

[Technical Paper]

화재의 실화배상책임액 산정을 위한 프레임워크 수립에 관한 연구

송광석 · 박중화^{*†}

대전대학교 방재학과 대학원생, *대전대학교 소방방재학과 교수

A Study on the Establishment of the Framework Apportionment Ratio in Calculating Damages due to Accidental Fires

Kwang-Suk Song · Chung-Hwa Park^{*†}

Graduate Student, Dept, of Disaster Prevention, Daejeon University,

*Professor, Dept, of Fire & Disaster Prevention, Daejeon University

(Received November 26, 2019; Revised December 7, 2019; Accepted December 9, 2019)

요 약

2009년 실화책임에 관한 법률이 개정된 이후, 실화 책임과 관련하여 이해당사자들은 서로 배상책임액 산정을 두고 소송을 통해 제반 이슈를 해결하고 있다. 화재사고는 직접 피해와 함께 연소 확대에 의한 추가 피해의 구분이 어려운 복잡한 구조이기 때문에, 이에 따른 실화 배상책임액 산정의 경우도 타당성과 신뢰성이 확보된 프레임워크의 수립과 활용의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 실화배상책임액 산정을 위한 프레임워크의 수립을 위하여 정부가 발표한 화재 통계자료와 선행 연구자들의 연구 데이터 및 결과를 기반으로 상기 프레임 워크에 적용할 화재의 유형화와 실화 책임 주체의 정리 및 적용 기법(AMEA, FTA)을 통해 정성 항목을 정량화하였으며 확률적으로 처리하고, 그 결과를 제시하였다.

ABSTRACT

Since the amendment of the Accidental Fire Liability Act in 2009, interested parties in accidental fire liability contracts have settled issues associated with the estimation of each other's liability amounts through lawsuits. As fire accidents are complex in nature, it is difficult to distinguish between direct and additional damages caused by extended combustion while calculating liability amounts for accidental fires. Additionally, there is an increasing need for establishing and using a framework that includes validity and reliability. To establish such a framework for estimating the liability amounts in case of an accidental fire, this study suggests a novel categorization of fires to be applied to the framework. This will be organized by the subjects of the liability of accidental fires, and quantified and probabilistic processed qualitative items through the methods applied to quantification (AMEA/FTA) based on the fire statistics data published by the government and the previous researchers' research application data and results.

Keywords : Fire Liability, Fire Insurance, Fire Investigation, Civil Liability, Fire Cause by Negligence

1. 서 론

우리 생활주변에서는 크고 작은 수많은 화재들이 거의 매일 발생한다. 그중에는 많은 인명피해와 재산피해가 큰 대형 화재도 있고, 사소한 부주의에 의한 작은 화재도 있다. 화재사고의 원인으로 방화도 있지만 대부분이 실화자의 실수에 의한 화재가 많은 부분을 차지하고 있다. 지난 2019년 3월 용인시 롯데 물 공사 현장에서 발생한 화재 또한 용접 작업을 하던 중 불씨가 가연물에 옮겨 붙어 발생

한 화재로 소방서 발표 13명이 상해를 입고, 9억 원의 재산 피해가 발생한 실화에 의한 화재였으며⁽¹⁾, 9월에 발생한 김포 요양병원화재 또한 중환자에게 쓰러던 산소통을 운반하는 과정에서 산소통이 폭발하면서 가연물에 옮겨 붙은 화재로 2명이 사망하고, 47명의 부상자가 발생한 실화에 의한 화재였다⁽²⁾. Table 1에서 볼 수 있듯이 최근 10년간 433,736건의 화재가 발생하였고, 그중 실화에 의한 화재 건수는 372,620건으로 전체의 85.93%에 해당하는 것으로 나타났다. 피해액 기준으로 살펴보면 약 3조 8천억 원 이상이

[†]Corresponding Author, E-Mail: chpark@dju.kr. TEL: +82-42-280-2571, FAX: +82-42-280-2596

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

발생하였다³⁾.

이러한 사회 이슈에 대해 법/제도에 대한 개정도 이루어졌으며, 2009년 법률 제9648호로 개정된 실화책임법에 의하면 실화자의 중대 과실과 직접 피해에서는 실화자의 손해배상책임을 무겁게 하고 있고, 경미한 과실에 대해서만 경감사유를 적용하고 있다. 상기의 개정 실화책임법에 따르면 특히 경감사유에 대해서는 화재의 원인과 규모, 피해의 대상과 정도, 연소 및 피해 확대 원인, 피해 확대를 방지하기 위한 실화자의 노력, 배상의무자 및 피해자의 경제 상태, 그 밖에 손해배상액을 결정할 상황을 고려하여 적용하고 있다⁴⁾. 따라서 실화책임법에서 배상 책임에 대한 법원 판단의 기초가 되는 화재사고의 원인을 살펴볼 때, 실화에 따른 배상 책임 관련 소송의 합리적 판결을 위해서는 감정평가 제도의 활용이 무엇보다 필요할 것으로 판단된다. 그러나 손해배상책임액의 경감에 대한 판단의 고려에 있어서 소송 당사자들의 주장과 입증에 기초하여 전적으로 재판부의 재량으로 경감비율이 정해지는 경향이 있다고 한다⁵⁾.

또한 화재의 특성상 초기진화가 어렵고, 화재의 원인 조사는 발화지점이 훼손된 후 화재 연소 잔해물의 수거를 통한 감식으로 이루어져서, 화재 원인을 밝히기가 매우 어려움이 있고, 화재 피해자는 가해자의 고의 또는 과실을 입증하여야 가해자에게 불법행위를 원인으로 손해배상청구를 할 수 있는데, 관계 당국의 조사 결과는 다수가“원인 불상”으로 종결되는 경우가 많아 이를 피해자가 입증하기가 매우 불가능하다는 것이다⁶⁾. 또한 과실 혹은 중과실 판단에 있어 전제가 되는 주의의 정도에 대한 기준이 법원에서 계량화된 경제학적 계산 방법을 사용하는 것이 아니라서, 배상책임액을 판단하기에 합리적인 기준이 필요하다고 주장하였다⁷⁾. 또 화재가 가지고 있는 위험성, 유용성, 연소성, 손해의 무한한 확대 가능성, 그리고 건물의 고층화, 밀집화로 화재 발생 시 직접 피해로부터 연소 확대 피해에 영향을 주는 요인들은 아주 다양하고 복잡한 구조를 가지고 있어 화재피해의 확대 여부와 규모가 실화자에 의해 통제하기가 어렵다고 주장하였다⁸⁾.

