

공장건물의 화재리스크 경감방안에 관한 연구

정의수* · 강경식**

*명지대학교 산업경영공학과 · **명지대학교 안전경영연구소

A Study on Factory Building Fire Risk Reduction Management

Eui Soo Chung* · Kyung Sik Kang**

*Department of Industrial and Management Engineering, Myoungji University

**Safety Management Laboratory, Myoungji University

Abstract

This study is carried out for the fire safety of the factory building, the fire risk reduction measure in compliance with an example approached in fire risk reduction systematically, contribute to reduce the fire risk.

The analytical fire risk process of discovering, identifying, estimating and evaluating risk and control measure as risk reduction measures are core concept, applies loss prevention with loss control techniques.

The painting process in the workplace where the fire hazard and death accident accompanies coexists. Loss prevention problem of creation prevention of dangerous atmosphere at workplace is health and human services problem of normal circumstances, must be inspected with problem of combustible gases at the time of fire explosion. Static electricity measure accomplished the risk control process thoroughly as the fire risk reduction process model with the ignition sources measure which is presented. Fire risk from within organizing will be able to classify with each field by detailedly but risk treatment process will be able to apply basically all the same concept.

Consequently about risk management example from before, this study is proposed risk management techniques that standardized rightly in the actual condition of organization with one plan, with discovery of fire risk, the feedback process in compliance with a fire risk reduction and the review which control the result is joint responsibility of engineer, technical expert and manager as part of safety management to practice with the fact must be supervised.

Keywords : Fire Risk, Risk Management, Fire Safety Inspections, Risk Servey

1. 서론

‘재난’이라 함은 국민의 생명·신체 및 재산과 국가에 피해를 주거나, 줄 수 있는 것으로 그 종류[1]에는 다음과 같이 리스크를 열거하고 있다.

- 태풍·홍수·호우·강풍·풍랑·해일·대설·가뭄
·지진·황사·적조 등 자연현상
- 화재·붕괴·폭발·교통사고·화생방사고·환경오

염사고 등 인위적 재해

- 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가 기반체계 마비와 전염병 확산 등의 피해

이 리스크는 관리의 대상으로서 예방·대비·대응 및 복구를 위한 재난관리 활동과 사람의 생명·신체 및 재산의 안전을 확보하기 위한 안전관리 활동이 요구된다.

본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문 임.

† 교신저자: 정의수, 경기도 고양시 일산서구 주엽동49 강선마을 501동 701호

M·P: 017-298-6834, E-mail: chungesoo@naver.com

2008년 6월 접수; 2008년 8월 수정본 접수; 2008년 8월 게재확정

위와 같은 다양한 리스크 가운데에서 화재는 화열의 발생원인, 사용목적, 화상의 위치, 인명과 재산상의 손실발생 여부, 소화의 필요성 등에서 사람의 의도에 반하는 현상으로 2007년도의 경우 47,760건이 발생하여 인명피해 2,184명(사망 457명, 부상 1,727명), 재산피해 2,597억6천3백만원이 발생하였다.[2] 화재사고는 자연재해와는 달리 제어(Control)와 예방(Prevention), 방호(Protection)활동에 의해 일정 수준의 발생방지와 피해축소의 기대효과가 있고 관련 안전기준에 의한 단속(Enforcement)도 가능하지만 그 활동은 완벽을 기대할 수 없으며, 화재사고는 계속하여 발생하고 있다.

본 연구에서는 화재리스크 경감대책을 사례제시를 통하여 체계적으로 접근하고, 화재리스크 경감에 기여하고자 화재리스크 분석의 개념, 리스크 메니지먼트 기

법으로서의 리스크 분석과 처리대책에 관한 이론을 고찰하고, 공장건축물의 화재통계 특성을 파악하였다. 또한 공장 건축물에서의 Fire Risk Reduction 대응사례로서 도장공정의 문제점과 대책, 이를 해결하고자하는 검토결과 사례를 제시하므로써 화재리스크 경감 모델을 제안하고자 하였다.

2. 건축물의 화재발생 특성

006년도 국내화재통계를 보면 31,778건 발생하여 1,820,246㎡가 소실되었고, 446명이 사망하고 1,734명이 부상을 입었으며, 재산피해는 150,792백만원이다.[2]

화재원인 5위까지의 발생건수, 인명피해, 재산피해는 다음 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 2006년 화재원인별 발생건수

발화원인	발생건수(건,%)		인명피해(명,%)				재산피해(백만원,%)	
	발생건수	구성비	사망	부상	계	구성비	피해액	구성비
총 계	31,778	100.00	446	1,737	2,183	100.00	150,792	100.00
전 기	9,392	29.58	43	316	359	16.47	41,794	27.72
담뱃불	3,311	10.42	17	72	89	4.08	4,707	3.12
방 화	3,413	10.74	139(77)	313(94)	452(171)*	20.73	11,629	7.71
불 티	2,416	7.60	9	114	123	5.64	9,111	6.04
가 스	535	1.68	7	118	125	5.73	1,521	1.01

* 방화화재 인명피해에서 ()안의 숫자는 방화자살임

2.1 건축물의 발화원인 분석

우리나라의 소방대상물의 발화원인은 전기시설에서의 화재가 제일 많고 그 다음이 단순실화인 담뱃불의 취급 부주의에 의한 것이다. 세 번째가 악의적이고 고의성이 있는 방화가 발화원인으로 되어 있다. 전기화재의 발화장소가 주택/아파트-공장/작업장-음식점/점포-창고시설-사업장-숙박시설-학교-시장-기타시설의 순으로 많다.

