RESEARCH REPORT · COMPLETE KOREAN TRANSLATION

산업재해 사망사고의 원인이 된 잘못된 디자인

기계·설비 및 동력공구의 불안전한 디자인과 관련된 업무상 사망사고, 2006~2011년

Safe Work Australia

2014년 11월 발행 · 한국어 전문 번역

원문 38쪽 | 표 13개 및 사고사례 포함

기계·설비 및 동력공구의 불안전한 디자인과 관련된 업무상 사망사고, 2006~2011년

원제 Work-related fatalities associated with unsafe design of machinery, plant and powered tools, 2006–2011
발행 Safe Work Australia(호주 산업안전보건청), 2014년 11월
번역 범위 원문 전체(표제·저작권·면책조항·목차·사고사례·본문·표·참고문헌·마지막 안내)
번역 원칙 원문의 내용과 수치, 사고사례를 생략하지 않고 한국어로 옮겼다. 원문의 표 내부 합계·본문 수치가 일치하지 않는 대목은 원문값을 유지하고 별도 편집자 주를 달았다.
원본 ISBN 978-1-74361-936-0(PDF), 978-1-74361-937-7(DOCX)

목차

- 저작권 및 이용허락 · 면책조항
- 첫머리 사고사례
- 요약
- 제1장 서론
  - 안전디자인과 호주 산업안전보건 전략
  - 안전디자인: 폭넓은 개념
  - 안전디자인: 수동적 안전의 강조
  - 안전디자인: 선행연구 결과
  - 안전디자인: 규제 변화의 영향
  - 안전디자인: 기술 혁신
- 제2장 연구 방법
  - 연구 범위
  - 용어의 정의
- 제3장 연구 결과: 전반적 개요
- 제4장 사고 발생 상황별 유형
  - 4.1 방호장치 미흡
  - 4.2 전복방지구조물·안전벨트 부재
  - 4.3 누전차단기 부재
  - 4.4 인터록 부재
  - 4.5 운전자의 시야 장애
  - 4.6 설비의 오작동·고장
  - 4.7 승인받지 않은 개조
  - 4.8 추락방지장치 미흡

    - 4.9 부적절한 조작장치 배치
    - 4.10 차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크
    - 4.11 고압전선 근접 감지장치 부재
    - 4.12 연기·화재 감지장치 부재
    - 4.13 기타 사고 발생 상황
- 제5장 사망자의 고용 산업분야
- 제6장 안전한 작업체계
- 제7장 결론
- 참고문헌 · 자료 문의처

저작권 및 이용허락(Creative Commons)

Safe Work Australia의 로고와 표지 이미지를 제외하고, 이 보고서는 Safe Work Australia가 크리에이티브 커먼즈 3.0 호주 라이선스에 따라 이용을 허락한 저작물이다. 라이선스 사본은 http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/au/deed.en 에서 확인할 수 있다.

이는 기본적으로 Safe Work Australia를 출처로 표시하고 라이선스의 다른 조건을 준수하는 한, 이 저작물을 복제·전달·개작할 수 있다는 의미이다. 보고서의 출처는 다음과 같이 표시해야 한다.

Work-related fatalities associated with unsafe design of machinery, plant and powered tools, 2006–2011, Safe Work Australia, 2014.

라이선스 및 보고서 이용에 관한 문의: Copyright Officer, Stakeholder Engagement, Safe Work Australia, GPO Box 641 Canberra ACT 2601, 이메일 copyrightrequests@swa.gov.au.

면책조항(Disclaimer)

이 문서에서 제공하는 정보는 가장 일반적인 수준에서만 참고자료로 활용할 수 있다. 이 문서는 호주 각 주와 준주의 관련 법률에 따른 법적 요건을 대체하지 않는다. Safe Work Australia는 이용자가 이 문서의 정보나 자료를 바탕으로 취한 조치 또는 해당 정보나 자료에 의존함으로써 발생하는 손실에 대해 책임을 지지 않는다.

이 자료를 활용하기 전에 이용자는 자료의 정확성, 최신성, 완전성 및 자신의 목적에 대한 적합성을 신중하게 평가해야 하며, 개별 상황에 따라 적절한 전문적 자문을 받아야 한다. 이 보고서에 제시된 견해는 별도로 명시된 경우를 제외하고 Safe Work Australia의 공식 입장을 대변하는 것으로 해석해서는 안 된다.

첫머리 사고사례(Case study)

한 공장의 임시직 작업자가 포터먼(Porterman) 설비의 작동을 보조하도록 지시받았다. 포터먼 설비는 골판지 상자를 제조하는 기계이다. 전체 크기는 길이 약 7.5m, 폭 약 4.5m이며, 롤러의 회전속도는 분당 40~80회전(RPM)이다.

평균적으로 한 달에 한 번 정도 수행되는 특정 작업에서는 포터먼 설비의 컨베이어 암을 90도 각도로 들어 올렸다. 컨베이어 암을 들어 올리면 2색 인쇄기·슬로터·적재기의 제품 배출 롤러와, 생산라인 끝의 적재기로 이어지는 배출 컨베이어 바닥 사이에 약 600mm의 공간이 생긴다. 이 공간을 통해 작업자의 신체가 작동 중인 배출 롤러에 접근할 수 있었다.

이 위치에서 골판지 제품을 꺼내 팔레트에 쌓는 동안에도 기계는 계속 작동했고 롤러 역시 계속 회전했다. 사고 당일 작업자는 배출 롤러를 통과한 골판지 조각을 꺼내기 위해 2색 인쇄기·슬로터·적재기의 배출 롤러와 들어 올려진 배출 컨베이어 암 사이로 들어간 것으로 추정된다.

작업자의 옷이 배출 롤러에 걸렸고, 롤러가 시계방향으로 회전하면서 작업자의 신체가 롤러 위쪽으로 끌려 들어갔다. 다른 직원이 비명과 커다란 소리를 듣고 비상정지 버튼을 누른 뒤 해당 공간으로 달려갔다. 구급차와 광역 소방대가 현장에 출동했다. 작업자는 약 45분 동안 기계의 롤러에 끼어 있다가 구조되어 병원으로 이송되었고 다음 날 사망했다.

이 설비를 가동하기 전에 위험요인 파악이 이루어지지 않았다. 비상정지장치에는 적절한 표시가 없었으며, 관련 정보 제공, 작업지시, 교육훈련 및 감독 역시 충분하지 않았다. 사고 이후 약 6,000호주달러를 들여 방호장치를 설치하고 컨베이어가 들어 올려진 상태에서는 롤러가 작동하지 않도록 인터록(안전연동장치)을 적용했다.

요약(Summary)

이 연구는 불안전한 디자인이 사망사고에 어느 정도 기여했는지 평가하기 위해 2006~2011년에 발생한 업무상 사망사고 중 기계·설비·동력공구와 관련된 639건을 조사했다. 이 가운데 523건은 사고 경위에 관한 정보가 충분하여 불안전한 디자인의 기여 여부를 판단할 수 있었다.

그중 63건(12%)은 불안전한 디자인이 사망사고의 명확한 원인이었거나 디자인 관련 요인이 사망사고에 분명하게 기여한 것으로 판단되었다. 추가로 125건(24%)은 디자인과 관련되었을 가능성이 있는 사고로 판단되었다. 여기에는 사고 경위상 불안전한 디자인이 영향을 미쳤을 것으로 보이는 사고와, 기존에 이용할 수 있었던 안전기술을 적용했다면 예방할 수 있었을 사고가 포함되었다. 나머지 335건(64%)은 불안전한 디자인과 관련이 없는 것으로 판단되었다.

전체적으로 연구 범위에 포함되고 디자인 관련성을 판단할 수 있었던 사망사고의 36%에 해당하는 188건이 디자인과 명확하게 관련되었거나 관련되었을 가능성이 있는 것으로 평가되었다. 이 사고들은 사고 발생의 전반적인 상황을 가장 잘 설명하는 유형으로 분류했다.

가장 빈번하게 나타난 사고 발생 상황은 방호장치 미흡(디자인 관련 사망사고의 21%), 전복방지구조물·안전벨트 부재(15%), 누전차단기 부재(12%), 인터록 부재(8%), 운전자의 시야 장애(8%)였다.

이 보고서는 다양한 기계와 설비에 존재하는 불안전한 디자인의 여러 측면을 다루고 있지만, 일부 사고는 공통적인 위험요인을 분명하게 보여주는 특징적인 집단으로 구분할 수 있었다. 전복방지구조물·안전벨트 부재가 디자인 관련 문제로 확인된 업무상 사망사고는 28건이었다. 이 가운데 대부분은 트랙터 또는 사륜형 ATV(quad bike)의 전복과 관련되어 있었다. 두 유형 모두 잘 알려진 문제로, 트랙터의 경우 과거부터 상당한 관심을 받아 왔으며, 사륜형 ATV의 경우 연구 당시에도 많은 관심을 받고 있었다.

상대적으로 잘 알려지지 않은 문제는 고소작업대 사용자가 지붕이나 보와 같은 구조물에 압착되어 사망하는 사고의 규모이다. 2006~2011년 동안 이러한 사망사고가 7건 발생했다. 일부 제조업체는 이러한 위험에 대응하여 끼임 방지장

치를 갖춘 보호 구조의 작업대를 개발하고 있다. 예를 들어 작업대 바스켓에 프레임을 설치해 내부에 '안전구역'을 확보하거나, 작업자가 센서 바 또는 패드에 밀려 접촉하면 바스켓의 움직임을 정지시키는 방식이다.

가장 넓은 관점에서 보면 이 연구에서도 2005년 선행연구(ASCC, 2005)와 동일한 결론을 도출할 수 있다. 불안전한 디자인은 여러 산업분야에서 발생하는 사망사고에 상당한 영향을 미치며, 사망사고가 발생한 상황에는 공통점이 많고, 확인된 대표적인 디자인 관련 문제 대부분에는 이미 이용 가능한 해결책이 존재한다.

1. 서론(Introduction)

안전디자인과 호주의 산업안전보건 전략

「호주 산업안전보건 전략 2012~2022(Australian Work Health and Safety Strategy 2012–2022)」는 호주 근로자들이 '건강하고 안전하며 생산적인 직업생활'을 영위한다는 비전을 실현하는 데 목적을 두고 있다. 이 전략은 업무상 부상, 질병 및 사망사고의 전국적인 발생률을 줄이기 위한 목표를 수립하는 한편, 7개 국가적 실행 분야를 제시하고 있다. 그중 첫 번째가 '디자인을 통한 건강과 안전(Healthy and safe by design)'이다.

실행 분야	전략적 성과	구체적인 성과
디자인을 통한 건강과 안전	디자인을 통해 위험요인을 제거하거나 최소화한다	구조물·설비·물질이 작업장에 도입되기 전에 위험요인과 위험성을 제거하거나 최소화하도록 디자인한다. 작업·작업 프로세스·작업체계에서 위험요인과 위험성을 제거하거나 최소화하도록 디자인하고 관리한다.

안전디자인: 폭넓은 개념

이 보고서는 주로 특정 유형의 기계·설비·공구와 관련된 사망사고에서 디자인이 영향을 미친 측면에 초점을 맞추고 있다. 그러나 안전디자인은 공구뿐 아니라 작업장 자체의 디자인, 근로자가 공간을 사용하는 방식, 그리고 공간의 배치가 작업 수행 방식에 미치는 영향까지 포함하는 폭넓고 연속적인 개념으로 이해해야 한다. 안전디자인을 이와 같이 개념화하면, 작업에 사용하는 도구뿐 아니라 작업을 수행하는 환경과 작업이 이루어지는 프로세스를 검토할 때에도 안전디자인을 본질적인 고려사항으로 포함해야 한다는 점을 알 수 있다.

안전디자인: 수동적 안전의 강조

대부분의 작업 상황에서는 근로자가 다칠 위험을 최소화하기 위해 작업이나 프로세스를 수행하는 여러 가지 방법이 존재한다. 안전한 작업체계를 갖추기 위해서는 수행할 작업과 잠재적 위험요인을 체계적으로 검토한 결과에 근거하여 명확하게 문서화된 절차가 필요하다.

이 보고서는 주로 사망사고와 관련된 산업디자인의 측면에 초점을 맞추고 있지만, 거의 모든 사고에서 작업장이 더 나은 작업체계를 갖추고 이를 철저히 준수했다면 사망을 피할 수 있었을 것이다. 그러나 안전한 작업절차는 일반적으로 근로자가 이를 철저히 따를 때에만 효과를 발휘한다.

