리스크 곡선을 활용한 사회재난 인명피해 위험도 분석 연구

A Study of Risk Analysis for Human Casualty of Social Disasters based on F-N Curve

조심정*

Cho, Simjung*

Abstract

This study performs a risk analysis on human casualty of social disasters based on F-N curve, using collected data over the past 11 years in Korea (2005~2015). The study objectives were as follows: (i) to analyze and compare risk by social disaster types; and (ii) to identify and confirm the risk level in 2015, the most recent year. The results indicated that fire and marine accident were in the very high-risk (i.e., above intolerable risk criteria); wild fire, collapse, infectious diseases, and urban railway accident were in the high-risk; and the overall risk level of social disasters in 2015 was higher than the annual averages of the previous 3, 5, 10 years, although it was lower than that of 2014. Furthermore, the annual risk of fire in 2015 was also higher than that in the past years, except for that in 2014. Therefore, the safety control plans of central administrative agencies and local governments should focus on these high-risk types of disasters, the safety plans must implement proper risk mitigation measures and disaster management projects in high-risk types.

Key words : F-N Curve, Risk, Social Disaster, Human Casualty, Safety Control Plan

요 지

본 연구에서는 최근 11년(2005~2015)간 국내에서 발생한 사회재난 데이터를 수집하여, 리스크 곡선을 활용한 인명피해 위험도 분석을 수행하였다. 이를 위해 (i) 사회재난 유형별 위험도를 분석하였으며, (ii) 가장 최근 연도인 2015년도 위험도를 산출하여 현재 사회재난의 위험수준을 확인하고자 하였다. 본 연구의 결과는 대형화재, 해양사고가 위험을 수용할 수 없는 very high-risk 영역에 포함되며, 산불, 붕괴, 감염병, 지하철사고는 high-risk 유형으로 분석되었다. 2015년 전반적인 사회재난의 위험도는 전년 대비 감소하였지만, 최근 3년, 5년, 10년 연평균과 비교하여 높다. 또한 사례분석으로 2015년 대형화재의 위험도 역시 2014년을 제외하고 과거 평균보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 고위험군 사회재난은 국가 및 지역 안전관리계획에서 집중관리 분야로 다루어야 하며, 적절한 위험 저감방안 및 재난관리 사업을 필수적으로 마련하여 인명피해 예방을 위한 철저한 노력을 기울여야 한다.

핵심용어 : 리스크 곡선, 위험도, 사회재난, 인명피해, 안전관리계획

1. 서 론

2003년 대구 지하철 화재사고로 인해 340명의 인명피해(사망자 192명, 부상자 148명)와 약 600억 원의 재산손실이 발생하였다. 또한, 이 한 번의 사고로 인한 피해 복구비용으로 수천억 원의 예산이 투입되었다(MPSS, 2015a). 그 이후로도

허베이스피리트호 유류유출사고('07), 휴브글로벌 불산 누출사고('12), 세월호 침몰사고('14) 등 많은 사고와 재난이 발생하였다. 이러한 각종 사고와 재난으로 인하여 안전에 대한 사회적 이슈가 급증하고 있으며, 국가 정책적으로도 안전사고 및 재난관리에 대한 관심이 높아지고 있다.

중앙 정부 및 지방자치단체의 안전관리의 일환으로 안전

*교신저자, 정회원, 국립재난안전연구원 선임연구원(Tel: +82-52-928-8113, Fax: +82-52-928-8149, E-mail: sim8491@korea.kr)
Corresponding Author, Member, Researcher, National Disaster Management Institute

관리계획이 수립되고 있다. 안전관리계획은 각종 재난과 사고로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하는 최상위 계획이다(헌법 제34조 제6항, 재난 및 안전관리기본법 제22조 등).

이는 「재난 및 안전관리 기본법(’04.6)」 시행으로 종전의 풍수해, 가뭄 등 자연재난을 중심으로 작성되었던 방재계획(1977~2004)과 화재, 폭발, 붕괴 등 인적재난 대비 국가재난관리계획(1996~2004)을 하나로 통합하여 작성되기 시작하였다.

안전관리계획은 작성 주체에 따라 국가안전관리기본계획, 국가안전관리집행계획, 시도 및 시군구 안전관리계획으로 구분된다(Table 1). 국가 차원에서 5년 주기로 작성되는 국가안전관리기본계획은 제1차(2005~2009)를 처음으로, 현재 제3차 국가안전관리기본계획(2015~2019)이 수립되어 있다.

과거 국가 및 지자체 안전관리계획은 재난관리 단계별(예방/대비/대응/복구) 대책만을 수립하여, 재난유형별 피해현황 파악이나 심도 있는 원인 분석을 토대로 작성되지 않아 실효성에 대한 문제점이 제기되고, 예산이 연계되지 않고 매년 단순 반복적인 추상적 대책이라는 지적이 계속되었다. 이에 따라 “안전사고 사망자 수 감축 목표관리제”를 도입하고, 재난유형별 피해 원인 분석을 바탕으로 인명과 재산을 줄이는 방향을 수립하였다. 또한 이에 따라 안전사고 감축 목표제와 연계한 안전관리계획의 개선방안이 마련되었다. 중앙정부 및 지자체는 주요 재난과 사고유형에 대하여 자체적인 피해(특히, 인명피해) 중점 감축 목표를 설정하고, 이를 달성하기 위한 이행계획을 아래와 같이 추진해야한다(MPSS, 2015b).

- 1단계: 재난유형별 피해현황 파악 및 원인 분석
- 2단계: 유형별 인명·재산 피해 저감 목표 설정
- 3단계: 목표달성 수단 선정

여기서 목표달성 수단은 ① 재난·안전예산 투자, ② 조례, 규칙, 매뉴얼 등 제도 개선, ③ 교육, 훈련, 점검, 홍보, ④ 기타 재난·안전관리 대책 등이 포함된다.

재난유형별, 지역별, 시설별 등 사전에 잠재위험을 파악하고, 위험도를 분석한 결과는 예산낭비 방지 및 효율적인 재난예방을 위하여 중요한 의사결정 정보로 활용된다(Park, 2009).

