

## 건축물의 화재위험의 분석과 지수화에 관한 연구

정의수\* · 양광모\*\* · 하정호\*\*\* · 강경식\*\*\*\*

\*명지대학교 산업경영공학과 · \*\*유한대학 산업경영과

\*\*\* (주)누리엔소방 · \*\*\*\*명지대학교 안전경영연구소

## A Study on Fire Risk Analysis & Indexing of Buildings

Euui Soo Chung\* · Kwang Mo Yang\*\* · Jeong Ho Ha\*\*\* · Kyung Sik Kang\*\*\*\*

\*Department of Industrial and Management Engineering, Myoungji University

\*\*Department of Industrial Engineering, Yuhan College

\*\*\*Nuri Fire Protection Engineering

\*\*\*\*Safety Management Laboratory, Myoungji University

### Abstract

A successful fire risk assessment is depends on identification of risk, the analytical process of potential risk, on estimation of likelihood and the width and depth of consequence. Take the influence on enterprise into consideration, Fire risk assessment could carry out along the evaluation of the risk importance, the risk level and the risk acceptance. A large part of the limitation of choosing the risk assessment techniques impose restrictions on expense and time. If it is unnecessary high level risk assessment or Probabilistic Risk Assessment of buildings, in compliance with the Relative Ranking Method, Fire risk indexing and assessing is possible. As working-level technique, AHP method is useful with practical technique.

Keywords : Fire Risk Assessment, Fire Risk Analysis, Fire Safety, AHP

### 1. 서론

건축물에서의 물리적인 위험은 화재·붕괴·폭발·가스누출사고·환경오염사고 등의 인위적 재해와 외부의 자연적인 현상으로부터 발생하는 태풍·홍수·호우·강풍·풍랑·해일·대설·가뭄·지진·황사 등 자연재해가 주요 위험이다. 이 중에서 경험이나 통계상의 발생빈도 측면에서는 '화재'가 제일 많으나, 발생피해의 심도측면에서는 하절기의 '태풍'과 이에 수반되는 호우, 홍수에 의한 자연재해가 광범위하며 위협적이다.

건축물에서의 화재발생은 그 원인이 사람의 주의부

족(morale hazard)인 휴먼팩터가 있더라도 상당부분은 공학적 기술을 바탕으로 시설의 개선, 교육·훈련 및 법률적 집행과 단속(enforcement) 그리고 효율적인 위험관리기법(risk management techniques)을 적용하여 그 화재위험을 경감 또는 완화할 수 있다.

이 기법을 적용함에 있어 최소의 비용으로 기업의 예측가능한 손실(loss)에 관한 불확실성(uncertainty)을 사전에 제거하거나 경감하기 위해서는 위험 수준평가(risk assessment)가 리스크 매니지먼트 프로그램의 일부로서 또는 화재안전설계의 방편으로서 적절한 역할을 하여야 한다.

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 7월 접수; 2008년 8월 수정본 접수; 2008년 8월 게재확정

위험 수준평가 과정은 발견된 위험에 대하여 빈도와 심도, 위험의 중요성, 위험수준, 허용수준 등을 결정하고 평가하는 과정으로 화재안전평가를 위한 정교한 의사결정방법, 화재현상과 영향에 관한 불확실성의 제거, 위험지수화와 등급화 등에 의한 위험의 정량적 평가가 핵심 사안이다.

이와 같은 관점에서 건축물의 화재위험 분석과 지수화에 대하여 논하고자 한다.

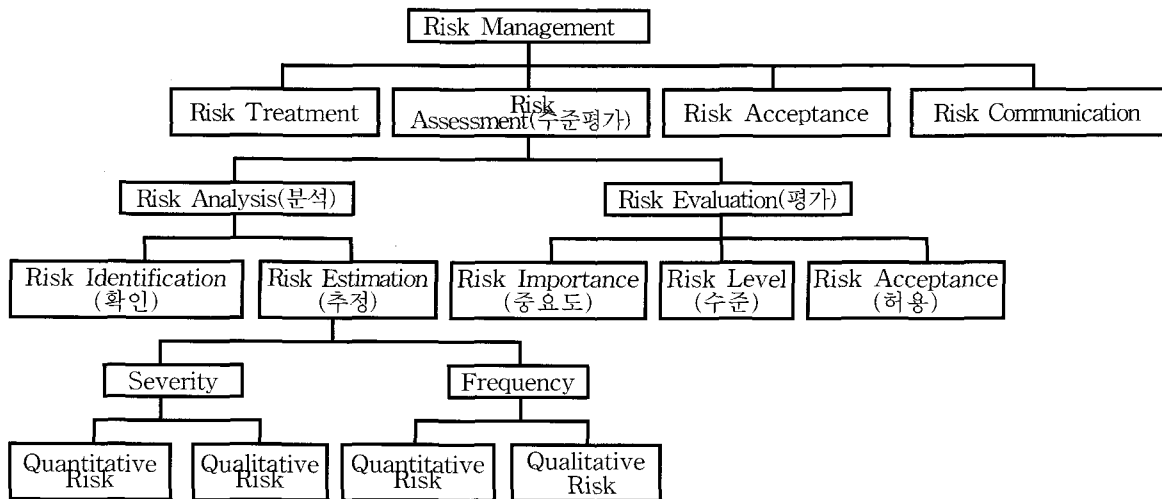
## 2. 화재위험의 분석과 수준평가

### 2.1 Risk Assessment, Evaluation 및 Analysis의 의의

먼저 용어상의 자리매김으로 ISO/IEC Guide 73 Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards에서 위험 분석(risk analysis)은 [그림 1]에서

보면 Risk Assessment의 하위에 Risk Evaluation과 같은 레벨에 있다. 여기에서 한글 번역상 'Risk Assessment'와 'Risk Evaluation'의 혼용 문제가 있다. 한국표준협회의 「위험관리-용어-규격에 사용하기 위한 지침」(KS A ISO/IEC Guide 73, 2002.12.31, 기술표준원 고시 제 02-1897, 확인 2007.11.30, 고시 07-1133)에서는 Risk Assessment는 '위험 평가', Risk Evaluation는 '위험 수준검토'로 번역하고 있다. 우리나라와 비슷한 여건의 일본도 ISO/IEC Guide 73을 TR Q 0008 (2003.2.1)로 번역, 채택하고 있는데 Risk Assessment는 '리스크 어세스먼트'(リスクアセスメント), Risk Evaluation는 '위험 평가'로 일역하여 쓰기 때문에 기술표준원 고시와 혼돈의 우려가 있다[1].