근로자를 보호하는 가장 좋은 방법은 수동적인 방식이다. 즉, 근로자가 별도로 행동하지 않아도 위험으로부터 보호하거나 부상 가능성을 낮추는 방법이다. 따라서 위험요인에 대응하는 가장 효과적인 방법은 위험요인 자체를 제거하는 것이며, 많은 경우 기계·설비·공구의 디자인을 변경함으로써 이를 실현할 수 있다.

수동적 안전디자인의 사례는 다음과 같다. 근로자가 기계에 끼이거나 감기는 위험을 방지하기 위한 방호장치, 튀어나오는 물체로부터 근로자를 보호하는 차폐장치, 유지보수나 청소를 위해 방호장치 또는 차폐장치를 제거하면 시스템을 정지시키는 인터록, 기계 유지보수 작업 중 다른 근로자가 실수로 기계를 가동하는 것을 방지하는 잠금장치, 차량의 전복방지구조물, 누전을 감지하면 전원을 차단하는 누전차단기 등이다.

안전디자인: 선행연구 결과

이 보고서는 두 건의 선행 보고서와 유사한 연구 방법을 사용했다. 하나는 1989~1992년을 대상으로 한 연구(NOHSC, 2000)이며, 다른 하나는 2000~2001년과 2001~2002년을 대상으로 한 연구(NOHSC, 2004; ASCC, 2005)이다.

1989~1992년을 대상으로 한 초기 연구에서는 기계 및 주로 고정식 설비와 관련된 사망사고만 조사했다. 연구진은 조사한 사고 225건 가운데 117건(52%)에서 적어도 하나 이상의 디자인 요인이 사망에 기여했다고 판단했다.

2000~2001년과 2001~2002년을 대상으로 한 연구는 조사 범위가 더 넓었다. 이 연구에서는 충분한 정보가 확보된 사망사고 167건 가운데 106건(63%)이 디자인과 명확하게, 개연성 있게 또는 가능성 있는 수준에서 관련된 것으로 나타났다.

이번 연구는 2006~2011년의 6년 동안 발생한 기계·설비·동력공구 관련 업무상 사망사고 639건을 대상으로 했다. 구체적인 조사 범위는 다음 쪽에 제시되어 있다. 이 가운데 523건은 디자인 관련성을 평가할 수 있을 만큼 충분한 정보가 있었으며, 그중 188건(36%)이 디자인과 명확하게 관련되었거나 관련되었을 가능성이 있는 것으로 나타났다.

연구 범위가 서로 다르기는 하지만, 이러한 결과는 2000년대 초반 이후 어느 정도 개선이 이루어졌을 가능성을 보여준다. 동시에 불안전한 디자인이 여전히 근로자 안전에 상당한 영향을 미치고 있다는 점을 분명하게 보여준다. 다만 많은 사고에 관한 정보가 제한적이고, 연구별 조사 범위가 다르며, 판단 과정에 주관적 요소가 개입하는 경우가 많다는 점을 고려해야 한다. 따라서 여기에서 제시한 비율은 문제의 규모를 보여주는 지표로 이해해야 하며, 정밀한 측정값으로 간주해서는 안 된다.

안전디자인: 규제 변화의 영향

근로자를 부상으로부터 보호하는 한 가지 방법은 사업주가 작업장에서 근로자를 위험으로부터 보호하기 위해 반드시 준수해야 하는 강제력 있는 기준을 마련하는 것이다. 현행 표준 법률과 실무지침은 조직의 지휘체계를 따라 적용되고 외부의 공급업체와 계약업체까지 확대되는 주의의무(duty of care)의 개념을 강조한다. 실무적으로 이는 다음과 같은 의미이다.

> 디자이너는 합리적으로 실행 가능한 범위 내에서 설비의 전체 수명주기 동안 근로자의 건강과 안전에 위험을 초래하지 않도록 해야 할 의무가 있다. (SWA, 2012b)

규제를 통해 수동적 안전을 의무화하고 사망사고를 줄인 사례로는 1994년에 도입된 트랙터 전복방지구조물(ROPS)을 포함하는 새로운 설비 기준을 들 수 있다. 이 기준은 호주의 각 주와 준주에서 서로 다른 시기에 서로 다른 방식으로 시행되었다. Safe Work Australia가 트랙터 관련 사망사고를 조사한 연구에 따르면, 트랙터 전복으로 사망한 근로자 수는 1989~1992년의 40명에서 2004~2007년의 17명으로 감소했다(SWA, 2011a).

안전디자인: 기술 혁신

현대의 디지털 기술이 더욱 정교해지고 가격도 낮아지고 있다는 점은 의심할 여지가 없다. 이러한 기술은 의사소통, 모니터링, 제어 및 원격조작을 개선하기 위해 산업디자인에 점점 더 많이 적용될 것이다. 이미 널리 사용되는 사례로는 트럭과 기타 설비의 후진 안전성을 높이기 위한 폐쇄회로 방식의 후방카메라, 추월하는 차량의 접근을 운전자에게 경고하는 근접 감지장치, 승용차와 트럭의 자세안정제어시스템 등이 있다. 이번 연구에는 이러한 기술을 사용했다면 예방할 수 있었을 가능성이 있는 사망사고가 다수 포함되어 있다.

2. 연구 방법(Study methodology)

이 연구의 자료는 Safe Work Australia가 보유한 「외상성 손상에 의한 사망사고 자료집(Traumatic Injury Fatality Collection)」에서 아래에 설명한 연구 범위에 따라 추출한 업무상 사망사고 표본이다. 이 자료집에는 근로자와 현장 주변인에게 발생한 모든 업무상 사망사고가 포함되어 있다.

각 사망사고에 대해 확보할 수 있는 모든 정보를 다시 평가하여 불안전한 디자인과 사고의 관련 여부를 판단했다. 주요 정보원은 각 관할지역의 산업안전보건(WHS) 당국이 제공한 사고 경위 설명과 국가검시정보시스템(National Coronial Information System, NCIS)에 보관된 검시관 및 경찰 보고서였다. 또한 각 관할지역 산업안전보건 당국의 웹사이트에 공개된 기소 관련 정보를 검색하고 가능한 경우 해당 사고와 대조했다.

확보된 정보를 바탕으로 사망사고를 '디자인 관련성 확실', '디자인 관련 가능성 있음', '디자인과 무관'의 세 가지로 평가했다(용어의 정의 참조). 사망사고가 디자인과 관련된 것으로 판단되면 '방호장치 미흡'과 같이 사고의 전반적인 상황을 설명하는 유형으로 분류했다. 사고 경위에 관한 정보가 부족하여 평가할 수 없는 경우에는 해당 자료를 '알 수 없음'으로 기록했다.

NCIS에 보관된 정보에 접근할 수 있었음에도 불구하고, 확보 가능한 정보의 전반적인 품질은 낮은 경우가 많았다. 이 연구에서 가장 이상적인 정보원은 산업안전보건 조사관의 사고조사 보고서였을 것이다. 산업안전보건 조사는 일반적으로 사고에 관련된 설비·공구와 수행 중이던 작업 프로세스에 대해 충분한 지식을 갖춘 담당자가 사고 현장에 직접 접근하여 수행한다.

그러나 대부분의 경우 각 관할지역 당국은 개인정보 보호와 법적 사유 때문에 이 정보를 공개할 수 없었다. 주된 이유는 정보 공개가 기소 절차에 지장을 줄 가능성이 있기 때문이었다. 일부 사망사고의 경우에는 이러한 조사보고서의 요약 내용을 기소 관련 보고서와 검시관 보고서에서 확인할 수 있었다.

연구 범위(Study scope)

이 보고서는 사고발생유형분류체계(Type of Occurrence Classification System, TOOCS)의 '사고 기인물(Breakdown agency)' 코드에서 다음 범주에 속하는 업무상 사망사고로 연구 범위를 제한했다. 현장 주변인의 사망사고도 포함했다.

- 기계 및 주로 고정식 설비
- 자주식·반이동식 및 기타 이동식 설비
- 동력 장비·공구·기기
- 사다리·이동식 경사로·계단 및 비계

사고 기인물은 문제가 발생하기 시작한 시점에 주된 관련성이 있거나 가장 밀접하게 관련되어 있으며, 최종적으로 가장 심각한 부상이나 질병을 초래한 물체, 물질 또는 상황을 식별하기 위한 분류이다. 공공도로에서 발생한 사망사고는 연구 범위에서 제외했다.

그룹 1: 기계 및 주로 고정식 설비. 절단, 얇게 썰기, 톱질, 분쇄, 압연, 가열, 조리, 냉각, 인양, 충전 및 포장 등에 사용하는 매우 다양한 제조·가공 기계가 포함된다.

그룹 2: 이동식 설비 및 운송수단 — 자주식·반이동식 및 기타 이동식 설비에 한정. 자주식 설비에는 수확기, 광산 설비, 그레이더, 불도저, 굴착기, 전면 적재기 및 도로 롤러 등이 포함된다. 반이동식 설비에는 암반 볼트 설치장비, 공압공구, 압축기, 펌프 및 시멘트 혼합기 등이 포함된다. 기타 이동식 설비에는 트랙터, 쟁기, 시추장비, 잔디깎이, 외바퀴 손수레 및 운반용 카트 등이 포함된다.

그룹 3: 동력 장비·공구·기기. 작업장 공구, 주방기기, 사무기기 및 원예장비 등 폭넓은 종류의 장비가 포함된다.

그룹 4: 비동력 수공구·기기·장비. 사다리, 이동식 경사로 및 계단, 비계로 한정한다.

용어의 정의(Definitions)

각 사망사고에 대해 확보한 정보를 평가할 때 다음 정의를 기준으로 사용했다.

디자인 관련(Design-related). 사고에 관련된 장비·설비·공구 또는 구조물의 현재 상태에서 그 구성이나 구조의 어떤 측면이 치명적 부상의 발생에 영향을 미쳤으며, 해당 측면을 변경하여 사망사고를 방지하는 것이 현실적으로 가능했다고 판단되는 경우 그 사고를 디자인 관련 업무상 사망사고로 분류했다.

확실(Definite). 정보원에 디자인 문제가 관여했다는 사실이 명확하게 언급되어 있거나 그러한 사실이 분명하게 드러난 경우이다.

가능성 있음(Possible). 디자인 관련 문제가 명시적으로 언급되지는 않았지만, 확보된 정보가 디자인에 문제가 있었을 가능성을 시사하는 경우이다. 현재 이용 가능한 안전조치를 적용했다면 예방할 수 있었을 가능성이 있는 사망사고도 이 범주에 포함했다. 이러한 안전조치에는 누전차단기, 전복방지구조물, 후방카메라 시스템, 고소작업대 압착방지 보호구조물, 차량 주차브레이크 잠금장치 또는 경고시스템, 고정식 추락방지장치 등이 포함된다.

이와 같은 사후적 평가 방식은 현실적이지 않다고 여겨질 수도 있다. 해당 기계나 차량이 제조될 당시에는 이러한 안전조치 중 일부가 널리 사용되지 않았거나 상업적으로 이용할 수 없었을 가능성이 있기 때문이다. 그러나 이 접근의 기본 원칙은 대부분의 경우 기존의 오래된 기계에도 이러한 기술을 적용하여 현재의 안전기준에 부합하도록 개선하는 것이 실질적으로 가능하다는 데 있다.

개인보호구(PPE)의 부재는 일반적으로 디자인 문제가 아니라 작업체계의 문제로 간주했다. 다만 잘못 디자인된 개인보호구가 사망사고를 초래한 경우는 예외로 했다.

디자인과 무관(Not design-related). 디자인 문제가 사고 발생에 영향을 미치지 않았다는 사실을 확인할 만큼 충분한 정보가 있는 경우, 해당 업무상 사망사고를 디자인과 무관한 것으로 판단했다.

3. 연구 결과: 전반적 개요(Study results — a broad overview)

2006~2011년 동안 발생한 업무상 사망사고 가운데 이 연구의 범위에 해당하는 사고는 639건이었다. 이 중 63건(10%)은 불안전한 디자인이 사망사고의 명확한 원인이었거나 디자인 관련 요인이 사망사고에 분명하게 기여한 것으로 판단되었다. 추가로 125건(20%)은 디자인과 관련되었을 가능성이 있는 사고로 판단되었다. 여기에는 사고 상황상 불안전한 디자인이 영향을 미쳤을 가능성이 있거나, 기존의 안전기술을 사용했다면 예방할 수 있었을 사고가 포함되었다.