사망자 감축 목표제 달성 및 목표달성 수단 선정을 위해서는 정량적 위험도 분석을 통한 재난 유형별 피해현황 파악이 반드시 필요하다. 위험도 분석은 우선적인 안전관리 분야를 파악하고, 집중적인 재난예방이 필요한 분야를 찾는 과정으로, 이를 통해 안전관리계획의 적절한 실행 및 인력, 자원 등 자원 배분의 효율성 제고가 가능하다.

따라서 본 연구는 (i) 발생빈도·사망자 수 곡선(Frequency-Number of Fatalities curve: F-N curve, 리스크 곡선)을 활용하여 사회재난의 유형별 위험도를 분석하였으며, (ii) 대형화재를 중심으로 특정 사회재난 유형에 대하여 연도별 위험도를 평가하고자 하였다.

본 연구의 대상인 ‘사회재난’은 각종 사고 중 피해 규모와 사회적인 파급력이 높아 국가 및 지역 정부의 개입이 필요한 경우, 지역 및 중앙 재난안전대책본부(시·군·구 및 시·도 재난안전대책본부, 중앙사고수습본부, 중앙재난안전대책본부)가 운영되는 사례를 말한다(Cho and Park, 2016; Cho and Heo, 2017). 사회재난은 대규모 인명피해가 발생하고, 유형이 다양하며 발생빈도에 많은 차이가 있다(Kim et al., 2016; Cho and Heo, 2017). 따라서 본 연구의 대상은 사회재난으로만 한정하고, 인명피해에 대한 위험도를 분석하였다.

이를 위해 2014년도 및 2015년도 재난연감에서 최근 11년(’05~’15)간 발생한 사회재난 건수를 활용하여 발생확률을 산출하고, 인명피해(사망자 및 부상자)를 바탕으로 사회재난의 위험도를 산정하였다.

Table 1. Classification of Safety Control Plan

Authority		Title	Period	Related act
Central government	Jointly with the relevant central administrative agencies	Master plan for national safety control	Every 5 years	「Framework act on the management of disasters and safety」 Article 22
	Relevant central administrative agencies	Implementation plans	Annual	Article 23
Local governments	Province/City and disaster management agencies under the jurisdiction	Province/City safety management plans	Annual	Article 24
	District (City/Gun/Gu) and disaster management agencies under the jurisdiction	District safety control plans	Annual	Article 25

본 연구에서는 인명피해 고위험군 사회재난 유형 구분하여 안전관리계획상에서 안전관리가 필요한 사회재난 유형을 선정하고자 하였다. 또한 추가적으로 원인분석 및 안전관리 집중대책이 필요한 유형을 식별함으로써 합리적인 재난관리를 위한 의사결정 자료로 활용하고자 하였다.

사회재난의 위험 분석에 대한 절차, 방법 및 기준이 없는 상황에서 사회재난 사례를 바탕으로 리스크 곡선을 활용한 위험도 분석 연구는 사망자 감축 목표관리를 달성할 수 있으며, 실효성 있고 구체적인 안전관리계획 수립에 도움을 줄 수 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 위험도 분석

제2차 국가안전관리기본계획에 따르면 ‘안전’(safety)은 자연적 혹은 인적·인위적 ‘위험요인’(hazard)이 없거나, 위험요인에 대한 충분한 대비가 되어 있는 상태로 정의된다. 이와 반대되는 개념으로 ‘위험’(risk)은 미래에 발생 가능성이 있는 재난의 결과 또는 확률로 정의되고 있다(Central Safety Management Committee, 2010-2014). 또한 유엔국제재해경감전략기구(United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR)에 따르면 위험은 어떤 사건(event)의 발생가능성과 그 사건으로 인한 결과의 조합으로 정의한다(UNISDR, 2009).

위험도 분석이란 잠재적으로 발생 가능한 사건과 이로 인한 피해를 정량화하고, 예측을 통해 손실을 저감할 수 있는 방안을 찾는 것이다.

정량적 위험도 분석(Quantitative Risk Analysis, QRA)은 1950년대 초반 홍수, 지진 등 자연재해로 인한 인명피해의 위험수준 정도를 나타내기 위하여 유럽에서 먼저 시행되었다. 이후 1960년대 미국에서 항공우주산업의 안전성 평가를 위해 활용되었다. 1970-80년대 영국 및 네덜란드는 석유화학시설에 대한 위험도 분석을 실시하였고, 미국에서는 핵시설 안전성에 대한 연구로 발전되었다. 1990년대에 들어와서 위험물 운송 등 교통공학 및 토목공학에도 널리 응용되었다(CCPS, 2009; Cho et al., 2013).

위험도 산정을 위해서 Event Tree Analysis (ETA), Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Hazard and Operability (HAZOP) Analysis, What/If checklists 등 다양한 방식을 활용한다(Cho and Kim, 2013).

또한 위험도의 구체적인 표현 방식 중의 하나는 F-N curve(Frequency-Number of Fatalities curve)로, 평면위에 개별 사건으로 인한 인명피해(N)와 이에 따른 빈도 또는 발생가능성(F)을 연속곡선으로 나타내는 기법이다. 이는 평면상에 나타나 있는 위험도 분석 결과에 대하여 3개의 구역(① 위험을 수용할 수 있는 범위(Acceptable Region), ② 실행할 수 있는 한 위험을 낮게 하는 범위(As Low As

Reasonably Practical, ALARP), ③ 수용 불가능한 범위(Intolerable Region))로 구분함으로써 위험을 평가하고 위험도 감소를 위한 추가적인 조치 여부를 판단할 수 있다(Joen and Kim, 2008; Kim and Kim, 2008; Cho et al., 2013).

2.2 선행연구

최근 사고와 재난에 대한 사회적인 관심과 이슈가 점차 높아지면서, 몇몇 특정 사고와 사회재난을 대상으로 하는 연구가 수행되었다.