따라서 본 고에서는 분석을 종료한 이후에 수반되어야 하는 리스크 매니지먼트의 프로세스로서 'Evaluation'에 해당하는 용어는 '평가'로, 상위개념인 'Assessment'는 분석부터 평가에 이르는 전 과정을 아우르는 의미로서 '수준평가'로 정한다[2].



[그림 1] 리스크 매니지먼트 체계

위험 분석은 위험 인자를 확인하거나 위험을 추정하기 위한 파악된 정보의 체계적인 사용으로서 위험의 수준평가와 평가, 위험 관리방안 등에 대한 부정적인 결과를 이해하기 위해 수행되는 세밀한 검사이며, 바람직하지 않은 사고에 대한 정보를 제공하는 분석적 과정 및 확인된 위험에 대한 예상 결과(consequence), 심도(severity)와 발생빈도(frequency)를 정량화하는 과정이다[2]. 환언하면 위험 분석은 위험 평가의 선행되는 개념으로 조직에 잠재된 위험을 발견 및 확인한 후에 심도와 빈도를 추정하고 그 위험 결과가 미치는 영향을 이해하여 위험 처리방안에 관한 의사결정지침을 확립하기 위해 수행하는 프로세스로

서 위험을 발견, 확인, 추정의 3단계의 작업이다[3].

### 2.2 화재위험의 분석 목적

건축물의 화재위험 분석 목적은 화재안전과 관계된 건축물의 설계, 시공, 준공 및 멸실 때까지의 운영에 관한 제반 의사결정을 명확하게 전달하기 위해 화재와 관련된 위험을 포괄적으로 이해하고, 특성화하여 위험 허용수준의 결정, 위험진가 및 경감/비상대응 등의 위험관리계획을 지원하는 것이다. 따라서 화재위험 분석은 위험의사결정, 인명보호, 자산보호, 문화·환경보호, 위험

경감순위 결정과 안전투자 우선순위 결정, 사업지속 및 이해 당사자 고시 등을 목적으로 하고 있다. [4][5][6][7]

## 2.3 위험 수준평가 방법의 분류

1984년 인도의 유니온카바이드사에서 메칠이소시아네이트 유출사고로 약 2,800여명이 사망한 화학플랜트 사고, 1986년 우크라이나공화국의 체르노빌 원자력발전 시설에서의 폭발화재사고[8][9], 2001년 9월의 미국의 동시다발 테러로 인한 WTC 붕괴사고와 1971년 서울의 대연각호텔에서 프로판가스 취급부주의 화재[10]사고가 있었다. 이와 같이 대형건축물이나 중요시설물에서의 단 한 번의 사고는 막대한 인명과 재산 및 환경피해를 유발하고 기업의 생존과 직결됨을 인식하여 이를 예방하고, 사고에 대비한 위험 수준평가는 활발히 수행되어 왔으며, 그 활동은 화학플랜트와 원자력시설뿐만 아니라 초고층건물에서의 성능설계 중시경향으로 위험 수준평가는 더욱 강조되고 있다.

### 2.3.1 위험 수준평가 방법

위험의 수준평가 방법은 다음과 같이 3가지로 대별하고 있다[5][11][12].

#### (1) 정성적 위험 분석(qualitative risk analysis)

정성적 위험 분석은 위험의 존재를 확인하는 방법으로 잠재적 위험(위태, hazard)의 발생 매커니즘을 해석·분류하기에는 용이하나 위험을 계량화하는데 제한이 따른다. 이 방법에는 체크리스트법(Checklists method), What-If Analysis, HAZOP(HAZard and Operability Study), 고장모드영향분석(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA) 등이 있다.

#### (2) 정량적 위험 분석법(quantitative risk analysis)

사고의 발생확률(probability analysis)이나 사고에 따른 영향의 크기, 혹은 범위(consequence analysis), 혹은 위험 자체를 정량적으로 평가하는 방법으로 전문지식과 많은 자료를 필요로 하는 대신 위험을 구체적으로 표현함으로써 제반대책을 강구할 수 있다는 장점이 있다. 이 방법에는 누출원과 확산모델링(source and dispersion models), 화재 및 폭발모델(fire and explosion models), 사고영향모델(effect models) 및 사고발생 빈도 모델로서 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), 고장모드 영향위험도 분석(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA) 및 정량적 위험 분석(Quantitative Risk Analysis, QRA) 등이 있다.

#### (3) 상대순위방법(relative ranking method)

물질의 반응성·가연성과 플랜트설비의 구성에 착안하여 건물 또는 대지의 일단 또는 플랜트의 유니트 단위로 화재폭발지수를 구하고 이를 순위화하여 위험도 수준을 평가한 것이다.

### 2.3.2 SFPE에서 화재위험 수준평가 방법

이에 대하여 미국화재기술사회(Society of Fire Protection Engineers, SFPE)에서는 화재위험의 수준평가 방법으로 체크리스트, 서술(narrative), 지수화(indexing), 그리고 확률론적 방법 등 4가지로 설명하고 있으며 이중에서 지수화와 확률론적인 방법에 관하여 살펴보면 다음과 같다[13].

화재위험지수는 화재안전분야에서 전문적인 평가는 리와 과거의 경험을 바탕으로 한 모델이다. 위험지수는 다양한 분석과정, 해저드 점수할당 및 상대적 위험의 신속하고 간단한 산출에 기여하는 시스템이다. 화재위험지수법은 보험에서는 정량적 화재위험 수준평가로 Rating Schedules(기준표 요율)이라고도 하며 전문적인 평가와 과거의 경험에 근거하여 긍정적 또는 부정적인 화재안전특성을 나타낼 수 있는 속성(attributes)을 선정하고 이에 특성 값을 할당하여 그 결과가 단일 값에 도달하도록 산술적 함수의 조합으로 연산된다. 화재 위험도 지수(Fire Risk Index, FRI)는 절대적 위험도보다는 상대적 위험도 비교가 가능하여 다양한 모집단의 비교위험도를 산출할 수 있고 특히 비용대비 효과가 크다는 장점이 있다[13][14].