전기화재의 발화시간대는 전기사용량이 적은 새벽시간과 주간시간에는 적으나 오후 5시~오후11시까지의 발생건수가 많다. 전기화재에 의한 인명피해는 사망자 43명은 전체의 9.6%, 부상자 316명은 전체의 18.2%를 구성하고 있어 방화화재를 제외시 가장 많은 인명피해를 내고 있다. [표 2-2]와 같이 2007년 9,091건의 전기화재를 발생원인별로 보면 단락사고가 57.7%로 가장 많고 다음이 과부하 13.2%의 순이다.[3]

[표 2-2] 2007년 전기화재 원인별 발생건수

구 분	계	단 락					과부하	누전지락	접촉불량	반단선	기타
		절연열화	트래킹	압착손상	충간	미확인					
발생건수	9,091	1,778	445	464	111	2,443	1,199	510	993	136	1,012
구성비 (%)	100.0	19.6	4.9	5.1	1.2	26.9	13.2	5.6	10.9	1.5	11.3
		57.7									

발화 전기설비로는 2006년 조사대상 7,957건중 전기 배선 3,242건(40.7%), 가전기기 1,688건(21.2%), 조명기구 958건(12.0%), 배선기구 692건(8.7%), 전기장치 700건(8.8%)의 순으로 나타나고 있으며, 전압별로는 220V가 60.8%를 차지하고 있다. 전기화재의 관리적 원인으로는 노후/자연열화 4,479건(56.3%), 사용부주의 2,238건(28.1%), 기기자체 결함 797건(10.0%), 점검/검사소홀 283건(3.6%), 시공부적정 130건(1.6%)이다.

따라서 우리나라의 주요 화재는 전기화재이며 주택·아파트에서 가장 많이 발생하여 359명의 인명피해가 있었으며 재산피해도 약 418억원에 달하였다. 전기화재의 원인은 전선로의 단락이 주요원인 이었다.

2.2 건축물의 용도별 발화장소 분석

화재발생 장소별 5위까지의 순서를 보면 주택·아파트, 차량, 공장·작업장의 순으로 다발하고 있다. 주택·아파트는 2005년 12월기준 전국의 주택수 1,249,827호[4] 기준, 주택·아파트화재 발생빈도는 6.59×10^{-3} /년 이고, 차량은 2006년 12월 현재 전국의 등록 자동차수 15,895,234대[4]로 차량화재 발생빈도(차량방화 1,078건 포함)는 0.373×10^{-3} /년 이며, 공장·작업장은 2005년 12월 현재 등록공장 110,352개[4] 공장 기준 29.6×10^{-3} /년의 발생빈도를 나타내고 있어 차량의 이동성과 방화범죄를 감안시 공장·작업장에서의 발화빈도 위험이 가장 큰 것으로 나타나고 있다.

[표 2-3] 2006년 화재발생장소별 발생건수

발화장소	발생건수(건,%)		인명피해(명,%)				재산피해(백만원,%)	
	발생건수	구성비	사망	부상	계	구성비	피해액	구성비
총 계	31,778	100.00	446	1,734	2,180	100.00	150,792	100.00
주택·아파트	8,234	25.91	285	781	1,066	48.90	25,530	16.93
차 량	5,929	18.66	46	124	170	7.80	12,616	8.37
공장·작업장	3,261	10.26	13	179	192	8.80	48,272	32.01
음식점	1,960	6.17	15	126	141	6.47	7,012	4.65
접 포	1,685	5.30	12	78	90	4.12	9,343	6.20

3. 화재리스크의 관리와 기법

발화원인은 전기화재에서, 재산피해는 공장·작업장에서 상당비중을 갖고 있어 이에 대한 화재리스크 관리와 그 기법에 대해 문헌고찰과 사례로서 논하고자 한다. 화재리스크의 분석은 화재로부터의 부정적인 결과를 충분히 이해하고, 인명안전과 재산의 보호 및 화재사고에 따른 환경보호를 목적으로 하며 건축물의 설계, 시공, 준공 및 운영과 관리에 관한 화재관련 특성을 정량적, 정성적으로 파악하여 정보를 획득하므로써 확인된 리스크에 대한 예상 결과와 확률의 정량화하여 대응방안을 마련을 위한 의사결정 지원과정이다.

화재리스크 분석에 포함되어야 할 사항[5]으로는 다음의 사항이 있다.

- (1) 화재의 발생과 성장 및 소멸에 이르는 과정에 대한 이해와 위험성에 대한 인식과 확인이 필요하며
- (2) 화재 Risk의 불확실성에서 발생확률을 도출하고 화재영향을 정량화한다.
- (3) 예상되는 화재 Risk에 대해 회피(Avoidance), 감소

(Reduction), 보유(Retention) 및 전가(Transfer) 중 어떤 기법을 이용하여 대응할 것인지와 리스크 제어(control)방법은 무엇인지를 확인한다.

- (4) 리스크 제어방법이 결정되었다면 그 선택의 영향을 정량화한다.
- (5) 손실예방과 방호를 위한 수단과 방법을 선택한다.

여기에서 (2) 및 (4)를 제외하고 (1), (3), (5)의 방법을 선택할 경우에는 비정량적 분석방법으로 체크리스트에 의한분석법이라 할 수 있다. 화재리스크를 정량화하는 기법으로는 지수화(Indexing)와 행렬(Matrices)방식 등을 적용할 수 있다.

3.1 화재리스크의 관리

‘건물에는 화재가 발생할 가능성이 있다’ 또는 ‘건물에는 화재위험이 있다’는 말을 환언하면 ‘건물에는 화재리스크가 있다’고 할 수 있다. ‘화재위험’이라 함은 잠재된 원인에 의해 화재가 아직 발생하지는 않았지만 그렇게 될 가능성이라고 하는 위험, 사고가 발생하여 손실의 원인이 되는 화재 그 자체가 가지고 있는 위험,

화재사고의 결과로서 나타난 손실 그 자체, 화재사고를 야기하는 화재 발생조건이나 상태 등으로 표현할 수 있으나 화재위험에 해당하는 화재위험을 Fire Risk로 표시함에 있어서는 '위험'을 Risk, Peril, Hazard로 세분하여야 한다. [6]

즉, 화재사고의 발생가능성이나 불확실성(손실 확률 또는 실현가능성의 정도, the degree of probability of loss)[6]은 Risk, 손실의 직접적 원인이 되는 우연한 화재·폭발사고는 Peril(또는 Accident 또는 Contingency)이다. 따라서 Peril은 손실발생의 원인을 동질성의 형태 상으로 분류한 것이다.