Jeon et al.(2008)은 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화생방사고, 환경오염 등에 대표적인 인적재난 사례를 조사하였다. Park(2009)은 재난 위험평가를 위해 확률·통계적 분석 기법을 제안하여, 자연재해, 화재, 붕괴 등에 대하여 위험평가를 수행하였다. Cho and Park(2016)은 국내 주요 사고 23종에 대하여 리스크-매트릭스를 기반으로 하는 위험도 분석을 수행하였다. Kim et al.(2016)은 사회재난 발생현황을 기초로 사회재난 특징을 도출하고, 사회재난 대비 ICT 기술 활용 인식을 조사하였다. Lee et al.(2016)은 붕괴, 화재, 도로교통사고 등 주요 사회재난에 대하여 재난발생계수, 인명피해계수, 재산피해계수를 활용하여 재난위해성을 분석하였다. 또한 Cho and Heo(2017)는 리스크-매트릭스를 통하여 국내 26종 사회재난에 대한 고위험군을 구별하고, 재난안전예산 투자방향을 수립하였다.

Table 2와 같이 국외에서 F-N curve를 활용한 위험도 분석에 대한 연구가 진행되었다(Boult, 2000; Ronza et al., 2006; Cozzani et al., 2007). 또한 F-N curve 관련 국내 선행연구를 살펴보면, Kim and Kim(2008)은 위험도 분석 방안으로 ETA 및 F-N curve 제안하고, 국내 주요 항만에서 일어난 선박사고에 대한 위험도를 평가하였다. Joen and Kim(2008)은 해군함정에서의 화재 발생 시나리오를 수립하고, 화재 인명위험도를 계산하여 F-N curve를 도식화하여 위험수준을 분석하였다. Cho et al.(2013)은 위험·유해물질(HNS) 해상운송사고의 다양한 세부 사고유형에 따라 사고 전개 시나리오를 구체화하고, F-N curve 기반의 위험도 분석을 통해 사고 저감방안을 모색한 바 있다. 이때 인명피해를 사망자와 부상자 모두 포함하여 분석하였다.

사회재난은 과학기술이 발전함에 따라 대형·복합재난으로 변화하는 추세이며, 인명피해가 대규모로 발생하고, 유형의 다양성 및 발생빈도의 비정형성으로 인하여 높은 불확실성을 나타낸다. 이러한 사회재난에 대하여 위험도 분석을 수행함으로써, 선제적으로 예방·대비가 필요한 분야를 예측하는 것이 필요하다.

본 연구는 F-N curve(이하 리스크 곡선)를 활용하여 사회재난 유형별 인명피해 위험도를 분석하였으며, 이를 위해 최근 11년간('05~'15) 국내에서 발생한 사회재난 데이터를 수집하고, 발생확률과 인명피해를 추정하여 사회재난의 유형별 특징을 파악하였다.

Table 2. Related Studies for Risk Analysis

	Author (year)	Objective	Type	Using F-N curve
Abroad	Boult (2000)	Risk assessment on LPG transportation in Hong Kong	LPG transportation accident	○
	Ronza et al. (2006)	Risk assessment on accidents of hydrocarbon transportation at port	Explosion, Fire and etc.	○
	Cozzani et al. (2007)	Risk analysis to select a hazardous materials route in marshalling yard	Hazardous materials accident	○
Korean	Kim and Kim (2008)	Risk analysis on ship accidents at port area	Marine accident	○
	Joan and Kim (2008)	Risk assessment for fire onboard a naval vessel	Fire	○
	Cho et al. (2013)	Risk assessment on hazardous and noxious substances (HNS) marine transportation	Marine accident	○

본 연구는 기존의 연구와 다음과 같은 차별성을 나타낸다. 첫째, 사회재난 위험도 분석 방안으로 리스크 곡선을 적용하여 지난 11년간의 사회재난의 유형별 위험도를 평가하였다. 둘째, 사회재난의 유형별 발생확률을 산출하였으며, 인명피해는 사망자 외, 부상자를 고려하기 위해 부상자에 가중치를 적용하여 사망자로 환산함으로써 더욱 정확한 인명피해를 추정하고자 하였다. 셋째, 사회재난 전체와 사례 분석으로 대형화재에 대하여 연도별 위험도 분석을 수행하였다. 2015년 위험도를 분석하여 전년도(2014년) 및 이전 3년, 5년, 10년 연평균과 비교함으로써, 최근 사회재난의 현재 상태 위험정도를 분석하고자 하였다.

3. 사회재난 인명피해 위험도 분석

일반적으로 위험도(risk)는 아래의 Eq. (1)로 표현된다.

$$\text{Risk} = \text{Likelihood} \times \text{Consequence} \quad (1)$$

따라서 위험도 분석을 위해서는 위험도의 두 가지 요소인 발생가능성과 그에 따른 결과를 규명하여 산출해야 한다. 여기서 발생가능성은 빈도(Frequency) 또는 확률(Probability), 결과는 인명피해, 경제적인 손실, 환경에 대한 영향으로 계산한다(Kim and Kim, 2008, Cho et al., 2013).

본 연구에서는 사회재난의 인명피해에 대한 위험도를 분석하고자, 발생확률, 사망자 및 부상자 수를 활용하였다. 위험도를 분석하기 위하여 Cho et al.(2013)을 참조하여, 다음과 같은 분석 절차에 따라 연구를 수행하였다.

- 1단계: 사회재난 데이터 수집
- 2단계: 발생확률 계산
- 3단계: 인명피해 산출

- 4단계: 종합 위험도 분석
- 5단계: 리스크 곡선을 활용한 위험도 평가

- 1단계: 사회재난 데이터 수집

사회재난 발생 현황은 국내에서 발생하는 주요 사고 및 사회재난 통계를 다루고 있는 재난연감에서 찾을 수 있다(Cho and Park, 2016; Cho and Heo, 2017). 1996년부터 매년 발간되는 재난연감에서 사회재난 통계 자료는 2014년 재난연감을 시작으로 처음 추가되었으며, 2015년에도 발간되었다. 본 연구에서는 사회재난 통계가 공식적으로 나온 처음부터 가장 최근까지 자료 수집하였으며, 2005부터 2015년까지 11년간을 대상으로 하였다(MPSS, 2015c; MPSS, 2016).