116건(18%)은 분류하기에 충분한 정보가 없었다. 나머지 335건(52%)은 불안전한 디자인과 관련이 없는 것으로 판단되었다. 디자인 관련성이 확실하거나 관련되었을 가능성이 있는 사망사고의 비율을 해석할 때는 주의가 필요하다. 일부 '가능성 있음' 판단이 주관적이며, 전체 사망사고의 18%는 디자인 관련성을 판단할 수 없었기 때문이다.

그러나 관련성 판단이 불가능한 범주를 계산에서 제외하면, 사실상 이 사고들을 나머지 범주에 비례하여 배분하는 효과가 나타난다. 이러한 방식으로 계산하면 연구 범위에 포함되고 디자인 관련성을 평가할 수 있었던 사망사고의 36%가 디자인과 명확하게 관련되었거나 관련되었을 가능성이 있는 것으로 나타났다.

확보된 정보를 바탕으로 디자인과 관련된 것으로 판단된 사망사고 188건 각각을 사고의 주요 디자인 관련 측면을 가장 잘 설명하는 유형으로 분류했다. 표 1은 디자인 관련 사고 발생 상황별 사망자 수를 보여준다. 가장 빈번한 유형인 '방호장치 미흡'은 40건, '전복방지구조물·안전벨트 부재'는 28건, '누전차단기 부재'는 22건, '인터록 부재'는 15건, '운전자의 시야 장애' 역시 15건이었다. 이 다섯 가지 유형은 확인된 전체 디자인 관련 사망사고의 거의 3분의 2에 해당하는 64%를 차지했다.

사망사고를 하나의 디자인 관련 사고 유형으로 분류했지만, 실제로는 여러 유형이 중복되는 경우가 상당히 많았다. 예를 들어 기계나 차량에서 방호장치 또는 인터록을 제거한 사례는 해당 방호장치 유형에 포함하지 않고 '승인받지 않은 개조'로 분류했다. 이러한 발생 사례를 별도로 식별하는 것이 유용하기 때문이다. 또한 방호장치와 인터록은 작업자가 기계에 끼이거나 감기는 것을 방지하기 위해 함께 사용되는 경우가 많다.

표 1. 디자인 관련 업무상 사망사고: 사고 발생 상황별·판단 확실성별 분류, 2006~2011년 합계

사고 발생 상황	확실	가능성 있음	합계
방호장치 미흡	15	25	40
기타 방호장치 미흡	15	18	33
고소작업대 압착사고	0	7	7
전복방지구조물·안전벨트 부재	10	18	28
누전차단기 부재	6	16	22
인터록 부재	5	10	15
운전자의 시야 장애	3	12	15
설비의 오작동·고장	6	6	12
승인받지 않은 개조	6	5	11
추락방지장치 미흡	5	5	10
부적절한 조작장치 배치	2	7	9

사고 발생 상황	확실	가능성 있음	합계
차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크	0	8	8
고압전선 근접 감지장치 부재	0	2	2
연기·화재 감지장치 부재	0	1	1
기타 사고 발생 상황	5	10	15
합계	**63**	**125**	**188**

방호장치 미흡의 하위 항목(33건과 7건)은 상위 항목(40건)에 포함되므로 별도 합산하지 않는다. 다음 절에서는 이러한 사고 발생 상황별 유형에 해당하는 사망사고를 검토한다. 일부 사고에 대한 간략한 경위 설명과 함께 디자인 관련 문제에 대한 의견을 제시한다.

4. 사고 발생 상황별 유형(Circumstance category)

4.1. 방호장치 미흡(Inadequate guarding)

어떤 방식으로든 작업자가 끼이거나 감길 위험이 있는 기계에는 이러한 위험을 최소화하기 위한 방호장치가 설치되어 있어야 한다. 이번 연구에서는 '방호장치 미흡'이 가장 빈번한 사고 발생 상황 유형으로 확인되었다. 이 유형에는 다양한 차량과 기계에서 발생한 사망사고 40건이 포함되었다. 표 2는 사망사고에 관련된 차량 또는 기계의 종류를 세부적으로 분류한 것이다.

전체적으로 '방호장치 미흡'으로 분류된 사망사고 중 11건은 컨베이어 및 인양설비와 관련되었으며, 10건은 차량, 6건은 분쇄·프레스·압연기계, 4건은 절단·슬라이싱·톱질기계와 관련되었다.

표 2. 디자인 관련 업무상 사망사고: 방호장치 미흡 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량·기계 유형	확실	가능성 있음	합계
컨베이어 및 인양설비	2	9	11
고소작업대	0	7	7
차량	4	6	10
트랙터	3	3	6
지게차	0	2	2
불도저	0	1	1
고카트	1	0	1
분쇄·프레스·압연기계	3	3	6
절단·슬라이싱·톱질기계	1	3	4
기타 이동식 설비—건초 압축기	0	2	2
반이동식 설비	2	0	2
원예 및 야외용 동력장비	0	1	1
전기설비	1	0	1

관련 차량·기계 유형	확실	가능성 있음	합계
가열·조리·제빵장비	1	0	1
작업장 및 공사현장용 공구·장비	0	1	1
충전·병입·포장설비	1	0	1
합계	**15**	**25**	**40**

이러한 분류 결과에서는 고소작업대와 트랙터 사용에 따르는 위험을 뚜렷하게 보여주는 두 가지 사고 집단을 확인할 수 있다.

고소작업대(Elevating work platforms)

고소작업대와 관련된 사망사고는 7건이었다. 작업자가 지붕이나 보와 같은 머리 위 장애물에 끼이거나 압착되어 사망한 사고였다. 이러한 유형의 사고를 둘러싼 문제는 영국의 연구자들도 지적한 바 있다(HSE, 2013). 이 사고들은 디자인과 관련되었을 '가능성이 있는' 사고로 분류되었다. 일부 제조업체가 비교적 최근에 개발하여 채택한 개선장치를 적용했다면 예방할 수 있었을 가능성이 있기 때문이다.

이 가운데 두 건의 사고를 간략하게 설명하면 다음과 같다.

- 한 농장의 기계 보관창고에서 작업자가 고소작업대의 바스켓과 머리 위에 설치된 보 사이에 끼여 압착 사망했다.
- 고소작업대를 조작하던 작업자가 조작장치 위로 쓰러지면서 장치가 작동했고, 작업대가 상승하여 작업자가 보에 끼였다.

현재 이용할 수 있는 주요 끼임 방지장치 또는 개선방식은 두 가지이다. 하나는 바스켓에 프레임을 설치하여 작업대 내부에 '안전구역'을 확보하는 방식이다. 다른 하나는 작업자가 센서 바 또는 패드에 밀려 접촉하면 고소작업대의 움직임이 정지하도록 하는 방식이다.

트랙터(Tractors)

트랙터의 방호장치 미흡으로 사망사고가 발생한 사례는 6건이었다. 이 가운데 특히 주목할 만한 것은 작업자의 옷이 동력인출장치(Power Take-Off, PTO)의 연결부에 감겨 발생한 사망사고 3건이다. 이 사고들을 간략하게 설명하면 다음과 같다.

- 작업자의 옷이 동력인출장치에 감기면서 유사한 상황에서 사망사고 3건이 발생했다. 이는 농업 분야에서 널리 알려진 위험이다. 비용이 저렴한 방호장치를 쉽게 구할 수 있으며 설치도 간단하다.
- 트랙터의 동력인출장치로 구동되는 곡물 이송용 오거(auger)에 작업자의 다리가 끼였다. 이 또한 널리 알려진 위험으로, 곡물 투입구에 망 형태의 방호격자를 설치하는 방법을 설명한 지침이 다수 발행되어 있다.
- 트랙터 전면 적재기의 버킷에 놓여 있던 건초 더미가 굴러 떨어져 적재기 암을 따라 내려오면서 운전자를 덮쳤다. 안전지침에서는 원형 건초 더미를 이동할 때 전용 건초 스파이크나 클램프를 사용할 것을 권고한다. 또한 이러한 작업을 안전하게 수행하기 위해 트랙터에 낙하물 보호구조물(Falling Object Protective Structure, FOPS)을 설치했어야 한다.
- 한 작업자가 트랙터에서 내려 뒷바퀴 앞으로 발을 디뎠을 때 트랙터가 앞으로 움직이면서 작업자를 덮쳤다. 트랙터가 앞으로 움직인 이유를 확인할 수 있는 추가 정보는 없었다. 그러나 안전한 승하차 발판이 있었다면 트랙터에서 내릴 때 뒷바퀴의 이동 경로로 들어갈 위험을 제거할 수 있었을 것이다.

고소작업대와 트랙터에서 발생한 뚜렷한 사고 집단 외에도 지게차 관련 사고 2건과 건초 압축기 관련 사고 2건이 있었다. 각각의 사고는 서로 유사한 상황에서 발생했다.

지게차(Forklifts)

- 지게차의 포크를 내리는 과정에서 유압식 인양장치의 안쪽과 바깥쪽 마스트가 서로 미끄러져 움직이는 부분의 수평 연결대 사이에 작업자의 머리와 상체가 끼였다.
- 한 작업자가 자신이 운전하던 지게차의 전면 차체와 포크 사이에 끼였다. 작업자는 자루 밑부분에 붙어 있는 끈을 제거하기 위해 지게차 전면 프레임 사이로 몸을 앞으로 내밀었다가 실수로 넘어졌다. 빠져나오려고 몸부림치는 과정에서 뒤쪽으로 손을 뻗어 틸트장치 조작레버를 건드렸고, 이 때문에 포크가 앞으로 기울어져 작업자의 신체에 가해지는 압력이 더욱 커졌다.

지게차 사용설명서와 안전 관련 간행물에서는 운전자가 어떤 경우에도 전면 프레임 사이로 신체 일부를 내밀어서는 안 된다고 강조하고 있다. 따라서 이 사고는 주로 운전자의 실수로 발생한 것으로 볼 수 있다. 그러나 접히는 형태의 방호장치나 차폐장치 등을 적용한다면 이러한 위험을 제거할 수 있을지도 모른다.

건초 압축기(Hay balers)

작업자가 막힌 부분을 제거하던 중 건초 압축기에 끼이면서 유사한 상황에서 사망사고 2건이 발생했다. 안전지침에서는 압축기의 막힌 부분을 처리하기 전에 트랙터의 시동을 끄고 열쇠를 제거하며, 브레이크를 작동시키거나 바퀴에 고임목을 설치해야 한다고 강조한다. 그러나 건초 압축기 자체에 더 많은 안전 기능을 디자인하여 작업자의 행동에 덜 의존하는 수동적 안전체계를 구축할 수도 있을 것이다.

기타 기계 관련 사고

'방호장치 미흡'으로 분류된 나머지 사망사고 23건은 매우 다양한 기계와 공구에서 발생했으며 동일 유형으로 분류되었다는 사실 외에는 공통점이 거의 없었다. 그러나 이러한 사고 상황을 보여주기 위해 분쇄·프레스·압연기계와 관련된 사고 가운데 디자인 관련성이 '확실'하다고 판단된 3건의 경위와 의견을 아래에 제시한다.

분쇄·프레스·압연기계(Crushing, pressing and rolling machinery)

- 한 작업자의 옷이 롤러에 걸리면서 골판지 상자를 제조하는 인쇄·슬로터 기계 내부로 끌려 들어갔다. 기소 관련 요약보고서에는 다음과 같이 기록되어 있다. "이 설비를 가동하기 전에 위험요인을 파악하는 작업이 이루어지지 않았다. 비상정지장치에는 적절한 표시가 없었으며, 정보 제공, 작업지시, 교육훈련 및 감독도 충분하지 않았다. 이후 방호장치를 설치하고 컨베이어에 인터록을 적용하여 컨베이어가 들어 올려진 상태에서는 롤러가 작동하지 않도록 했다."
- 한 작업자가 회전하는 원통형 볼밀(ball mill)과 차체 사이에 끼였다. 경찰과 WorkSafe가 실시한 최초 현장조사에서는 기계의 위험성이 명백하다는 점과 방호장치가 없다는 점이 지적되었다.
- 유지보수 담당 기계기술자가 파이프 벤딩기계를 측정하던 중 이동하는 맨드릴 캐리지(mandrel carriage)에 머리를 맞았다. 당시 기계 운전자가 기계를 작동시킨 상태였다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 파이프 벤딩기계에 설치된 기존 방호울타리와 레이저 스캐너는 기계 일부에 대한 접근을 감지하거나 방지하지 못했다는 점에서 불충분했다. 또한 해당 기업은 적절한 표지 부착 및 잠금 절차(Tag and Lockout)가 마련되어 있는지도 보장하지 못했다.

