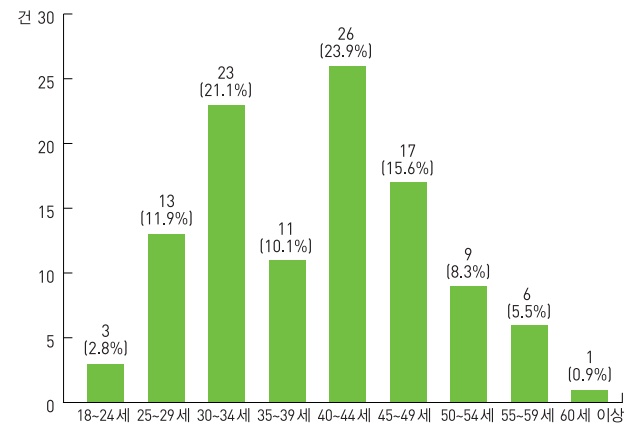
[표 1] 규모별 산업용 로봇 관련 재해 발생 현황

구분	총계	5인 미만	5~49인	50~99인	100~299인	300인 이상
계 (%)	109 (100)	13 (11.9)	41 (37.6)	14 (12.8)	24 (22.0)	17 (15.6)
사망	7	1	2	2	1	1

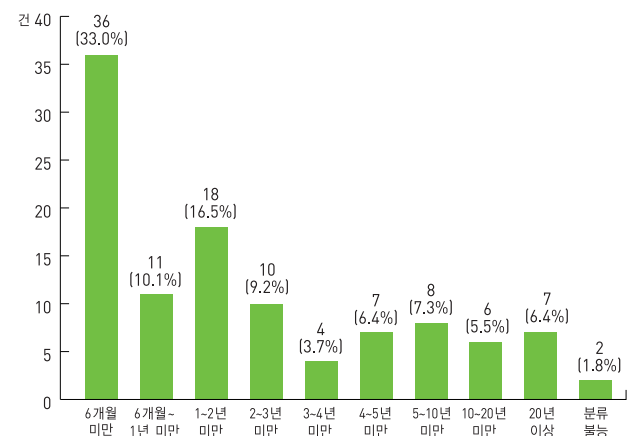
연령별·근속년수별

연령별로는 40~44세가 26명(23.9%)로 가장 높고, 이를 연령대별로 보면 40대가 43명(39.4%), 30대 33명(30.3%) 및 50대는 15명(13.8%)의 점유율을 나타내고 있다.

근속년수별로는 6개월 미만이 36명(33%), 1~2년 미만 18명(16.5%) 순으로 나타났다. 여기서 6개월 미만에는 이직에 의한 신규 입사자가 다수 포함된 것으로 사료된다.



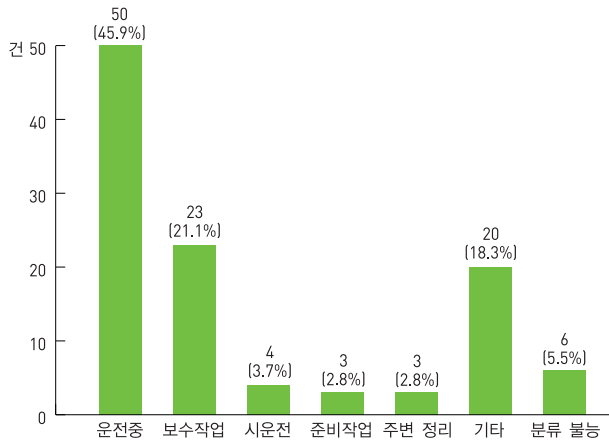
[그림 3] 연령별 산업용 로봇 관련 재해 발생 현황



[그림 4] 근속년수별 산업용 로봇 관련 재해 발생 현황

작업형태별

산업용 로봇 재해 원인을 작업형태별 분류하면, 운전중이 50명(45.9%)으로 가장 높는데 사망자의 경우도 운전중이 4명으로 57.1%를 차지하고 있어, 로봇의 운전작업에서 재해자 및 사망자가 상대적으로 많이 발생하고 있다.