중앙 부처 등이 관여하고 관리하고 있는 사회재난은 26종이며, 최근 11년간 13종의 사회재난으로 인해 총 59건이 발생하였다(Table 3). 이로 인한 인명피해는 2,069명(사망자 872명, 부상 1,197명)이었다.

이는 연평균 사회재난 발생건수가 5건 이상으로, 매년 약 80명의 사망자와 100여명의 부상자가 발생하였으며, 1건의 사회재난으로 인해 다수의 인명피해(전체 35명, 사망자 15명 및 부상자 20명)가 나타났다.

26종 중 13종 유형은 최근 11년 동안 발생하지 않았다(대규모 수질오염, 공동구 재난, 댐붕괴, 인접국가 방사능 누출, 사업장 대규모 인적사고, 교정시설 재난 및 사고, 정보통신, 금융전산, 원전안전(방사능누출사고), 전력, 원유수급, 식용수, GPS전파혼신).

- 2단계: 발생확률 계산

현재까지 수집된 11년간 사회재난 59건의 발생건수 데이터를 이용하여, 유형별 발생확률을 계산하였다. 전체 발생건수 대하여 유형별 확률을 산출함으로써, 개별 사회재난에 대한 상대적인 비중을 비교하여 평가하고자 하였다.

Table 3. Number of Yearly Occurrence Cases and Probability by Social Disaster Types (2005-2015)

Type	Year												Probability	Rank
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Sum		
Sum	3	2	2	4	5	6	3	2	7	16	9	59	1.0000	-
Fire	1	1	1	3	3	3	0	0	2	4	3	21	0.3560	1
Marine accident	0	1	0	0	0	1	0	0	1	4	1	8	0.1357	2
Wild fire	2	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	6	0.1017	3
Contagious animal diseases	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	6	0.1017	3
Collapse	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3	0.0508	5
Marine pollution	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0.0508	5
Infectious diseases	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0.0339	7
Chemical accident	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0.0339	7
Railway accident	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0.0339	7
Road transportation strike	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.0339	7
Space damage	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0.0339	7
Urban railway accident	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.0169	12
Medical workers strike	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.0169	12

유형별로 산출한 사회재난 발생확률은 Table 3과 같다. 대형화재가 0.3560로 가장 높은 발생확률을 나타내며, 그다음으로 해양선박사고(0.1357), 산불(0.1017), 가축질병(0.1017) 순이다.

대형화재는 가장 높은 확률(발생건수 21건)을 나타내는 사회재난 유형으로, 11년 동안 2개년도('11, '12)를 제외하고 매년 발생하였다. 대형화재는 두 번째로 발생확률이 높은 해양선박사고와 함께 2014년도에 각각 4건의 사회재난이 발생하여, 한 해 동안 단일유형으로 가장 많은 건수가 발생한 사례로 나타났다. 또한 최근 강원도 일대 산불('17.5)로 인하여 사회적 이슈가 되었던, 산불은 4개년도('05, '09, '11, '13)에 걸쳐 6건이 발생하였다.

지난 11년 동안 사회재난은 특이한 경향·추세 없이 연도별로 무작위로 발생하는 것이 특징이며, 한 해 최소 2건에서 많게는 16건이 발생하는 것으로 나타나 그 격차가 크다.

특히 가장 최근 연도인 2015년도 사회재난 발생건수는 9건으로, 데이터가 생성되기 시작한 11년 전(2005년, 3건)과 비교하여 3배 이상 증가한 것으로 나타났다. 또한 2014년도에는 한 해 동안 16건 발생하여, 가장 많은 사회재난이 발생한 것으로 기록되었다.

- 3단계: 인명피해 산출

본 연구에서 인명피해는 사망자 외 부상자를 고려하기 위하여, 부상자 수에 가중치를 곱하여 환산사망자 수를 산출

하고 사망자 수와 합산하는 방식으로 인명피해를 추산하였다.

$$\text{인명피해} = \text{사망자 수} + (\text{부상자 수} \times \text{가중치})$$

여기서, 부상자의 가중치는 1/5로 계산하였다. 이는 「산업안전보건법 시행규칙」 제3조의2제1항 관련 [별표 1] “건설업체 산업발생 및 산업재해 발생 보고의무 위반건수의 산정 기준과 방법”의 제3호 라목에서 “사망자에 대한 가중치는 부상 재해자의 5배로 한다.”는 규정을 적용하는 Lee et al.(2016)을 활용하였으며, 본 연구에서는 이와 같은 규정을 역산하여 부상자의 가중치를 1/5로 적용하였다. 인명피해는 발생확률 계산과 동일하게 11년 합계 값을 사용하였다.

환산 사망자를 도출하여 구한 인명피해를 Table 4에 나타내었다. 가장 많은 인명피해가 발생한 사회재난 유형은 해양선박사고(445.0명)이며, 그 다음으로 감염병(308.0명), 대형화재(188.2명) 등이다.

해양선박사고는 세월호 침몰사고('14)로 인하여 가장 대규모 인명피해가 발생한 사회재난 유형으로 나타났다. 그러나 세월호 사고(사망자 304명(실종 9명 포함), 부상자 157명)를 제외하더라도 인명피해가 100명 이상으로, 많은 인명피해가 발생하는 상위권으로 분석된다. 감염병은 11년 동안 단 2건 발생으로 인하여 인명피해가 308명으로 집계되었다('09 신종인플루엔자 사망자 270명, '15 중동 호흡기 증후군(MERS) 사망자 38명). 또한 대형화재는 사망자 128명, 환산

Table 4. Calculated Fatalities by Social Disaster Types (2005-2015)