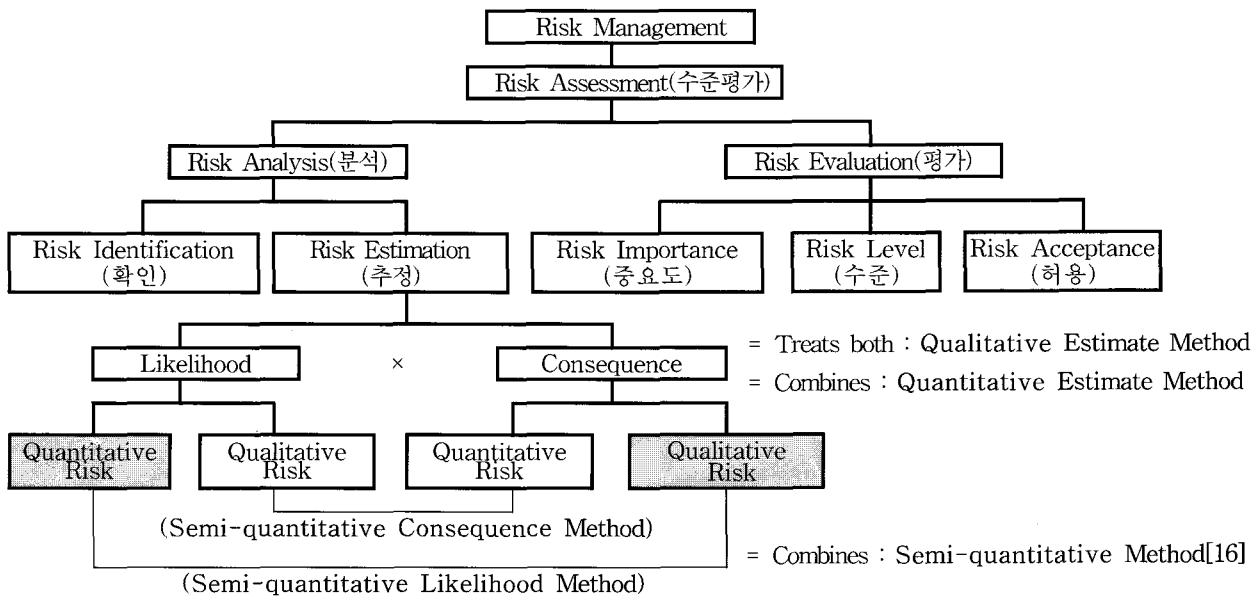
위험 수준평가 방법으로서 결정론적 방법과 확률론적 방법이 있다. 결정론적 방법에서는 안전확보를 위한 연구가 어느 정도 기능을 발휘하는지를 해석하고, 안전확보 사태를 확인하는 방법을 취하지만 확률론적 방법에서는 시스템을 구성하는 기기의 고장·파손, 시스템의 정상이탈 등의 상황을 정량적으로 분석·평가하여 발생확률, 사고의 영향 혹은 이들의 곱을 근거로 종합적인 평가를 하는 것으로 시스템에서의 부적합 사태(사고)가 발생하는 확률을 위험 분포에 대한 수학적 관계를 통하여 추적하고 컴퓨터 모델링을 활용한 시뮬레이션함으로써 정량적으로 평가한다[5]. 이 방법은 가장 양질의 정보를 제공하는 수준평가법이기는 하지만 화재위험 지수 시스템과 비교시 효과에 비하여 너무 많은 비용이 소요되어 대재해 가능성이 상존하는 화학플랜트분야나 원자력 발전분야에서 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA), 확률론적 위험평가(Probabilistic Risk Assessment, PRA)로 활용된다[15].

### 2.3.3 NFC(National Fire Code)에서 화재위험 수준평가 방법

‘NFPA 551 화재위험 수준평가에 관한 평가 지침’에서는 화재위험 수준평가 방법을 정성적 방법, 반정량적 빈도 방법(Semi-quantitative likelihood method), 반정량적 결과 방법(Semi-quantitative consequence method), 정량적 방법 및 비용-편익 위험 방법(cost-benefit risk method) 등 5가지로 분류하고 있다[14]. 앞의 4가지 방법은 발생가능성과 그 결과의 결합방법에 따라 분류한 것으로 정성적 방법과 정량적 방법에서 각각의 특성이 독립적으로 작용하는지 혹은 혼합된 개념으로 작용하는지에 따라 [그림 2]와 같은 방법으로 분류된다. 2.3.1의 분류법이 정성과 정량 및 실용적인 의미에서의 수준평가법에 초점을 두었다면 2.3.2의 방법은 위험의 수

준에 따라 평가법이 선택될 수 있음을 보여주고 있다.

특히 비용-편익위험 방법은 화재위험을 감소시키고자 하는 금전적 투자에 대한 댓가로서 위험이 현재화되었을 때의 결과(consequence)를 축소시켜 위험의 수준을 ‘최소화’, ‘최적화’하여 예상손실을 줄이고자 하는 방법으로 특히 비금전적인 결과, 즉 인명손실분야라도 이를 보상차원에서 금전적으로 환산하고, 간접손실, 환원하면 사업중단으로 인한 발생비용과 기회이익의 상실등도 감안하고자 하는 방법이다. 이 방법에서는 화재발생 가능성과 결과에 대한 불확실성이 존재하며, 일정수준까지는 비용의 투입에 따른 편익은 증가하나 어느 수준이후에는 편익이 체감되거나 편익보다는 비용이 오히려 많을 수가 있으므로 화재방호 및 기업의 사회적 의무 등에 관련하여 경영전략적 선택의 단계에 진입할 수도 있다.



[그림 2] 화재 위험도 수준평가 방법의 범주

## 3. 화재위험의 지수화와 선행연구

### 3.1 지수화의 장점

지수화는 반정량적 방법으로서 안전등급화에 초점을 두고 있다[16]. 정량적 위험 수준평가는 여타의 방법보다 우수한 정보를 제공하지만 비용대비 효과면에서 볼 때 대다수의 건물에 철저한 위험분석에 경제적인 부담을 가지고 있어 유용성과 타당성이 충분한 화재 위험도 지수 방법을 선택하게 된다[17]. 지수화의 장점으로 는 다음과 같이 3가지로 고려할 수 있다.

#### (1) 다속성/다기준 평가모델 개발

가장 평범하고 가장 효과적인 의사결정방법은 다속성/다기준 평가(Multiattribute/Multicriteria evaluation)로 복잡한 시스템을 단순하지만 확고한 모델로 만든다.

위험 수준평가 방법에서는 시스템 속성의 집합이 단일지수로 되어 위험지수라고 하는 위험 순위평가로 반영된다. 위험 지수화는 다양한 해저드나 위험 수준평가 프로젝트에 반영되어 비용의 경감, 선순위의 결정, 기술정보의 사용을 용이하게 한다.

#### (2) 간편성

안전인자(safety factor)를 선별하는 과정에서 부적

절한 데이터 평가문제를 제거하고, 정성적 속성을 종합함으로써 비용이 절감되고, 비교예측을 신속하고 간단하게 수행할 수 있다.

(3) 실용성

위험지수화는 절대 위험보다는 상대적이고 비교 가능한 위험에 근거하고 있으며, 화재손실에 관한 특정 통계자료의 부족은 절대위험의 합리적 결정을 어렵게 하지만 상대적 위험은 실용적인 대체안으로 다양한 모집단의 비교위험도를 산출이 가능하다.

