

사업장의 기계재해 위험성평가에 관한 연구

한우섭 (한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원)

A study on quantitative risk assessment
of mechanical accidents

Han, Ou-Sup

Abstract

Recently the occurrence ratio of mechanical accidents in industrial disaster of Korea is increased, but very little accident information has been given regarding the prevention of mechanical accidents. In this study, mechanical accidents by the analysis of industrial accident case was examined. And it was proposed the risk assessment method and building database for investigation of risk factors in mechanical accident. As a result, from mechanical accidents database, it was found that the occurrence ratio of mechanical accident by constriction and falling etc. is very high and death ratio by mechanical accident is larger than that of usual accident. And we applied the quantitative risk assessment method proposed by this study in the mechanical accident analysis of a domestic manufacturer. From the results, the risk factors due to constriction, curling, falling and scattering are principal causes of mechanical accidents. These result is similar to that of the analysis of mechanical accidents for recent 12 years in Korea.

[Keywords Mechanical accidents, Risk assessment, Safety management]

I. 서론

일반적으로 사업장의 재해방지를 위한 안전 활동이 그 효과가 나타나기 위해서는 장기간의 시간이 소요되며 여기에는 비용과 인력이 필요하게 되는데 이러한 투자 요소가 경영자에게 있어서 이익 감소로 여기는 경우가 많다. 이러한 이유로 인하여 재해발생 전의 노력보다도 재해 발생 후의 사고 처리나 기업의 사회적 신용회복에 주력하는 경우가 많으며 재해 발생 전의 사업장의 리스크 관리에 대해서는 상대적으로 관심이 부족한 경향이 있다. 재해 발생 후의 재해방지 대책은 사업장의 잠재 위험유해요인을 사전에 찾아내어 재해원인을 줄일 수가 없으며 재해방지대책의 우선순위를 결정하기 힘들기 때문에 효율적이며 경제적인 안전관리활동을 기대하기가 어렵다. 또한 재해 발생 원인의 증가는 이익 추구원칙을 최우선으로 하는 기업에게 있어서 손실 증가를 의미하게 된다. 그러나 위험성평가의 도입은 재해 전의 경제적 측면을 고려한 위험유해요인 제거를 가능하게 해 주어, 궁극적으로 기업의 경비 절감으로 이어질 가능성이 높아진다.

최근의 ISO, IEC, BS, EN, DIN 등의 국제적 안전규격은 국제 무역에 있어서 필수 사항이 되어 가고 있으며, 대부분의 기업에게 있어서 피해 갈 수 없는 중요한 필수요건이 되어가고 있다. 따라서 해외 판매 제품이 이러한 규격 등에 충족되지 않는 경우 생산 기업에게 있어서는, 마케팅만이 아니고 제품 판매 후의 PL소송에서도 매우 불리한 상황이 될 수 있다. 여기서 주목해야 할 점은, 상기의 국제 안전규격이 정량적 위험성평가를 기본 베이스로 하고

있다는 점이다. 국내의 안전정책의 현실이 기업부담을 줄여 경제 활성화를 이루려는 목적으로 규제 완화의 움직임이 증가하고 있지만, 국제적인 안전 규격이나 동향을 보면 안전 수준은 점점 강화되고 있다는 점에도 유의할 필요가 있다. 제도적인 규제완화는 기업 스스로 안전에 대한 인식과 안전에 대한 고정투자가 확립된 사회나 기업에 효과적으로 적용될 수 있기 때문에, 안전에 대한 기업의 자발적 의식이 성숙된 환경이 전제조건이 되고 있다. 이와 같이 안전을 둘러싼 세계적 동향을 살펴보면, 정량적 위험성평가는 안전의 구축을 위한 필수적 요소일 뿐만 아니라, 기업의 마케팅 홍보와 PL소송 대비를 위한 전략적 투자 가치로서의 인식 전환이 요구된다. 지금까지의 수많은 재해 사례를 통하여 일단 사고가 발생한 후에 지불하는 그 어떠한 노력일지라도 기업의 상태를 원점에 가깝게 돌리기에는 막대한 경비, 노력, 시간이 필요하다는 교훈을 제시해 주고 있다. 기업이 직면하고 있는 산업재해와 사업장 안전에 대비하기 위한 하나의 방법론으로서, 사업장의 정량적 위험성평가법의 도입이 하나의 중요한 해결책이 되고 있다.