화재사고의 특수성과 선행연구를 고려해보면, 배상책임액 산정을 위해 재판부의 판결을 뒷받침할 수 있는 감정평가 제도의 확립과 평가 기준의 필요성이 요구된다. 상대적으로 화재사고 보다 피해액이 적은 자동차 사고는 과실 유무에 대하여 체계적으로 매뉴얼과 시스템이 잘 구축되어

있어서, 이해 당사자들 간에 과실비율에 대한 신뢰성 있는 감정평가가 이루어지고 있다⁹⁾. 앞으로도 개정된 실화책임법과 연관된 화재사고는 지속적으로 발생할 것이고, 그에 따른 손해배상책임 소송 또한 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 이러한 경향에 비추어 볼 때, 실화책임법에 따른 배상책임액 산정을 위한 감정평가 모델의 프레임워크 수립은 매우 중요한 사항으로 판단된다. 본 연구는 국내 대형화재 사고의 피해 확산 요인에 관한 연구¹⁰⁾에 의해 제시된 7가지 화재 유형과 각각의 유형에 따른 26가지 세부 항목 분류를 실화 배상책임액 산정을 위한 책임 주체별 화재 유형으로 재분류하여, 분류된 화재의 유형이 실화 책임 주체별 배상책임액 산정비율에 어떠한 영향을 주는지 실증 연구 분석을 통하여 감정평가 모델을 만들기 위한 프레임워크를 제안하였다.

2. 선행연구

2.1 실화 책임 주체에 따른 화재 유형

대형화재 확산 원인을 구체적으로 유형화한 연구 자료를 보면, 대분류로 1) 건축시설·환경 및 구조, 2) 화재인지 지연, 3) 자체 초기 대응 미흡, 4) 소화 설비 유/무, 5) 소방현장대응 곤란, 6) 급격한 연소 확대, 7) 소방현장대응 미흡으로 7가지로 구분하였고, 중분류로 상기 대분류의 7가지 화재 유형 중 건축시설·환경 및 구조에서 8가지 하위 유형, 화재인지 지연에서 4가지 하위 유형, 자체 초기 대응 미흡에서 4가지 하위 유형, 소화 설비 유/무에서 2가지 하위 유형, 소방현장대응 곤란에서 4가지 하위 유형, 급격한 연소 확대에서 3가지 하위 유형, 소방현장대응 미흡에서 1가지 하위 유형으로 구분하여 총 26가지 항목으로 유형화하였다¹⁰⁾.

상기 유형화한 데이터를 본 연구를 위해 Table 2와 같이 화재 관련 건축법, 소방법, 산업안전보건법 등 관계법령 적용과 소방전문가 인터뷰를 통해 재가공하여 실화 책임의 주체를 분류하는 기준으로 재유형화 하였다. 재유형화를 통해 분류된 내용으로는 시설물을 점유하는 시설물 관리자와 시설물을 사용하거나 또는 시설물과 인과관계가 없으나 과실로 화재를 발생시키는 실화자, 그리고 시설물의 관리 감독 책임이 있는 국가 등 3가지로 구분할 수 있었다. 실화 책임 주체별 책임 유형으로는 시설물관리자는 건축시설·환경 및 구조, 화재인지 지연, 소화 설비 유/무, 급격한 연소

Table 1. Accidental Fire Statistics

Year	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Fire total	47,318	41,863	43,875	43,249	40,932	42,135	44,435	43,413	44,178	42,338	433,736
Accidental fire	39,016	34,602	36,883	37,054	35,085	36,903	38,981	38,241	38,721	37,134	372,620
Property damage	2,518	2,665	2,565	2,894	4,344	4,053	4,331	4,206	5,069	5,597	38,242
Percentage	82.45%	82.66%	84.06%	85.68%	85.72%	87.58%	87.73%	88.09%	87.65%	87.71%	85.93%

Table 2. Types of Accidental Fire Liability

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 Ea)	Details (26 Ea)
Spread by absence of facility manager	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention / Construction sites/Labyrinth type / Single exit / Emergency exit closure / Wooden Structure / Combustible Materials / Illegal facilities
	Extinguishing facility	Absence of facilities / Poor facilities
	Rapid combustion	Arson/Explosion / Excessive combustibles
	Delayed cognition	Absence of Alarms / Poor Alarms / Unrecognized of Alarms / Fire at bedtime
Spread by absence of accidental fire safety awareness	Insufficient self-response	Lack of consciousness / Delay report / Failure of Fire-fighting / No self extinguishing equipment
Spread by absence of management of government	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire Stations / Illegal Parking / Narrow Road / Worry about Collapse
	Insufficient Fire-fighting	Insufficient Fire-fighting

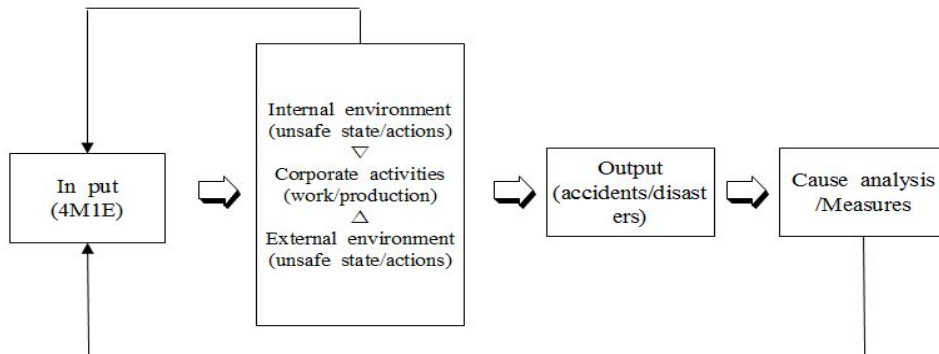


Figure 1. Types of accident through 4M1E (AMEA).

확대 등 4가지 유형이 적용되었으며, 실화자는 자체 초기 대응 미흡으로 1가지 책임 유형이 적용되었다. 또한 국가는 소방현장대응 곤란과 소방현장대응 미흡으로 2가지 책임 유형이 적용되었다. 이러한 실화 책임 주체에 따른 화재 유형의 재분류는 실화 책임에 대한 배상 책임의 주제로 본 연구에서는 활용하였다.