우연한 화재사고를 일으키는 조건이나 상태는 Hazard로 구분하며 화재로 인한 연소의 결과 발생된 피해는 손해는 Loss(손실)로서 경제적 손실(Economic Loss) 또는 원하지 않는 가치 감소(Involuntary Parting of Value)이다. 또한 Loss는 반드시 실물(實物)이 아니어도 된다.

예를 들면 화재로 인한 협력업체의 신용추락, 고객의 상실, 주주로부터의 책임추궁과 주가하락 등을 열거할 수 있다. Loss를 초래하거나 확대시킬 가능성이 있는 화학적 또는 물리적 상태가 Hazard이며, Hazard의 상황에 따라 Loss의 발생빈도나 그 크기가 변동한다.

이상의 이미는 일상에서 혼용되어 사용하기도 하나 정확한 표현으로 Risk는 위험(危險), Peril은 손인(損因), Hazard는 위태(危態)로 정의한다.[7]

Hazard는 Physical Hazard(실체적 위태), Personal Hazard(인적위태)의 2가지로 분류하고 다시 Personal Hazard는 Moral Hazard(도덕적 위태) 및 Morale Hazard(정신적 위태)의 2가지로 나누게 된다.

- ① 「Physical Hazard」는 인간이 통제(Control)할 수 있는 Hazard와 통제할 수 없는 Hazard가 있다. 예를 들면, 화재의 경우 건축물의 위치, 규모와 구조, 용도, 건축방화시설, 소방방재시설, 피난시설(설비) 등이 통제 가능한 Hazard이다.
- ② 「Moral Hazard」는 방화, 연소확대 방지나 연소방지노력의 태만과 같은 개개인의 고의나 악의(惡意)에 근거한 도덕적 Hazard를 말한다.
- ③ 「Morale Hazard」는 Hazard 또는 Loss에 대한 무관심, 부주의에 의한 과실이며 정신적 나태(懶怠)를 일컫는다.

화재에 있어서 「Hazard」는 가연물질, 열원, 산소 및 연쇄반응의 화재 4요소에 해당하는 조건이나 상태의 발전에 따라 화재사고 발생가능성이 증가하고, 불확실성이 감소하여 즉 「Risk」가 증대하여 「Peril」로 변하고 종국적으로 「Loss」의 형태로 귀결된다. 손실에 방의 관점에서 「Hazard」의 통제는 「Risk」가 감소

하며 「Peril」 발생 가능성은 낮으며 「Loss」가 나타나더라도 국소적이며, 소규모이며, 기업의 입장에서는 수용가능하다.

이를 「Fire Risk」 확대 5단계[8]로 정리하여 보면 다음과 같다.

- 제 1단계 : 화재사고의 발생가능성이나 불확실성(Uncertainty)의 증가
- 제 2단계 : 우연한 화재사고를 일으키는 조건이나 상태가 되는 「Hazard」의 발전
- 제 3단계 : 손실의 원인이 되는 우연한 화재사고 「Peril」의 발생
- 제 4단계 : 「Peril」의 영향이 개인과 조직, 인접환경으로 확산
- 제 5단계 : 「Loss」의 발생으로 인명, 재산 등의 손실과 환경오염, 배상책임 등이 발생

한편 예상되는 결과와 실제 발생된 결과와의 잠재적 편차(偏差)[9]에 대해서도 리스크로 접근할 수 있으나 수리상의 오차이므로 그 자체를 리스크로 보는 것은 무리이다.[2] 따라서 리스크라고 함은 생명과 재산, 환경에 대한 원하지 않는 우발사건으로 불리한 결과의 실현 가능성으로 '손실의 불확실성'과 '발생확률의 크기'이며 화재리스크의 본질은 건축물에 발생한 화재사고로 인한 손실의 발생가능성 즉, 화재발생 확률분포라고 할 수 있다. [5]

3.2 리스크 메니지먼트 기법

리스크 메니지먼트는 통상 위험관리(危險管理)로 해석되어 사용되며 리스크의 통제와 관리의 과정이다. 기업에서 발생하는 손실을 최소화하고 리스크 대응력을 제고하기 위해 실시하는 것으로 최소의 비용으로 존재하는 모든 리스크를 파악하고 손실발생 가능성을 제거 또는 감소시키며, 우연한 사고로 손실이 발생하더라도 극소화시키는 관리기법이다. 화재리스크를 관리함에 있어 리스크 메니지먼트(Risk Management)기법을 이용할 수 있다.

리스크 메니지먼트에 관한 표준으로 국제표준규격으로 채택된 것은 아직은 없다. [10] 다만 리스크 관리에 필요한 용어의 정의를 정해둔 ISO/IEC Guide 73 Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards를 2002년에 발표하였다. 국제표준화기구(ISO)의 경우 2005년에 기술관리 평의회(TMB, Technical Management Board)의 리스크 메니지먼트를 다루는 워킹그룹에서 국제표준으로 ISO 31000

「Risk management - Guidelines on principles and implementation of risk management」을 2009년 12월에 국제규격으로 발간 예정이다.

호주와 뉴질랜드에서는 Institution of Engineers, Australia 등 20개 단체가 참여하는 OB/7 공동기술위원회에서는 1995년에 제정된 「AS/NZS 4360:1995 Risk Management」를 1999년에 갱신한 바 있고 이를 다시 2004년에 OB-007 공동기술위원회(Institution of Engineers, Australia 및 New Zealand Society for Risk Management 등 23개 단체 참여)에서 갱신하여 「AS/NZS 4360 : 2004 Risk Management」를 2004. 8월에 발간하였다.

AS/NZS 4360:2004에서의 3장 리스크 매니지먼트 프로세스(Risk management process)기업으로 리스크의 확인(Identify)-분석(Analyse)-평가(Evaluate)-처리(Treat)-검토 및 검열(Monitor and review)의 순으로 추진하고 있다.