본 연구에서는 최근 국내 제조업에서 많이 발생하고 있는 협착, 끼임, 말림 등과 같은 기계적 재해를 방지하기 위한 기계재해의 정량적 위험성 평가 법을 제시하고 이를 실제로 사업장에 적용한 사례를 통하여 그 효용성을 검토하였다.

II. 국내 기계재해의 경향 및 분석

한국산업안전보건공단에서 제공하는 산업재해 중에서 국내 기계재해 관련 자료를 정리하여 DB화하였다. 이러한 기계재해DB로부터, 1991년에서 2003년까지의 최근 12년간에 있어서 국내 기계재해 발생건수를 연도별로 조사한 것이 Fig.1이다. 1995년도에는 기계재해발생 건수가 급증하였고 2000년도를 기점으로 감소 추세를 보였지만, 2003년도부터 다시 급속히 증가하고 있다. 과거 12년간의 전체적인 기계재해발생 건수를 보면, 감소 경향은 나타나지 않고 있다. 기계재해의 발생 건수에 대한 사망자의 추이를 살펴 본 것이 Fig.2인데, 발생건수와 사망자가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 기계재해가 발생하게 되면 사망자가 최소한 1인 이상이 발생하는 것을 의미하고 있는 것으로, 사망자의 발생이라는 관점에서 본다면 다른 재해형태에 비해 기계재해의 위험성이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 기계재해의 원인이 되는 재해 유형별 경향을 살펴보면, Fig.3에서와 같이, 협착에 의한 재해가 전체 재해의 54.0%로 가장 많았으며, 추락, 낙하, 비래, 충돌 순으로 높게 나타났다. 이 중에서 질식, 폭발, 화재 등에 의한 재해 원인은, 기계 작업 중 탱크 내 작업 중 질식, 기계 내부의 가연성가스 또는 스팀에 의한 폭발 및 기계 파열 등에 수반하여 발생한 재해의 예이다. 그 밖에도, 기계재해의 계절 별 발생 건수를 분석해 보면, 겨울철에 가장 많이 발생하였고, 봄, 여름, 가을은 비슷한 비율을 보이고 있다. 또한, 기계재해에 있어서 사망자와 상해자의 추이를 조사한 결과에 의하면, 상해자에 비해 사망자가 월등히 많아, 화학재해와 달리 사고 건당 상해자 수에 비해 사망자 수가 많은 것이 기계재해의 큰 특징으로 나타났다.