[그림 5] 작업형태별 재해 발생 현황

〈표 2〉 작업형태별 재해 발생 현황

(단위 : 건)							
구분	총계	운전중	보수작업	시운전	준비작업	주변정리	기타
계	109	50	23	4	3	3	20
(%)	(100)	(45.9)	(21.1)	(3.7)	(2.8)	(2.8)	(18.3)
사망	7	4	1	-	-	-	2

로봇의 국내·외 기준 및 분류

산업안전보건법

산업안전보건법 시행령 제28조의 5(자율안전확인대상 기계·기구 등)에서는 산업용 로봇의 제조자(설치 포함) 및 수입자에 대해 규정하고 있다. 또한 산업안전보건기준에 관한 규칙 제13절의 제222조(안전에 대해 교시 등), 제223조(운전중 위험 방지) 및 제224조(수리 등 작업 시의 조치 등)는 로봇 사용 현장에 대해 규정하고 있다.

KS 규격

한국산업표준으로 제정되어 사용중인 로봇 표준은 총 36종이다. 이 중 21종이 〈표 4〉에 나타난 것과 같이 산업용 로봇에 관한 것이다.

21종 중 안전 관련기준은 KS B 7083(산업용 로봇의 안전 통칙)과 KS B ISO 10218-1(산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제1부: 로봇) 및 KS B ISO 10218-2(산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제2부: 로봇 시스템 및 통합)이다.

KS B 7083(산업용 로봇의 안전 통칙)은 KS B ISO

10218-1(산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제1부: 로봇) 및 KS B ISO 10218-2(산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제2부: 로봇 시스템 및 통합)에 의해 대체되었기에 폐지될 예정이다.

〈표 3〉 로봇의 분류

구분	정의
제조업용 로봇 또는 산업용 로봇 (Industrial robot)	각 산업의 제조 현장에서 제품 생산에서 출하까지의 공정 내 작업을 수행하기 위한 로봇
서비스 로봇 (Service robot)	전문 서비스 로봇 (Service robot for professional use)
	개인 서비스 로봇 (Service robot for personal use)
	의료 로봇, 국방 로봇 같이 전문가를 보조하여 서비스를 제공하는 로봇
	청소 로봇, 교육용 로봇 같이 일반인을 대상으로 서비스를 제공하는 로봇

※ IFR(International Federation of Robotics).

〈표 4〉 산업용 로봇 KS 표준 목록

번호	표준 번호	표준명
1	KS B ISO 8373	산업용 머니폴레이팅 로봇-용어
2	KS B 0068	산업용 로봇 기호
3	KS B 7083	산업용 로봇의 안전 통칙
4	KS B 7084	산업용 로봇-조작장치 등에 관한 기능 식별 기호 및 식별 색
5	KS B 7086	산업용 로봇-모듈화 설계 통칙
6	KS B ISO 9787	산업용 머니폴레이팅 로봇-좌표계 및 운동 기호
7	KS B 7096	산업용 로봇-전기장치
8	KS B 7097	산업용 로봇-프로그램 언어 SLIM
9	KS B ISO 11593	산업용 머니폴레이팅 로봇-엔드 이펙터 자동 교환 장치-용어 및 특성의 표시방법
10	KS B ISO 10218-1	산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제1부: 로봇
11	KS B ISO 10218-2	산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제2부: 로봇 시스템 및 통합
12	KS B ISO 14539	산업용 머니폴레이팅 로봇-침형 그리퍼-용어 및 특성 표시
13	KS B ISO 15187	산업용 머니폴레이팅 로봇-로봇의 프로그램과 조작을 위한 그림 기호
14	KS B ISO 9409-1	산업용 머니폴레이팅 로봇-메커니컬 인터페이스-제1부: 원형 플랜지형
15	KS B ISO 9409-2	산업용 머니폴레이팅 로봇-메커니컬 인터페이스-제2부: 샤프트
16	KS B ISO 9946	산업용 머니폴레이팅 로봇-특성 표시방법
17	KS B ISO TR 11032	산업용 머니폴레이팅 로봇-응용 시험-스프링 용접
18	KS B ISO 9283	산업용 머니폴레이팅 로봇-성능 항목 및 시험방법
19	KS B ISO TR 13309	산업용 머니폴레이팅 로봇-KS B ISO 9283에 따른 로봇 성능 평가를 위한 시험 장비 조작 및 측정방법
20	KS C 0282	산업용 로봇-EMC 시험방법과 성능 평가지침
21	KS X 6907	산업용 머니폴레이팅 로봇-중간 코드(ICR)

국외기준

ISO 10218은 1992년에 제정되어 개정작업이 진행되면서 Part 1(로봇)과 Part 2(로봇 시스템 및 통합)로 분리되었다. Part 1은 2006년에 개정되었다가 2011년에 재개정되었고 Part 2도 새로이 개발되어 2011년에 공고되었다. Part 1의 경우에는 주로 제조자를 대상으로 하는 것이고, Part 2는 로봇을 구입하고 설치하는 시스템 통합자들을 대상으로 하고 있다.