Type	Fatalities* (A)	Injured (B)	Injured × Weight (C)	Calculated fatalities (A+C)	Rank	
					Fatalities (A)	Calculated fatalities (A+C)
Sum	872	1,197	239.4	1,111.4	-	-
Marine accident	409 (105)	180 (23)	36.0 (4.6)	445.0 (109.6)	1	1
Infectious diseases	308	0	0.0	308.0	2	2
Fire	128	301	60.2	188.2	3	3
Urban railway accident**	0	477	95.4	95.4	<u>8</u>	<u>4</u>
Collapse	13	114	22.8	35.8	4	5
Wild fire	8	112	22.4	30.4	5	6
Chemical accident	5	0	0.0	5.0	6	7
Railway accident	1	13	2.6	3.6	7	8
Marine pollution	0	0	0.0	0.0	8	9
Road transportation strike	0	0	0.0	0.0	8	9
Medical workers strike	0	0	0.0	0.0	8	9
Contagious animal diseases	0	0	0.0	0.0	8	9
Space damage	0	0	0.0	0.0	8	9

() except for 'Sewol ferry accident'

* including missing

** changing rank of social disaster

사망자 60.2(부상자 301명)으로, 사망자 및 부상자 등 모든 인명피해가 많은 사회재난 유형이다.

유년해야 하는 사회재난 유형은 지하철이다. 지하철 사고로 인해 단 한 명의 사망자도 발생하지 않았지만, 많은 부상자(환산사망자 95.4명)가 발생하였다. 이로 인해 인명피해가 8위에서 4위로 상승하여, 순위가 바뀌는 유형으로 도출되었다. 특히 지하철은 대도시권의 도심에서 다수의 인원을 수송한다는 점을 고려할 때, 한 번의 사고로 대규모 사상자 발생 가능성이 높다.

위와 같이 1건의 사고로 대규모 인명피해가 발생하는 사회재난에 대하여 인명피해를 줄여야 한다. 또한 사회재난은 사망자보다 더 많은 다수의 부상자가 발생한다(Table 4). 사망자와 부상자를 모두 포함한 인명피해의 경우, 개별 재난의 위험 및 그에 따른 순위 변동이 있다. 따라서 향후 사회재난에 대한 위험도를 분석 및 평가 시, 본 연구와 같이 사망자와 부상자를 고려하는 방안을 마련해야 한다.

- 4단계: 종합 위험도 분석

Eq. (1)을 바탕으로, 상기 2, 3단계에서 계산하고 산출한 유형별 확률 및 인명피해 값을 이용하여 위험도를 산출하였다.

Fig. 1에서와 같이 대형화재 및 해양선박사고는 위험도 수치가 '60' 이상으로 다른 사회재난 유형에 비해 월등히

높다. 세 번째로 높은 감염병의 6배 이상이며, 산불의 20배로 분석된다.

두 번째로 위험도가 높은 해양선박사고의 경우, 세월호 사고를 제외하더라도 높은 발생확률과 많은 인명피해로 인해 동일한 순위로 나타난다. 또한 가축전염병 등 5개 유형 사회재난은 인명피해가 없어 위험도는 '0'으로 분석되었다.

* except for 'Sewol ferry accident'

Fig. 1. Risk by Social Disaster Types (2005-2015)

위와 같은 대형화재, 해양선박사고, 감염병 등 고위험군 사회재난은 안전관리계획에서 위험 저감방안을 집중적으로 다루어야 하는 유형으로 판단된다. 또한 가축질병, 해양오염, 의료보건, 육상화물, 우주전파 등과 같이 인명피해 위험도가 '0'으로 나타난 유형과는 구분되는 인명피해 예방과 대비를 위한 안전관리가 필요하다. 그리고 인명피해 외 가축질병, 육상운송과업 등은 재산피해가 많고, 유해화학물질사고, 해양오염 등은 환경피해로 인한 경제적·사회적 파급효과가 크다. 안전관리 계획 수립 시, 이러한 사회재난 유형별 특성을 고려해야 한다.

두 가지 지표를 종합하여 단일 수치로 위험도를 산출하는 방식은 다양한 사회재난 유형 중 우선순위를 명확하게 선정할 수 있으며, 이를 기반으로 안전관리 집중 대상 선정을 위한 기초자료로 쓰일 수 있다.

- 5단계: 리스크 곡선을 활용한 위험도 평가

4단계와 같이 위험도를 분석하는 방식은 단일화된 수치로 종합위험도 산출이 가능하지만, 확률과 인명피해 등 위험도의 다양한 지표, 요소를 검토·확인하기는 어렵다. 따라서 어떠한 지표로 인하여 위험도가 높은지 또는 낮은지 비교 및 분석을 위해서 5단계에서는 리스크 곡선을 활용한 위험도 평가를 수행하였다.

이번 단계에서 수행하는 위험도 분석은 종합 위험도 분석에서 인명피해 위험도가 나타난 사회재난 유형만을 대상으로 하였으며, 각각 위험도에 따른 발생확률 및 부상자를 반영한 환산사망자를 산출한 인명피해를 활용하였다.

① 전체 위험도

최근 11년 동안 발생한 사회재난에 대한 전체 위험도를 x축은 인명피해, y축은 그에 대한 발생확률을 나타내는 리스크 곡선으로, Fig. 2와 같이 표현하였다.

Fig. 2. F-N Curve of Overall Social Disasters (2005-2015)

사망자 등 인명피해는 '0-50' 구간 내 밀집해 있는 것으로 나타나 국내에서 사회재난 발생 시, 인명피해의 범위는 대부분 50명 이하인 것으로 분석된다. 그러나 최대 인명피해는 사망자 단독으로 270명('09 신종인플루엔자) 및 304명이며('14 세월호 침몰사고), 부상자를 고려하는 위험도는 최대 인명피해가 304명에서 335.4명으로 변화하는 것으로 확인된다.

이와 같이 리스크 곡선에서는 사회재난으로 인한 인명피해 발생 정도를 구체적이며 정량적으로 파악할 수 있다. 이때 부상자를 고려하는 경우, 인명피해의 구간이 더욱 다양화되며 세분화된다는 장점이 있으며, 이에 따라 구간별로 위험도는 달라진다.

② 유형별 위험도

유형별 사회재난 발생 현황 데이터를 활용하여, 유형별로 리스크 곡선을 분석함으로써 개별 사회재난의 위험을 비교하였다.