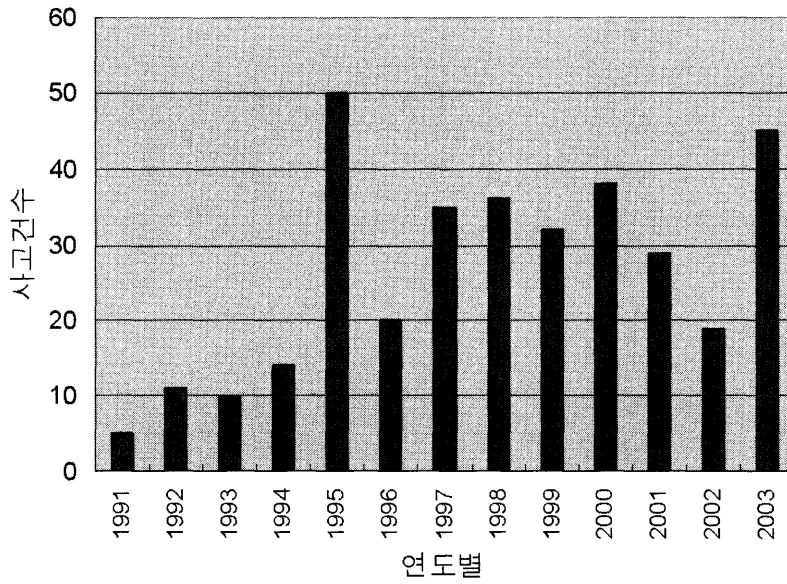


Fig.1 연도별 기계재해 발생 건수

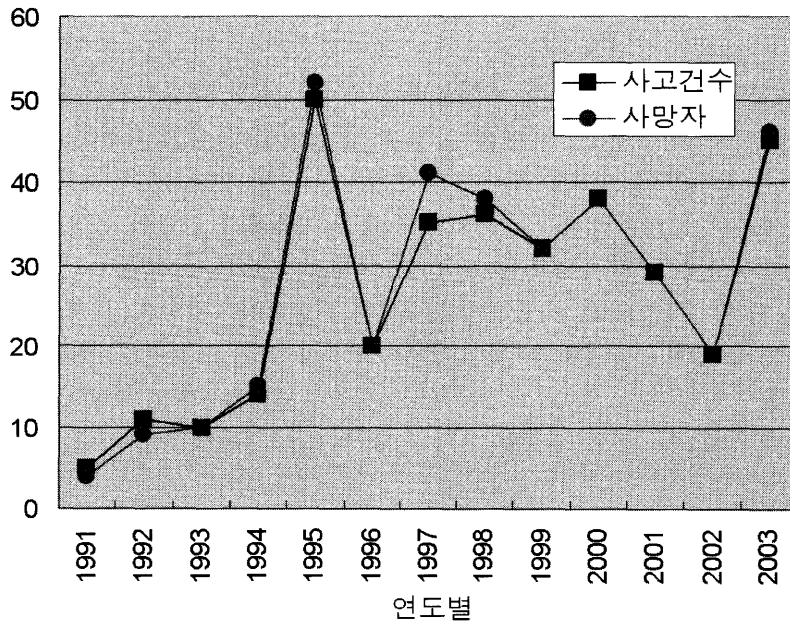


Fig. 2 기계재해의 발생건수와 사망자의 추이

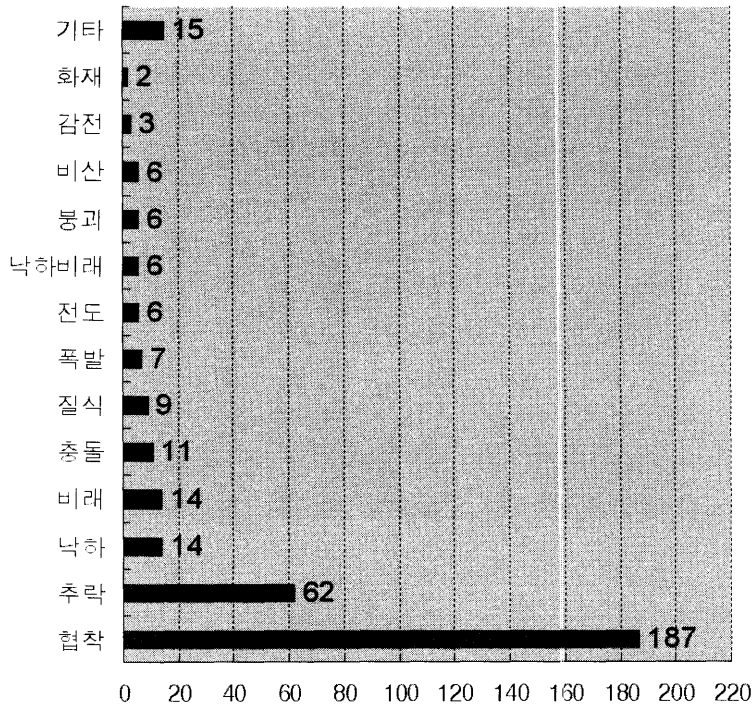


Fig. 3 기계재해의 재해 유형별 경향

대부분의 제조업에서는, 작업자와 기계설비의 관계로 인한 재해가 많이 발생하고 있는데 이러한 사업장의 특징으로서는 기계와 작업자 간의 접점이 많기 때문에 재해가 발생하기 쉽고, 기계 작동 트러블이 생겨도 생산선 우선과 재가동이 번거롭다는 이유로 기계를 정지시키는 일이 어려우며, 방호장치가 갖추어지지 않아 기계에의 접근이 비교적 간단히 이루어지고, 인터록의 작동을 쉽게 무효화할 수 있는 구조로 되어 있는 경우가 많다. 국내 기계재해분석 결과에서 알 수 있듯이, 제조업에 있어서의 사고 주요 원인은, 협착, 끼임, 말림의 재해 유형이 가장 많으며, 전도, 추락, 비래, 절단, 찰과상 등의 작업자의 의식 및 행동에 의한 재해도 많이 발생하고 있다. 이와 같은 경향은 제조업 분야의 작업 특성 상 기계와 작업자의 접촉점의 빈도가 많은 점과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