사업장 실태조사

사업장 실태조사는 2009년 작업환경실태조사에서 파악된 산업용 로봇 보유 및 사용 사업장 1,800개 소를 대상으로 하였다. 또한, 2010년 재해 발생 사업장 29개 소 중 13개 소에 대해서는 직접 방문조사를 실시하였다. 본 실태조사는 산업용 로봇을 사용하는 사업장 1,800개 소에 대해 전수조사를 목표로 하였으나 유효 응답 사업장 수 456개 소(25.3%)에 직접 방문조사 사업장 13개 소를 더한 469개 소였으며, 이를 이용하여 산업용 로봇의 사용실태를 추정하였다.

설문내용은 산업용 로봇의 재해 특성 중 상대적으로 가장 비중이 높은 운전중의 재해 원인에 대해 알아보고자 ISO 10218-1:2006(Robots for industrial environments-Safety requirements - Part 1 : Robot)을 기초로 구성하였다.

■ 조사대상

- 2009년도 산업용 로봇 보유 및 사용 사업장 1,800개 소
- 2010년도 재해 발생 사업장 29개 소

■ 설문지 작성

설문 순서는 산업용 로봇을 사용하는 사업장의 작업 순서인 '① 설치 및 시운전 ② 교시작업 ③ 운전중 ④ 점검·정비 ⑤ 일반적인 안전관리'로 설문지를 구성하였다.

2008~2010년도 산업재해 현황자료를 기초로

산업용 로봇 관련 재해 원인 분석 및

실태조사를 실시한 결과들은

산업용 로봇 운전중에 근로자의 접근 제한이

엄격하게 지켜지지 않는 것을 짐작케 한다.

따라서 로봇 가동 범위에 근로자의 출입을

엄격히 제한하기 위해서는 근로자의 출입을 야기하는

근원적 요인을 제거하는(안전방책 안에 조작반 및

장비 미설치) 조치가 필요하다.

또한 비상정지 작동 후 위험원이 제거되지 않은 경우의

로봇의 재기동을 방지하기 위해서는

산업용 로봇 조작반에 설치된 비상정지회로의

리셋은 수동으로 이루어지도록 하고,

리셋 후에는 바로 재기동되지 않도록 하여야겠다.

■ 설문방법

2009년도 작업환경실태조사자료를 근거로 산업용 로봇 보유 및 사용 사업장 1,800개 소에 대해 우편조사를 실시하였고, 2010년도 재해 발생 사업장 29개 소 중 13곳에 대해서는 방문하여 대인면접법으로 설문을 실시하였다.

■ 실태조사 주요 분석내용

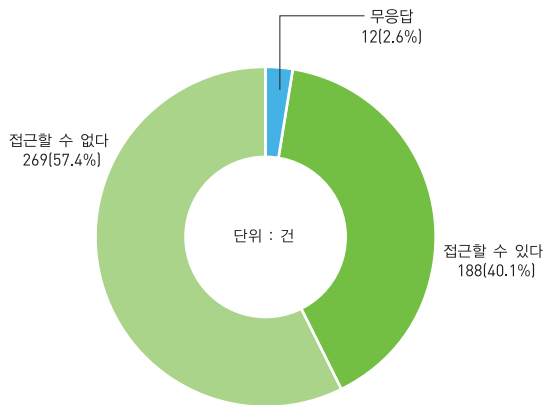
- 로봇의 가동 제한 범위로 접근 가능 여부 및 비상정지장치 수동 복귀 후 별도 재기동 조작 없이(리셋) 재기동 가능 여부 : 방호조치와 인터록 장치 등이 설치되어 있지만 근로자가 로봇의 가동 제한 범위로 접근할 수 있는지는 질문에 무려 188개 소(40.1%)가 '접근할 수 있다'고 응답했다. 이는 운전중 위험을 방지하기 위한 안전매트 및 높이 1.8m 이상의 방책이 적절하게 설치되어 있지 않고 근로자가 접근 가능한 개방된 공간이 있는 것으로 사료된다. 또한 비상정지장치를 수동 복귀시킨 후, 별도의 재기동 조작 없이 로봇의 재가동이 가능한지에 대한 질문에 '가능하다'고 응답한 사업장이 164개 소(35.0%)였다. 이처럼 비상정지회로의 리셋이 없이 재기동이 가능한 경우는 위험원이 제거되지 않은

상태에서 동작할 가능성이 있어 재해 발생 가능성이 높다. 국제규격(ISO 10218-1 Part1)에서는 리셋(비상정지회로의 리셋)은 수동으로만 이루어져야 하며, 리셋 후에 바로 재기동되는 것이 아니라 재기동이 가능하도록만 하여야 한다고 명시하고 있다.