2.2 화재사고의 위험 우선순위

실화 책임 주체별로 분류한 화재 유형이 화재의 직접 피해와 연소 확대 피해에 얼마나 많은 영향을 주는지를 확인하기 위하여 Table 3의 2000년대 이후 발생한 26건의 실화 화재사례를 소방 화재조사 자료와 언론 보도 내용을 참조하고 수집하여 분석하였고, Table 4(1), (2), (3)은 26건의 화재 사고 사례를 화재유형별로 발생 빈도수가 어떻게 되는지 확인하였고, 이 자료를 사고 유형 영향분석(Accident mode and effects analysis, AMEA) 기법을 통해서 화재 유형별 위험 우선순위를 분석하는데 기초자료로 사용하였다. AMEA 분석 기법의 4M1E (Man, Machine, Method, Material, Environment)에 의한 사고 이론을 사용하여 사고 발생 시 예상되는 화재 발생 위험의 크기를 심각도(Severity), 발생도(Frequency),

검출도(Detection)의 곱의 값으로 하여 위험 우선순위(RPN)를 결정하는 평가 방식을 채택하였다⁽¹¹⁾.

Kim 등⁽¹²⁾은 AMEA를 활용한 위험성 평가에서 사고 발생 시 중요 요소인 인적, 물적 피해에 대한 심각도를 발생도와 검출도에 적용하여 가중치를 주고, 사고를 예측하고, 사전 예방할 수 있는 안전 관리를 검출도에 적용함으로써 안전 관리가 적정한지, 추가 예방대책이 필요한지를 파악하는 연구에 활용하였다. 또한 Lee⁽¹³⁾는 단위작업에서 AMEA를 통하여 위험성 평가와 안전 특성을 파악하고, 여기에 연계된 작업자 안전평가 시스템을 구축하여 작업자의 안전수준을 향상시키는 안전 관리 시스템을 만들었다. Youn⁽¹⁴⁾은 철도산업에서 발생하는 대형사고의 위험요인 및 대책을 확인하고, AMEA 시트를 활용하여 중점 안전 관리 항목을 도출하였다.

화재사고의 위험 우선순위(RPN)의 선정을 위해 본 연구에서는 AMEA 분석 기법을 활용하였는데, 화재사고의 조건을 Figure 1의 절차에 따라 화재사고 피해의 결과물(Output)은 기업의 작업과 생산 활동의 각종 공정에서의 투입물(Input)에 의해서 발생한다는 것이다. 여기서, 재해 발생의 기본요인으로 활용된 4M1E는 4M (Man, Machine, M

Table 3. Fire Cases Since 2000 s (26 Cases)

Division				Area	Cause	Damage		
No	Date	time	Fire Name			Death	Injury	Property (One Million Won)
1	00.11.11	5:20	Neuropsychiatry Fire	Seoul	mobile gas heater	8	25	14
2	01.01.10	17:04	Pohang a large discount store Fire	Pohang	welding buoyancy	4	48	804
3	01.05.16	22:30	Yeji Academy Fire	Gwangju	cigarette fire estimation	10	23	4
4	01.08.03	2:58	Dream Palace Motel Fire	Cheonan	an unknown subject	6	2	45
5	01.12.22	2:22	Sinchon Origin Fire	Uijeongbu	carelessness (stove conduction)	5	4	3
6	03.04.09	10:54	Kunsan a construction site Fire	Kunsan	welding buoyancy	0	0	2,519
7	13.12.17	16:53	Daeheung Farm Fire	Cheongdo	welding buoyancy	12	7	216
8	05.09.24	13:16	Ilsan spinning factory Fire	Cheongwon	an unknown subject	0	0	6,271
9	05.12.29	9:57	Seomun Market District 2 Fire	Daegu	an unknown subject	0	4	18,682
10	07.03.17	8:18	Guro Sindorim a construction site Fire	Seoul	welding buoyancy	1	59	230
11	07.08.09	20:41	Gocheon-dong Wonjin Industrial Fire	Uiwang	chemical factor (oil vapour)	6	2	188
12	07.12.26	17:18	Ansan an unauthorized adult game room Fire	Ansan	welding buoyancy	5	2	30
13	08.01.07	10:38	Korea cryogenic warehouse Fire	Icheon	an unknown subject	40	10	7,877
14	08.12.05	12:09	Logistics Center Fire	Icheon	welding buoyancy	7	6	72,100
15	09.11.14	14:26	Kanadara indoor shooting range	Busan	chemical factor (gunpowder)	10	6	45
16	10.10.01	11:33	Wu Xingolden Sweat Fire	Busan	electricity (a short circuit)		7	5,700
17	12.12.16	23:58	HyupjinVilla Fire	Namyangju	food cooking		11	19
18	13.03.23	10:20	Golden Bulgama	Jeju	welding buoyancy		14	8
19	13.05.03	13:10	korea Refrigeration Fire	Anseong	an unknown subject			98,872
20	14.04.28	14:51	Amore Pacific	Daejeon	an unknown subject			1,370
21	14.05.26	9:02	Goyang Terminal Fire	Ilsan	welding (gas leak)	8	116	1,400
22	14.09.30	8:55	Hankook Tire Fire	Daejeon	an unknown subject			15,545
23	14.11.15	21:45	Hwangsoil House Fencing Fire	Damyang	carelessness	4	6	14
24	15.01.10	9:16	DaebongGreen Apartments Fire	Uijeongbu	carelessness	5	162	9,000
25	15.04.03	1:53	Automart Fire	Busan	an unknown subject		1	9,242
26	15.08.21	1:55	Urethane factory Fire	Pyeongtaek	an unknown subject		1	32,600

ethod, Material)인 재해와 IE (Environment)인 환경으로 구분하여 내부 환경과 외부 환경에 따라 유형화하였다. 심각도(Severity) 분석을 통해서는 화재사고 발생 시 사고를 방지하기 위해 설치된 시설물의 작동을 빠르게 인지할 수 있는지 유/무를 1~10 등급으로 분류하여 적용하였으며, 발생도(Frequency)에서는 화재사고 시 화재 유형에 따라 발생하는 빈도수를 1~10 등급화하여 적용하였고, 검출도(Detection) 분

석은 화재의 유형을 사전에 탐지할 수 있는지의 크기를 1~10으로 등급화하여 분석하였다⁽¹²⁾. 이러한 분석을 통하여 검출된 정량 값을 심각도 × 발생도 × 검출도로 곱하여 도출된 합산 값으로 화재사고의 직접 피해와 연소 확대 피해에 영향을 주는 화재 유형에 대해 위험 우선순위(Risk Priority number, RPN)화 작업을 하였다⁽¹⁵⁾. 위험 우선순위화 작업의 결과물 값은 화재사고의 실화 책임 주체별 배상

