

# 국내 제조업 화재사고 데이터 분석을 통한 복합 유해 · 위험요인 확인

김경민<sup>1</sup> · 서용윤<sup>2</sup> · 이종빈<sup>3</sup> · 장성록<sup>4†</sup>

## Identifying Hazard of Fire Accidents in Domestic Manufacturing Industry Using Data Analytics

Kyung Min Kim<sup>1</sup> · Yongyoon Suh<sup>2</sup> · Jong Bin Lee<sup>3</sup> · Seong Rok Chang<sup>4†</sup>

### †Corresponding Author

Seong Rok Chang

Tel : +82-51-619-6468

E-mail : srchang@pknu.ac.kr

Received : April 14, 2023

Revised : July 18, 2023

Accepted : July 24, 2023

**Abstract** : Revising the Occupational Safety and Health Act led to enacting and revising related laws and systems, such as placing fire observers in hot workplaces. However, the operating standards in such cases are still ambiguous. Although fire accidents occur through multiple and multi-step factors, the hazards of fire accidents have been identified in this study as individual rather than interrelated factors. The aim has been to identify multiple factors of accidents, outlining fire and explosion accidents that recently occurred in the domestic manufacturing industry. First, major keywords were extracted through text mining. Then representative accident types were derived by combining the main keywords through the co-word network analysis to identify the hazards and their relationships. The representative fire accidents were identified as six types, and their major hazards were then addressed for improving safety measures using the identification of hazards in the “Risk Assessment” tool. It is found that various safety measures, such as professional fire observers’ training and clear placement standards, are needed. This study will provide useful basic data for revising practical laws and guidelines for fire accident prevention, system supplementation, safety policy establishment, and future related research.

Copyright©2023 by The Korean Society of Safety All right reserved.

**Key Words** : fire accidents, text mining, co-word network analysis, risk assessment, fire observers

## 1. 서론

화기를 다루는 용접 · 절단작업 등은 건설업, 조선업 그뿐만 아니라 제조업에서도 중요한 작업공정 중 하나이다. 조선소의 거대 선박 건조나 강교 건설 같은 토목 시공에서부터 동네 작은 철공소까지 이러한 화기작업은 실로 광범위하고 그 쓰임새도 계속 확대되어 오고 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 용접 · 절단작업 등의 화기작업은 모든 산업에서 핵심이라 불릴 정도로 산업의 뒷받침이 되어 온 반면, 작업의 위험도로 분류한다면 강도의 측면에서 최고 높은 위험공정이 아닐 수 없기에 사용의 증가와 더불어 화재사고도 꾸준히 발생하고 있다<sup>3,4)</sup>.

특히 작업장 내 보전작업 등이 많은 제조업에서는 오히려 건설업보다 많은 화재사고가 발생하였고 업종별 폭발 · 파열 · 화재 사고 건수도 제조업이 월등히 많았음을 확인할 수 있다<sup>5)</sup>. 이러한 사고의 원인은 부주의에 의해 주로 발생하였고, 그러한 부주의는 작업현장에서 흔히 실시하는 화기작업에 의한 원인임을 확인하였으나 사고예방에 관련된 구체적인 통계와 분석자료 등 선행연구는 찾아보기 쉽지 않다. 또한, 부주의는 단편적인 원인으로 볼 수 없으며, 특히 화재사고는 다양한 원인들이 복합적으로 연결되어 발생할 가능성이 높다. 따라서 작업현장에서 발생하는 화재사고를 심층적으로 분석하여 사고의 원인과 연관성을 파악할 필요가

<sup>1</sup>부경대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Pukyong National University)

<sup>2</sup>동국대학교 산업시스템공학과 교수 (Department of Industrial & System Engineering, Dongguk University(Seoul))

<sup>3</sup>부경대학교 안전공학과 강사 (Department of Safety Engineering, Pukyong National University)

<sup>4</sup>부경대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Pukyong National University)

있고 그에 따른 개선대책을 강구하여야 할 것이다.