4.2. 전복방지구조물·안전벨트 부재(Lack of roll-over protection structures / seat belts)

전복방지구조물(ROPS)과 안전벨트의 부재는 비교적 구체적인 사고 발생 상황 유형으로, 28건의 사망사고가 해당했다. 이 사고들은 주로 사륜형 ATV와 트랙터에서 발생했으며, 거의 모든 사고가 농장에서 일어났다. 표 3은 관련 차량 종류를 세부적으로 보여준다.

전체적으로 해당 사고 가운데 13건은 사륜형 ATV, 11건은 트랙터와 관련되었다. 나머지는 각각 도로 롤러, 버펄로 포획용 차량, 삼륜 오토바이, 전면 적재기와 관련된 사고가 1건씩이었다.

표 3. 디자인 관련 업무상 사망사고: 전복방지구조물·안전벨트 부재 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량 유형	확실	가능성 있음	합계
사륜형 ATV	2	11	13
트랙터	6	5	11
도로 롤러	0	1	1
버펄로 포획용 차량	1	0	1
삼륜 오토바이	0	1	1
전면 적재기	1	0	1
합계	**10**	**18**	**28**

사륜형 ATV(Quad bikes)

사륜형 ATV와 관련된 13건의 사망사고 가운데 11건은 무거운 차량 아래에 작업자가 깔리면서 발생한 것이 분명했다. 이는 전복방지장치가 있었다면 예방할 수 있었을 가능성이 있는 바로 그 상황이다. 이러한 사고들은 경사진 지형에서 사륜형 ATV를 사용하는 것이 얼마나 위험한지 분명하게 보여준다. 특히 살포용 탱크와 같은 부착장비를 추가하면 위험이 더욱 커진다.

또한 13건 가운데 5건에서는 사망자가 헬멧을 착용하지 않았다는 기록이 확인되었다. 나머지 8건에서는 헬멧 착용 여부에 관한 언급을 찾을 수 없었다. 그러나 개인보호구(PPE)의 미착용 자체는 디자인 문제가 아니라 작업체계의 문제이다.

사륜형 ATV 전복사고 가운데 세 건의 사고 경위는 다음과 같다.

- 약제를 살포하는 데 사용하던 사륜형 ATV가 경사진 지형을 가로질러 이동하던 중 전복되어 운전자가 차량 아래에 깔렸다.
- 사륜형 ATV가 배수로 주변이나 배수로를 통과하던 중 균형을 잃고 전복되어 운전자 위로 넘어졌다.
- 소를 몰던 중 사륜형 ATV의 앞바퀴가 울타리에 부딪히면서 차량이 전복되어 운전자를 덮쳤다.

트랙터(Tractors)

전복방지구조물·안전벨트 부재가 디자인 관련 사고 발생 상황으로 분류된 트랙터 사망사고는 11건이었다. 이 가운데 8건은 급경사면에서 발생했거나 트랙터가 실수로 제방 아래로 넘어가면서 발생했다. 이 사고들은 모두 전복방지구조물이나 안전벨트가 없는 오래된 트랙터와 관련되어 있었다.

1994년에는 트랙터에 전복방지구조물(ROPS)을 포함하도록 하는 새로운 설비 기준이 도입되었다. 이 기준은 호주의 각 주와 준주에서 서로 다른 시기에 서로 다른 방식으로 시행되었다. 기준이 도입되면서 신형 트랙터, 1981년 이후 생산된 구형 트랙터, 판매 또는 임대되는 중고 트랙터에는 전복방지구조물과 안전벨트 설치가 의무화되었다.

그러나 근로자를 고용하지 않는 개인 농장에서 사용 중인 오래된 트랙터의 경우에는 보조금 환급제도를 통해 전복방지구조물의 추가 설치를 권장했지만, 근로자를 고용한 농장이 아닌 이상 설치가 의무는 아니었다(SWA, 2011a).

사망사고 가운데 세 건의 경위는 다음과 같다.

- 한 작업자가 목초지의 경사가 급하고 불안정한 구간에서 풀을 베다가 보이지 않던 나무 그루터기에 정면으로 충돌했다. 이후 트랙터가 전복되었다. 이 트랙터에는 전복방지구조물이나 운전자 구속장치가 설치되어 있지 않았다.
- 한 작업자가 급경사지에서 트랙터를 이용해 블랙베리 덤불에 약제를 살포하던 중 트랙터가 전복되어 차량 아래에 깔렸다. 트랙터에는 전복방지구조물이나 안전벨트가 설치되어 있지 않았다.
- 한 작업자가 풀을 베던 중 트랙터가 개울 제방 아래로 굴러떨어지면서 사망했다. 트랙터는 약 40년 된 것으로, 전복방지구조물이 설치되어 있지 않았다.

4.3. 누전차단기 부재(Lack of residual current device)

누전차단기(Residual Current Device, RCD)는 전류가 대지로 누설되는 것을 감지하면 수 밀리초 이내에 전원을 차단할 수 있다. 대부분의 경우 사람이 실수로 전기가 흐르는 전선이나 전기기기와 대지 사이를 연결하는 통로가 되더라도 감전사고로 사망하는 것을 방지할 수 있다.

많은 상황에서 누전차단기 설치는 의무사항이다. 예를 들어 「작업장 전기 위험 관리 실무지침」(SWA, 2012a)은 다음과 같이 규정하고 있다. “사업 또는 사업체를 운영하는 사람은 특정 고위험 작업장에서 플러그를 꽂아 사용하는 전기장비에 전력을 공급할 때 발생하는 전기적 위험을, 합리적으로 실행 가능한 범위 내에서 적절한 누전차단기를 사용하여 최소화하도록 보장해야 한다.”

누전차단기는 배전반, 개별 콘센트, 연장선 또는 멀티탭에 설치할 수 있다. 표 4에 제시된 사망사고 22건은 작업자가 접촉한 전기회로에 누전차단기가 설치되어 있었다면 예방할 수 있었을 가능성이 있다.

디자인 관련성이 ’가능성 있음’으로 판단된 16건의 사망사고에서는 누전차단기가 설치되지 않았다고 가정했다. 디자인 관련성이 ’확실’하다고 판단된 6건에서는 누전차단기 보호조치가 없었다는 사실이 기록에 명시되어 있었다.

표에서 볼 수 있듯이 고정 배선을 제외하면 사망사고를 초래한 장비의 종류는 매우 다양했다. 일부 사고에서는 전기기술자가 의도적으로 전기가 흐르는 배선이나 기계에서 작업을 수행하고 있었다.

표 4. 디자인 관련 업무상 사망사고: 누전차단기 부재 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 장비·기기 유형	확실	가능성 있음	합계
고정 배선	2	7	9
조명장비	0	2	2
펌프	1	1	2
태양열 온수기	0	1	1
승용 잔디깎이	1	0	1

관련 장비·기기 유형	확실	가능성 있음	합계
제어장치	0	1	1
고소작업대	0	1	1
공조장치	0	1	1
음료 병입설비	0	1	1
식기세척기	1	0	1
아크용접장비	1	0	1
앵글 그라인더	0	1	1
합계	**6**	**16**	**22**

사망사고가 발생한 상황 역시 관련 장비의 종류만큼 다양했다. 그중 세 건의 경위는 다음과 같다.

- 무자격 작업자가 욕실 리모델링 공사 중 전기배선을 손상시켰으며, 전기가 흐르는 상태에서 이를 수리하려 했다.
- 한 전기기술자가 옥상에 설치된 태양열 온수기를 수리하고 있었다. 작업자는 전원이 차단된 것으로 생각하고 있었다. 사고 경위로 볼 때 다른 사람이 전기기술자에게 알리지 않고 전원을 다시 켠 것으로 추정된다.
- 한 작업자가 유압펌프에 부착된 전기가 흐르는 금속 배관에 접촉했다. 이 펌프에는 배선이 잘못 연결된 삼상 전원 플러그가 사용되고 있었다.

4.4. 인터록 부재(Lack of interlock)

위험한 모든 기계와 설비에는 사용, 청소 또는 유지보수 과정에서 실수로 기계나 설비가 작동하는 위험을 제거할 수 있도록 인터록 장치를 디자인해야 한다. 이는 정교한 페일세이프(fail-safe) 시스템을 통해 구현할 수도 있고, 조작장치나 전원을 잠그고 접근 가능한 유일한 열쇠를 작업자가 직접 관리하는 간단한 방법으로 구현할 수도 있다.

표 5에서 볼 수 있듯이 '인터록 부재'로 분류된 사망사고 15건은 다양한 차량과 기계에서 발생했다. 그러나 차량 관련 사고 가운데 3건은 유사한 상황에서 발생했다. 운전자가 차량을 기어가 들어간 상태로 두고 운전실 밖에서 시동을 걸었다가 자신이 운전하던 차량에 치인 사고였다.

또한 면화 모듈 제작기(Cotton module builder)를 사용하던 중 사망사고 2건이 발생했다. 면화 모듈 제작기는 수확한 면화를 압축하여 묶음이나 모듈 형태로 만드는 장비로, 대형 상자형 구조물 내부에 이동식 유압 프레스가 설치되어 있다.

표 5. 디자인 관련 업무상 사망사고: 인터록 부재 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량·기계 유형	확실	가능성 있음	합계
차량	2	3	5
트럭	0	1	1
자동차 운반차	0	1	1
시멘트 혼합기	1	0	1
백호	0	1	1
트랙터	1	0	1

관련 차량·기계 유형	확실	가능성 있음	합계
분쇄·프레스·압연기계	2	2	4
면화 모듈 제작기	1	1	2
컨베이어 및 인양설비	0	2	2
충전·병입·포장설비	0	2	2
기타 설비 및 기계	1	1	2
합계	**5**	**10**	**15**

인터록 부재와 관련된 사망사고 가운데 디자인 관련성이 '확실'하다고 판단된 5건의 사고 경위와 관련 의견은 다음과 같다.

시멘트 혼합기. 한 작업자가 호스로 시멘트 혼합기 내부를 청소하던 중 기계 안으로 떨어졌다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 작업자는 고정되어 있지 않은 방호장치를 제거한 상태였다. 또한 방호장치가 제거되었을 때 혼합기의 작동을 정지시키는 인터록 장치가 없었다.

면화 모듈 제작기. 한 작업자가 면화 모듈 제작기 안에 있는 면화를 방수포로 덮을 준비를 하던 중 조작레버가 무언가에 걸리면서 설비가 의도치 않게 작동했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 사고 이후 운전자 위치의 전면을 따라 경첩이 달린 방호장벽을 설치했다. 이 장벽은 사람이 모듈 제작기 내부로 들어가면 아래로 접히면서 전환밸브를 통해 펌프에서 나오는 모든 유압유가 저장탱크로 흐르도록 한다.

트랙터. 한 작업자가 트랙터 뒷바퀴 앞쪽 지면에 서 있는 상태에서 시동을 걸었다. 트랙터에는 기어가 들어가 있었으며, 시동이 걸리자 차량이 갑자기 앞으로 움직여 작업자를 넘어뜨리고 그 위로 지나갔다. 기어가 들어간 상태에서는 시동 회로를 차단하는 중립시동스위치(Neutral start switch)는 이미 이용 가능한 장치이며 신형 트랙터에 설치되고 있다. 또한 안전한 승하차 발판이 있었다면 이 사망사고를 예방할 수 있었을 가능성이 있다.

성형 프레스. 한 작업자가 고무 성형 프레스의 플레이트를 교체하던 중 감전되어 사망했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 플레이트를 교체하기 위해서는 프레스 후면에 있는 전기 가열요소의 덮개를 제거해야 했으며, 이 과정에서 전기가 흐르는 전선이 노출되었다.

혼합기. 한 작업자가 사료 혼합기 내부를 청소하던 중 기계가 의도치 않게 작동했다. 해당 기업은 이 사고에 대한 WorkCover의 조사에 신속하게 대응하여 기계에 방호장치와 인터록 장치를 설치했다.