각기 다른 발생확률과 인명피해를 가지는 사회재난 유형별로 리스크 곡선은 복잡미묘하게 표현된다. x축 인명피해는 해양선박사고, 감염병이 두드러지는 것을 알 수 있고, y축 발생확률은 대형화재가 현저하게 높다(Fig. 3).

분석된 사회재난 인명피해 위험도는 유형별로 많은 차이를 나타낸다. 특히 인명피해의 최소값에서 대형화재와 산불 등은 '0' 값을 나타내지만, 해양사고의 경우, 사고가 발생하면 최소 3명에서 많게는 300명 이상의 인명피해가 발생한다(세월호를 제외하더라도 최대 50명 이상).

화재 또는 산불은 발생확률이 높아 위험도가 높게 분석되지만, 사고가 발생하더라도 대피시간에 따라 인명피해를 줄일 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 화재 발생 시, 빠른 진화, 조기 경보 및 대피 유도 등 인명피해 대비·대응 방안을 마련해야 한다.

Fig. 3. Case Study of Risk Analysis by Social Disaster Types based F-N Curve (2005-2015)

반면, 해양사고는 육지에서 떨어진 바다에서 발생한다는 사고 발생지의 특수한 지리적 특성을 가지고 있어, 사고가 발생하면 실종되거나 사망하는 사례가 다수 있다. 또한 과학 기술의 발달에 따른 대형선박의 건조, 고속화 등 환경변화로 인해 인명위험도는 더욱 가중되고 있다. 따라서 미연에 사고가 발생하지 않도록 “항공철도사고조사위원회”와 같은 해양선박사고 분야 사고 조사단을 설립하고, 사고원인 조사 및 안전수준 점검 등 사고예방에 집중하는 것이 필요하다.

앞서 이론적 고찰에서 기술한 바와 같이 평면상에 나타나 있는 리스크 곡선은 여러 개의 구역(Acceptable, ALARP, Intolerable 등)으로 구분함으로써 분석된 위험도를 평가한다(Joen and Kim, 2008; Kim and Kim, 2008; Cho et al., 2013). 이를 통해 위험도 저감 방안 및 추가적인 조치가 필요한 고위험군 사회재난 유형을 판단할 수 있다. 해외의 경우, 핵시설, 석유화학시설, 위험물운송, 해양시설 등 다양한 분야에 대한 위험도 평가 기준을 제정하고 있지만, 국내에는 위험도 결과에 대하여 평가를 할 수 있는 절대적이며 명확한 기준이 마련되어 있지 않다.

본 연구에서는 사례연구로 사회재난의 유형별 위험도를 평가하고자 하였다. 이에 대한 기준으로는 사회재난 개별 유형의 발생확률과 인명피해의 평균값과 최대·최소값을 추출하여 영역을 구분하는 방안을 제시하였다.

위험을 표현하는 또 다른 방안으로 리스크-매트릭스 분석 시, 각 지표의 평균값을 이용하여 위험수준을 나누는 방식(Cho et al., 2013; Cho and Heo, 2017)을 응용하여 평균값을 활용하고자 하였다. 또한 이번 연구에서 평균값만을 사용하는 경우, 2개의 영역으로만 구분됨으로 이를 보완하여 위험군을 더욱 세분화하기 위한 방안으로 최대값 및 최소값을 추가하였다.

사회재난 위험도 평가를 위한 기준값은 Table 5와 같다. 이에 따라 리스크 곡선을 나타내는 평면은 아래의 3가지 영역으로 분리할 수 있다. 위험도 평가 결과는 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있으며, 이를 정리하면 Table 6과 같다(최소값은 ‘0’ 또는 거의 ‘0’에 가까운 수로, 유형별 위험도 분석 결과에 영향을 미치지 않아 제외함).

- Intolerable: 위험 수용 불가능
- ALARP (As Low As Reasonably Practical): 실행할 수 있는 한 위험을 저감
- Acceptable: 위험 채택 가능

리스크 곡선에 의한 사회재난 위험평가에 따라 very high-risk 사회재난 유형은 대형화재, 해양선박사고이며, high-risk 그룹은 산불, 붕괴, 감염병, 지하철 사고로 분석된다.

재난안전을 위한 예산이 한정되어 있는 상황에서, 위험평가를 통해 선제적 재난관리와 대응 대책이 필요한 분야를 효율적으로 발굴할 수 있다.

Table 5. Risk Criteria Example for Social Disasters

	Probability	Human casualty
Minimum value	0.0169	0.0
Average value	0.0928	28.5
Maximum value	0.3560	335.4

Table 6. Results of Risk Analysis based F-N Curve by Social Disaster Types

Criteria	Risk level	Type
Intolerable	Very High	Fire Marine accident
ALARP	High	Wild fire Collapse Infectious diseases Urban railway accident
Acceptable	Low	Railway accident Chemical accident
-	None*	Contagious animal diseases Marine pollution Space damage Medical workers strike Road transportation strike

* social disasters occurred, but no human casualty

고위험군(very high-risk 및 high-risk) 사회재난은 중앙 및 지자체 안전관리계획에서 중점적으로 안전관리 방안을 마련하여야 하는 유형으로 선정하여야 한다. 특히 재난·안전예산 투자, 제도 개선 및 교육·훈련 등 재난안전관리 대책을 우선적으로 시행함으로써 인명피해를 저감하는 노력을 기울여야 하는 분야로 다루어야 한다.

위험도 평가는 다양한 사회재난에 대하여 위험에 대한 수용여부를 비교·판단하고, 위험 정도에 따른 그룹화를 가능하게 한다. 이를 통해 위험도 감소를 위한 추가적인 조치 여부에 대한 우선순위를 제시하고, 집중 안전관리 및 재난대응 분야를 구분하는 합리적이며 객관적인 기준으로 활용 할 수 있다. 그러나 국내에는 분석된 위험도를 평가하는 명확한 기준이 없어, 향후에는 위험 기준 마련이 필요하다.