Table 4(1). Analysis of Fire Types in Fire Cases since 2000 s (26 Cases)

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	Fire Types of 26 Cases in 2000 s (Table 3. Reference)									Subtotal (A)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Spread by absence of facility manager	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention				1					1	2
		Construction Sites						1				1
		Labyrinth type	1								1	2
		Single exit			1	1	1		1			4
		Emergence closure	1	1	1		1		1			5
		Wooden structure										0
		Combustible materials		1	1			1	1	1		5
	Illegal facilities	1		1		1					3	
	Delayed cognition	Absence of Alarms					1	1				2
		Poor Alarms		1	1	1				1		4
		Unrecognized of Alarms	1						1		1	3
		Fire at bedtime	1			1						2
	Extinguishing facility	Absence of facilities	1		1	1	1	1	1			6
		Poor Facilities		1						1	1	3
	Rapid Combustion	Arson										0
		Explosion										0
		Excessive Combustion		1			1	1		1	1	5
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness	Insufficient self-response	Lack of consciousness	1		1	1	1					4
		Delayed report	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
		Failure of Fire-fighting	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
		No self extinguishing equipment										0
Spread by absence of management of government	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations							1			1
		Illegal Parking										0
		Narrow Road									1	1
		Worry about collapse									1	1
	Insufficient Fire-fighting		1	1	1	1	1	1	1		1	8

Table 4(2). Analysis of Fire Types in Fire Cases Since 2000 s (26 Cases)

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	Fire Types of 26 Cases in 2000 s (Table 3. Reference)										Subtotal (B)
			10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Spread by absence of facility manager	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention	1							1		1	3
		Construction Sites	1			1							2
		Labyrinth type											0
		Single exit		1	1	1			1		1		5
		Emergence closure			1								1
		Wooden structure											0
		Combustible materials				1	1			1			3
		Illegal facilities			1								1
	Delayed cognition	Absence of Alarms	1		1						1		3
		Poor Alarms				1							1
		Unrecognized of Alarms							1				1
		Fire at bedtime									1		1
	Extinguishing facility	Absence of facilities	1	1	1				1	1	1		6
		Poor Facilities				1	1					1	3
	Rapid Combustion	Arson											0
Explosion			1		1			1				3	
Excessive Combustion		1	1	1	1	1	1	1	1		1	8	
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness	Insufficient self-response	Lack of consciousness											0
		Delayed report	1	1	1	1	1	1	1		1	8	
		Failure of Fire-fighting	1	1	1	1	1		1		1	7	
		No self extinguishing equipment									1		1
Spread by absence of management of government	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations				1	1					2	
		Illegal Parking										0	
		Narrow Road		1								1	
		Worry about collapse		1		1	1					3	
	Insufficient Fire-fighting	1		1	1			1				4	

Table 4(3). Analysis of Fire Types in Fire Cases Since 2000 s (26 Cases)

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	Fire Types of 26 Cases in 2000 s (Table 3. Reference)								Subtotal (C)	Total [A+B+C]		
			19	20	21	22	23	24	25	26				
Spread by absence of facility manager (B)	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention			1	1			1			3	8	
		Construction Sites			1							1	4	
		Labyrinth type										0	2	
		Single exit					1	1				1	11	
		Emergence closure										0	6	
		Wooden structure					1					1	1	
		Combustible materials	1	1	1	1		1			1	6	14	
	Illegal facilities					1					1	5		
	Delayed cognition	Absence of Alarms					1				1	2	7	
		Poor Alarms			1				1			2	7	
		Unrecognized of Alarms	1	1	1	1						4	8	
		Fire at bedtime								1		1	4	
	Extinguishing facility	Absence of facilities	1				1	1	1	1		5	17	
		Poor Facilities		1	1	1						3	9	
	Rapid Combustion	Arson										0	0	
		Explosion										0	3	
		Excessive Combustion	1		1	1	1	1	1	1		7	19	
	Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness (C)	Insufficient self-response	Lack of consciousness							1			1	5
			Delayed report	1		1	1	1	1	1	1		7	24
			Failure of Fire-fighting	1	1				1	1	1		5	21
			No self extinguishing equipment					1					1	2
Spread by absence of management of government (D)	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations	1									1	4	
		Illegal Parking						1				1	1	
		Narrow Road						1				1	3	
		Worry about collapse	1	1		1				1		4	8	
	Insufficient Fire-fighting				1	1	1	1				4	16	

책임액 비율 산정에 활용하여 반영하였다.

2.3 실화 배상책임 비율산정

AMEA 분석을 통해 얻어진 우선순위에 의한 화재 유형이 실제적으로 실화 책임 주체별 배상 책임비율에 수치상으로 어느 정도 영향을 주고 있는지를 확인하기 위해서, 결합 수(Fault tree analysis, FTA) 분석 기법으로 분석하였다. FTA 분석 기법은 정상 사상으로부터 사상의 원인을 규명·분류하고 분석하여, 정량화하여 발생 확률을 계산하는 분석 기법이다⁽¹⁶⁾. Kim and Lee⁽¹⁷⁾는 정온전선의 화재의 위험성을 FTA를 이용한 연구를 통해 발화 원인을 규명하고, 화재사고를 예방할 수 있는 기초 시스템을 만들었다.

결합 수 분석 기법(FTA)은 시스템 안전공학의 대표적인 방법으로써 미국 벨 연구소의 Watson (1962)에 의해 처음으로 고안되었다. FTA는 시스템의 고장의 원인을 Top-down 방식으로 유추해 가며 논리적으로 안전성을 분석하여 결합 트리의 형태를 만들고, 시스템의 고장 확률을 구하는 분석 기법으로 취약한 부분을 찾아내서 시스템의 안전성과 보안성을 개선하는 정성적, 정량적 평가 기법이다. 각종 기계와 서비스에서 일어나는 사상(Event)과 원인이 되는 재해나 사고 등의 관계를 논리기호를 사용하여 Fault tree (FT) 결합수로 만들고, 연역적·정량적·확률적인 데이터로 분석하여 사고 원인을 수치로 표현하는 것이 장점이다⁽¹⁸⁾.