4.5. 운전자의 시야 장애(Driver obstructed vision)

2006~2011년 동안 작업장에서 발생한 사고 가운데 디자인과 관련된 것으로 판단된 사고는 14건이었으며, 이로 인해 업무상 사망자 15명이 발생했다. 이 사고들은 작업자 또는 현장 주변인이 차량에 치인 사고로, 거의 모든 경우 차량이 후진하는 과정에서 발생했다. 이번 연구에서는 이러한 사고가 운전자의 시야 장애와 관련되어 있다고 판단했다.

후진 경고음을 사용하는 것 외에도 후방카메라와 근접 감지장치를 설치하면 운전자의 시야 장애 문제를 완화할 수 있다. 이러한 기술은 현대 차량에 일반적으로 설치되고 있으며, 이미 상당 기간 상업적으로 이용할 수 있었던 기술이다. 사고 가운데 한 건에서는 관련 트럭에 설치된 후방카메라가 작동하지 않고 있었다. 사고 이후 해당 기업은 정상적으로 작동하는 후방카메라가 없는 차량의 현장 사용을 금지했으며, 휴대용 카메라 장치를 현장에 항상 비치하도록 했다.

표 6은 사고에 관련된 차량 종류를 보여준다. 모든 사고에서 도보로 이동 중이던 근로자나 현장 주변인이 차량에 치였다. 이러한 사고를 예방하기 위한 조치에는 명확한 교통관리계획과 유도자의 활용이 포함되어야 한다. 후방카메라는 고장이나 실패 가능성이 없는 수동적 안전장치가 아니며 운전자가 지속적으로 주의를 기울여 카메라를 확인할 때에만 효과를 발휘하기 때문이다.

표 6. 디자인 관련 업무상 사망사고: 운전자의 시야 장애 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량 유형	확실	가능성 있음	합계
트럭	2	6	8
철도 유지보수 열차	0	2	2
그레이더	0	1	1
도로 롤러	0	1	1
전면 적재기	0	1	1
트롤리 트레일러	1	0	1
지게차	0	1	1
합계	**3**	**12**	**15**

운전자의 시야 장애와 관련된 사망사고 가운데 디자인 관련성이 '확실'하다고 판단된 3건의 사고 경위와 관련 의견은 다음과 같다.

후진하는 트럭. 한 작업자가 후진하던 트럭에 연결된 트레일러에 치였다. 작업자는 트럭 뒤쪽에서 다른 트럭의 운전자와 이야기를 나누고 있었다. 사고를 일으킨 트럭 운전자는 후진을 시작할 때 사망자를 보지 못했다. 산업안전보건 조사에서는 후진하던 트럭의 운전자가 후방카메라를 사용할 수 있었다면 사고를 예방할 수 있었을 가능성이 있다고 판단했다. 사고 이후 해당 기업은 모든 트레일러에 후진등과 후진 경고음 장치를 설치했고, 유도자 없이 야적장에서 트럭을 후진시키지 못하도록 하는 규정을 재강조했다. 모든 트럭을 차량 관리 담당자가 주차하도록 하고, 운전자의 피로 문제를 관리하기 위해 운전시간을 매일 확인하는 절차도 도입했다.

후진하는 트럭과 트레일러. 한 현장 주변인이 쇼핑센터 하역장에서 후진하던 트레일러에 치여 심각한 머리 부상을 입었고 결국 사망했다. 사고 당시에는 카트를 반납한 뒤였다. 경찰 보고서에 따르면 트레일러에는 후진 경고음 장치나 후진등이 없었으며, 견고한 강철 경사판이 운전자의 후방 시야를 가리고 있었던 것으로 보였다.

후진하는 쓰레기 수거차. 한 운전자가 노인 거주시설에서 쓰레기통이 놓인 장소를 향해 트럭을 후진시키고 있었다. 이때 한 거주자가 쓰레기를 버리기 위해 트럭 뒤쪽으로 뛰어나왔고 후진하던 트럭에 치였다. 검시관 보고서에 따르면 당시 트럭에는 두 대의 카메라가 있었다. 하나는 트럭 후면에, 다른 하나는 작업용 암에 설치되어 있었다. 그러나 후방카메라에는 뒤차축 가까이에 사각지대가 있었으며 트럭 후면에서 약 3m 이내의 가까운 거리에서는 움직임을 감지할 수 없었다. 사고 이후 카메라를 교체하고, 쓰레기통을 시설 부지 바깥쪽으로 옮겨 수거차가 노인 거주시설 안으로 들어갈 필요가 없게 했다.

4.6. 설비의 오작동·고장(Malfunctioning or failed equipment)

'설비의 오작동·고장' 유형은 오작동이나 고장이 유지보수의 문제가 아니라 디자인과 관련된 것으로 판단되는 사망사고에 적용했다. 전체적으로 11건의 사망사고에서 발생한 사망자 12명이 '설비의 오작동·고장'으로 분류되었다(표 7).

매달림식 비계와 관련된 두 건의 사고를 제외하면 사고들 사이에 공통점은 거의 없었다. 이 두 건의 사고로 3명이 사망했다. 생존한 작업자가 충격흡수식 추락방지용 안전그네를 올바르게 고정하지 않았다면 네 번째 사망자가 발생했을 가능성도 있었다.

사망한 동료 작업자도 안전그네를 착용하고 있었으나, 추락하는 순간 발생한 충격하중으로 작업자를 비계에 연결하던 로프가 파단되었다. 이 사고에서는 매달림식 비계의 고정장치 가운데 하나만 파손되었다. 다른 사고에서는 두 작업자가 모두 안전그네를 착용하고 매달림식 비계에 연결한 상태였지만, 지붕의 고정장치가 완전히 파손되면서 작업자들이 비계와 함께 추락했다.

표 7. 디자인 관련 업무상 사망사고: 설비의 오작동·고장 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 설비 유형	확실	가능성 있음	합계
달비계(매달림식 비계)	0	3	3
공기호스의 마모된 굴곡부	0	1	1
목공용 루터	1	0	1
콘크리트 펌프 붐	0	1	1
오더피커형 지게차	1	0	1
고소작업대	1	0	1
트럭 탑재형 크레인	1	0	1
항타용 크레인	1	0	1
콘크리트 거푸집	1	0	1
병원 환자용 리프팅 프레임	0	1	1
합계	**6**	**6**	**12**

’설비의 오작동·고장’으로 인해 발생한 사망사고 가운데 디자인 관련성이 ’확실’하다고 판단된 6건의 사고 경위와 관련 의견을 아래에 제시한다.

거푸집(Formwork). 한 작업자가 콘크리트를 타설하던 중 바닥 슬래브용 거푸집이 붕괴되어 압착 사망했다. 산업안전보건 당국은 해당 거푸집이 호주 표준에 부합하지 않았으며, 금속 지지대 대신 목재 지지대를 사용한 것으로 평가했다.

고소작업대(Elevating work platform). 한 작업자가 균형을 잃은 고소작업대에서 추락했다. 작업자는 안전그네를 착용하고 있었지만 올바르게 고정하지 않은 상태였다. 같은 작업대에 있던 다른 작업자는 안전그네를 올바르게 연결하고 있었기 때문에 생존했다. 고소작업대가 불안정해진 이유는 전기식 근접 스위치가 작동하지 않도록 비활성화되어 있었고, 유압식 수직 한계밸브가 고착되어 있었기 때문이다.

검시관 보고서는 다음과 같이 설명했다. “근접 스위치를 작동하지 못하도록 만든 것은 아마도 기계 유지보수에 관여한 누군가의 실수였을 가능성이 가장 높다. 이 사고 이후 제조업체는 현장 서비스 공지를 발표하고 소프트웨어를 업그레이드하여, 분석장비를 사용하더라도 더 이상 근접 스위치를 비활성화할 수 없도록 했다. 또한 부식을 유발했던 부적절하게 디자인된 플런저도 새롭게 디자인했다.”

크레인 붐(Crane boom). 한 작업자가 붕괴되는 크레인 붐에 맞았다. 검시관 보고서에 따르면 조사 결과 여러 원인이 복합적으로 작용하여 크레인이 붕괴되었으며, 그중 크레인의 디자인이 가장 중요한 요인으로 판단되었다. 구체적으로 이 크레인은 차체의 비틀림 강성이 부족하고 전후방 현가장치의 구성과 상태에 문제가 있어, 측면에서 작용하는 하중에 본질적으로 취약했다. 차체 용접부에서는 미세한 피로균열이 발견되었으며, 이로 인해 크레인의 횡방향 안정성이 손상된 상태였다.

루터 기계(Routing machine). 한 작업자가 작동 중 파손된 루터 공구의 파편에 가슴을 맞았다. 기소 관련 요약보고서는 해당 기계가 공구를 안전 운전속도의 약 두 배에 달하는 속도로 회전시켰으며, 공구의 크기와 형태가 적절하지 않았고 균형도 맞지 않았다는 사실을 강조했다.

지게차 작업용 탑승함(Forklift workbox). 한 작업자가 지게차에 설치된 작업용 탑승함에서 약 4m 아래로 추락했다. 이후 작업용 탑승함도 떨어지면서 작업자 위로 추락했다. 사고에 관한 추가적인 정보는 거의 없지만, 해당 탑승함은 디자인 등록이 되어 있지 않았으며 인양 당시 지게차 포크에 고정되어 있지 않았다.

항타용 크레인(Pile driver crane). 한 작업자가 인양 중이던 콘크리트 말뚝이 떨어지면서 항타용 크레인의 일부에 맞았다. 검시관은 항타 타워의 붕괴가 회전 연결장치의 고정핀 파손으로 인해 발생했다고 결론지었다. 고정핀이 파손되면서 항타 타워가 붐 헤드에서 분리되어 붕괴했다. 고정핀의 파손 원인은 부적절한 디자인과 제조상의 문제였다.

4.7. 승인받지 않은 개조(Unapproved modification)

표 8은 '승인받지 않은 개조'로 분류된 디자인 관련 업무상 사망자가 11명이며 이들이 10건의 사망사고에서 발생했음을 보여준다. 6건의 사고에서는 승인받지 않은 개조로 인해 기존 안전장치의 기능이 상실되었다. 나머지 4건에서는 개조나 수리가 부적절하게 디자인되어 새로운 위험요인이 발생했으며 이로 인해 근로자가 사망했다. 그중 한 건에서는 근로자 2명이 사망했다.

이러한 사고는 '방호장치 미흡'이나 '인터록 부재' 등 다른 관련 유형에 포함할 수도 있었다. 그러나 이 사례들을 별도로 분류한 것은 기존 안전장치가 원래 디자인된 대로 기능하는지 확인하기 위한 유지보수 점검의 중요성을 보여주기 위해서이다.

표 8. 디자인 관련 업무상 사망사고: 승인받지 않은 개조 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량·설비 유형	확실	가능성 있음	합계
도로용 탱크로리	0	2	2
제재소용 원형톱	1	0	1
트랙터 구동식 조류 방지망 권취기(반사재 권취용으로 개조)	1	0	1
유압식 차량 리프트	0	1	1
적재용 경사판	0	1	1
시멘트 운반 트럭	1	0	1
달걀 세척기	1	0	1
벨 로거(Bell Logger, 원목 운반차량)	1	0	1
샌드블라스팅 호스	1	0	1
앵글 그라인더	0	1	1

관련 차량·설비 유형	확실	가능성 있음	합계
합계	**6**	**5**	**11**

승인받지 않은 개조로 발생한 사망사고 가운데 디자인 관련성이 '확실'하다고 판단된 6건의 사고 경위와 관련 의견은 다음과 같다.

립쏘(Rip saw). 한 작업자가 립쏘 톱날에서 역방향으로 튀어나온 목재 조각에 가슴을 맞았다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 기계 내부의 역방향 튐 방지 핑거(anti-kickback fingers)가 제거되어 있었고 롤러와 슬리브가 손상된 상태였다. 또한 작업자들이 기계의 투입 방향과 일직선상에 서는 것을 금지하는 조치가 없었다.

조류 방지망 권취기(Bird netting reel). 한 작업자가 조류 방지망을 감는 기계를 사용하고 있었다. 이 기계는 반사 포일을 감는 용도로 개조되어 있었다. 개조 과정에서 볼트가 돌출되었고 이 볼트에 작업자의 옷이 걸렸다. 산업안전보건당국은 위험을 제거하기 위해 해당 볼트를 칼라(collar)와 매입형 무두나사(recessed grub screw)로 교체하는 간단한 조치를 권고했다.