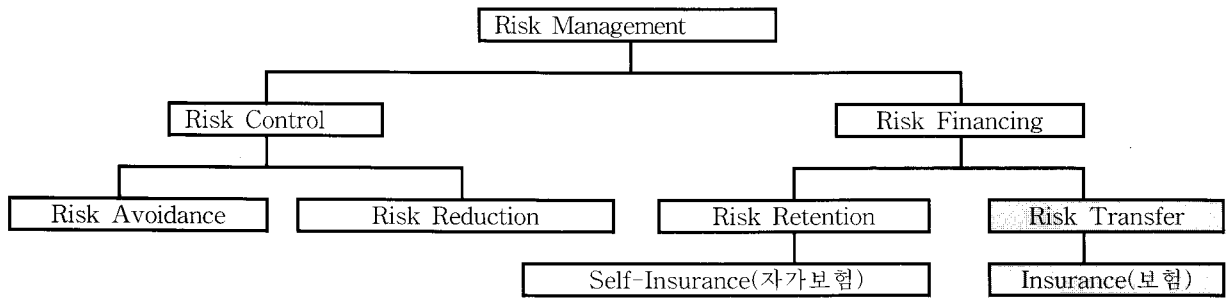
3.2 화재 위험도 지수화에 관한 선행 연구

위와 같이 위험의 지수화는 높은 수준의 정교화된 분석이 필요 없는 경우, 분석시간의 장기간 소요와 정교한 분석에 따른 과다비용 지출을 방지할 필요가 있는 경우, 단순화된 수준평가로 정량적 수치에 의한 순위화와 정성적 위험 해석이 달성될 수 있는 경우에는 의사결정의 합리성을 확보가능하므로 타당성을 확보하게 된다. 지수화의 과정은 위험이 다양화하더라도 수리화, 규격화, 차별화 등의 엄격성은 유지되므로 유효성은 확보

된다. 지수화연구의 대표적 방법은 화학플랜트의 잠재적 화재·폭발, 반응성사고의 피해를 정량화하고 사고 발생 및 확대가능성 설비를 확인하기 위한 Dow Chemical Co.의 화재폭발지수(Fire & Explosion Index)로 1664년부터 1994년까지 7회 개정하였다. 그 밖의 지금까지의 선행된 연구와 실용 예를 보면 다음과 같다.

3.2.1 화재보험요율 산정

리스크 매니지먼트에서 위험의 전가기법으로는 위험 부담을 배척하는 형태로 매각이나 증여를 통해 위험 운영을 전가(또는 회피)하거나, 계약에 의해 제 3자에게 위험 운영을 맡겨 배상책임까지도 전가시키는 기법, 한 장소에 집중되어 있는 위험을 여러 장소에 분산시켜 예상최대손실(Maximum Probable Loss, MPL)의 축소시키거나 결합을 통한 위험운영의 효율화, 최적화를 유도하는 비보험적 방법이 있고, 재무적 위험처리 방법으로는 소규모 손실은 비용으로 처리하거나 자가보험 형태로 일정수준의 적립금을 보유하는 방법 또는 보험에 가입함으로써 위험을 보험회사에 전가하는 방법([그림 3]참조) 또는 이들 방법을 혼합하여 사용하는 방법이 있다.



[그림 3] 화재위험의 재무적 전가

보험회사 입장에서는 동종의 위험을 대수법칙으로 결합시켜 이를 위험의 수준등에 따라 평가하여 서열화, 등급화하여 위험을 계수화한다. 이 계수의 특성은 화재 위험을 건물의 화재이력, 모집단의 통계적 손실특성, 건물의 현장확인을 통한 화재위험의 특성 등을 결합시켜 등급요율(class rate)로 만든 것이며 그 결과가 Manual Rate로 표현된 화재보험요율서[18]의 형태로 기준요율(rating schedule)에 해당된다. 요율은 건축물의 구조와 용도특성에 각종 할인요율과 할증요율을 곱하거나 가감하는 과정으로 산출된다. 기준요율표의 사례는 다음 <표 3.1>과 같다.

기본요율표에서 1급은 내화구조, 4급은 가연구조이며

그 중간의 불연구조 및 복합구조는 주요구조부의 상태에 따라 결정된다. <표 3.2>의 한국화재보험협회의 화재위험지수(K-FRI)는 기본요율에 화재보험가입물건의 개별특성을 반영하는 성과요율(merit rate)로서 현장 서베이(Survey)에 의한 점검요율을 부가하여 할인과 할증으로 작용하며 산출된 지수에 따라 화재보험요율이 결정된다[19]. 성과요율은 위험의 상태를 최대한 요율에 반영하고, 손해예방과 경감활동, 즉 기업의 위험개선을 촉진과 반대급부에 그 의미가 있다.

<표 3.1> 화재보험 용도별 - 구조별 기본요율 사례

건축물의 용도	기본요율			
	1 급	2 급	3 급	4 급
(1) 일반업무시설	0.020	0.034	0.056	0.082
(2) 호텔	0.066	0.108	0.176	0.268
(3) 시장	0.392	0.622	1.016	1.566
(4) 자동차(중장비, 특장차 포함)수리, 정비	0.362	0.568	0.928	1.428
(5) 용단(카페트)제조	0.358	0.615	1.000	1.538
(6) 음료수제조	0.055	0.085	0.140	0.217

<표 3.2> 화재위험지수에 의한 공장화재보험 특수건물할인을 할인·할증율 사례

안전등급	1	2	3	4	5
산출 위험지수	105.2이하	108.5이하	111.1이하	113.8이하	113.9이상
기준율(%)	130	115	100	85	70
특수건물 할인율(%)	32.5 (25×1.3)	28.75 (25×1.15)	25 (기준율)	21.25 (25×0.85)	17.5 (25×0.7)

3.2.2 FREM 화재위험 수준평가

스위스의 Gretener에 의해 개발된 화재위험 지수 방법인 Gretener Method의 기본적 개념인 경험적으로 파생된 수치, 화재의 시작과 확산의 요소, 방화에 대한 요소를 포함하고 있다.[16][20]

$$\text{화재위험(R)} = \frac{\text{화재위험}}{\text{방호대책}} = \frac{\text{잠재해저드(P)} \times \text{활성위험(A)}}{\text{기본대책(N)} \times \text{특별대책(S)} \times \text{내화대책(F)}$$

건축물의 용도를 600여개로 사전에 구분하여 평가하고자 하는 건물의 유형을 선택할 수 있으며, 그 다음 아래의 38개 항목의 화재위험 요소를 체크리스트화하여 개별건물의 지수를 산출하게 된다. 잠재해저드(P) 13개 요소, 활성위험(A)(발화위험 및 방화관리) 5개 요소, 기본대책(N)(화재진압 및 교육) 7개요소, 특별대책(S)(경보 미 자위소방대) 7개요소, 내화대책(F) 6개요소

등 38개 항목에는 가중치가 설정되어있어 이를 전산처리하여 위험지수를 산출하게 된다. <표 3.3>에는 적용 가중치의 예를 표시하였으며, <표 3.4>는 FREM 화재위험지수 산정에 따른 화재위험도 구분하는 기준을 표시하였으며 <표 3.5>에는 FREM 화재위험지수 산정 사례를 나타내었다.