Figure 2를 보면 알 수 있듯이 본 연구에서는 화재 유형을 최상위 사건(Top event)으로 설정하고, 과거 화재사고의 사례를 폭넓게 조사하여 화재 원인과 영향을 상세 분석하여 관련자의 실수를 파악하여 적용하였다. 또한 최상위 사

건에 대한 1차원인, 2차 원인을 포함한 더 이상 분할할 수 없는 기본 사건(Basic event)까지 반복 분석하고, 작성된 결합 트리(FT)를 간소화하였다. 다음으로는 Table 3의 2000년대 이후의 화재사례 26건에 대한 Table 4의 화재유형 사례 분석에 의해 화재 유형 발생 빈도와 발생률, 에러 데이터를 최종 정리하여 화재 유형의 발생 확률을 계산하였다. 화재 유형에 따른 발생 확률 계산 결과가 과거의 사례와 비교하여 현격한 차이가 날 때는 작성된 FT를 재검토하였다⁽¹⁹⁾. 이렇게 분석된 데이터는 AMEA 분석으로 얻은 RPN 값을 할증률로 환산한 값과 곱하여 화재 유형에 따른 실화 책임 배상액 산정의 프레임워크로 적용하였다.

3. 연구결과 분석

3.1 직접 피해와 연소 확대피해 유형에 따른 타당성 분석

화재 연소 확대 유형 7가지를 세분화한 26개의 화재유형 항목의 위험 우선순위(RPN) 값을 얻기 위해서 2000년대 이후 발생한 화재사례 26건의 화재유형별 발생 빈도수 분석과 소방 전문가 인터뷰를 통해 얻은 데이터를 AMEA 기법으로 분석을 하였다. 이 연구 분석 결과 Table 5의 심각도 분석에서는 화재사고와 관련하여 설치된 시설물 및 화재의 직접/ 연소 확대 피해에 영향을 줄 수 있는 내/외부 환경요인이 되는 화재 유형으로써 방화구획 미흡, 비상구 폐쇄, 가연성 자재, 불법시설, 소화 설비 부재, 가연물 과다, 안전 의식 결여, 안전시설 부재, 소방대응 미흡 등이 위험 우선순위 10등급으로 분석되었다. 이것을 실화 책임주체별로 보면 시설물 관리자 책임 유형이 6건, 실화자 책임 유형이 2건, 국가 정부의 책임 유형으로 소방대응 미흡이 1건으로 위험 우선순위가 높게 분석되었다. 이렇게 높은 위험 우선순위의 화재유형은 배상 책임비율도 높을 것으로 판단된다.

또한 Table 6의 발생도 분석에서는 신고 지연이 10등급으로 가장 높게 위험 우선순위로 나와 화재의 초기진화 시 실화자의 신속한 신고의 중요성이 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Table 7의 검출도 분석에서는 화재 연소 확대 원인 유형에 대해 위험 우선순위 분석 작업을 해본 결과 방화구획 미비, 공사장, 비상구 폐쇄, 가연성 자재, 불법시설, 소화 설비 부재, 가연물 과다, 불법주차, 소방대응 미흡 등 8개의 화재유형이 10등급으로 위험 우선순위로 분석되었다. 검출도 분석 결과는 위험 우선순위에 실화자 책임 유형보다는 시설물 관리주체와 국가 정부의 책임 유형이 더 많은 부분을 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 이것은 시설물관리자와 국가 정부가 화재예방을 위해 사전 예방 활동과 시설에 대한 적절한 유지 관리 조치가 연소 확대 피해 방지에 매우 중요한 부분을 차지한다는 결과를 도출하였다.

상기의 분석 과정에서 얻은 심각도, 발생도, 검출도 값을 곱하여 화재의 위험 우선순위화(RPN) 작업을 해본 결과

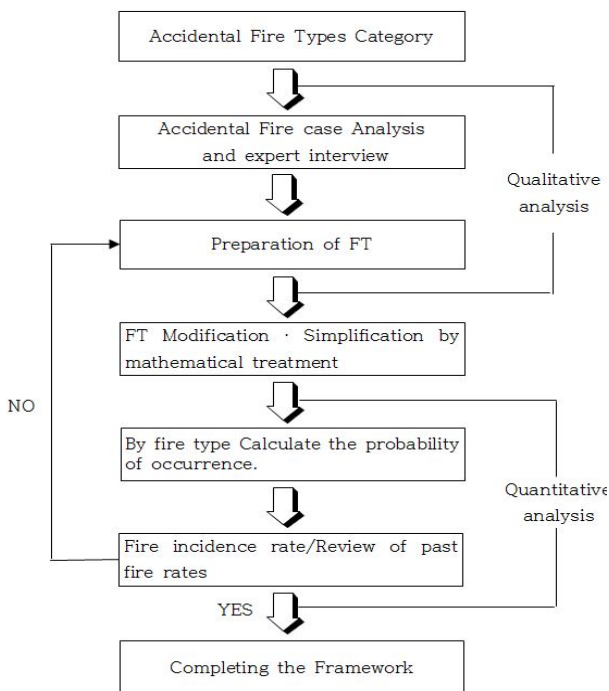


Figure 2. Process of framework through FTA analysis.

Table 5. AMEA Severity Analysis of 26 Fires Since 2000 s

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	Not warning	With warning	Very High	High	Moderate	Low	Very Low	Minor	Very Minor	None	Total	
Spread by absence of facility manager (B)	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention	10										10	
		Construction Sites		9										9
		Labyrinth type			8									8
		Single exit				7								7
		Emergence closure	10											10
		Wooden structure						5						5
		Combustible materials	10											10
	Illegal facilities	10											10	
	Delayed cognition	Absence of Alarms					6							6
		Poor Alarms			8									8
		Unrecognized of Alarms					6							6
		Fire at bedtime					6							6
	Extinguishing facility	Absence of facilities	10											10
		Poor Facilities			8									8
	Rapid Combustion	Arson												0
		Explosion			8									8
Excessive Combustion		10											10	
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness (C)	Insufficient self-response	Lack of consciousness	10										10	
		Delayed report			8								8	
		Failure of Fire-fighting					6						6	
		No self extinguishing equipment	10											10
Spread by absence of management of government (D)	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations									2		2	
		Illegal Parking				7							7	
		Narrow Road					6						6	
		Worry about collapse					6						6	
	Insufficient Fire-fighting	10											10	