시멘트 운반 트럭(Cement truck). 한 작업자가 사다리 위쪽에서는 닿을 수 없는 부분을 확인하기 위해 시멘트 운반트럭의 교반장치 안으로 머리를 집어넣었다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 작업자가 위험한 위치에 신체를 넣는 것을 방지할 수 있었던 방호장치가 제거된 상태였다.

달걀 세척기(Egg washing machine). 전기적 결함이 있는 달걀 세척·선별기를 보호하던 배전반의 누전차단기를 수리가 이루어질 때까지 의도적으로 우회하도록 조치한 결과 사망사고가 발생했다. 이후 예정된 수리는 이루어지지 않았다. 검시관 보고서는 근본적인 결함이 기계의 제조와 시험 과정에 있었다고 밝혔다. 그러나 수리를 기다리는 동안 배전반의 보호장치를 우회하지 않았다면 해당 결함이 사망사고를 일으키지는 않았을 것이다.

벨 로거(Bell Logger). 한 작업자가 벨 로거 차량 밖에서 시동 버튼을 눌렀을 때 차량이 시동과 함께 움직이면서 작업자를 치어 사망했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 중립시동 안전스위치가 우회된 상태였기 때문에 기어가 들어간 상태에서도 기계의 시동을 걸 수 있었다.

샌드블라스팅 호스(Sand blasting hose). 한 작업자가 선박 선체 내부에서 작업하던 중 샌드블라스팅 호스에 대한 통제력을 잃었다. 산업안전보건 조사에서는 고압 배관에 압력을 공급하도록 작동시키는 수동 조작레버 또는 스위치를 테이프로 고정하는 관행이 작업자들 사이에 형성되어 있었던 것이 사망사고의 주된 원인이라고 판단했다. 이러한 조치는 작업자가 호스를 놓쳤을 때 작동해야 하는 페일세이프 차단 기능을 사실상 무력화했다.

4.8. 추락방지장치 미흡(Inadequate fall protection)

높은 곳에서 작업하는 것은 잘 알려진 위험요인이며, 고소작업 중 발생하는 추락은 많은 근로자의 사망과 부상을 초래해 왔다(SWA, 2013). 위험관리의 위계에서는 가능한 경우 위험요인 자체를 제거하는 것을 우선한다. 그러나 고소작업이 필요한 일반적인 작업의 상당수에서는 작업과 관련 자재를 지상으로 내려야 하므로 이러한 방식으로 위험을 제거하기가 어려울 것이다.

그럼에도 고소작업의 필요성을 제거한 좋은 사례로 고속도로 조명기둥을 들 수 있다. 이 조명기둥은 전구를 교체할 때 조명장치를 지상으로 내려 작업할 수 있도록 되어 있다.

높은 곳에서 정기적으로 수행해야 하는 작업은 난간으로 보호되는 고정식 계단과 작업용 통로를 설치하여 더욱 안전하게 만들어야 한다. 이와 마찬가지로 건축공사처럼 장기간 수행되는 작업에서는 근로자의 추락을 방지하기 위해 임시 고정식 비계를 사용해야 한다.

그러나 높은 곳에 가끔 접근해야 할 때는 일반적으로 이동식 사다리를 사용한다. 작업자가 높은 곳에 도달한 뒤에는 개인보호구를 사용하여 추락을 방지할 수 있지만, 예를 들어 지붕 위에서 작업할 때와 달리 사다리를 올라가거나 내려오는 동안에는 특히 위험에 취약하다.

마찬가지로 작업용 받침대(trestle)와 발판 위에서 작업하는 것도 위험하다. 따라서 높이 2m 이상에서는 안전난간을 사용해야 하며, 가능하다면 그보다 낮은 높이에서도 안전난간을 사용하는 것이 바람직하다(SWA, 2011b).

표 9는 디자인과 관련된 것으로 판단된 업무상 사망사고 10건이 '추락방지장치 미흡' 유형으로 분류되었음을 보여준다. 가장 빈번하게 관련된 장비는 작업용 받침대와 사다리였다.

표 9. 디자인 관련 업무상 사망사고: 추락방지장치 미흡 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 장비 유형	확실	가능성 있음	합계
작업용 받침대	2	1	3
사다리	0	2	2
항공기 적재용 작업대 리프트	1	0	1
지게차 작업용 탑승함	0	1	1
타워크레인	1	0	1
고가 보행통로	1	0	1
광산용 트럭	0	1	1
합계	**5**	**5**	**10**

디자인 관련성이 '확실'하다고 판단된 5건의 사고 경위와 관련 의견은 다음과 같다.

작업용 받침대(Trestle platforms). 한 자영업 도장공이 적절하지 않고 제대로 고정되지 않은 작업용 받침대에서 약 4m 아래로 추락했다. 검시관 보고서는 도장공이 높이 4m의 작업용 받침대 위에 설치된 길이 조절식 사다리에서 작업하고 있었다는 사실을 강조했다. 작업용 받침대에는 두 줄의 발판이 놓여 있었지만 클램프로 고정되지 않았고, 무게추도 설치되지 않았으며, 구조물에 체결되지도 않은 상태였다. 받침대는 약간 경사진 지면에 놓여 있었다.

또 다른 작업자는 지면에서 약 5m 높이에 설치된 작업용 받침대가 지지하는 발판 위에 서 있었다. 작업자가 균형을 잃고 뒤로 추락했다. 검시관 보고서는 이 비계가 부적절하게 구상되고 제작되었으며, 구조적 강도와 형태도 충분하지 않았다고 지적했다. 또한 안전난간이나 어떠한 형태의 수평 구속장치도 설치되어 있지 않았다.

항공기 기내식 공급용 작업대 리프트(Aircraft catering platform hoist). 한 작업자가 항공기 기내식 공급용 작업대에서 약 5m 아래의 계류장 포장면으로 추락했다. 검시관 보고서는 안전난간의 높이와 구성이 적용 가능한 호주 표준에는 부합했지만, 국제표준에서는 상부 난간의 높이가 작업대 바닥에서 1.1m가 되어야 한다고 규정한다는 점을 지적했다. 또한 작업대 가장자리에는 킥플레이트(kick plate)나 발끝막이판(toe board)이 설치되어 있지 않았다. 이후 해당 기업은 모든 기내식 공급차량과 객실 청소차량의 안전난간 높이를 높였으며, 새로운 디자인에는 작업대 확장부를 둘러싸는 보호구조도 반영했다.

타워크레인(Tower crane). 타워크레인의 붐에서 유지보수 작업을 수행하던 근로자가 추락했다. 검시관 보고서는 작업자가 안전그네를 연결할 수 있었을 고정식 생명줄(static line)이 설치되어 있지 않았다는 점을 강조했다.

고가 보행통로(Overhead walkway). 저장용 빈(bin)에 자재를 공급하는 컨베이어 벨트 시스템 인근의 고가 보행통로에서 작업자가 약 30m 아래로 추락했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 보행통로에 설치된 격자형 바닥판 대부분이 고정되지 않은 상태였으며, 이 통로를 사용하는 근로자에게 별도의 추락방지시스템도 제공되지 않았다. 사고 이후 해당 통로의 격자형 바닥판을 고정하기 위해 전용으로 디자인된 고정클립을 사용했다.

4.9. 부적절한 조작장치 배치(Poor control layout)

기계와 이동식 설비의 조작장치를 디자인하고 배치하는 것은 산업디자인의 중요한 측면이다. 조작장치는 근로자와 기계 사이의 주요 인터페이스이다. 따라서 잠재적인 안전 위험을 평가할 때는 조작장치가 어디에 배치되어 있고 어떻게 작동하는지 고려해야 한다.

표 10은 디자인과 관련된 것으로 판단되고 '부적절한 조작장치 배치'로 분류된 사망사고가 9건이었음을 보여준다.

트랙터의 3점 연결장치(Tractor three-point linkage). 트랙터와 관련된 사고 가운데 두 건은 유사한 상황에서 발생했다. 작업자가 트랙터 뒤쪽에 서 있는 상태에서 유압식 3점 연결장치의 조작장치를 작동시켰을 때 발생한 사고였다. 이 조작장치는 운전석에서만 작동할 수 있도록 해야 하지만, 해당 사고의 트랙터에서는 뒤쪽에서도 조작장치에 손이 닿을 수 있었다.

표 10. 디자인 관련 업무상 사망사고: 부적절한 조작장치 배치 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 설비 유형	확실	가능성 있음	합계
트랙터	0	3	3
버스	2	0	2
다인승 차량	0	2	2
이동식 크레인	0	1	1
도로 롤러	0	1	1
합계	**2**	**7**	**9**

버스와 관련된 두 건의 사고도 매우 유사한 상황에서 발생했다. 해당 사고의 개요를 아래에 제시한다.

버스 출입문(Bus doors). 서로 다른 시기에 발생한 두 건의 사망사고에서 버스 운전자들이 닫히는 버스 출입문에 끼였다. 두 사고 모두 운전자가 버스 바깥쪽에서 출입문을 닫기 위해 버스 내부 계단에 있는 비상 출입문 버튼을 사용한 경우였다. 두 사고의 검시관 보고서에는 해당 버스회사들이 출입문이 닫히는 속도와 힘을 줄이기 위해 출입문 작동기구를 개조했다는 사실이 기록되어 있다. 그중 한 회사는 버스 바깥쪽에서 비상 스위치에 손이 닿지 않도록 스위치의 위치도 변경했다.

4.10. 차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크(Runaway vehicle / park brake)

표 11은 디자인과 관련된 것으로 판단되고 '차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크' 유형으로 분류된 업무상 사망사고가 8건이었음을 보여준다. 거의 모든 경우 사망사고는 운전자가 차량의 주차브레이크를 제대로 작동시키지 않아 발생했다.

호주트럭운송협회(Australian Trucking Association)는 트럭 운송업체에 운전석 출입문 인터록 장치의 설치를 검토하도록 권고하고 있다. 이 장치는 변속기가 중립 위치에 있고 주차브레이크가 작동하지 않은 상태에서 운전석 출입문이 열리면 경고음을 발생시킨다(ATA, 2013). 이처럼 간단한 기술만으로도 차량이 의도치 않게 움직이면서 발생하는 많은 사고를 예방하는 데 도움이 될 수 있다.

표 11. 디자인 관련 업무상 사망사고: 차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 설비 유형	확실	가능성 있음	합계
트럭	0	7	7
불도저	0	1	1
합계	**0**	**8**	**8**

사망사고 가운데 세 건의 경위는 다음과 같다.

불도저. 한 불도저 운전자가 주차브레이크를 작동시키지 않은 사실을 뒤늦게 깨닫고 움직이고 있는 차량에 다시 올라타려고 했다. 불도저에 다시 올라타려는 과정에서 운전자는 무한궤도와 차량 차체 사이로 떨어졌다.

트럭. 한 작업자가 소형 트럭과 대형 트럭 사이를 걸어가던 중 앞으로 굴러 움직인 대형 트럭에 압착되었다. 작업자는 조금 전 대형 트럭의 전원을 이용하여 소형 트럭의 시동을 걸었다. 사고 이후 대형 트럭은 변속기가 중립에 놓여 있고 주차브레이크가 해제된 상태였던 것으로 확인되었다.

트럭과 트레일러. 한 운전자가 트랙터 유닛(견인차)을 두 대의 트레일러에 연결하고 있었다. 운전자가 빨간색 공기 공급호스를 연결하자 압력이 공급되면서 트레일러의 스프링 브레이크가 해제되었고, 견인차와 트레일러가 굴러 움직이기 시작했다. 운전자는 견인차에 치였다. 운전실에 다시 들어가려던 중 사고를 당한 것으로 추정된다.

4.11. 고압전선 근접 감지장치 부재(Lack of high tension detection)

머리 위에 설치된 전력선은 농장, 건설현장, 도로변에서 흔히 발견할 수 있는 위험요인이며 일반적으로 쉽게 눈에 띈다. 그러나 바로 그러한 이유 때문에 오히려 위험을 간과하거나 잊어버리기도 쉽다. 가장 기본적인 보호조치는 울타리와 명확한 위험표지를 설치하는 것이다.