<표 3.3> FREM 화재위험지수 평가항목별 적용가중치 예

평가항목		가중치		
		최저값	최고값	범위배수
잠재위험 (hazard)	화재하중(MJ/m <sup>2</sup> )	0.6	2.5	3.8
	연소율	1.0	1.6	1.6
	연기해저드	1.0	1.2	1.2
내화대책	주요구조부	1.0	1.3	1.3
	외벽	1.0	1.15	1.15
기본대책	소화기	0.9	1.5	1.7
	소화진	0.8	1.0	1.3
	급수량	0.6	1.0	1.7
특별대책	화재감지	1.0	1.74	1.74
	화재자동진압	1.0	2.0	2.0

<표 3.4> FREM 화재위험 지수 산정에 따른 화재 위험도 구분

화재위험 지수(R)	화재 위험도 구분
$R < 1.2$	낮은 위험(SR : Small risk)
$1.2 < R \leq 1.4$	보통 위험(NR : Normal risk)
$1.4 < R \leq 3.0$	약간 높은 위험(IR : Increased risk)
$3.0 < R \leq 5.0$	높은 위험(LR : Large risk)
$5.0 < R$	매우 높은 위험(VLR : Very large risk)

<표 3.5> FREM 화재 위험도 지수 산정 사례

구 분		건물의 종류									
		A공장	B공공	C빌딩	D시장	E방승	F공연	G학원	H병원	I호텔	J학교
화재위험	잠재위험(P)	5.05	3.23	2.80	3.00	4.44	2.38	1.15	0.84	5.76	3.93
	활성위험(A)	1.44	0.85	0.94	1.32	1.00	1.21	1.02	1.45	1.00	1.02
화재위험 산정 값		7.27	2.75	2.63	3.96	4.44	2.88	1.17	1.22	5.76	4.01
방호대책	기본대책(N)	0.76	0.61	0.61	0.49	0.61	0.61	0.61	0.36	0.76	0.61
	특별대책(S)	3.12	2.31	2.11	5.54	4.62	2.11	2.11	2.31	6.70	2.31
	내화대책(F)	1.20	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
방호대책 산정 값		2.85	2.10	1.96	4.07	4.23	1.93	1.93	1.25	7.64	2.11
화재 위험도 지수(R)		2.55	1.31	1.34	0.97	1.05	1.49	0.61	0.98	0.75	1.90
화재위험 구분		IR	NR	NR	SR	SR	IR	SR	SR	SR	IR

\* 자료출처 : 한국화재보험협회

### 3.2.3 FSES 화재위험 수준평가

NFPA 101 인명안전코드의 구체적 실현을 위한 화재 위험도 지수법이 화재안전성평가시스템(FSES, Firesafety evaluation System)이다[16][21][22]. 현재 의료시설, 유치장 및 교정시설, 숙소 및 보호시설, 업무시설용건물에 대한 평가시스템이 개발되어 있으며, 화재안전시스템의 핵심은 관할기관의 승인을 받은 '등가성의 개념'으로 코드를 대체하는 것이며 등가성의 평가는 FSES 안전변수값을 가이드 기준으로 수행된다는 특성이 있다. FSES 안전변수값은 코드를 만족시키기 위한 화재

안전전략으로 신축의 경우에는 설계값으로, 기존건물 경우 인명안전에 영향을 주는 요인을 평가하기 위한 측정시스템으로 적용된다. 다음은 철근철골콘크리트조 병원용도의 기존건물을 예로 들어 설명하고자 한다.

#### (1) FSES 안전변수값

건물의 용도에 따른 변수값은 <표 3.6>의 5개 항목이 평가된다. 각 항목별 값이 병원용도위험(Occupancy Risk)을 결정하게 된다. 가상의 서베이 결과 음영부분이 선택 되었다고 할 때의 용도변수는 <표 3.7>과 같이 산출된다.

<표 3.6> 병원 용도에서의 위험변수계수(Risk Factor Values)

1. 환자이동성(M)	이동성상태	이동	제한적이동	이동불능	움직임 불능	
	위험 변수 계수	1.0	1.6	3.2	4.5	
2. 환자밀도(D)	환자수	1~5	6~10	11~30	30이상	
	위험 변수 계수	1.0	1.2	1.5	2.0	
3. 지역위치(L)	층	1층	2층~3층	4층~6층	7층이상	지하층
	위험 변수 계수	1.1	1.2	1.4	1.6	1.6
4. 환자와 의료진비율(T)	환자/ 의료진 1명	1~2	3~5	6~10	10명이상	1명이상/없음
	위험 변수 계수	1.0	1.1	1.2	1.5	4.0
5. 환자 평균나이(A)	평균나이	65세이하, 1세이상			65세 이상, 1세이하	
	위험 변수 계수	1.0			1.2	

위의 1항부터 5항까지의 적용계수는 다음과 같이 계산된다.

<표 3.7> 병원 용도 위험변수계수(Risk Factor Values) 계산 예

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{(평가요소)} & & \text{M} & & \text{D} & & \text{L} & & \text{T} & & \text{A} & & \text{F} \\
 \text{(용도위험)} & & \boxed{1.6} & \times & \boxed{1.2} & \times & \boxed{1.1} & \times & \boxed{1.1} & \times & \boxed{1.0} & = & \boxed{2.32} \\
 & & \text{제한이동} & & \text{6~10명} & & \text{1층} & & \text{3~5명} & & \text{65세이하} & & 
 \end{array}$$

이 값은 <표 3.11>의 'R'항에 입력되는 건축용도별 변수값으로 이용되며, 만일 신축건물일 때는 F값을 그대로 사용하여도 되나 기존 건물의 경우에는 60%만 인정하여  $F \times 60\%(1.39)$ 를 적용한다. 40% 정도의 위험을 크게 본다는 의미이다. 다음의 등가성 평가순서는 <표 3.8>을

작성한 후(음영부분) 선택 값을 <표 3.9>에 입력한다.