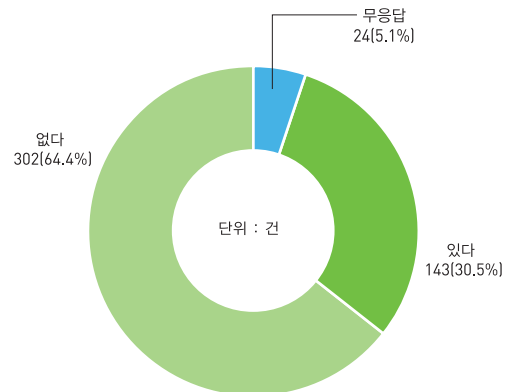
- 안전방책 안에 로봇 작업 관련 각종 자재 및 관련장치 설치 여부, 안전방책 안에 조작반 설치 여부 : 안전방책 안에 조작반 외의 각종 자재와 관련된 장치(실린트 공급장치, 용접제어기 등)가 '설치되어 있다'고 응답한 경우가 143개 소(30.5%)로 나타났다. 안전방책 안에 설치된 이러한 장치들은 근로자가 점검·정비 등을 위해 로봇의 가동 범위 내로 들어갈 수 있는 위험을 유발시킨다. 또한 안전방책 안에 조작반이 '설치되어 있다'고 응답한 경우가 190개

소(40.5%)이고, '없다'로 응답한 사업장이 268개 소(57.1%)로 나타났다. 이는 안전방책 안에 조작반이 설치되어 있는 경우는 근로자가 산업용 로봇 가동 범위 안에 출입할 확률이 높을 것으로 추정할 수 있다. ISO 기준에서는 안전방책 안에는 산업용 로봇의 설치만을 권고한다.

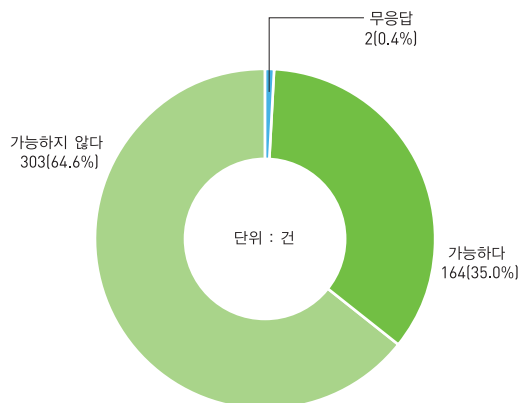
- 위험구역 내 작업 시 교시상자 휴대 여부 및 로봇과 안전방책 사이의 여유 공간 : 수동 중재가 필요한 경우에 '위험구역 범위 내에 교시상자(티칭박스 = 펜던트)를 휴대하고 작업을 한다'고 응답한 사업장이 282개 소(60.1%), '휴대하지 않는다'가 171개 소(36.5%)로 나타났다. 수동 모드 등 안전방책 안에 근로자가 있을 때 로봇의 갑작스런 오동작 시에 근로자가 로봇과 안전방책 사이에 끼이지 않을 정도(최소



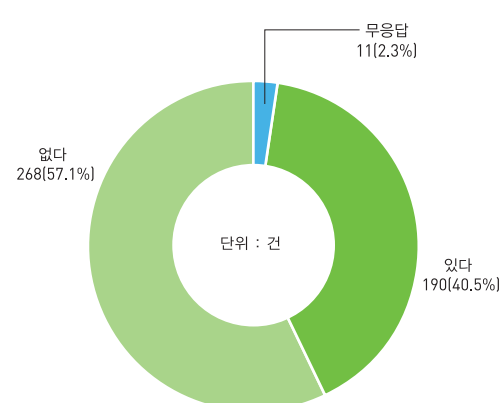
[그림 6] 로봇의 가동 제한 범위로 접근 가능 여부



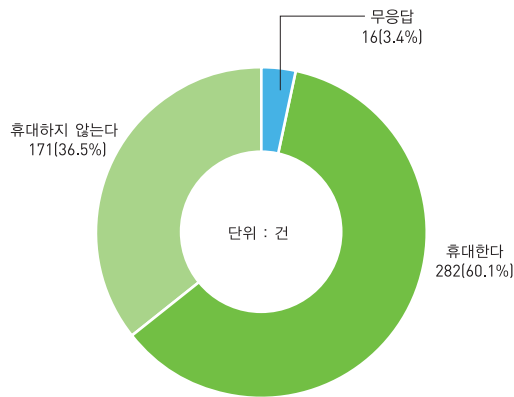
[그림 8] 안전방책 안에 로봇 작업 관련 각종 자재 및 관련장치 설치 여부