Table 8의 표에서 나타난 RPN이 높게 나온 화재유형은 1) 건축시설·환경 및 구조에서는 가연성 자재가 600으로 최고 높은 수치가 나왔고, 2) 화재인지 지연에서는 경보시설 불량량이 168로 나왔다, 3) 소화 설비 유/무에서는 소화 설비 부재가 700으로 압도적으로 높게 나타나 화재사고에서 소화 설비 유/무가 차지하는 비중이 얼마나 중요한지를 보여주었다. 4) 급격한 연소 확대에서는 가연물 과다로 인한 영향이 800으로 화재 확대 피해 유형 전체 항목 중 가장 높은 수치가 나와 최고의 위험 우선순위를 나타냈다, 또한 5) 자체 대응 미흡에서는 신고 지연이 400으로 나타나 실화자의 적절한 초기 대응의 중요성이 높게 나타났고, 6) 소방대응

곤란에서는 붕괴 우려가 168로 나타났으며, 7) 소방대응 미흡에서는 소방 활동 미흡이 700으로 전체 항목 중 소화 설비 부재와 같이 2번째로 높은 수치가 나와 국가의 소방시설에 대한 사전 예방 활동의 중요성을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 분석으로 얻은 결과 값은 화재의 연소 확대 피해에 있어, 26가지의 화재유형 전체가 영향을 주고 있지만, 그중에서도 RPN 값이 매우 큰 값을 차지하는 항목들이 실화 배상 책임 비율에 더 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. AMEA 분석을 통해 얻은 RPN 값은 100분율로 환산하고, 이 값을 할증률로 하여 최종 실화 배상 책임비율 산정 프레임워크에 반영하여 프레임워크의 신뢰성과 타당성을 확보하였다.

Table 6. AMEA Frequency Analysis of 26 Fires Since 2000 s

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	26 in 26 (-)	23.4 in 26	20.8 in 26	18.2 in 26	15.6 in 26	13 in 26	10.4in 26	7.8 in 26	5.2 in 26	1 in 26 (+)	Total	
Spread by absence of facility manager (B)	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention							4				4	
		Construction Sites									2		2	
		Labyrinth type											1	1
		Single exit						5						5
		Emergence closure									3			3
		Wooden structure											1	1
		Combustible materials						6						6
	Delayed cognition	Illegal facilities										2		2
		Absence of Alarms									3			3
		Poor Alarms									3			3
		Unrecognized of Alarms								4				4
	Extinguishing facility	Fire at bedtime										2		2
		Absence of facilities					7							7
	Rapid Combustion	Poor Facilities								4				4
		Arson												0
Explosion											2		2	
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness (C)	Excessive Combustion				8								8	
	Insufficient self-response	Lack of consciousness									2		2	
		Delayed report	10											10
		Failure of Fire-fighting			9									9
No self extinguishing equipment											1	1		
Spread by absence of management of government (D)	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations									2		2	
		Illegal Parking										1	1	
		Narrow Road									2		2	
		Worry about collapse							4				4	
	Insufficient Fire-fighting					7							7	

3.2 실화 책임 주체별 배상책임 프레임워크

2000대 이후 발생한 26건의 대형 실화 화재를 대상으로 Table 4의 화재 확대 피해 원인을 유형별로 분석한 후 각 항목별 발생 빈도를 확인하였고, AMEA 분석을 통하여 위험 우선순위화 분석을 통하여 얻은 결과 값을 할증률로 하여 최종 결합 수 분석(FTA)을 통해 배상 책임비율 산정을 수치화해본 결과 Table 9의 결과를 얻을 수 있었다. 내용을 살펴보면 화재 확대 피해 원인이 시설관리 주체의 관리 부재에 의한 항목인 건축시설·환경 및 구조에서는 가연성 자재가 7%, 단일 피난로가 5%, 방화구획 미흡이 4%, 비상구 폐쇄가 3%, 불법시설이 2% 등 8개 세부 항목의 소계 합이

24%가 나왔다. 여기서 가연성 자재의 비율이 높은 것을 보면 우리가 화재 안전을 위해 시설물에 설치하는 자재의 난연 또는 불연 자재의 사용을 얼마나 많이 권장해야 하는지를 보여 주는 데이터로 보인다. 또한 화재 인지 지연에서는 경보 미인지가 4%, 경보 부재와 불량이 각각 3%씩 나왔으며, 취침시간의 화재가 2% 확률로 발생하여 소계로 12%가 발생한 것은 화재경보 장치의 중요성을 확인할 수 있었다. 소화 설비에서는 설비의 부재가 8%, 설비의 불량이 4%로 소계 12%로 소화 설비의 설치와 유지관리의 중요성을 나타내는 수치가 나왔다. 급격한 연소 확대 항목에서는 가연물 과다가 9%, 폭발 동반이 1%로 소계 10%로 나타났다.

Table 7. AMEA Detection Analysis of 26 Fires Since 2000 s

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 EA)	Details (26 EA)	Almost Certain	Very High	High	Mode rately High	Mode rate	Low	Very Low	Remote	Very Remote	None	Total
Spread by absence of facility manager (B)	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention	10										10
		Construction Sites	10										10
		Labyrinth type						5					5
		Single exit						5					5
		Emergence closure	10										10
		Wooden structure					6						6
		Combustible materials	10										10
		Illegal facilities	10										10
	Delayed cognition	Absence of Alarms				7							7
		Poor Alarms				7							7
		Unrecognized of Alarms						5					5
		Fire at bedtime									2		2
	Extinguishing facility	Absence of facilities	10										10
		Poor Facilities			8								8
	Rapid Combustion	Arson											0
		Explosion					6						6
Excessive Combustion		10										10	
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness (C)	Insufficient self-response	Lack of consciousness						5					5
		Delayed report						5					5
		Failure of Fire-fighting							5				5
		No self extinguishing equipment		9									9
Spread by absence of management of government (D)	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations									2		2
		Illegal Parking	10										10
		Narrow Road				7							7
		Worry about collapse				7							7
	Insufficient Fire-fighting	10										10	

가연물 과다가 9%라는 의미는 시설물 관리주체들이 가연물 관리를 적절하게 하지 않는다면 화재의 연소 확대 피해를 막을 수 없다는 의미 있는 수치로 보인다. 시설물관리주체의 관리 부족으로 발생한 실화 책임 비율 값 60%에 AMEA 분석에 의한 RPN 값의 할증률을 적용한 결과 63%에 해당하는 책임이 있다고 도출하였다. 이 분석값은 충격적이라고 표현할 수밖에 없다. 우리의 기본적인 인식은 화재를 촉발한 실화자에게 모든 책임이 있다는 게 기본인 인식으로 보인다. 그러나 연구 분석 데이터는 시설물 관리 책임 주체에 63%에 상당한 책임이 있음을 나타내고 있다.