<표 3.8>에서 13개의 선택된 안전변수 수치를 <표 3.9>의 음영이 없는 모든 칸에 대입한다. 사람의 이동 안전 난에 들어가는 안전변수 13항(스프링클러) 수치는 <표 3.8>에서 선택 수치의 1/2로 <표 3.9>에 기록된다.

<표 3.8> FSES 안전변수 값

안전 변수		안전변수 값						
1. 구조		가연구조 V형, III형, IV형				불연구조 I형, II형		
	층별 또는 지역	000(U)	111	200(U)	211+2HH	000(U)	111	222,322,433
	1층	-2	0	-2	0	0	2	2
	2층	-7	-2	-4	-2	-2	2	4
	3층	-9	-7	-9	-7	-7	2	4
	4층이상	-13	-7	-13	-7	-9	-7	4
2. 내장재 (복도와 피난통로)		C급		B급		A급		
		-5(0) <sup>f</sup>		0 (3) <sup>f</sup>		3		
3. 내장재(실)		C급		B급		A급		
		-3(1) <sup>f</sup>		1 (3) <sup>f</sup>		3		
4. 복도의 간막이/벽		없음/불완전		20분이하		20분~60분		60분이상
		-10(0) <sup>a</sup>		0		1 (0) <sup>a</sup>		2(0) <sup>a</sup>
5. 복도로 향한 문		없음		20분이하		20분이상		20분이상+자동폐쇄
		-10		0		1(0) <sup>d</sup>		2 (0) <sup>d</sup>
6. 구역의 크기		막다른 복도			피난복도>30피트 및 구역의 길이			
		100피트이상	50~100	30~50	150피트이상	100~150	100피트이하	
		-6(0) <sup>b</sup>	-4(0) <sup>b</sup>	-2 (0) <sup>b</sup>	-2	0	1	
7. 수직 개구부		4개층이상 개방		2~3개층 개방		지정내화도로 구획		
		-14		-10		60분이하	60분~120분	120분이상
						0	2 (0) <sup>e</sup>	3(0) <sup>e</sup>
8. 위험 지역		2중결합			단일결합			결합없음
		지역 내	지역외		지역내	인접지역		
		-11	-5		-6	-2	0	
9. 제연		제연없음		방연벽		기계식 제연		
		-5(0) <sup>c</sup>		0		3		
10. 비상 이동경로		2개이하 경로		다수 경로				
		-8		부족	수평출구없음	수평출구있음	직접옥외출구	
				-2	0	1	5	
11. 수동 화재경보장치		수동 화재경보 미설치		수동 화재경보 설치				
		-4		소방서연결없됨		소방서 연결		
				1		2		
12. 연기감지 및 경보장치		없음	복도만 설치	방에만 설치		복도 및 거실 설치		전부설치
		0(3) <sup>g</sup>	2(3) <sup>g</sup>	3(3) <sup>g</sup>		4		5
13. 자동 스프링클러		미설치		복도 및 거실설치		전부설치		
		0		8		10		



<표 3.9> 화재안전전략의 평가하기 위한 FSES작업표

안전 변수	구획실 안전(S <sub>1</sub> )	소화안전(S <sub>2</sub> )	사람의 이동 안전(S <sub>3</sub> )	일반안전(S <sub>4</sub> )
1. 구조	4	4		4
2. 내장재(복도와 피난통로)	3		3	3
3. 내장재(실)	3			3
4. 복도의 간막이/벽	1			1
5. 복도로 향한 문	2		2	2
6. 구역의 크기			1	1
7. 수직 개구부	2		2	2
8. 위험 지역	-2	-2		-2
9. 제연			3	3
10. 비상 이동경로			-8	-8
11. 수동 화재 경보장치		1		1
12. 연기감지 및 경보장치		5	5	5
13. 자동 스프링클러	10	10	10 ÷ 2 = 5	10
총계	S <sub>1</sub> =23	S <sub>2</sub> =18	S <sub>3</sub> =13	S <sub>4</sub> =25

다음 단계는 필수 안전값을 결정하는 것으로 <표 3.10>의 계수 Sa, Sb, Sc 및 처음단계에서 구한 R 값을 선택하여 <표 3.11>의 화재등가성평가표에 기록하여 각열의 수치가 0이상이면 ‘예’, 수치가 음수가 나오면 ‘아니오’가 된다. 만일 “예” 란에 모두 체크되어 있으면 화재 안전 수준은 “Life Safety Code”의

적어도 동일한 것이고, “아니오” 란에 하나 이상 체크되어 있으면 화재 안전 수준은 “Life Safety Code”의 규정과 동등한 본 설비가 아님을 나타낸 것이므로 등가성평가를 받지 못한 것으로 해석하여야 한다

S1, S2, S3과 S4의 총 수치를 <표 3.11>에 표시된 S1, S2, S3와 S4의 칸에 넣는다.

<표 3.10> 필수 안전 요구사항(병원의 경우)

구역 위치	구획실(S <sub>a</sub> )		소화(S <sub>b</sub> )		사람의 이동(S <sub>c</sub> )	
	신축	기존 건물	신축	기존 건물	신축	기존 건물
1층	11	5	15(12) <sup>A</sup>	4	8(5) <sup>A</sup>	1
2층이나 3층 <sup>B</sup>	15	9	17(14) <sup>A</sup>	6	10(7) <sup>A</sup>	3
4층이상	18	9	19(16) <sup>A</sup>	8	11(8) <sup>A</sup>	3

<표 3.11> 화재등가성 평가표

S1	Sa	=	C	예	아니오
23	9	=	14	(○)	( )
S2	Sb	=	E	예	아니오
18	8	=	10	(○)	( )
S3	Sc	=	P	예	아니오
13	3	=	10	(○)	( )
S4	R	=	G	예	아니오
25	1.39	=	23.61	(○)	( )

따라서 예시한 철근콘크리트조 병원용도의 기존건물에 대한 항목별 안전변수는 음수가 아니므로 “예”에 해당하여 규정에 적합하다고 평가한다.

### 3.2.4 기타의 선행 화재위험 지수화 연구

그 밖의 선행 화재위험 지수화 연구는 이수경의 2인에 의한 “건물의 화재위험성 평가프로그램 개발”에서 822개의 체크리스트항목에 대분류별로 가중치를 주어 100점 만점의 평가모델을 개발하였으며, 이때 가중치는

문항의 중요도에 따라 3단계로 분류하여 각 단계별로 차등 가중치를 부여하였다. 체크리스트에 있는 평가항목이 평가대상건물에 없을 때에는 배점 및 취득점수에서 제외되어 있다[23].