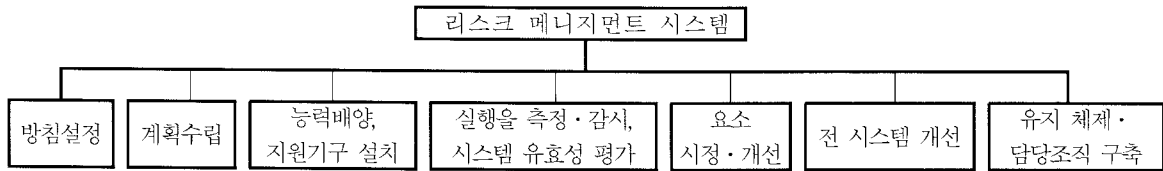
한편 일본의 경우 1995년의 한신·아와지대지진의 대책에서 기업의 대응력이 향상이 사회전체의 안전성 향상에 기여한다고 인식하고 1996년 6월 위기관리시스템 TR Z 0001를 발표하여 위기관리의 정착을 위한 프

로세스나 매니지먼트를 중시한 규격을 제정하였다.

2001년 3월에는 지침으로서 위기관리시스템을 구축, 위기관리 능력의 확인, 위기관리의식 향상 및 사회 전체적으로 위기관리 저항력 향상효과를 거두고자 「JIS Q 2001 리스크 매니지먼트 시스템구축을 위한 지침」를 제정[11]하고 종전의 기준은 폐지하였다.

JIS Q 2001에서는 리스크 매니지먼트 시스템 구축과 유지를 위한 일반원칙으로

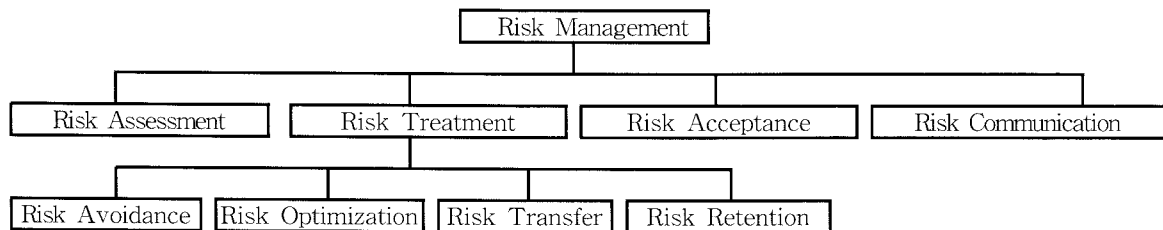
- ① 조직은 리스크 매니지먼트 방침을 정하고, 확실히 실행하기 위한
- ② 계획을 수립하며,
- ③ 효과적인 실시를 위해 기본목적 및 목표달성을 위한 필요한 능력과 함께 지원기구를 설치하도록 하며
- ④ 리스크 매니지먼트 실행평가 및 리스크 매니지먼트 시스템의 유효성 평가를 위해 조직은 리스크 매니지먼트 실행을 측정하고, 감시하고 평가할 때 시스템의 유효성 평가를 같이 하고
- ⑤ 평가결과에 기초하여 필요에 따라 시스템 각 요소의 시정하고 개선하며
- ⑥ 전체적인 리스크 매니지먼트 실행을 개선할 목적으로 시스템을 지속적으로 개선함에 있어
- ⑦ 시스템 유지를 위한 체제와 담당조직을 구축 등의 7개항을 제시하고 있다.



[그림 3-1] JIS Q 2001 리스크 매니지먼트 시스템 구축과 유지를 위한 일반원칙

이와 같은 원칙하에서 리스크 매니지먼트 프로세스는 PDCA(Plan-Do-Check-Act)과정으로 리스크 매니지먼트에 관한 방침이 결정되면 계획수립, 리스크 매니지먼트의 실시, 리스크 매니지먼트 수행평가 및 리스크 매니지먼트 시스템의 유효성 평가, 시정·개선의 실시, 리스크 매니지먼트시스템 유지를 위한 조직 그리고 조직의 최고경영자에 의한 사후심사 등으로 피드 백되어 순환된다.

ISO/IEC Guide 73 Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards는 일본에서 TR Q 0008 (2003.2.1)로 번역[12]되었으며, 우리나라의 경우 한국표준협회에서 「리스크관리-용어-규격에 사용하기 위한 지침」(KS A ISO/IEC Guide 73, 2002.12.31, 기술 표준원 고시 제02-1897, 확인 2007.11.30, 고시 07-1133)으로 번역하여 사용중에 있다. Risk management 용어상의 체계를 다음의 [그림 3-2]와 같이 정리하고 있다.



[그림 3-2] 리스크관리-용어-규격에 사용하기 위한 지침에서의 Risk management 체계

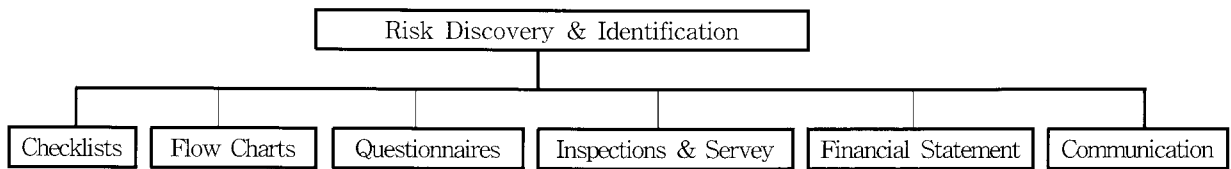
3.3 리스크 분석

리스크 분석(Risk Analysis)은 리스크 대책수립을 위해 실시되는 과정으로 리스크의 발견과 확인, 리스크 추정 및 리스크평가의 과정이다. [13]

리스크의 발견(Discovery)과 확인(Identification)은 조직내에 존재하는 모든 리스크를 인식(Recognition)하고 확인하여 해당 특성을 부여하는 과정으로 원인별, 발생장소별, 발생 대상별로 리스트를 작성하여 파악하여야

한다. 조직내부의 중요정보는 체크리스트(Checklists), 리스크분석질문서(Risk Analysis Questionnaires), 제조공정도(Flow Process Charts), 분석재무제표(Financial Statement), 고장, 사고, 손실에 관한 기록과 보고서이며 특히 전문가에 의한 리스크 현장검사(Inspections & Survey)와 종업원과의 면담 및 의사소통(Risk Communication) 또한 중요정보원이다.