실화자의 의식 및 안전 관리 시스템 부재가 원인인 자체 대응 미흡에서는 신고 지연이 11%, 초기진압 실패가 10%, 안전의식 결여가 2%, 시설 부재가 1%로 총 25%로 실화자

에게는 실화의 책임 비율이 25%가 있다고 나왔다. 이 중에서도 신고 지연과 초기진압 실패 비율이 높게 나온 상황은 실화 발생을 예방하기 위해 빠른 신고와 초기진압을 위한 사전 교육에 집중되어야 한다는 분석 데이터로 사료된다. 이 값에 AMEA 분석을 통한 RPN 할증 값을 적용하였더니 최종 20%의 책임비율 값이 나왔다. 다음으로 국가 정부의 관리 부재에 의한 화재 유형으로 소방대응 곤란에서는 붕괴 우려가 4%, 소방서의 원거리로 발생할 확률이 2%, 소방통로 협소가 1%로 나타나 소계 합이 7%와 소방대응 미흡에서는 국가법령에 의해 사전 예방 활동과 관리 감독 기능을 해야 하는 국가의 소방 활동 미흡이 8%로 나타나 국가 정부의 실화 책임 비율은 15%가 되었다 이 값에 RPN 할증 값을 적용하였더니 최종 17%의 책임비율 값이 나왔다. 이것은 국가의

Table 8. Validity Verification of AMEA Analysis According to Fire Expansion Damage Types

Fire Types Category (7 Ea)	Details (26 Ea)	Severity	Frequency	Detection	RPN	Premium rate
Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention	10	4	10	400	1.07
	Construction Sites	9	2	10	180	0.48
	Labyrinth type	8	1	5	40	0.11
	Single exit	7	5	5	175	0.47
	Emergency exit closure	10	3	10	300	0.80
	Wooden structure	5	1	6	30	0.08
	Combustible materials	10	6	10	600	1.60
	Illegal facilities	10	2	10	200	0.53
Delayed Cognition	Absence of alarms	6	3	7	126	0.34
	Poor alarms	8	3	7	168	0.45
	Unrecognized of alarms	6	4	5	120	0.32
	Fire at bedtime	6	2	2	24	0.06
Extinguishing Facility	Absence of facilities	10	7	10	700	1.87
	Poor facilities	8	4	8	256	0.68
Rapid Combustion	Arson			-		
	Explosion	8	2	6	96	0.26
	Excessive combustibles	10	8	10	800	2.14
Insufficient Self-Response	Lack of consciousness	10	2	5	100	0.27
	Delayed report	8	10	5	400	1.07
	Failure of fire-fighting	6	9	5	270	0.72
	No self extinguishing equipment	10	1	9	90	0.24
Difficulty in Fire-fighting	Remote fire stations	2	2	2	8	0.02
	Illegal parking	7	1	10	70	0.19
	Narrow road	6	2	7	84	0.22
	Worry about collapse	6	4	7	168	0.45
Insufficient Fire-fighting	Insufficient fire-fighting	10	7	10	700	1.87

사전 예방활동의 부족에서 발생하는 화재의 연소 확대 피해가 결코 적지 않음을 확인할 수 있는 내용이었다.

결국 실화자의 과실이 화재사고에 직접 피해를 주는 발화의 원인은 분명한 사실이나 화재의 연소 확대 피해에 영향을 주는 것은 보다 많은 화재의 원인 유형과 실화 책임의 주체들의 책임이 광범위하게 작용하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구과정에서 적용한 대분류 7가지 화재 유형과 중분류 26가지 세부 항목에 따른 실화 배상 책임비율 산정 방식은 실화 배상책임액 산정을 위한 프레임워크로 신뢰성과 타당성이 있는 내용임을 확인할 수 있었고, 화재 연소 확대 피해의 경우 연구과정에서 적용한 프레임워크를 활용하여 실화 책임의 주체별 과실비율의 산정에 반영하는 것이 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 실화책임법에 따른 실화 배상책임액 산정을 위한 프레임 워크를 수립하기 위하여 정부 발표 자료 분석과 선행연구 분석 그리고 소방전문가들에 대한 인터뷰를

통하여 얻은 데이터를 분석하여, 연소 확대 피해에 영향을 주는 화재 유형을 7가지 대분류 유형과 26가지 중분류 세부 항목으로 파악할 수 있었다. 또한 화재 유형에 따른 실화 책임주체를 시설물관리자, 실화자, 국가로 3가지 형태가 있음을 파악하였다. AMEA 분석 기법을 통해서 26가지 중분류 항목에 대한 위험 우선순위를 분석하여 시설물관리자 책임 유형 항목에서 1,000단위 만점에 가연성 자재가 600, 소화 설비 부재가 700, 가연물 과다 적치가 800으로 높은 위험 우선순위를 차지하여 실화 배상책임액 산정에서 시설물관리자의 책임 비율이 높게 차지함을 알 수 있다. 실화자 책임 유형 항목에서는 신고 지연이 400로 나왔고, 국가 책임 유형으로는 소방 활동 미흡이 700으로 위험 우선순위가 전체 항목 중 소화 설비 부재와 같이 두 번째로 높은 순위를 차지하여 국가의 책임 또한 적지 않음을 보여주고 있다.