III. 기계재해 위험성평가

1. 평가 방법

기계재해 위험성을 평가하는데 있어서, 본 연구에서 사용한 각 위험원에 대한 위험성(Risk)

의 결정 기준을 Fig.4에 나타냈다. 기계재해의 정량적 위험성평가에서 상해 및 건강장해의 평가 기준은 휴업일수로, 그리고 상해발생확률(Exposure)의 세부 평가 항목은 상해발생과 위험접근빈도로서 표현하였다. 상해가능성<표 1>은 위험사상의 발생확률 및 위험의 회피가능성을 표현하며, 상해크기<표 2>는 일정한 위험원에 대해 가장 큰 상해를 상정하여 평가하는 것이 필요하다. 위험 근접 빈도는 <표 3>에 나타나듯이 위험의 폭로시간 또는 위험원과의 접촉 회수를 고려하여 평가한다. 기계재해의 위험성 레벨의 평가는, 상해 가능성, 상해강도, 그리고 위험 근접 빈도의 합으로 표현하는데, <표 4>에서와 같이 각 합계 점수에 따라 4단계의 위험레벨을 설정하였다. 위험성 레벨의 결정은 관리자, 안전담당자, 현장 작업자에 따라 동일 위험원에 대하여 기준이 다르게 나올 수가 있다. 평가가 직책의 차이에 따라 한 쪽으로 치우친 의견이나 의견의 목살 등이 나오는 경우 정확한 평가가 어렵기 때문에 평가의 차이에 대해 자유스러운 의견 교환 등을 통하여 결론을 이끌어내는 것이 효과적인 안전대책으로 이어질 가능성이 높다. 본 연구에서는 평가치 결정의 타당성을 위해 관리자, 안전담당자, 현장 작업자의 의견을 평균치로 하여 결정하였다.

$$\text{위험성(Risk)} = F(\text{Hazard, Exposure})$$

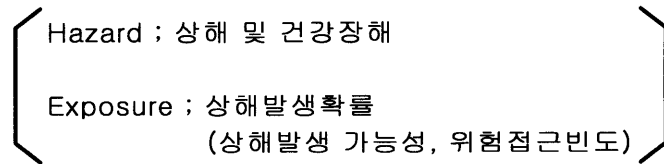


Fig. 4 본 연구에서 사용한 기계재해 위험성의 정의
 <표 1> 상해발생 가능성의 평가기준

<표 2> 상해강도의 평가기준

상해 정도	평가 점수	판단 기준 예
치명상	10	사망, 영구노동불능, 3명 이상 상해, 2개월 이상의 휴업재해
중상	6	2개월 미만의 장기 요양이 필요한 재해, 장애가 남는 재해
경상	3	완치 가능한 재해, 휴업재해를 제외한 재해
미상	1	정도가 경미하여 계속치료가 필요 없고, 치료 후 골장 직장 복귀 가능

재해 발생	발생확률 (%)	평가 점수	구분	판단 기준 예
확실히 일어난다	90 이상	6	설비 면	안전대책이 없음. 안전표식이 있어도 인식 불량인 상태. 기계 동작부 또는 구동부와의 접촉 가능성이 높음.
			관리 면	안전규칙, 작업표준이 없음. 안전규칙을 지켜도 고도의 주의력이 없으면 재대로 이어질 가능성이 높은 작업환경.
가능성이 높다	50 이상 ~ 90 미만	4	설비 면	방호망, 방호커버, 기타 안전장치가 없거나 기능 상 불량. 안전표식이나 비상정지장치는 설치되어 있음.
			관리 면	안전규칙, 작업표준이 있지만 지키기 어렵다. 주의력을 높이지 않으면 상해를 입을 수 있음.
가능성이 있다	10 이상 ~ 50 미만	2	설비 면	방호망, 방호커버, 안전장치는 있지만 기능 상 문제가 있기 때문에, 위험 영역에의 침입, 위험원과의 접촉 가능성이 있다.
			관리 면	안전규칙, 작업표식은 있지만, 일부 지키기 어려운 것이 있음. 작업 시 주의가 산만해지는 경우 상해를 입을 수 있음.
가능성이 낮다	10 미만	1	설비 면	방호망, 방호커버 및 기타 안전장치가 설치되어 있어, 위험영역 내에 들어가기 어려운 상태.
			관리 면	안전규칙, 작업표식 등이 경비되어 있어 지키기 쉽게 되어 있음. 특별한 주의 하지 않아도 상해를 입는 일이 거의 없음.