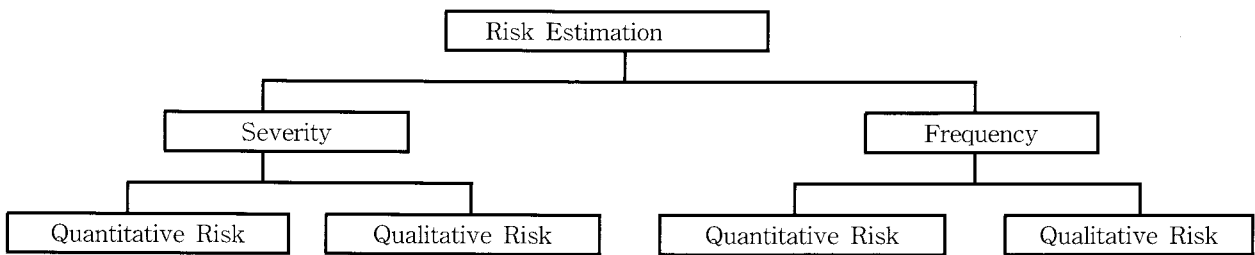
내부정보가 부족하다면 외부의 정보, 특히 리스크 컨설팅을 통해 확인될 수 있다.



[그림 3-3] 리스크의 발견과 파악

리스크 추정(Risk Estimation)은 어떤 사고(Accidents)가 발생할 수 있는지, 만일 실제로 발생한 경우 사고규모는 어느 정도 되며 얼마나 상황이 악화(Severity)될 것인지, 얼마나 자주(Frequency) 발생할 것인지에 관하

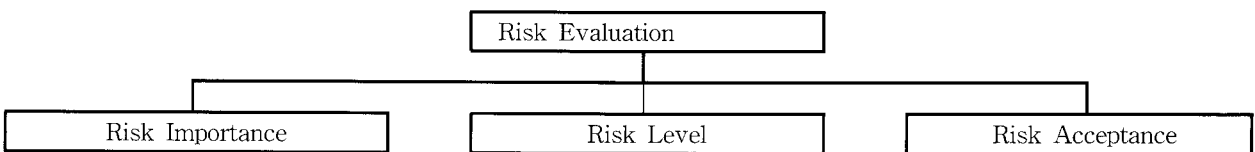
여 정성적, 정량적 특성을 분석하고 추정하는 과정[14]이다. 이 특성에는 강도와 빈도, 공간적 규모, 지속기간과 리스크 강도에 관련된 확률뿐만 아니라 원인과의 연결여부도 제공된다.



[그림 3-4] 리스크의 추정

리스크 수준검토(Risk Evaluation)는 리스크의 중요성(Risk Importance)과 리스크의 수준(Risk Level) 및 허용성(Risk Acceptance)에 대해 판단을 하는 리스크 평가(Risk Assessment)의 일부이다. 먼저 고려할 것은 대응대책이 필요한 선별된 리스크에 대해 대응우선순

위를 정하는 방법을 사용하여 그 중요성과 수준을 결정한다. 예를 들면 리스크빈도와 심도, 결과의 영향력, 손해액의 크기 등을 리스크 매트릭스(Risk Matrix)를 활용하여 리스크별 상대비교 측정할 수 있다.[15]



[그림 3-5] 리스크 평가

그 다음은 허용가능한 리스크를 정하는 것이다. 별도의 대책이 필요없는 리스크라도 허용하려면 가치판단이 필요하다. 일정 리스크를 허용한다는 것은 현재의 상태 그대로 보유 (Retention)하여 자기부담(自己負擔)한다는 것이다.

리스크의 빈도나 심도 등을 감소시키는 기술이 한계에 도달하여 허용할 수 밖에 없는 상태이든지, 재무적 리스크 처리(Risk Financing)에 있어서 조직의 수용능력을 초과하여 부담능력이 없거나 현재의 정상비용으로 충분히 복구 시킬 능력을 갖고 있든지, 무시해도 좋을 만큼의 낮은 중요도, 낮은 수준의 리스크(Unimportant Risk)라면 보유도 가능하지만 허용가능한 리스크 기준에 대한 가치판단도 중요하다. 허용기준은 공학적으로 적정한지, 리스크를 허용시 조직을 둘러싼 이해관계자의 충돌은 없는지, 리스크개선에 투입되는 비용과 개선 효과의 불균형이 리스크 허용 사유라면 사회적으로 용납되는 것인지, 허용된 리스크는 법률상 인정된 범주에 속하는 것인지, 허용된 리스크가 현재화(顯在化)될 때 경영상의 부작용은 없는지 기술적, 사회적, 경영적, 관리적, 도덕적 가치판단이 있어야 한다.

화재리스크 평가(Fire Risk Assessment)에 관한 절차로서 다른 견해[16]는 다음과 같은 다섯단계로 정리하고 있다.