③ 연도별 위험도

연도별 위험도를 평가하기 위해 (i) 사회재난 전체, (ii) 종합 위험도가 가장 높은 유형인 대형화재에 대하여 가장 최근 2015년도 위험도를 산출하였다. 또한 개별 사회재난의 2015년도 위험도를 평가하기 위하여 아래와 같이 추가적인 위험도를 산출하고, 리스크 곡선으로 나타내어 비교하였다.

- 전년도: 2014년
- 3년 연평균: 2012년-2014년
- 5년 연평균: 2010년-2014년
- 10년 연평균: 2005년-2014년

위험도 분석 결과는 연도별로 많은 변동을 나타낸다. Fig. 4에서 2015년도 사회재난 전체 위험도는 전년도인 2014년도와 비교하여 많은 부분 줄어든 것을 알 수 있다('15년 사회재난 사례, 인명피해가 많은 순으로 '15.5-7. 중동호흡기증후군(MERS), '15.1 의정부시 고층빌딩 화재, '15.9 낚시어선 돌고래호 전복사고 등).

이는 분석기간 중 2014년에 전반적으로 사회재난이 많고('15년 9건, '14년 16건으로 분석기간 중 최대), 인명피해도 다른 해에 비해 대규모로 발생하였기 때문이다('14.4 세월호 침몰사고, '14.5 서울메트로 2호선 상왕십리역 추돌사고, '14.12 원양어선 제501오룡호 베링해 침몰사고, '14.2 경주마우나리조트 붕괴, '14.5 고양종합터미널 화재 등).

그러나 2015년도 사회재난의 위험도는 이전 과거보다 높다. 특히 발생확률은 3년, 5년, 10년 연평균과 비교 시, 점차 많은 격차가 발생하여 10년 전체에 비해 최근 3년 동안 더 많은 사회재난이 발생한 것으로 분석된다.

Fig. 4. Yearly Risk Analysis of Overall Social Disasters based on F-N Curve (2015)

Table 7. Results of Yearly Risk Analysis - Overall (2015)

Criteria	Previous year ('14)	3-year annual average ('12-'14)	5-year annual average ('10-'14)	10-year annual average ('05-'14)
Total risk	▽	▲	▲	▲
Probability	▽	▲	▲	▲
Casualty	▽	▽	▽	▽

▲: higher, ▽: lower

특히 인명피해에서 2015년도 최대 인명피해는 38명으로 이전 10년 중 최대 인명피해 335.4명에서 감소하여 많은 차이를 보여준다. 2015년도는 이전 10년 전보다 더 많은 대규모 인명피해가 발생한 사례는 없는 것으로 분석된다. 이러한 위험평가 결과는 Table 7과 같이 정리할 수 있다.

대형화재에 대한 연도별 위험도를 분석한 결과는 Fig. 5 및 Table 8과 같다.

대형화재는 전년대비 확률과 최대 인명피해는 다소 감소하였다. 그러나 사회재난 전체 위험도와 마찬가지로 이전 3년, 5년, 10년 평균보다 현저하게 높은 것으로 분석된다. 또한 2014년뿐만 아니라 2015년에도 1건의 사고로 인해 30명 이상의 최대 인명피해가 발생하는 것으로 분석되어, 대규모 인명피해 발생가능성이 내재되어 있음을 알 수 있다.

대형화재는 최근 11년 동안 21건이 발생하여 전체 사회재난 중 발생확률이 가장 높다(전체 59건 중 35% 차지). 연평균 2건, 한 해 최대 3-4건이 발생하였으며, 11년 동안 2개년을 제외하고 매년 발생하고 있는 실정이다. 또한 사망자와 부상자 등 인명피해가 많아, 다양한 사회재난 중 인명위험도가 가장 높은 유형이다.

따라서 대형화재 등 고위험군 사회유형에 대하여 세부적인 위험도 분석을 통하여 집중 안전관리 분야를 선정하고,

Fig. 5. Yearly Risk Analysis of Fire based on F-N Curve (2015)

Table 8. Results of Yearly Risk Analysis - Fire (2015)

Criteria	Previous year ('14)	3-year annual average ('12-'14)	5-year annual average ('10-'14)	10-year annual average ('05-'14)
Total risk	▽	▲	▲	▲
Probability	▽	▲	▲	▲
Casualty	▽	▽	▽	▽

▲: higher, ▽: lower

재난예방을 위한 투자 등 안전관리 대안을 마련하여야 한다. 또한 재난관리 방안 시행 후, 지속적이며 정기적으로 위험도 분석을 시행하여 위험수준의 변화를 살펴보는 후속조치가 필요하다. 이를 통해 위험수준의 변화에 따라 조치사항의 효과에 대한 평가가 가능할 것이다.

재난 및 안전관리를 위하여 한정된 보유 인력, 재원 등 자원을 활용하여 효율적이며, 효과적으로 재난 대비를 위해서는 이러한 위험도 분석 및 평가가 필수적으로 선행되어야 한다.

사회재난관리 소관 부처와 지자체는 안전관리계획 수립 시, 이러한 사회재난 유형별 발생 특징을 도출하고 인명피해를 막기 위한 차별화된 전략을 세워야 한다. 이를 위해 사회재난 유형별로 상대적인 위험도 분석·평가를 통해 고위험군 등으로 나누거나, 개별 사회재난 유형에 대하여 전년대 비교하여 위험도를 평가하는 방법을 활용할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 최근 11년간('05~'15) 국내에서 발생한 사회재난 데이터를 수집하여, 사회재난 유형별 발생확률 및 인명피해(사망자, 부상자)를 바탕으로 사회재난 위험도를 분석하였다. 또한 사례분석으로 사회재난 전체와 대형화재에 대하여 가장 최근 연도인 2015년 위험도 분석을 수행하였다.

26종의 사회재난 중 발생확률은 대형화재가 가장 높은 것으로 분석되었으며, 인명피해가 많은 유형은 해양선박사고와 감염병으로 도출되었다. 이러한 사회재난은 유형이 다양하고, 발생빈도가 비정형적이며 대규모 인명피해 사례가 많다. 특히 사망자 보다가 더 많은 부상자가 발생함으로 사회재난 인명피해는 사망자 외 부상자도 고려해야 한다.