<표 3> 위험원예의 접근가능성 평가기준

접근 빈도	평가 점수	구분	판단 기준 예
많다 (1회 이상 / 일)	4	빈도	자주 드나 들거나 접근하는 경우.
		형태	갑자기 예측하지 못한 때에 무방비 상태로 드나 들거나 접근하는 예.
가끔 (1회 / 주)	2	빈도	트러블, 수리, 조정 때문에 드나 들거나 접근하는 경우.
		형태	일정 규칙에 따라 이를 준수하면서 출입하거나 접근하게 되어 있다.
거의 없다 (1회 / 월)	1	빈도	위험영역에 출입하거나 접근할 필요가 거의 없다.
		형태	사전에 출입, 접근을 알 수 있으므로, 면밀하게 준비하여 실행한다.

2. 평가 대상 및 적용 범위

기계재해 위험성평가를 위하여 전력케이블을 제조, 생산하는 국내 A제조업체를 대상으로 실시하였다. A업체는 제품 종류 별로 연속화 된 독립 생산라인을 갖추고 있는데, 주된 공정으로는 용압, 신선, 연선, 절연, 연합, 외장, 권취기에 의한 포장 등이 있다. 또한 각 공정 간의 이송되는 케이블의 중간 제품의 이송에는 지게차를 사용하여 이루어지고 있으며, 각 공장은 국제품질 기준(TPM, ISO9000, 14000)을 도입하여 생산 활동을 운영하고 있다. 평가 대상 사업장은 안전, 환경 업무를 지원팀 및 환경안전파트에서 전임 담당자가 맡아 안전 활동

<표 4> 위험성 레벨 평가기준

평가점수 합계	위험성 레벨	평가 내역	대책 방법
1~8	I	허용 가능	1. 잔존 위험성이 매우 작다. 2. 주의 표시와 안전교육 등의 방법으로 위험 관리가 가능하다.
9~11	II	문제가 다소 있음	1. 비용, 기술을 고려하여 계획적으로 개선한다. 2. 개선에 시간이 필요한 경우, 우선 표시, 매뉴얼, 교육을 통해 작업자에게 주의, 경고를 전달한다.
12~14	III	중대한 문제 가 있음	1. 방치하면 재해로 이어질 가능성이 있어 개선책을 반드시 강구한다. 2. 현재의 기술 또는 제반 여건 상 개선이 힘든 경우, 위험 설비 및 위험작업으로서 등록하고 특별 안전관리를 실시한다.
15~20	IV	허용 불가능	1. 사용 및 작업을 즉시 중지하고 개선이 필요하다. 2. 최 우선순위의 안전 대책이 필요하다.

을 하고 있으며 KOSHA의 공정안전관리(PSM)제도를 도입하여 실시하였던 경험은 있지만 제반 여건 상 지속적인 실시는 못하고 있는 상황이며, 월 1회 실시되고 있는 사업장 내 안전, 환경 점검은 외부 기관에 위탁하여 실시되고 있다. 사업장의 현장 근로자의 수는 야간작업을 포함하여 약 160명으로, 3개의 근무 조를 편성하여 24시간, 주 6일 연속 작업을 실시하고 있으며 이러한 작업 특성으로 인해 재해는 심아에도 발생 가능하다는 특징이 있다.

IV. 결과 및 고찰

1. 기계재해 위험요인

A사업장 내의 기계재해 위험 원을 특정화하는데 있어서, (1) 작업환경(기계설비, 소음, 유해가스, 분진, 악취, 조도), (2) 안전방호(안전울, 인터록 안전가드, 비상정지), (3)표시, 표식, 작업통로 등을 중심으로 조사하였다. 각각의 위험원에 대한 정량적 위험성평가를 실시한 결과, 사업장 내 잠재하는 위험원으로 68가지 위험유해요인이 특정화되었다. 이 중에서 쉬스압출기 회전체의 골절재해, 테핑 작업시의 협착, 끼임, 납용접 시의 연기에 의한 중독 등의 위험원이 위험레벨 4로서 가장 높게 나타나고 있어, 이에 대한 대책이 시급 요구된다. 그 밖에도, 중점관리가 필요하다고 판단되는 주요 위험원을 정리하면 <표 5>와 같다. 위험레벨2에서 3까지의 위험원은 모두 28종류의 잠재 위험원이 존재하고 있어 이를 방치하면 중대한 재해로 이어질 위험성이 있다. 그러므로 비용, 기술을 고려하여 계획적으로 개선해 나가야 하지만, 작업 및 안전 환경 개선에 시간이 필요한 경우에는 작업자에게 위험원 존재에 대하여

주의 또는 경고를 함과 동시에 표식을 정비하고 안전교육과 작업매뉴얼을 통하여 위험원 관리에 보다 유의할 필요가 있다.