첫 번째 단계 : 점화원, 연소물질, 산소공급원에 관한

화재 해저드(Hazards)의 확인

두 번째 단계 : 건축물 구내에서의 위험에 처한 사람의 확인

세 번째 단계 : 위험의 수준평가, 제거, 경감 및 방호

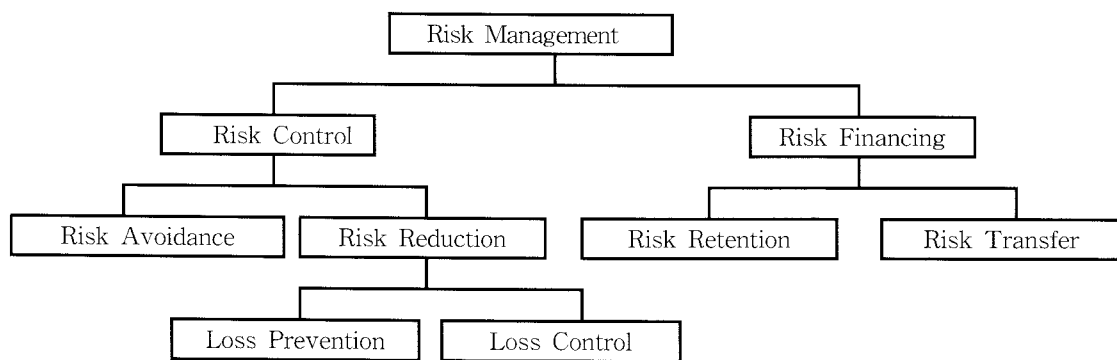
네 번째 단계 : 문서화, 비상계획수립, 공지(Inform),

교육 및 훈련

다섯 번째 단계 : 평가와 검토

3.4 리스크의 처리대책

리스크 처리의 기본방안에는 리스크 통제(Risk Control)와 재무적 리스크처리(Risk Financing)가 있다. 리스크 통제는 예방적 활동에 중점을 두고 있으나 재무적 리스크처리는 손실발생에 대비한 사후 필요자금을 자가보험 측면에서의 예산확보 및 비축 또는 손해보험 가입이다. 리스크 통제는 리스크 회피(Risk Avoidance)와 리스크 감소(Risk Mitigation 또는 Reduction)대책으로, 재무적 리스크대책은 리스크 보유(Risk Retention) 및 리스크 전가(Risk Transfer)로서 대응한다. 리스크 감소대책으로서의 손실예방(Loss Prevention)과 손실통제(Loss Control)는 리스크의 특성에 따라 이들 방법은 결합 또는 분리되어 다양하게(Combination/Separation/Diversification) 적용될 수 있다.



[그림 3-6] 리스크 처리대책

4 도장공정의 화재리스크 경감대책 사례

지금까지 열거한 리스크 매니지먼트 기법 중에서 문제점 인식, 발견 및 확인 - 화재리스크 추정 - 화재리스크 수준검토 - 처리대책 - 리스크 경감대책 착안사항 - 정전기 경감대책의 수립과 시행에 관한 일련의 프로세스를 도장공정에 적용하고자 한다.

4.1 공정장치 개요

- 공정명 : 자동제어식 플라스틱 도장
- 도장부스(Booth) 치수 : 8.0m(L) × 3.5m(W) × 3.25m(H)
- 잉여도장분 세정 : 습식(Water fan booth)
- 환기 : 강제 급·배기식, 풍량 0.5m/sec, 급기 Down flow type
- 소방시설 : 전역방출방식의 이산화탄소소화설비 (화재감지 : 공기관식감지기 2회로)

4.2 도장공정의 문제점 인식, 발견 및 확인

(1) 도장공정의 화재사례는 동종 공업의 문제점으로 인식될 수 있다.

○ 1989년 11월, 일본의 ○○차량사업소 종합공장의 상도 도장공정의 자동정전도장기의 접지불량으로 정전기 스파크(추정)에 의한 화재로 상도부스 225㎡중 180㎡소실, 부스내 차량 8대와 주변기기 소손 등 재산피해 2억 2천만엔의 피해가 있었다.[17]

○ 1987년 1월, (주)○○ 중도 도장공정에서의 히터 과열로 화재가 발생하여 2명 사망, 7명 경상의 인명피해와 본공장 건물 13,305㎡중 5,252㎡ 소실, 기계류 3억원(추정), 동산 5억원(추정)의 피해가 있었다.

○ 2001년 9월, ○○산업(주) 핸드폰 케이스 도장공정의 하도 스프레이 후 전기히터 건조공정(65~70℃)에서 화재가 발생하여 3명이 화상 및 질식·사망하고 1명이 중화상을 입었다.[18]

○ 2006년 1월, (주)○○ 전자부품 도장공정에서 화재가 발생하여 2명이 사망하고 공장 3개동(약 3,020㎡) 대부분이 피해를 입었으며 건물 11억원, 기계류 15억원, 재고자산 1억 5천만원의 재산피해(추산)가 있었다.

(2) 도장공정의 화재리스크 발견 및 확인[19]

도장공정의 Flow Charts와 현장 Inspections & Servey를 실시하여 다음과 같은 리스크를 도출하였다.

○ 스프레이 건의 도장 및 세척 작업시 신너 및 도료의 취급으로 인한 화재·폭발 한계내의 위험분위기 조성 가능성이 있으며, 점화원으로서 정전기 발생으로 인한 화재 및 폭발위험 있다.

○ 도장부스에서 정전위측정기로 스프레이건과 색조 변환밸브(CCV, Color Change Valve)의 고압세척시 정전기가 발생(4,000V~70,000V)하고 있다.

○ 도장부스에서의 발화 또는 폭발시 도장실 전체에 연소확대위험이 있고 도장라인 복구시까지 생산라인은 일부만 가동이 가능하며, 수주물량을 적시에 납품할 수 없다.

[표 4-1] 희석용 신너(Thinner) 및 도료의 물성

구 분	희석용 신너(Thinner)	도 료
주요성분	Xylene 25% Acetone 20% Toluene 20% 기타 35%	Xylene 20~30% Solvent Naphta 40~60% 기타 10~40%
인화점	26℃	27℃
자연발화점	399℃	464℃
폭발한계	1~13%	1~7%
위험물 분류	제4류 제2석유류	제4류 제2석유류
비중	0.85	1.05±0.05
위험성	<ul style="list-style-type: none"> • 심각한 화재위험이 있음 • 증기/공기 혼합물은 폭발성이 있음 • 증기 또는 가스는 원거리의 발화원으로부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있음 	

4.3 도장공정의 화재리스크 추정

연면적 3,000㎡이상의 건축물에서 연평균 514.4건의 화재가 발생하고, 그 중 전기화재가 원인이 되는 화재사고는 28.9%인 177.8건이 발생하며 전기화재에서 정전기화재는 6.4건/년으로 1,000건의 화재에 12건의 정전기화재가 발생하고 있다. 공장화재에서는 연평균 216.4건의 화재중에서 도장장치의 화재는 4.2건/년이 발생하고 있다.