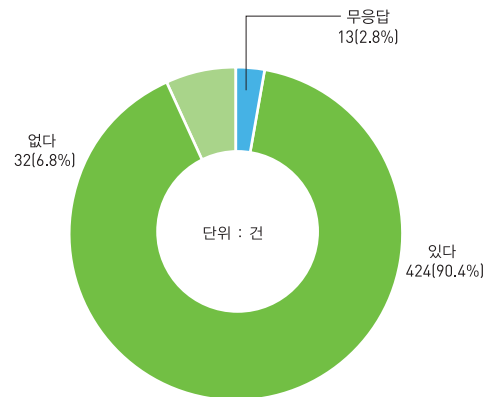
[그림 7] 비상정지 수동 복귀 후 별도 재기동 조작 없이(리셋) 재기동 가능 여부



[그림 9] 안전방책 안에 조작반 설치 여부



[그림 10] 수동모드에서 위험구역 범위 내 교시상자 휴대 여부



[그림 11] 로봇과 안전방책 사이의 여유 공간 여부

50cm)의 대피 공간이 있는지에 대해 ‘공간이 있다’고 답한 사업장이 424개 소(90.4%)였다. 거의 대부분 대피 공간이 확보되었다고 볼 수 있으나 앞에서 살펴보았듯이 재해가 발생하는 경우는 치명적인 손상을 야기하므로 수동 모드 등 위험구역 내 작업 시에는 반드시 대피 공간을 확보하도록 하여야 한다.

한편, 실태조사과정에서 사업장의 담당자들이 산업용 로봇의 위험성에 대해 이해가 부족한 것을 많이 느꼈다. 이는 산업용 로봇의 정의가 명확하지 않아 근로자가 쉽게 구별하지 못하는 것에도 하나의 원인이 있지 않나 사료된다. 실제로 산업용 자동화 장비나 1, 2축 로봇 장치를 산업용 로봇으로 잘못 알고 있는 경우가 많았다. 따



사업장의 담당자들이 산업용 로봇의 위험성에 대해 이해가 부족한 것은 산업용 로봇의 정의가 명확하지 않아 쉽게 구별하지 못하는 것에도 하나의 원인이 있다고 생각한다.



앞으로 산업용 로봇의 수요는 폭발적으로 증가함과 동시에 재해자 수도 상대적으로 증가할 것으로 예상된다.

라서 산업안전보건법이나 KS 규격에 국제 ISO에서 정하는 '3축 이상의 축을 가지며 자동제어에 의해 동작하고, 재프로그램이 가능하면서 다목적 머니플레이션 기능을 가진 기계'의 개념을 도입하여 사업장에서의 전용 자동화장비(CNC 가공장비), 로봇 장치(1, 2축 로봇) 등과의 혼동을 방지할 필요가 있다고 사료된다.

결과

본 연구에서는 2008~2010년도 산업재해 현황자료를 기초로 산업용 로봇 관련 재해 원인 분석 및 실태조사를 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 산업재해 분석결과를 보면 지역별로는 경기도가 32건(29.4%)으로 가장 높다. 규모별로는 5~49인이 41건(37.6%)으로 재해 점유율이 가장 높고, 50인 미만(54건)과 50인 이상(55건) 사업장에서 재해 건수가 비슷하였다. 이는 산업용 로봇이 전 산업에 걸쳐 사용되고 있음을 짐작케 한다. 또한 연령별로는 40~44세 26건(23.9%), 30~34세 23건(21.1%)을 차지하고, 근속년수별로는 6개월 미만 36건(33%), 1~2년 미만이 18건

(16.5%)을 점유하고 있다. 이는 이직에 의한 미숙련공에게서 재해가 많이 발생하는 것을 짐작케 한다. 작업 형태별로는 운전중에 발생하는 재해자 수 및 사망자 수가 각각 50명(45.9%), 4명(57.1%)이어서 상대적으로 높은 점유율을 보였다.