<표 5> 주요 위험원에 따른 예상되는 재해형태

예상 재해 형태	위험원 상세
협착 및 말림	- 바 불량 적재 시의 손가락 끼임 - 포장지 라인에서의 작업 시 - 선재 규격별의 연선작업 시의 회전체에 의한 신체일부 또는 의복
골절	- 쉬스, 절연작업 기계설비의 회전체 - 신선 작업 후 일반 연선 콤팩트 롤러작업 시의 회전체
추락 또는 낙하	- PVC호파 교체를 위한 고소 작업 시 - 전기동 운반에 있어서 크레인 운반 시
비산	- 연합기의 테핑기 회전에 의한 볼트 - 신선기에서의 신선 작업 중 단선에 의한 파편

2. A사업장의 기계재해 경향분석

1987년도부터 2001년까지 A사업장에서 발생한 총 88건의 기계재해에 대해서, 연도별에 따른 기계재해 발생건수를 조사, 분석한 결과를 <그림 5>에 나타냈다. 1998년 이후의 재해 발생 건수는 다소 증가 경향을 보이고는 있는데, 이는 외환위기 이후의 안전규제 완화에 따른 영향도 있을 것으로 추정된다. 이러한 재해발생 건수의 증가 경향은 재해 조사데이터의 정확성을 명확하게 판단을 내리기는 어려우나, 당해 사업장의 기계재해는 발생 건수 경향은 1995년을 제외하더라도 거의 매년 꾸준히 발생하는 경향인 것에 더 문제점이 있는 것으로 판단된다. 이것은 재해로까지 이어질 수 있는 높은 수준의 위험요인이 사업장 내에 잠재되어 있는 것을 의미하며, 이러한 위험요인이 재해로 이어질 가능성이 있다. <그림 6>은 전체 기계재해를 재해종류별로 재분류한 것이다. A사업장의 재해발생 건수가 전체 재해배율 중에서 가장 높게 나타나는 경향이 있는데, 이러한 경향은 국내 기계재해 유형별 분류<그림 3>에 따른 경향도 유사한 결과를 보이고 있다. 특히 협착향도말림의 재해형태는 중대재해로 이어질 가능성이 높기 때문에 재해발생빈도 및 피해 저감을 위해서도 이에 대한 안전대책이 시급히 요구된다. 기계재해에 의한 상해별 발생 건수는 <그림 7>에 나타냈는데, 골절, 파열, 열창, 절단, 요통의 순으로 상해 빈도가 높게 나타나고 있다. 이러한 상해별 발생건수는 재

해 종류에 따른 부상 형태와도 밀접한 관계에 있는 결과로서 큰 재해 강도로 나타날 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