전력선과 매우 가까운 곳에서 진행되는 도로공사나 건설공사와 같은 상황에서는 전력 공급기관이 일시적으로 전선에 위험표시를 부착하고 절연조치를 할 수도 있다. 이러한 물리적 보호조치에 더해 적재함을 기울여 화물을 내리는 덤프트럭이나 높이 들어 올릴 수 있는 다른 이동식 설비에는 전자식 전력선 경고장치를 설치할 수 있다. 이 장치는 차량의 적재함이 고압전선에 지나치게 가까워지면 운전자에게 경고한다.

이번 연구에서는 '고압전선 근접 감지장치 부재'로 분류된 사망사고 2건을 확인했다. 두 사고 모두 적재함을 들어 올린 덤프트럭이 머리 위 전력선에 접촉한 사고였다. 그러나 이 연구의 범위에 포함되지 않은 사고 가운데에도 관개용 배관과 같은 농업기계를 이동시키던 농업 근로자의 사망사고가 있었다. 두 건의 사고 경위는 다음과 같다.

- 높이 36피트(약 11m)의 덤프 트레일러 근처에 서 있던 작업자가 감전되어 사망했다. 들어 올려진 적재함이 머리 위 전력선에 부딪힌 사고였다.
- 한 농업 근로자가 화물을 내리는 동안 앞으로 움직여 머리 위 전력선에 접촉한 덤프트럭을 만졌다.

4.12. 연기·화재 감지장치 부재(Lack of smoke / fire detection)

연구기간 동안 '연기·화재 감지장치 부재' 유형으로 분류된 사망사고가 단 한 건이었다는 사실은, 그 기간에 저렴한 연기 감지기 기술을 쉽게 이용할 수 있었기 때문일지도 모른다. 아래에 제시한 사망사고는 트럭의 수면 공간에 연기 감지기가 설치되어 있었다면 예방할 수 있었을 가능성이 있다.

트럭 운전실(Truck cabin). 운전자가 잠을 자고 있던 트럭 운전실 안에서 12볼트 휴대용 전기주전자의 물이 완전히 증발할 때까지 가열되었고, 이로 인해 화재가 발생했다.

4.13. 기타 사고 발생 상황(Other circumstances)

표 12는 앞에서 설명한 특정 사고 발생 상황 유형에 포함되지 않은 사망사고 15건을 보여준다. 이 사고들은 다양한 설비와 차량에서 발생했으며 사고들 사이에 주목할 만한 공통점은 없었다.

그러나 '기타 사고 발생 상황' 유형에는 작동용 방아쇠 장치가 없는 고압수 분사 랜스(lance)와 관련된 사고가 포함되어 있었다. 이와 유사한 사망사고가 한 건 더 있었다. 유사한 사고는 '승인받지 않은 개조' 유형으로 분류되었다. 그 사고에서는 고압 샌드블라스팅 노즐에 작업자가 호스를 놓으면 공급을 차단하는 방아쇠 장치가 설치되어 있었다. 그러나 방아쇠를 테이프로 고정하여 열린 상태로 유지했기 때문에 해당 장치가 제 기능을 하지 못했다.

표 12. 디자인 관련 업무상 사망사고: 기타 사고 발생 상황 유형의 관련성 판단 수준별 분류, 2006~2011년 합계

관련 차량·설비 유형	확실	가능성 있음	합계
가스 실린더	1	1	2
트럭(시멘트 운반 트럭·소방차)	0	2	2
적재용 경사판	2	0	2
발판사다리	0	1	1
전면 적재기	0	1	1
충격식 캐넌	0	1	1
시추장비	1	0	1
작업용 케이지	0	1	1
호퍼 탱크	0	1	1
저상 트레일러	0	1	1
와이어식 목장 출입문	0	1	1
고압수 세척기	1	0	1

관련 차량·설비 유형	확실	가능성 있음	합계
합계	**5**	**10**	**15**

불안전한 디자인이 영향을 미친 것으로 '확실'하게 판단된 사망사고 5건의 경위와 관련 의견은 다음과 같다.

유압식 적재용 경사판(Hydraulic loading ramp). 한 작업자가 중장비 운반용 플로트 트레일러의 유압식 적재용 경사판을 작동시켰다가 경사판의 이동 경로로 들어갔을 때 경사판에 맞았다. WorkCover 당국의 조사에서는 조작자가 조작장치에 계속 머물러 있지 않아도 경사판이 작동하도록 되어 있었다는 점을 지적했다.

적재용 경사판(Loading ramp). 한 작업자가 트레일러에서 지게차를 내리던 중 적재용 경사판 하나가 떨어지고 지게차가 전복되면서 사망했다. 검시관 보고서는 경사판을 제자리에 고정하기 위한 핀이나 이와 유사한 장치가 없었다는 점을 지적했다.

시추장비의 평형추(Drilling rig counterweight). 한 작업자가 시추장비에서 평형추를 제거하던 중 떨어진 평형추에 맞았다. 검시관 보고서에 따르면 해당 기업은 금지명령을 준수하기 위해 위험을 관리하는 여러 조치를 시행했다. 여기에는 새로운 인터록 방식의 평형추 고정 안전장치를 디자인하고 시험한 뒤 실제로 적용하는 조치가 포함되었다. 또한 안전작업방법서를 수정하고 근로자들을 재교육했다.

가스 실린더(Gas cylinders). 차량이 폭발하면서 작업자가 사망했다. 차량 내부에는 가스 실린더가 보관되어 있었다. 검시관 보고서에 따르면 해당 기업은 남아 있는 모든 밀폐형 차량에서 가스 실린더를 제거했다. 또한 직원들이 밀폐형 차량으로 어떠한 가스 실린더도 운반하지 못하도록 금지하는 작업장 지침을 시행했다. 이와 함께 필요한 경우 개방형 차량을 이용하여 작업현장에 가스 실린더를 배송하고 회수하는 작업방식을 도입했다. 회사는 모든 작업용 밴에도 밀폐구조이면서 환기가 가능하도록 디자인된 가스 보관함을 설치했다.

고압수 분사 랜스(High pressure water lance). 한 작업자가 사용 중이던 고압수 세척용 랜스에 맞아 사망했다. 검시관 보고서는 고압수 분사에 관한 호주 표준과 해당 기업의 자체 작업절차를 위반했다는 점을 강조했다. 작업자가 사용하던 장비에는 방아쇠 장치가 없었기 때문에 작업자가 물의 흐름을 직접 제어할 수 없었다. 또한 랜스에는 손잡이도 설치되어 있지 않았다.

5. 사망자의 고용 산업분야(Industry of employer)

표 13은 디자인 관련 사망사고로 사망한 근로자 183명의 고용 산업분야를 보여준다. 나머지 5명은 현장 주변인이었다. 사망한 근로자의 고용 산업분야는 예상할 수 있듯이 이 연구의 범위에 포함되는 기계·설비·동력공구를 일반적으로 사용하는 산업에 집중되어 있었다.

표 13. 디자인 관련 업무상 사망사고: 사망자의 고용 산업분야 및 주요 사고 발생 상황 유형별 관련성 판단 수준, 2006~2011년 합계

고용 산업분야 / 사고 발생 상황	확실	가능성 있음	합계
농업·임업·어업	**19**	**33**	**52**
전복방지구조물·안전벨트 부재	8	17	25
방호장치 미흡	5	8	13

고용 산업분야 / 사고 발생 상황	확실	가능성 있음	합계
인터록 부재	2	2	4
건설업	**11**	**40**	**51**
누전차단기 부재	0	12	12
방호장치 미흡	1	7	8
운전자의 시야 장애	1	6	7
제조업	**19**	**16**	**35**
방호장치 미흡	6	6	12
인터록 부재	2	5	7
설비의 오작동·고장	4	1	5
운송·우편·창고업	**3**	**18**	**21**
차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크	0	6	6
운전자의 시야 장애	0	4	4
승인받지 않은 개조	0	3	3
광업	**1**	**6**	**7**
기타 사고 발생 상황	1	3	4
추락방지장치 미흡	0	1	1
설비의 오작동·고장	0	1	1
행정·지원서비스업	**1**	**4**	**5**
누전차단기 부재	1	1	2
방호장치 미흡	0	2	2
운전자의 시야 장애	0	1	1
숙박·음식서비스업	2	1	3
소매업	1	1	2
공공행정·안전	0	1	1
임대·대여·부동산서비스업	1	0	1
교육·훈련	1	0	1
전기·가스·수도·폐기물 처리업	0	1	1
전문·과학·기술서비스업	0	1	1
기타 서비스업	1	0	1
산업분야 불명	1	0	1
현장 주변인	2	3	5
합계	**63**	**125**	**188**

1. 디자인 관련 사망사고가 5건 이상인 산업분야에 대해서만 가장 빈번한 사고 발생 상황 유형 세 가지를 표시했다.

디자인 관련 사고로 사망한 근로자의 절반이 조금 넘는 55%는 농업·임업·어업(28%) 또는 건설업(27%)에 고용되어 있었다. 추가로 19%는 제조업, 11%는 운송·우편·창고업, 4%는 광업에 고용되어 있었다.

농업·임업·어업(Agriculture, forestry & fishing)

농업·임업·어업에서 가장 빈번한 디자인 관련 사고 발생 상황 유형은 '전복방지구조물·안전벨트 부재'로, 사망자 25명이 발생했다. 이 사고의 대부분은 트랙터 또는 사륜형 ATV와 관련되어 있었다. '방호장치 미흡' 역시 빈번한 사고 발생 상황으로, 사망자는 13명이었다.

건설업(Construction)

건설업에서 가장 빈번한 디자인 관련 사고 발생 상황 유형은 '누전차단기 부재'였다. 이 유형에서는 사망자 12명이 발생했으며, 대부분 전기기술자와 관련된 사고였다. '부적절한 보호조치(Inadequate protection)'로 분류된 사망자 8명 가운데 5명은 고소작업대에서 압착되어 사망했다. '운전자의 시야 장애'로 분류된 사망자는 7명이었다.

제조업(Manufacturing)

제조업에서 가장 빈번한 디자인 관련 사고 발생 상황 유형은 기계와 관련된 것이었다. '방호장치 미흡'으로 분류된 사망자는 12명, '인터록 부재'는 7명, '설비의 오작동·고장'은 5명이었다.

운송·우편·창고업(Transport, postal & warehousing)

운송·우편·창고업에서 가장 빈번한 단일 사고 발생 상황 유형은 '차량의 의도치 않은 이동·주차브레이크'로, 사망자는 6명이었다. 그다음으로 빈번한 유형은 '운전자의 시야 장애'였으며, 이 유형으로 분류된 사고는 5건이었다.

편집자 주: 원문 24쪽에는 '부적절한 보호조치(Inadequate protection)'라고 되어 있으나 표 13의 해당 분류명은 '방호장치 미흡(Inadequate guarding)'이다. 또한 운송·우편·창고업의 시야 장애를 본문에서는 5건으로, 표 13에서는 사망자 4명으로 표기했다. 원문의 불일치를 임의로 수정하지 않고 각각 그대로 번역했다.

6. 안전한 작업체계(Safe work systems)

이 보고서는 주로 특정 유형의 기계·설비·공구와 관련된 사망사고에서 디자인이 영향을 미친 측면에 초점을 맞추고 있다. 그러나 거의 모든 사고에서 작업장이 더 나은 작업체계를 갖추고 이를 철저히 준수했다면 사망을 피할 수 있었을 것이다.

안전한 작업체계를 갖추려면 수행할 작업과 확인된 잠재적 위험요인을 체계적으로 검토한 결과를 바탕으로 명확하게 문서화된 작업절차가 필요하다. 이러한 과정에 관한 자세한 설명은 「작업장에서 설비 위험 관리에 관한 실무지침(Managing the risks of plant in the workplace: Code of practice)」(SWA, 2012)에서 확인할 수 있다.

이 보고서에 제시된 사망사고에 관한 간략한 설명 가운데 상당수는 작업체계의 문제를 언급하고 있다. 전체적으로 가장 빈번하게 나타난 작업체계의 문제는 부적절한 교통관리, 미흡한 위험요인 파악, 명확하게 문서화된 안전작업절차의 부재, 불충분한 교육훈련, 효과적인 개인보호구 미착용 등이었다.

아래 세 건의 사고는 이러한 작업체계의 문제를 잘 보여준다.