또한 4.2(1)의 4건의 예시와 같이 3건에서 사망사고 인명피해가 있었으며, 소손면적(225㎡~5,252㎡)에서도

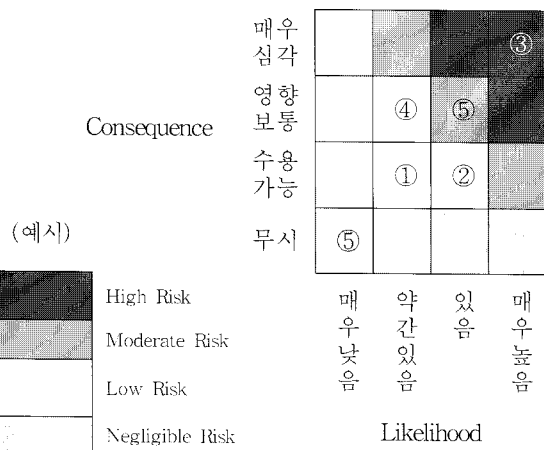
도장부스의 전손은 물론 인접지역으로의 연소확대피해가 있었다. 이것은 위험물취급시설에서의 화재의 특징인 속소성(速燒性)과 과대한 연소열에 의해 피해강도가 컸음을 알 수 있다. 복구기간에서도 신축과는 달리 행정관서의 조사기간, 손해보험회사의 손해사정 기간, 소잔물 철거기간 등을 감안해야 하므로 완전복구까지의 화재영향은 크게 작용할 수 밖에 없다.

[표 4-2] 연면적 3,000m²이상 건축물에서의 정전기화재 및 도장공정 화재현황[20]

년도별	2002	2003	2004	2005	2006	평균
총화재건수	463	426	508	514	661	514.40
전기화재건수	145	146	167	186	245	177.80
정전기화재건수	5	2	5	3	17	6.40
구성비(%)	3.4	1.1	3.0	1.6	6.9	3.6
공장화재건수	195	168	221	209	289	216.40
도장공정 화재건수	3	7	-	5	6	4.20
구성비(%)	1.5	4.2	0.0	2.4	2.1	2.04

4.4 도장공정의 화재리스크 수준검토

도장공정의 화재리스크 수준검토는 리스크 매트릭스를 활용한다. 플라스틱 성형품에 대한 도장공정의 주요 공정은 ①전처리, ②도료배합, ③스프레이 도장, ④건조, ⑤열처리, ⑥검사 및 포장으로 이루어진다. 공정에서의 화재사고 발생 가능성(Likelihood of Fire)과 화재시의 피해크기(Consequence of Fire)를 위험물의 저장·취급량, 작업장의 온도, 압력 및 환기풍량, 환기풍속 등의 공정조건, 건축물의 구조와 내장재, 방화구획상태 등을 감안하고 화재사례를 통한 결과의 영향력, 피해규모 등을 감안, 4×4 리스크 순위행렬로 표시하면 다음과 같다.



[그림 4-1] 도장공정의 리스크 평가

4.5 도장공정의 화재리스크의 처리대책

4.5.1 도장공정의 화재리스크 경감대책 착안 사항

인화성 분유기의 조성방지 대책, 도장부스내 전기시설의 방폭대책, 도장부스의 폭발구 설치, 도장실 지역에서의 연소방지 대책, 전역방출방식의 이산화탄소소화설비 보완과 초기화재 진압설비 보완 대책, 작업자의

대전방지복 착용, 비상대응계획 및 교육·훈련사항 등도 검토대상이나 본 논문에서는 접화원 제거대책으로 정전기 경감대책에 대하여 검토한다.

- (1) 정전기 착화가능성에 의한 발화원인의 규명
 - 정전하 발생장치 확인
 - 정전하 축적 또는 보유장치 확인
- (2) 정전기에 의한 정전아크 방전 확인
- (3) 도료와 신너의 혼합물 또는 신너의 인화성 증기/공기 혼합물에서의 최소발화에너지 확인
 - 정전아크에 의한 발열에너지 > 최소발화에너지 일 때 점화
- (4) 인화성 증기/공기 혼합물의 도장부스내 체류 가능성 확인

4.5.2 도장공정의 정전기 경감대책의 수립과 시행

화재리스크 경감을 위한 정전기 발생 억제대책으로 「공기이온화」, 「적정습도유지」, 「본딩과 접지」, 「유속의 제한」 및 「정지시간(停置時間)의 엄수」 등의 방법이 있으나 도장실의 특성상 적용가능한 대책으로 「본딩과 접지」로 결정하고 관련시설을 다음과 같이 보완 시공하였다.

<시공기준>

접지저항은 1 × 10⁶(Ω) 이하(표준환경조건 즉 20℃, 상대습도 50%에서는 100Ω), 본딩의 저항은 1 × 10³(Ω) 미만의 기준으로 보완하며, 정전위 허용기준은 표준환경조건의 평판전극간격 0.01mm에서 아크가 발생하는 경우 이때의 전위차 350V를 기준으로 측정결과가 350V미만으로 측정시 ‘합격’한 것으로 평가한다.

<시공 후 정전위 측정>

분무노즐과 스프레이 암(Arm)의 본딩/접지의 경우 정전위 측정시(B&E-1)와 B&E-1 및 세정장치를 함께 본딩/접지한 경우 정전위 측정시(B&E-2) 다음과 같은 결과를 얻었다.