스웨덴의 룬드대학교 화재안전공학부에서 목조주택의 화재위험 지수를 발표하였는데 총 17개항목에 대해 가중치를 부여하고, 가중치에 평가결과등급을 곱하여 평가등급을 산출하고 서열화를 시키는 방법이 연구되었다[24]. 가중치를 살펴보면 가중치의 총합은 1.0000이고 이를 내장재에 0.0576(5개등급), 소화기와 스프링클러에 의한 화재진압설비 0.0668(5개등급), 공공소방대의 능력과 도착시간 및 접근성과 장비에 0.1681(0.31×능력+0.47×도착성+0.22×접근성과 장비), 방화구획 0.0666(5개등급), 내화성능 0.1675(0.35×차열성+0.28×내화충전+0.24×관통부+0.13×연소성), 출입문 0.0689(0.67×탈출구방향+0.33×피난로상 출입문), 창호를 통한 연소위험 0.0473(5개등급), 외벽 0.0492(0.41×가연재료+0.30×창호상부가연재료+0.29×무벽), 다락방의 유무와 면적 0.0515(5개등급), 연소위험 0.0396(5개등급), 제연 0.1609(5개등급), 화재감지 0.0630(5개등급), 경보방법 0.0512(5개등급), 피난로 0.0620(0.34×피난로 형태+0.27×피난로 길이+0.16×피난장비+0.23×내장재), 구조안전성 0.0630(0.74×내화도+0.26×연소성), 점검과 유지관리 및 교육 0.0601 (0.40×유지관리+0.27×피난로 정비+0.33×교육), 배연 0.0558(5개등급)의 가중치를 부여하고 있다.

또 다른 화재위험도 평가로서 국내 A사의 화재위험도 평가지수(Fire Risk Evaluation Index, FREI)는

$$\text{FREI} = \text{빈도} \times 0.300 + \text{심도} \times 0.300 + \text{안전경영} \times 0.300 + \text{예상최대손실} \times 0.100$$

로 구성하여 가중치를 부여하고 있으나 하위레벨에서의 가중치배분의 등가성 확보, 정성적 요소의 정량화 과정에 대한 내용은 미지(未知) 상태이다.

## 4. 화재위험과 의사결정

### 4.1 화재위험의 선택 의사결정

위험의사결정은 화재안전과 관계된 제반 의사결정을 명확하게 전달하기 위해 화재와 관련된 위험을 포괄적으로 이해하고, 특성화하는 것으로 허용 위험의 수준을 결정하고 위험의 심도와 발생가능성에 관한 법규상의

강제 등에 관한 의사결정을 하는 프로세스라고 하였다.

예를 들면 2,500㎡ 평면공간에 대하여 건축법규상에서 면적단위의 방화구획은 1,000㎡마다 설치하도록 하였으나 건축물의 구조, 용도를 감안시 1,000㎡마다 설치하면 건축물의 기능을 저해하고, 경제성이 떨어진다고 가정하면, 법규를 준수할 것인가 하는 문제에 봉착한다. 이때 자동식 스프링클러설비를 설치하면 방화구획 설정면적기준이 3배로 완화되어 3,000㎡마다 방화구획을 설치할 수 있다는 대체규정을 적용가능하다. 이 경우 화재위험과 의사결정에 관한 프로세스가 위험분석과정을 통하여 촉진될 수 있다. 「방화구획을 1,000㎡마다 설치」 하였을 때와 「스프링클러설비를 설치한 방화구획 설정면적 3,000㎡」는 등가성이다. 즉 무차별(Indifference)하다고 느끼는 확실한 대안(alternative)으로서 두 기준이 선택된다. 순수공학적 판단에서 화재시 물레이션에 의한 화재의 확산과 재실자의 피난시간 경과를 의사결정 주요자료하고 양자의 위험 양과 질을 비교하고 건축비, 설비비 및 유지관리비와 경제적 이득 등을 비용-편익분석으로 기술경제성 검토 등의 결과를 근거로 위험 선택 의사결정을 하게 된다.

### 4.2 화재 위험도 지수화의 방법

지수화(Indexing)방법은 전문가에 의한 평가와 과거 경험으로부터의 선택된 변수에 일정치(값)을 부여하고 이를 연산하여 그 결과를 도출한 다음 결과치를 비교·분류하여 화재위험 수준을 결정하게 된다. 지수화에 동원되는 '전문가에 의한 평가와 과거 경험'에는 위험 측정 대상에 되는 변수에 대해 관측자들의 주관적 인식 차에 의한 척도(尺度)상의 오차, 관측자 개인의 욕구나 욕망 또는 신념이 형성되고 이를 유지하려고 하는 동기적 편 의 등 여러 요인에 의해 오류가 발생할 수 있다[25][26]. 화재위험을 둘러싼 각 분야의 위험경감요소 및 증가요소는 각각 평가 기준도 다를 뿐 아니라 기여하고 있는 그룹의 목표도 다르나 상호 관련성을 가지고 간접적, 유기적으로 작용하고 있다. 화재위험의 체계를 구성하는 계층과 각 계층에 속한 요소의 평가기준과 척도의 정성적 요소의 다양성을 지수화할 수 있는 방법으로 다기준의사결정(multi-criteria decision making)방법 가운데 전문가의 의견집약 즉, 문제를 효과적으로 분할, 분류하여 제시 집약된 의견의 일관성 검증이 용이한 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용한 화재위험도 지수 평가체계 구축이 가능하다. AHP에서 상대적 중요도인 가중치를 추정함에 있어 고유벡터법이 일관성측정에 보편적이며, 실무적으로도 AHP가 방대한 화

재위험 관련 요소를 용이하게 세분화, 계층화하여 단순화·간결화시킬 수 있고 각 요소를 쌍대비교로서 계층구조내에서 비율적으로 상호관계를 명확하게 표시할 수 있으며, 쌍대비교행렬을 이용, 상대적 가중치 산출과 평가순위 도출 및 검증도 가능하므로 논리적이므로 화재위험 지수산출에 기여할 것으로 판단된다[27]. 이와 관련, 지수화 모델개발에 앞서 준비단계에서의 모의 실험은 AHP 쌍대비교 면접조사에 한국화재보험협회 화재위험관리 전문가가 참여하였으며 화재 위험도를 다음과 같이 레벨 3으로 분석하고 계층화하였다. 분석대상 모델은 능동적 방화(소화)시스템으로 25회[계층별  $n(n-1)/2$ ]를 쌍대비교한 후 엑셀프로그램으로 가중치 분석하였으며, 그 결과는 <표 3.12>와 같이 산출하였다.