사고사례 1. 후진하는 트럭과 트레일러에 치인 사고

한 작업자가 후진하던 트럭에 연결된 트레일러에 치였다. 작업자는 사고 직전 트럭 뒤쪽에서 다른 트럭의 운전자와 이야기를 나누고 있었다. 사고를 일으킨 트럭의 운전자는 후진을 시작할 때 사망자를 보지 못했다.

검시관 보고서에 따르면 사고 이후 해당 기업은 모든 트레일러에 후진등과 후진 경고음 장치를 설치하고, 유도자 없이 야적장에서 트럭을 후진시키지 못하도록 하는 규정을 재강조했으며, 모든 트럭을 지정된 차량 관리 담당자가 주차하도록 했다. 또한 운전자의 피로 문제를 관리하기 위해 운전시간을 매일 확인하는 절차를 도입했다.

사고사례 2. 저상 트레일러에서 굴착기를 내리던 중 전복된 사고

한 작업자가 저상 트레일러에서 굴착기를 내리던 중 굴착기가 전복되어 운전실 안에서 압착 사망했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 굴착기의 무한궤도는 트레일러 적재함의 폭보다 30cm 더 넓었다. 또한 트레일러의 적재함은 강철로 되어 있었고 굴착기의 무한궤도 역시 강철로 되어 있었다.

「적재물 고정 가이드(Load Restraint Guide)」에서는 무한궤도가 적재함 바깥쪽으로 15cm를 초과하여 돌출되어서는 안 된다고 권고하고 있다. 또한 강철과 강철이 직접 접촉하면 마찰력이 감소하여 미끄러짐이 발생할 상당한 위험이 있다고 설명한다.

해당 기업에서는 이전에도 이와 매우 유사한 사고가 발생한 적이 있었다. 당시에도 위험성이나 위험요인에 대한 평가가 이루어지지 않았으며, 교육훈련이나 작업지침 자료도 제공되지 않았다.

이전에 발부된 작업금지명령(Prohibition Notices)은 해당 기업이 작업체계를 개선하고, 고무매트와 적재함 폭을 확장할 수 있는 트레일러를 도입하겠다고 약속한 이후 철회되었다. 그러나 이러한 개선조치는 어느 것도 실제로 시행되지 않았다.

사고사례 3. 청소 중 산업용 혼합기가 갑자기 작동한 사고

한 작업자가 산업용 혼합기를 청소하던 중 기계가 예상치 못하게 작동하여 사망했다. 기소 관련 요약보고서에 따르면 해당 기업은 혼합기 청소 과정에서 따라야 할 작업절차에 대해 근로자들에게 체계적이고 일관된 교육훈련을 제공하지 않았다. 예를 들어 설비의 에너지 차단, 표지 부착 및 잠금조치(Isolation, Tagging and Lockout) 등에 관한 교육이 부족했다.

실제로 제공된 교육훈련은 동료 근로자가 현장에서 작업방법을 알려주는 방식이었다. 그런데 교육을 담당한 동료 근로자들 역시 다른 동료 근로자들에게 같은 방식으로 교육받은 사람들이었다. 그 결과 근로자들은 관련 작업절차를 서로 다르게 이해하게 되었다.

7. 결론(Conclusions)

확보된 정보가 제한적이고 평가 과정에 주관적인 판단이 포함되어 있기 때문에 불안전한 디자인에 기인한 사망사고의 정확한 수치에는 어느 정도 불확실성이 존재한다. 그러나 2006~2011년 동안 이 연구의 범위에 포함된 업무상 사망사고 가운데 약 36%는 기계·설비·동력공구의 불안전한 디자인에 명확하게 기인했거나 기인했을 가능성이 있는 것으로 나타났다.

가장 넓은 관점에서 보면 이번 연구에서도 2005년에 수행된 선행연구(ASCC, 2005)와 동일한 결론을 도출할 수 있다. 불안전한 디자인은 여러 산업분야에서 발생하는 사망사고에 상당한 영향을 미친다. 사망사고가 발생한 상황에는 공통점이 많다. 확인된 대표적인 디자인 관련 문제의 대부분에는 이미 이용 가능한 해결책이 존재한다.

가장 두드러진 디자인 관련 사고 발생 상황은 기계의 방호장치 미흡이었다. 다만 이 사고들은 매우 다양한 종류의 기계에서 발생했으며 기계의 종류에 따라 필요한 방호장치도 상당히 달랐다.

트랙터와 사륜형 ATV의 전복은 모두 잘 알려진 문제이며 상당한 관심을 받아왔다. 감전사고를 예방할 수 있는 누전차단기의 효과는 많은 상황에서 누전차단기의 사용이 의무화되어 있다는 사실에서도 확인할 수 있다. 유지보수 등을 위해 위험한 기계에 접근하는 행위는 고장이 발생해도 안전을 유지하는 페일세이프 인터록 시스템을 통해 제한해야 한다는 원칙 역시 잘 알려져 있다.

이동식 설비와 기타 차량이 후진할 때 운전자의 시야가 제한되는 문제도 널리 알려져 있다. 후방카메라는 이미 여러 해 동안 이용할 수 있었던 기술이며, 상용차에 사후 설치하는 것도 비교적 쉽다.

상대적으로 잘 알려지지 않은 문제는 고소작업대 사용자가 지붕이나 보와 같은 구조물에 압착되어 사망하는 사고의 규모이다. 2006~2011년 동안 이러한 사고로 7명이 사망했다. 일부 제조업체는 이 위험에 대응하여 끼임 방지장치를 갖춘 보호 구조의 작업대를 개발하고 있다. 예를 들어 작업대 바스켓에 프레임을 설치하여 내부에 '안전구역'을 확보하거나, 작업자가 센서 바 또는 패드에 밀려 접촉하면 바스켓의 움직임을 정지시키는 방식이다.

이번 연구에서 확인된 사망사고의 유형은 이전 연구(SWA, 2005)에서 확인된 유형과 대체로 유사했지만, 발생 빈도에 따른 순서는 조금 달라졌다. 2000~2001년과 2001~2002년을 대상으로 한 연구에서는 전복방지장치 부재가 가장 빈번한 유형이었으며, 그다음은 방호장치 문제와 누전차단기 부재였다. 그러나 이전 연구에서는 고소작업대와 관련된 압착사고가 확인되지 않았다.

2000~2001년과 2001~2002년을 대상으로 한 연구는 사고 기인물에 따라 조사 대상을 제한하지 않았다. 그럼에도 이번 연구에서 사용한 조사 범위를 벗어나는 디자인 관련 사고는 매우 적게 확인되었다.

이 보고서에서 살펴본 사고 가운데 상당수는 오래된 기계와 설비와 관련되어 있었다. 이러한 기계와 설비 중 일부는 앞으로도 여러 해 동안 계속 사용될 가능성이 있다. 이는 이미 알려진 문제이며, 호주의 각 관할지역 산업안전보건 당국이 작업장안전당국장협의체(Heads of Workplace Safety Authorities)의 관리 아래 일부 제조업 집단을 대상으로 시행한 개선 캠페인에서도 다루어졌다.

안전감독관들은 약 4,500대의 고정식 동력기계 가운데 1,070대가 넘는 개별 기계를 점검했다. 점검한 기계 가운데 334대(31%)는 사업장에서 잠재적 위험요인을 적절하게 통제하지 못하고 있는 것으로 확인되었다(HWSA, 2009).

이번 연구에서 사망사고를 분석 대상으로 삼은 이유는 일반적으로 이용 가능한 정보원을 통해 디자인 문제가 사고에 관여했는지 판단할 수 있기 때문이다. 그러나 이번 연구에서 확인된 사고 유형은 사망사고보다 훨씬 더 많은 부상을 초래할 가능성이 높다.

안타깝게도 사망에 이르지 않은 사고에 관한 정보가 부족하기 때문에, 특히 근로자 산재보상 자료에서 이용할 수 있는 정보가 제한적이어서 이러한 사고를 연구에 포함하는 것은 현실적으로 어려웠다. 작업장 부상에 관한 주요 정보원인 근로자 산재보상 청구자료에 포함된 사고 경위 설명은 일반적으로 디자인 관련 문제가 사고에 관여했는지 판단하기에 충분하지 않다. Safe Work Australia는 현재 업무상 부상과 사망사고에 관한 기소 사례에서 공개된 정보를 더욱 폭넓게 활용하는 방안을 검토하고 있다.

그럼에도 이 보고서와 선행연구들은 작업장 관리자가 부적절한 디자인으로 인해 발생하는 작업장 위험요인을 파악하고, 근로자를 보호하기 위해 더욱 세심하게 주의를 기울여야 한다는 사실을 보여준다. 또한 이 보고서의 첫머리에 소개한 사고사례에서 확인할 수 있듯이, 방호장치나 인터록 장치를 추가하거나 개선하는 데 필요한 비용은 근로자가 심각한 부상을 입거나 사망했을 때 발생하는 참혹한 결과에 비하면 매우 적을 수 있다.

새로운 기계와 설비를 디자인하고 제조하는 사람들은 이 보고서에 소개된 여러 사고에서 명백하게 부족했던 수동적 보호조치를 제품에 포함함으로써 제품 사용자의 안전을 보장할 주의의무를 이행해야 한다(SWA, 2012b).

참고문헌(References)

1. Australian Safety and Compensation Council (ASCC). (2006). Guidance on the Principles of Safe Design for Work. 「작업을 위한 안전디자인 원칙 가이드」. 캔버라.
2. Australian Trucking Association (ATA). (2013년 11월 22일). Don't Park Your Trailers on Air. 「트레일러를 공기압만으로 주차 상태에 두지 마라」. 보도자료, 캔버라.
3. Heads of Workplace Safety Authorities (HWSA). (2009). Guarding of Machinery in Manufacturing: Final Report. 「제조업 기계의 방호장치: 최종보고서」.
4. Health and Safety Executive (HSE). (2013). Mobile Elevated Work Platform (MEWP) Incident Analysis. 「이동식 고소작업대 사고 분석」. 연구보고서 961호, 영국.
5. National Occupation Health & Safety Commission (NOHSC). (2000년 9월). Work-related Fatalities Associated with Design Issues Involving Machinery and Fixed Plant in Australia, 1989 to 1992. 「호주에서 기계 및 고정식 설비의 디자인 문제와 관련된 업무상 사망사고, 1989~1992년」. 캔버라.
6. National Occupation Health & Safety Commission. (2004년 7월). The Role of Design Issues in Work-related Injuries in Australia 1997–2002. 「호주의 업무상 부상에서 디자인 문제가 미친 영향, 1997~2002년」. 캔버라.
7. Office of the Australian Safety and Compensation Council (ASCC). (2005). Design Issues in Work-related Serious Injuries. 「업무상 중상해와 관련된 디자인 문제」. 고용노동관계부(Department of Employment and Workplace Relations), 캔버라.
8. Safe Work Australia (SWA). (2011년 5월, 2011a). Fatalities Due to Working with Tractors, Australia 2003–04 to 2006–07. 「트랙터 작업으로 인한 사망사고: 호주, 2003~2004년부터 2006~2007년까지」.
9. Safe Work Australia. (2011년 12월, 2011b). Managing the Risk of Falls at Workplaces: Code of Practice. 「작업장 추락위험 관리: 실무지침」.
10. Safe Work Australia. (2012년 7월, 2012a). Managing Electrical Risks in the Workplace: Code of Practice. 「작업장 전기적 위험 관리: 실무지침」.
11. Safe Work Australia. (2012년 7월, 2012b). Managing the Risks of Plant in the Workplace: Code of Practice. 「작업장 설비 위험 관리: 실무지침」.
12. Safe Work Australia. (2013년 10월). Work-related Injuries and Fatalities Involving a Fall from Height, Australia. 「고소작업 중 추락과 관련된 업무상 부상 및 사망사고: 호주」.

자료에 관한 추가 문의

이 간행물의 데이터에 관한 추가 정보가 필요한 경우 다음 기관으로 문의하기 바란다.

Safe Work Australia
Loc C220NB2
GPO Box 641
Canberra ACT 2601
전화: 1300 551 832
웹사이트: www.swa.gov.au
페이스북: www.facebook.com/SafeWorkAus
이메일: info@swa.gov.au

번역 자료 안내: Safe Work Australia, 2014. 원 보고서는 표지 이미지와 로고를 제외하고 CC BY 3.0 Australia 라이선스를 적용한다. 한국어 번역은 원문의 전문적 이해를 돕기 위한 비공식 번역본으로, 법적 효력이나 공식 번역 지위를 갖지 않는다.