본 연구에서는 국내 제조업에서 발생한 화재·폭발·파열에 관한 사고개요를 수집하여 문서를 군집화하였고 유사단어 분석을 통해 클러스터별 동시출연단어 네트워크 분석을 진행하였다. 이는 사고개요 중 어떤 단어가 많이 기술되는지 또, 그러한 단어간의 연관성을 알아보는 것으로서 화재사고의 단편적인 원인이 아닌 복합적으로 발생하는 유해·위험요인을 발견하고 그 연계성을 확인할 수 있다. 또한, 빈번히 발생하는 사고의 유형을 분석할 수 있음과 동시에 사고 예방의 기초 연구 자료로 중요한 의미를 가질 수 있다. 분석을 통해 노드와 중심선 연결이 우수한 클러스터를 선정하였고 그에 따른 대표사고 및 대표유형을 도출하였는데 결국, 단어의 사용 빈도와 연관성이 높은 클러스터 분석으로 대표적인 사고유형을 한정할 수 있다는 장점이 있다. 결론적으로 이러한 대표 사고유형 도출로 유해·위험요인 파악함으로써 위험성평가를 실시하기 위한 사전정보 제공에 기여할 수 있고, 이것이 본 연구의 결과를 통해 가능함을 알 수 있었다.

본 연구에서 진행한 분석 결과를 바탕으로 국내 제조업에서 화기작업으로 발생하는 화재사고의 근원적 원인을 파악함으로써 그에 따른 산업안전보건법 및 제도의 개선방안 수립에 기여할 것으로 사료된다.

## 2. 연구배경

고용노동부의 고용노동통계 Table 1에서 보는 바와 같이 제조업과 건설업이 타 업종에 비해 재해자가 많고, 특히 2015년까지 제조업은 업종 중 가장 많은 재해자가 발생했음을 알 수 있다<sup>5)</sup>. 또한 화재·폭발·파열에 의한 재해를 분석하면 Table 2와 Table 3과 같이 제조업에서 월등히 많은 사고가 발생하였다<sup>6)</sup>. 이렇듯 제조업 전체사고 및 화재·폭발·파열사고 추이를 보면, 사고가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있으나, 여전히 타업종에 비해 10년간 총 명수 및 총 건수는 월등히 많음을 알 수 있다. 그 원인으로 화재·폭발·파열사고의 경우는 제조업에서 철강, 인화성물질 취급 등의 작업 특성이 있어 빈번한 화기작업이 요구되기 때문으로 볼 수 있다. 또한 화학분야에서는 제조업 설비가 노후화되면서 설비의 정비·보수작업과 같은 비일상적인 작업 중에서의 사고가 빈번하게 발생하고 있으며 그 발생 가능성도 높아지고 있다고 보아야 할 것이다<sup>7)</sup>.

그리고 이러한 화재의 원인을 분석하기 위해 소방청 화재사고통계 Table 4를 보면 부주의가 가장 많은 것을

Table 1. Ministry of Employment and Labor Employment and Labor Statistics, "Status of total industrial accidents—by type of incidence (Total)" (2009~2018)

Division	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Manufacturing	33,001	34,071	32,294	31,666	29,432	28,649	27,011	26,142	25,333	27,377
Construction	20,998	22,504	22,782	23,349	23,600	23,669	25,132	26,570	25,649	27,686
Transportation warehouse communication	4,372	4,365	4,226	4,201	4,240	4,188	4,059	4,114	4,237	5,291
Forestry	3,091	2,164	1,984	1,816	1,965	1,696	1,627	1,444	1,124	1,041
Mine	1,114	1,082	1,103	911	921	1,235	1,469	1,534	1,897	2,225
Agriculture	620	645	575	603	638	621	647	729	555	648
Financial insurance	484	489	429	393	363	337	295	285	312	358
Electricity, Gas and water supply	114	85	86	96	77	98	98	103	87	108
Fishing	66	70	77	62	62	81	57	43	59	66
Sum	97,821	98,645	93,292	92,256	91,824	90,909	90,129	90,656	89,848	102,305