[표 4-3] 본딩과 접지에 의한 정전기 제거 및 정전위 측정결과

공정작업	정전위 측정결과(kV)		
	시공전	B&E-1	B&E-2
세정 case -1	70.0	1.0	0.00
세정 case -2	4.0	0.5	0.20
세정 case -3	58.0	1.0	0.28
세정 case -4	61.0	1.0	0.25

<판정>

B&E-2 방식의 시공으로 세정 case-1~4 의 최대치가 280V이므로 허용 전위차 350V미만이므로 합격한 것으로 판정한다. 향후 정전기관리대책으로 정기 절연 저항 측정시 도장실의 접지저항 및 본딩저항을 측정하고 측정결과를 문서화한다.

5. 결론

본 연구에서는 공장 건축물의 화재안전을 위하여 리스크 매니지먼트 시스템에 의한 화재리스크 경감대책을 사례제시를 통하여 체계적으로 접근하고, 화재리스크 경감방안에 대하여 모색하였다. 화재리스크 분석을 통하여 리스크를 정량화하고, 손실과 방호대책을 수립하는 것은 매우 중요하다. 화재리스크의 분석과정은 리스크의 발견과 확인, 리스크 추정 및 리스크 수준검토의 과정이며 처리대책은 리스크 통제(Risk Control)로서 리스크 경감(Risk Reduction) 대책이 핵심이며, 여기에는 손실예방(Loss Prevention)과 손실통제(Loss Control)기법을 적용한다.

도장공정은 사망사고를 수반하는 화재위험이 상존하는 작업장이다. 손실예방(Loss Prevention)에 있어서 도장실내 위험분위기의 조성방지는 작업자의 보건문제 면에서 평상시의 문제로 검토되어야 하는 사항이지만 화재·폭발에서는 가연물대책으로 검토될 수 있으며, 화재리스크 경감 프로세스 사례로서 제시된 점화원 대책과 같은 정전기대책은 철저한 리스크 처리절차를 수행함으로써 그 목적을 달성할 수 있었음을 확인하였다.

조직내에서의 화재리스크는 각 분야별로 세부적으로 분류할 수는 있으나 리스크의 처리과정은 근본적으로 같은 개념을 적용할 수 있다.

따라서 리스크관리에 관한 앞에서의 사례를 기준으로 ‘리스크관리 기법’을 조직의 실정에 맞게 표준화하는 것을 하나의 방안으로 제안하며, 화재리스크의 발견(Discovery)과 그 결과를 처리하는 화재리스크 경감

(Fire Risk Reduction), 리뷰에 의한 피드백 과정은 전문가기술자와 경영자의 공동책임이자 안전경영의 일부로서 실천하고 감독되어야 할 사항으로 판단된다.

6. 참고 문헌

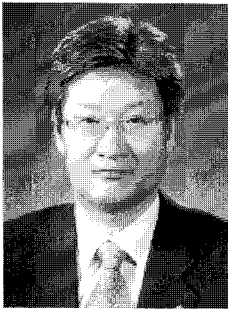
- [1] 재난 및 안전관리기본법, 2008.2.29, 법률8856호
- [2] 소방방재청, 2006~2007년도 화재통계 연감, <http://www.nema.go.kr/>
- [3] 한국전기안전공사, 전기화재 요약통계, <http://www.kesco.net/>
- [4] 통계청 <http://www.nso.go.kr/>
- [5] John M. Watts, Jr., & John R. Hall, Jr., "Introduction to fire risk analysis", NFPA, The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-4~5-5
- [6] 박은희, "위험의 본질에 관한 연구", 보험학회지 22(1983), 한국보험학회, 69~89
- [7] 방갑수, "최신보험학", 박영사, 1983, 13
- [8] 강신욱, "위험관리와 손해보험산업의 역할에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 1990
- [9] 리스크·마ネジメント研究會, "企業のリスク・マネジメント", 1985, 24~32, 40~51
- [10] 鈴木敏正외 1, "リスクマネジメントシステム", 日刊工業新聞社(第2版), 2007, 33~35
- [11] 日本規格協會, "JIS Q 2001 리스크마ネジメント시스템構築のための指針", 2003
- [12] 日本規格協會, "JIS/TR Q 0008 리스크마ネジメント-用語-規格において使用するための指針", 2003
- [13] 정영동, "위험관리기법의 체계에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 1987
- [14] 조해균, "기업의 위험관리정책과 보험자의 역할", 보험학회지 20(1982), 한국보험학회, 53
- [15] Brian J. Meacham, "Building Fire Analysis", NFPA, The SFPE handbook of fire safety

engineering, 3rd edition(2002), 5-167~5-169

- [16] HM Government, "fire safety risk assessment",
www.opsi.gov.uk
- [17] 유홍기, "정전기로 인한 정전분체의 착화위험성에 관한 연구", 서울산업대학교 석사학위논문, 2005, 22~25
- [18] 한국산업안전공단, "중대산업사고사례집", 2001, 49~53
- [19] 한국화재보험협회, "○○(주)진단보고서", 2006.3
- [20] 한국화재보험협회, "2002~2006 특수건물 화재조사분석"

저 자 소 개

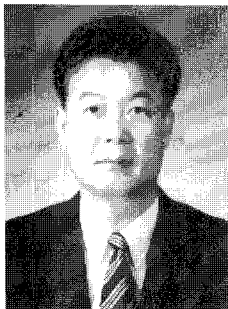
정 의 수



명지대학교 산업대학원에서 석사 학위를 취득하고, 현재 명지대학교 대학원 산업경영공학과 박사 과정에 재학중에 있으며 한국화재보험협회 이사로 재직중이다. 관심분야는 화재안전, 리스크메니지먼트, 위험도평가 등이다.

주소 : 경기도 고양시 일산서구 주엽동49 강선마을 501동 701호

강 경 식



현 명지대학교 산업공학과 교수, 명지대학교 안전경영연구소 소장, 명지대학교 산업대학원 원장, 대한안전경영과학회 회장, 경영학박사, 공학박사

주소: 경기도 성남시 분당구 정자1동 파크뷰 APT 611동 3103호