둘째, 실태조사 분석결과, 모든 방호조치와 인터록 장치가 되어 있음에도 근로자가 로봇에 접근할 수 있는 경우가 188개 소(40.1%), 운전제어기와 장비 등이 안전방책 안에 설치된 경우는 143개 소(30.5%)였다. 또한 비상정지장치를 수동 복귀시키면 별도의 재기동 조작 없이 로봇의 개가동이 가능한 경우가 164개 소(30.5%)였다.

이상과 같은 결과들은 산업용 로봇 운전중에 근로자의 접근 제한이 엄격하게 지켜지지 않는 것을 짐작케 한다. 따라서 로봇 가동 범위에 근로자의 출입을 엄격히 제한하기 위해서는 근로자의 출입을 야기하는 근원적 요인을 제거하는(안전방책 안에 조작반 및 장비 미설치) 조치가 필요하다. 또한 비상정지 작동 후 위험원이 제거되지 않은 경우의 로봇의 재기동을 방지하기 위해서는 산업용 로봇 조작반에 설치된 비상정지회로의 리셋은 수동으로 이루어지도록 하고, 리셋 후에는 바로 재기동되지 않도록 하여야겠다. ✚

참고문헌

- 2008~2010년도 산업재해 현황 통계자료.
- 한국과학기술정보연구원, 산업용 로봇 산업 경쟁력조사 연구보고서, 2005.
- ISO 10218-1:2006, Robots for industrial environments-Safety requirements-Part1:Robot.
- 문승빈 · 김규로 · 박관용 · 임성수 · 박광호, 로봇 표준의 이해, 성진미디어, 2011.

이번 호 필자 여러분께 감사드립니다



이근석 상무보
대우건설
경영지원본부



김기식 팀장
산업안전보건연구원
재해통계분석팀



김영선 연구위원
산업안전보건연구원
재해통계분석팀



김갑배 차장
산업안전보건연구원
직업환경연구실



박상규 교수
연세대학교
환경공학부



유철인 교수
울산대학교병원
직업환경의학과



정지연 교수
웅진대학교
산업환경보건학과



권혁면 실장
산업안전보건연구원
안전연구실



최돈흥 연구위원
산업안전보건연구원
안전연구실



이흥석 과장
산업안전보건연구원
안전연구실

독자 여러분의 원고를 모집합니다

안전보건 연구동향 OSH RESEARCH BRIEF

산업안전보건과 관련된 최신 국내·외 학술정보, 제도 및 정책 등의 다양한 내용과 흐름을 제공하고 있는 『안전보건 연구동향』에서 독자 여러분의 원고를 기다립니다. 우리나라 산업안전보건 발전을 선도하기 위해 여러 분야의 전문가들과 공유하고 싶은 내용이 있으시면 언제든지 원고를 보내주시십시오. 게재된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드리며, 편집위원회의 심의를 거쳐 게재 여부가 확정됩니다. 원고를 보내주실 때는 소속 및 연락처를 꼭 기입해 주시기 바랍니다.

보내실 곳

인천광역시 부평구 무네미로 478(구산동) 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전경영정책연구실
『안전보건 연구동향』 담당자 앞 • e-mail : brief@kosha.net

문의사항

원고 및 본문 내용과 관련한 문의사항은 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전경영정책연구실로 연락하시면 됩니다.
• 담당자 : 윤영식 과장 Tel. (032)5100-903

SH@W
Safety and Health at Work

안전보건 국제학술지

영문판 계간 국제학술지 「SH@W」에 많은 관심과 함께 투고를 부탁드립니다.

무료 웹사이트를 이용한 투고

<http://www.e-shaw.org> (※현재 접수중)

문의사항

논문 투고와 관련한 문의사항은 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전경영정책연구실로 연락하시면 됩니다.

• 담당자 : 안상현 과장 Tel. (032)5100-904, e-mail : shaw@e-shaw.org

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



“더 가까이 국민과 함께 하겠습니다”

「안전보건공단」으로 모습과 각오를 새롭게 다집니다.

일하는 사람의 생명과 건강을 위해
지난 20여 년간 노력해온 한국산업안전보건공단이
새 모습 새 각오로 새롭게 출발합니다.

더욱 안전하고 건강한 사회
국민과 함께하는 산업재해예방 중심·전문기관-
「안전보건공단」이 실현해 가겠습니다.

산업재해예방

안전보건공단