Table 2. Ministry of Employment and Labor Employment and Labor Statistics, "Status of total industrial accidents—by occurrence type (Fire)" (2009~2018)

Division	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Manufacturing	286	203	237	230	177	168	142	156	110	110
Construction	81	80	72	118	62	91	82	102	59	107
Transportation warehouse communication	14	9	5	5	6	6	6	6	8	3
Forestry	7	3	1	3	3	9	5	7	1	0
Agriculture	0	2	2	3	5	3	8	3	1	4
Mine	2	1	1	0	4	0	1	0	0	0
Electricity, Gas and water supply	1	2	0	1	1	4	3	0	0	1
Financial insurance	1	2	0	0	0	2	0	1	0	0
Fishing	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Etc	103	100	67	89	97	84	71	61	50	109
Sum	497	403	385	449	356	367	318	336	229	334

알 수 있다<sup>8)</sup>. 그리고 Table 5와 같이 ‘부주의’ 관련 카테고리 중에서도 담배꽂초, 용접·절단·연마, 불씨·불꽃·화원방지, 쓰레기 소각, 가연물 근접방치, 유류취급 등 작업현장에서 화기작업 중 부주의로 인해 발생하는 화재사고가 관련성이 있음을 확인할 수 있다<sup>9,10)</sup>.

이와 같이 타업종에 비해 제조업에서 화재사고가 많이 발생하는 것을 통계적으로 확인할 수 있었으나, 사고 예방을 위한 객관적이고 구체적인 원인분석과 개선

**Table 3.** Ministry of Employment and Labor Employment and Labor Statistics, “Status of total industrial accidents–by occurrence type (Explosion, Rupture)” (2009~2018)

Division	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Manufacturing	202	175	211	206	189	135	127	96	103	107
Construction	91	80	49	65	77	71	66	68	49	55
Transportation warehouse communication	10	6	7	8	8	4	8	2	5	6
Forestry	3	5	1	2	0	4	1	0	0	0
Agriculture	0	2	1	1	4	3	0	1	6	2
Mine	8	2	1	0	4	2	5	5	5	5
Electricity, Gas and water supply	3	2	0	2	1	2	6	1	0	8
Financial insurance	2	1	2	0	1	0	1	0	1	0
Fishing	0	1	0	0	1	0	0	1	0	2
Etc	122	99	81	87	103	60	57	56	41	50
Sum	441	373	353	371	388	281	271	230	210	235

**Table 4.** National fire agency fire statistical yearbook, “Ignition factors (Total)”, (2009~2018)

Division	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Carelessness	22,765	17,869	20,238	20,247	19,010	21,489	23,525	22,629	23,425	20,352
Electrical	10,787	10,827	10,664	10,488	10,103	9,445	8,980	8,962	9,256	10,471
Mechanical	3,651	4,060	4,072	4,261	4,059	4,064	4,511	5,187	4,485	4,619
Suspicion of arson	2,604	2,043	1,762	1,289	1,071	948	795	584	514	470
Gas leak	212	184	217	170	181	168	146	177	175	211
Chemical	285	288	299	276	322	360	452	625	625	604
Traffic accident	621	567	532	576	567	511	520	486	457	505
Other mistake fire	725	807	861	1,036	843	866	847	174	284	372
Natural	217	377	386	230	397	243	283	191	250	250
Arson	756	632	488	417	497	478	467	403	383	447
Unknown	4,695	4,209	4,356	4,259	3,882	3,563	3,909	3,995	4,324	4,037

방안 수립은 부족했다. 또한 부주의에 의한 화재발생 원인이 단순히 화기작업과 관련성은 높았지만, 다양한 원인에 의해 발생하는 화재사고의 복합적 연계성은 명확히 알 수 없었다. 이 의미는 그간 화재사고 예방활동보다 사고 발생 건수 및 그 수치의 저감관리에 더 민감했다고 볼 수도 있다.