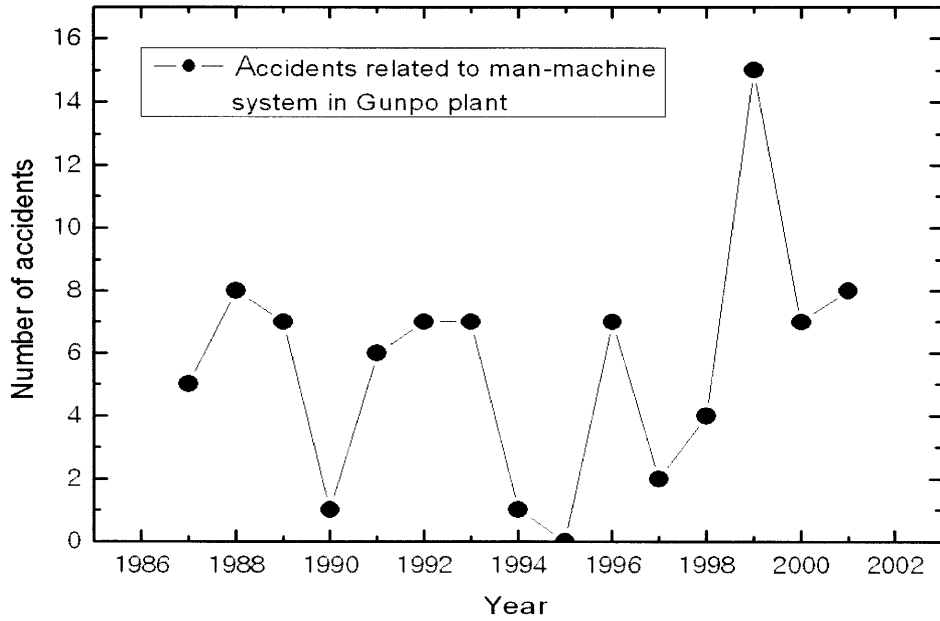


Fig. 5 A사업장의 기계재해 발생 경향

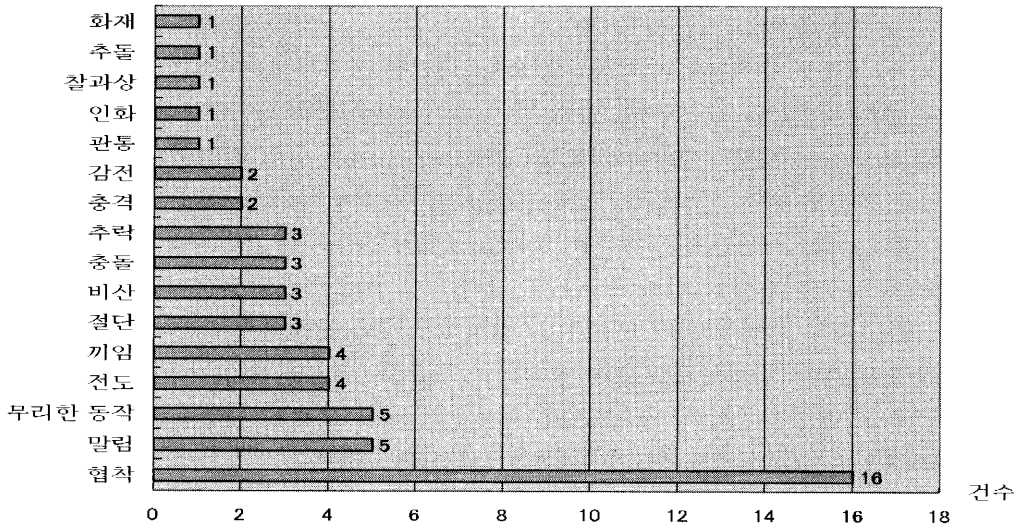


Fig. 6 A사업장의 재해종류별 발생건수

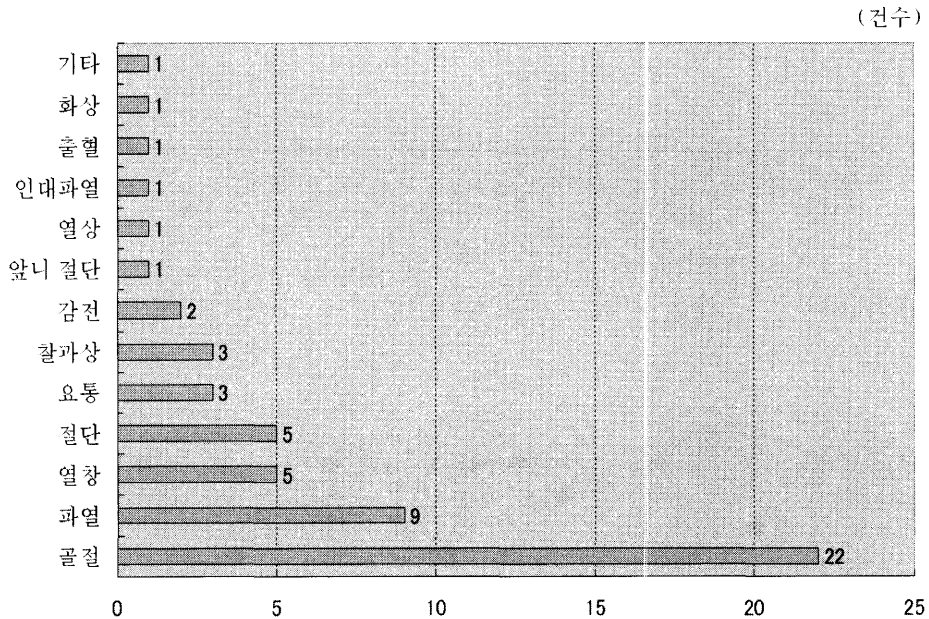


Fig. 7 A사업장의 상해별 재해 발생건수

3. 기계재해 방지 대책

A사업장에 있어서 기계재해 종류로서는, 협착, 끼임, 말림, 무리한 동작, 전도 등의 재해가 많이 발생하고 있는데, 과거 재해 사례를 보면 동일 종류의 상해를 유발하는 유사재해가 반복되고 있다는 점에서 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 동종재해는 인적인 요소 이외에도, 사업장에 존재하는 하드웨어적 위험요인에 의한 것이 많이 작용하고 있는데, 재해 발생장소의 장치 및 시설의 위험원에 기인된 사고가 많다는 것이 이를 반증하고 있다. 또한 과거 재해 및 경향을 분석해 보면, 정해진 작업규칙을 정확히 준수하지 않았기 때문에 발생하는 경우도 적지 않다. 이는 사업장에 도 위반 행동을 용인하는 둔화가 존재하는 것이 하나의 이유가 될 수 있으며, 이를 방지하기 위해서는 관리자 및 경영자에게 있어서 행동 중심의 도 문화 하는 경우 중요 경우 인식의 변화가 는 사업장에 중소 제조업의 경우 일반적으로 외부 위탁에 의견우도 점검이 실시되는 경우가 많고 이러한 도 점검은 현장의 여러 가지 도 결함들을 지적하고 개선하는 하고는 있지만, 대부분의 개선 내용이 일반적인 내용들로 되어 있으며 잠재위험의 근본원인과 위험유해요인의 관리하는 해서는 명확하게 대안을 제시하는 경우가 부족한 편이다. 그러므로 기계재해 방지대책으로서 사업장에 존재하는 근로자의 안전과 건강을 저해시키는 유해요인을 평가하고 피해영향이 큰 순으로 대책을 강구하여 재해 방지에 효과적으로 활용 가능하도록 하는 것이 필요하다. 사업장에서 위험성평가를 손쉽게 도입하여 전사적으로 모든 근로자가 함께 참여할 수 있도록 이해하기 쉽게 하고, 이를 바탕으로 위험성의 확인과 평가를 통하여 비용을 고려한 우선적 대책과 위험요인을 체계적으로