이에 대하여 리스크 곡선을 활용한 사회재난 유형별 위험도는 대형화재, 해양사고, 감염병, 산불 등이 높게 분석되어, 이러한 고위험군에 집중 안전관리가 필요한 것으로 판단된다.

2015년도 사회재난은 전년대 대비 비교적 위험이 감소하였다. 또한 사례분석으로 수행한 대형화재 역시 2015년도는 전년에 비하여 위험이 낮아진 것으로 분석되었다. 그러나 이전 3년, 5년, 10년 평균과 비교하여 위험이 높은 것으로 평가되어, 향후 사회재난에 대한 위험을 저감하기 위한 관련 부처 및 지자체의 많은 노력이 요구된다.

본 연구에서는 국내 절대적인 위험평가 기준이 없는 상황에서 유형별 발생확률 및 인명피해를 산출하여 상대적인 비교·분석을 수행하였으며, 평균값 및 최대값을 기준으로 제시하여 위험수준을 나누었다. 또한 개별 유형별 위험평가 시, 전년대 대비, 이전 3년, 5년 및 10년 연평균으로 평가하여 재난관리 의사결정을 위한 기초자료로써 다양성 추구하였다.

그러나 본 연구에서 제시한 위험평가 기준은 상대적인

비교·분석을 위한 것으로 절대적인 위험평가의 기준으로서는 한계점을 지닌다. 향후 세부적인 발생 추이 분석 및 전문가 설문 등 논의를 통해 연도별, 유형별 등 사회재난의 적정한 위험수준에 대한 명확한 기준 수립이 필요하다.

또한 본 연구에서는 사회재난의 인명피해에 대한 위험도를 분석하였다. 다양한 사회재난 중 몇몇 유형은 인명피해 이외에도 재산피해(가축질병, 육상운송 파업 등) 및 환경피해(유해화학물질사고, 해양오염 등)가 두드러지는 유형이 있다. 따라서 이러한 사회재난의 여러 가지 특성을 반영할 수 있는 다양한 관점에서의 위험도 분석이 추가적으로 진행되어야 한다.

그럼에도 불구하고 인명피해는 물질과 재산으로는 환산이 불가하고 무엇보다 대체할 수 없는 가장 우선·중시되어야 하는 가치이다. 따라서 이러한 사회재난 인명피해를 기반으로 하는 위험도 분석을 통해 재난예방 및 관리 방안 마련을 위한 방향 수립에 도움을 줄 수 있다. 또한 위험도 분석과 연계한 안전관리계획 수립은 안전관리 지원 대상을 선정하는데 우선순위 산정 등 객관적인 기준으로써, 재난관리를 위한 합리적인 의사결정 기초자료로 활용 할 수 있다.

References

- Boult, M. (2000) Risk Management of LPG Transport Activities in Hong Kong. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 71, No. 1-3, pp. 85-100.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS) (2009) *Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria*. John Wiley & Sons.
- Central Safety Management Committee (2010-2014) *The 2nd Plan for National Safety Control*.
- Cho, S.J., and Heo, B.Y. (2017) A Study on Investment Direction based on Risk-Matrix Analysis of Social Disasters. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 135-143.
- Cho, S.J., and Kim, D.J. (2013) A Study on Accidents of Hazardous Materials (Oil and HNS) Maritime Transportation in Major Domestic Ports by Formal Safety Assessment. *Journal the of Korean Society of Safety*, Vol. 28, No. 8, pp. 57-65.
- Cho, S.J., Kim, D.J., and Choi, K.S. (2013) Hazardous and Noxious Substances(HNS) Risk Assessment and Accident Prevention Measures on Domestic Marine Transportation. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 19, No. 2, pp. 145-154.
- Cho, S.J., and Park, D.K. (2016) Identification of High-Risk Major Accident Types in Korea based on Occurrence

- Trend Analyses. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 4, pp. 103-110.
- Cozzani, V., Bonvicini, S., Spadoni, G., and Zanelli, S. (2007) Hazmat Transport: A Methodological Framework for the Risk Analysis of Marshalling Yards. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 147, pp. 412-423.
- Jeon, S.S., Kim, J.M., and Jang, H.M. (2008) Case Histories of Damage and Improvement Schemes for Human Disasters. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 2, pp. 83-90.
- Joen, G.R., and Kim, D.J. (2008) A Study on Risk Assessment for Fire Onboard a Naval Vessel. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 35-42.
- Kim, D.J., and Kim, S.Y. (2008) A Methodology for Risk Analysis on Ship Accidents at Port Area. *Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 59, pp. 105-121.
- Kim, J., Lee, D., Cho, J., Han, S., and Kim, T. (2016) Introduction of Perception on ICT to Respond Social Disasters. *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 12, No. 3, pp. 249-260.
- Lee, K.H., Yi, W.H., and Yang, W.J. (2016) A Study on Risk Analysis of Social Disaster. *Journal of Korean Society of Disaster & Security*, Vol. 9, No. 2, pp. 15-21.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS) (2015a) *2013 Disaster Yearbook*.
- MPSS (2015b) *Improvement of Safety control Plan for Local governments*. 2015.11.11., Press releas.
- MPSS (2015c) *2014 Disaster Yearbook*.
- MPSS (2016) *2015 Disaster Yearbook*.
- Park, S.S. (2009) Probabilistic Risk Evaluation Method for Human-induced Disaster by Risk Curve Analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 9, No. 6, pp. 57-68.
- Ronza, A., Carol, S., Espejo, V., Vilchez, J.A., and Arnaldos, J. (2006) A Quantitative Risk Analysis Approach to Port Hydrocarbon Logistics. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 128, No. 1, pp. 10-12.
- UNISDR (2009) *Terminology in Disaster Risk Deduction*.

Received	October 25, 2017
Revised	October 30, 2017
Accepted	November 27, 2017