따라서 제조업에서 발생한 화재·폭발·파열 사고개요를 통해 발생 원인을 심층적으로 분석하고 원인 간 상호연관성 및 복합적 발생 원인의 근거를 연구할 필요가 있다.

**Table 5.** Classification of ignition factors by the National Fire Agency

Ignition factor	Subclassification by ignition factor
<b>Chemical factor</b>	-Chemical explosion
	-Contact with water of Water-Prohibiting Substance
	-Chemical ignition (diffusion of oil vapor)
	-Spontaneous ignition
<b>Traffic accident</b>	-Mixed ignition
	-Traffic Accident
<b>Carelessness</b>	-Cigarette butts
	-Food is being cooked
	-Playing with fire-welding, cutting, polishing
	-Embers, flames, fire sources neglect
	-Garbage incineration
	-Boiling laundry
	-Leave close to combustibles
	-Burning rice fields and forests
	-Oil handling
-Fireworks	
<b>Natural factors</b>	-Natural disaster
	-Magnifying glass effect
<b>Electrical factor</b>	-Electric leakage, ground fault
	-Short circuit due to poor contact
	-Short circuit due to insulation aging
	-Overload, overcurrent
	-Short circuit due to pressure, damage
	-Layer short
	-Short circuit by tracking
	-Partial disconnection
	-UncheckedShort circuit
	<b>Mechanical factor</b>
-Oil, fuel leakage	
-Automatic control failure	
-Manual control failure	
-Poor maintenance	
-Decrepitude	
<b>Gas leak (Explosion)</b>	-Backfire
	-Gas leak(Explosion)

### 3. 연구방법론

#### 3.1 연구절차

본 연구는 Fig. 1과 같은 절차로 연구를 진행하였다. 먼저, 사고조사 기관과 소재지 기업의 협조를 국내 제조업에서 화재·폭발·파열의 사고개요를 수집하였다. 사고개요는 6하 원칙에 따라 사고가 일어난 경위를 요약하여 정리한 자료이다. 이후 데이터 전처리 과정과 텍스트마이닝 기법을 활용하여 주요 키워드를 추출하였다. 그리고 클러스터링별 동시단어 네트워크분석을 통해 클러스터를 선정하였고 각 클러스터별 대표사고 및 대표유형을 도출하였다. 대표유형은 최종적으로 위험성평가 Tool에 위험요인으로 적용하여 평가수행하는 순으로 연구를 실시하였다.

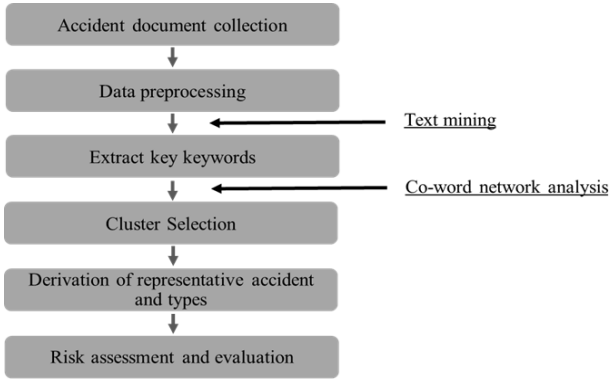


Fig. 1. Research procedure.