관리 가능하도록 하는 것이 요구되며, 또한 기계재해 위험성평가법이 해당 사업장의 상황에 맞도록 스스로 지속적으로 개선하는 것이 중요하다.

V. 결론

최근 국내 산업재해에 있어서 재해발생비율이 높은 기계 재해의 저감을 위하여, 기계재해 요인에 대한 정량적 위험성 평가 법을 제시하고 이를 실제로 사업장에 적용한 사례를 통하여 기계재해의 특성과 방지대책을 고찰한 결과 이하의 결론을 얻었다.

- 1) 기계재해DB의 분석결과 재해발생 형태로서 끼임, 말림 등의 협착과 추락, 낙하 등에 의한 재해발생률이 높았다.
- 2) 기계 일부와 신체와의 직접적인 접촉으로 발생하는 재해형태(협착, 추락 등)의 경우, 발생 빈도와 사상자 발생률이 거의 일치하여 다른 재해형태에 비해 기계재해의 인적피해 위험성이 매우 높은 것으로 판단된다.
- 3) 본 연구에서 제시한 기계재해 위험성평가방법을 제조업 사업장에 적용하여 분석한 결과, 협착, 말림, 추락, 비산 등의 위험요인에 의한 재해위험성이 가장 높았으며, 이는 국내 재해분석 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다.

[참고문헌]

1. 한국산업안전보건공단 산업재해 사례집.
2. Nick W. Hurst, Risk assessment - The Human Dimensin, The Royal Socirty of Chemistry (1998).
3. ISO/IEC Guide 51, Safety aspects, Guidelines for their inclusion in standards (1999).
4. ISO14121, Safety of machinery - Principles for risk assessment (1999).
5. ISO/CD12100, Safety of machinery - Basic concepts, General principles for desig (1998).

논문접수일 : 2009년 10월 12일

심사의뢰일 : 2009년 10월 17일

심사완료일 : 2009년 12월 15일