<표 3.12> 화재 위험도 지수 개발을 위한 예비 가중치 산출

평가레벨	가중치(%)		
	레벨 3	레벨 2	레벨 1
화재폭발위험			
방화관리체계			
수동적방화관시스템			
능동적방화(경보)시스템			
소화활동설비			
능동적방화(소화)시스템			
소화기		22.00	
옥내소화전		15.00	
수원	26.00		
가압송수장치	27.00		
매관 및 밸브	8.00		
기동장치 및 제어반	17.00		
소화전함 및 방수구	8.00		
점검 및 관리	14.00		
계	100.00		
옥외소화전		8.00	
스프링클러		42.00	
가스계소화설비		13.00	
계		100.00	-

### 5. 결 론

위험의사결정, 인명보호, 자산보호 등을 목적으로 잠재 화재위험 분석을 하고, 위험의 현재화 가능성(위험의 빈도)와 현재화 되었을 때 그 결과가 어떤 폭으로, 어떤 깊이로 나타날 것인가(심도)를 확인·추정·분석·평가하여 정량화 하며, 일정한 허용 범위내에서 정량화된 위험도를 몇 개의 단계로 수준을 평가하고, 등급화하여 위험관리하는 일련의 과정에서 중요한 역할을

하는 것은 상대위험도를 비교 가능케하는 지수이다.

위험 수준평가 방법의 선택에 크게 영향을 미치는 조건은 비용과 시간상의 제약이다. 화재 위험도를 지수화하는 방법으로는 FREM에서 제공한 수식의 개념을 도입하고, '화재 위험도 지수 개발을 위한 예비 가중치 산출'과 같은 가중치 산출방법을 활용하여 화재위험을 지수화하여 순위화, 등급화하는 것이 가능하다. 따라서 화재위험도 지수산출에는 다속성/다기준 평가가 가능하고 비용과 시간상의 제약을 극복하는 간편성, 실용적인 면과 유용성 및 타당성을 확보하였다는 점에서 AHP가 적당하다고 본다.

### 6. 참 고 문 헌

- [1] 日本規格協會, “リスクマネジメントシステム構築ガイド”, 2003, 121~132
- [2] John M. Watts, Jr., & John R. Hall, Jr., “Introduction to fire risk analysis”, NFPA, The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-3
- [3] 日本規格協會, “JIS Q 2001 リスクマネジメントシステム構築のための指針”, 2003
- [4] Man-Cheung Hui, “How Can a Fire Risk Approach Be Applied to Develop a Balanced Fire Protection Strategy”, <http://www.fpemag.com>
- [5] 김동일, “건물 화재위험의 정량적 평가”, 한국화재소방학회지 Vol 1, No 3, 2000, 6~11
- [6] Brian J. Meacham, “Building Fire Analysis”, NFPA, The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-153~175
- [7] SFPE, “Engineering Guide Fire Risk Assessment”, 2006, 13~17
- [8] 이재기, “체르노빌 원전사고 10년회고”, 방사선방어학회지 21권3호, 1996, 183~200
- [9] 김우형, “원자력발전소의 화재안전계획에 관한 연구”, 한국화재학회지, 5권3호, 1991, 15~22
- [10] 한국화재보험협회, “대연각호텔화재”, 방재와 보험, 1993, 57호, 50~54
- [11] 장승식, “화학공정의 화재·폭발지수와 환경영향평가지수와 비교연구”, 연세대학교, 석사학위논문, 2002, 5~9
- [12] 角田浩, “化學プロセスのリスクアセスメント”, 消防科學と情報, No 61, 2000.
- [13] John M. Watts, Jr., & John R. Hall, Jr., “Introduction to fire risk analysis”, NFPA, The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-3~6

[14] NFPA, "NFPA 551 Guide for the Evaluation of the Fire Risk Assessments", 2007

[15] John M. Watts, Jr., & John R. Hall, Jr., "Fire Risk Assessments for Nuclear Power Plant", NFPA, The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-214

[16] Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden. "Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering", 1998, 8

[17] John M. Watts, Jr., "Index Approach to Quantifying Fire Risk, Proceedings", SFPE Symposium on Risk, Uncertainty and Reliability in Fire Protection Engineering, SFPE, Bethesda MD, 1999, 39~45

[18] 한국화재보험협회, 화재보험요율서, 2008.4

[19] 정의수, "아파트형공장의 방화관리 개선방안에 관한 연구", 명지대학교, 석사학위논문, 44~48

[20] 김동일, "FREM을 적용한 고층건물의 화재위험도 비교평가 연구", 서울산업대학교, 석사학위논문, 41~50

[21] NFPA, "NFPA 101A Guide on Alternative Approaches to Life Safety", 1995

[22] John M. Watts, Jr., "Fire Risk Indexing", The SFPE handbook of fire safety engineering, 3rd edition(2002), 5-129-135

[23] 이수경 · 이상준 · 김종훈, "건물의 화재위험성 평가 프로그램 개발", 한국화재 · 소방학회지, 제16권 제1호, 2002, 60~65

[24] Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden. "Evaluation of a Fire Risk Index Method for Multistory Apartment Buildings", 2008, 38~57

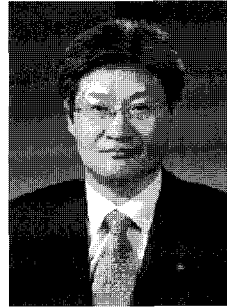
[25] 이훈영 · 조옥래 · 이시환, "계량심리학의 방법론을 이용한 체계적인 전문가 지식구조분석 방법", 한국경영과학회지, 제23권1호, 1998, 3~6

[26] 장래학, "AHP를 이용한 의사결정시 효율적인 가중치 결정을 위한 의사결정지원시스템", 성균관대학교, 석사학위논문, 2003

[27] 함형범, "AHP의 수학적 배경과 수학교육 목적의 실천" 한국수학사학회지, 제 17권제2호, 2004, 24~30

## 저자 소개

### 정의수



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

주소: 경기도 고양시 일산서구 주엽동49 강산마을 501동 701호

### 양광모



명지대학교 산업공학과 학사, 석사 박사, 현재 유한대학 산업경영과에 재직 중이며, 관심분야는 생산관리, 작업관리, 안전관리 등이다

주소: 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34

### 하정호



명지대학교 산업경영공학과에서 박사학위를 취득하고, 현재 명지대학교 산업경영공학과 객원교수로 재직 중이며, 한국화공안전기술사회 회장, 대한안전경영과학회 부회장, (주)누리엔소방 회장을 맡고 있다. 주요 관심분야는 사업장 안전경영 스템, 소방안전관리 등이다.

주소: 서울 동작구 사당동 1009-34 누리 B/D 2F (주)누리엔소방(Nuri Fireprotection Engineering. Co. Ltd)

### 강경식



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

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