FTA 분석 기법을 적용한 프레임워크는 실화 책임 주체별 실화 배상 책임비율을 시설물관리자 63%, 실화자 20%, 국가 정부 17%로 각각의 배상 책임비율이 있음을 확인할 수 있었고, 최초 화재를 발화시킨 책임이 실화자에게 있다

Table 9. The Framework of Responsibility Ratio of Expanding Damage Combustion by FTA Analysis (26 Cases)

Accidental Fires Liability	Fire Types Category (7 Ea)	Details (26 Ea)	Number of occurrences by type of fires preadin 26 Cases (A)	Accidental Fires type ratio (A/209 Ea) (B)	Premium rate of RPN (C)	Accidental Fires Liability ratio [B * C]	liability ratio of compensation	
Spread by absence of facility manager (B)	Building Facilities & Environment / Structure	Insufficient disaster prevention	8	4%	1.07	4.28%	63%	
		Construction Sites	4	2%	0.48	0.96%		
		Labyrinth type	2	1%	0.11	0.11%		
		Single exit	11	5%	0.47	2.35%		
		Emergence closure	6	3%	0.80	2.4%		
		Wooden structure	1	0%	0.08	0		
		Combustible materials	14	7%	1.60	11.2%		
		Illegal facilities	5	2%	0.53	1.06%		
	Delayed cognition	Absence of Alarms	7	3%	0.34	1.02%		
		Poor Alarms	7	3%	0.45	1.35%		
		Unrecognized of Alarms	8	4%	0.32	1.28%		
		Fire at bedtime	4	2%	0.06	0.12%		
	Extinguishing facility	Absence of facilities	17	8%	1.87	14.96%		
		Poor Facilities	9	4%	0.68	2.72%		
	Rapid Combustion	Arson	0	0%		0		
		Explosion	3	1%	0.26	0.26%		
		Excessive Combustion	19	9%	2.14	19.26%		
Subtotal			125	60%	11.26	63%		
Spread by absence of Accidental Fire Safety Awareness (C)	Insufficient self-response	Lack of consciousness	5	2%	0.27	0.54%	20%	
		Delayed report	24	11%	1.07	11.77%		
		Failure of Fire-fighting	21	10%	0.72	7.2%		
		No self extinguishing equipment	2	1%	0.24	0.24%		
	Subtotal			52	25%	2.3		20%
Spread by absence of management of government (D)	Difficulty in Fire-fighting	Remote Fire stations	4	2%	0.02	0.04%	17%	
		Illegal Parking	1	0%	0.19	0		
		Narrow Road	3	1%	0.22	0.22%		
		Worry about collapse	8	4%	0.45	1.8%		
	Insufficient Fire-fighting			16	8%	1.87		14.96%
	Subtotal			32	15%	2.75		17%
Total			209	100%	12.24	100%		

하여도 화재의 연소 확대 피해 책임에는 시설물관리자의 책임과 국가의 관리 감독 책임이 80%에 해당할 정도로 크다는 의미 있는 통계가 나왔다. 결과적으로 서론에서 언급한 실화책임법에 따른 배상책임액 산정에는 감정평가가 꼭 필요하고 본 연구에서 제시한 배상책임액 산정 프레임워크의 활용이 절실하다고 판단된다.

본 연구의 학문적 의미로는 실화 배상책임액 산정을 위해 다양한 분석 틀(AMEA, FTA, FMEA)을 적용한 최초의 연구라는 것이다. 그리고 실화 배상 책임에 대한 유형에 따

른 확률 개념을 적용한 프레임워크 수립에 따라 추가적인 연구의 틀을 마련하였다는 것이다. 또한 실무적으로는 도출된 프레임워크를 통하여 실무에 바로 적용할 수 있도록 구체적으로 유형화(26개) 및 발생 확률을 명기하였다. 그리고 프레임워크 형태로 실무적으로 참고 가능한 테이블로 활용할 수 있게 정리하였다. 다만 실화 책임에 대해 선행 연구를 기반으로 유형화하고 확률 개념을 도입하였지만 선행 연구가 부족하여 실제 상황을 구성하고, 수리 모형을 통한 최적화를 추진하여 신뢰성과 타당성을 높이는 데는 다

소 한계가 있었다. 향후 실화 책임과 실제 결과에 대한 인과관계를 위해서는 수리 모형의 검증과 함께 더 많은 전문가들을 통한 인과관계 모형의 실증분석 및 검증이 추가로 필요할 것으로 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 화재의 실화배상책임액 산정에 관한 보다 심도 있고, 활용 가능한 연구들이 활발히 진행될 수 있을 것으로 기대한다.

References

1. http://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20190328500025&wlog_tag3=naver
2. <http://www.100ssd.co.kr/news/articleView.html?idxno=64328>
3. National Fire Agency, “2018 Fire Statistical yearbook”, pp. 86-90 (2019).
4. Supreme Court of Korea, “The True Story Responsible for about Law No. 9648” (2009).
5. W. J. Choi, “On the Calculation of Damage the Discretion of the Court of Fact - Focusing on Regulations and Limitations of Discretion”, pp. 211-215 (2018).
6. J. M. Sin, “A Study on the Civil Liability for Fire Caused by Negligence and Its Insurance”, pp. 31-47 (2014).
7. H. S. Go, “A Law and Economic Analysis of the Law Concerning Civil Liability from Fire”, The HUFS Law Research Institute, Vol. 27, pp. 653-680 (2007).
8. S. I. Han, “A Study on Legislation and Tendency of Judicial Precedents in the Law Concerning Civil Liability from Accidental Fire”, Human rights & Justice, Vol. 381, pp. 151-153 (2008).
9. S. T. Jun, “A Study on the Determination of Fault Rates by Adjusters in Automobile Accidents”, pp. 21-26 (2019).
10. Y. Choi, “A Study of Damage Spread Factors of Domestic Large-scale Fire - Based on Common Problem Analysis”, pp. 95-106 (2017).
11. S. M. Kwon, “A Study of Accident Mode and Effects Analysis”, pp. 24-27 (2003).
12. G. H. Kim, S. M. Kwon, K. B. Lee, Y. S. Kim, J. W. Lee and K. S. Kang, “The method of Risk Assessment by AMEA”, Journal of the Safety Management & Science, Vol. 9, No. 2, pp. 109-110 (2007).
13. K. B. Lee, “Development of The Worker’s Safety Assessment Mode Using Analysis and Accident Mode Effects Analysis”, pp. 87-89 (2007).
14. J. S. Youn, “Analysis the Railway Accident Failure Through FMEA Technique and Present the Priority Safety Management Items - About Derailment Caused by Tract Defect”, pp. 43-50 (2014).
15. S. M. Yoon, “Deduction of Claim Elements for Design Build Project using FMEA Method”, pp. 21-23 (2013).
16. G. S. Nam, “Fault Tree Analysis based Risk Management of Defects in Construction”, pp. 6-15 (2007).
17. D. H. Kim and H. S. Lee, “Fire Cause Reasoning of Self-regulating Heating Cable by a Fire Investigation Applying the Scientific Method and Fault Tree Analysis”, Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 73-81 (2016).
18. D. H. Choi, “Fault Tree Application for Analysis and Assessment of Construction Risk Events”, pp. 24-25 (2001).
19. H. Y. Chun, “A Study on the Fault Analysis for Security Improvement of Smart Learning System”, pp. 32-39 (2018).