### 3.2 분석방법론

#### 3.2.1 텍스트마이닝

텍스트마이닝은 비정형 텍스트 데이터로부터 정보를 추출하고 가공하기 위해, 자연어 처리(Natural Language Processing) 기술을 적용한 방법론이다<sup>11)</sup>. 텍스트마이닝을 통해 대량의 비정형 텍스트 데이터에서 의미 있는 지식으로 변환하고, 각 정보간의 관계를 도출하는 분석 기법으로 다양한 분야에서 사용되고 있다<sup>14)</sup>. 텍스트 마이닝은 세 단계로 진행되는데, 먼저, 텍스트를 컴퓨터가 입력값으로 받아들일 수 있는 말뭉치(Corpus) 단위로 변환한 후, 각 문서에서 기록된 텍스트 말뭉치의 단어들을 키워드로 추출한다<sup>14)</sup>. 다음으로, 문서-단어 행렬(DTM: Document-Term Matrix)을 구축한다<sup>14)</sup>. 즉, DTM의 행은 문서를, 열은 키워드를 나타내는 매트릭스를 말한다. 마지막으로, 생성된 DTM을 input으로 하여, 다양한 데이터 분석 알고리즘을 적용해 새로운 지식을 도출한다<sup>12-14)</sup>.

#### 3.2.2 동시출현단어 네트워크

동시출현단어 분석이란 한 문서 내에서 같이 출현한 단어들의 빈도를 산정하여, 문서 내에서 단어 간 유사성을 네트워크로 시각화한 방법이다. 특히, 앞서 언급한 DTM과 관련하여 문서-단어 매트릭스에 대해, Fig. 2와 같이 전치행렬을 곱해주면 단어-단어 매트릭스가 구조화되고, 이 대칭행렬(symmetric matrix)에 대해 노드와 에지 구조로 시각화한 네트워크를 동시출현단어 네트워크라고 한다. 이 네트워크를 통해 서로 연결된 단어들은 문서 내에서 같이 출현한 문맥상 유사도가 높은 특징을 가진다고 볼 수 있으며, 특히, 그 빈도가 클수록 같이 사용되는 단어임을 의미한다<sup>15)</sup>. 단어 간 거리를 반영하여 학습하는 단어 임베딩 기법(e.g. Word2Vec, Autoencoder 등)도 많이 활용되고 있으나, 기계학습 없이 분석의 편의성과 네트워크 시각화를 통한

$$A = D \times T = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{i1} & \dots & f_{ij} \end{bmatrix} = \begin{array}{c|cccc} & \text{Term 1} & \text{Term 2} & \dots & \text{Term j} \\ \hline \text{Document 1} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \text{Document 2} & 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{Document i} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}$$

If a document i has term j, then  $f_{ij}$  is 1, otherwise 0

Co-word matrix =  $A = A^T \times A$

Fig. 2. Basic input from of co-word matrix for network analysis<sup>15)</sup>.

직관적인 단어 간 관계성 분석을 위해 서지정보는 물론 고객 요구사항 분석에도 많이 활용되고 있다<sup>16)</sup>.

#### 3.2.3 클러스터 선정

노드의 크기가 중요도에 따라 명확하게 차별화되어 있고 중요 노드 간 중심선의 연결 또한 명확한 클러스터를 선정하였다. 본 연구에서는 python의 NetworkX 패키지를 사용하여 네트워크를 시각화하고 주요 네트워크 클러스터를 확인하였다. 키워드의 순위 선정은 노드의 크기와 화재사고에 연관성이 높은 의미를 반영하여 분석하였다. 따라서 소재지나 단순한 의미를 가진 키워드는 제외하였다. 또 폭발·파열에 대한 클러스터도 분석을 하였으나 화재와 동일한 내용이 많아 제외하였다.

#### 3.2.4 대표사고 및 대표유형 도출

본 연구의 분석에 사용된 1,819건의 사고 중 각 클러스터별 키워드 순위 기준에 따라 대표사고를 특정하였다. 키워드를 가진 화재사고를 전체 사고개요를 대상으로 역으로 분석하여 동일하거나 비슷한 사고로 단일화하였고 이러한 대표사고의 의미를 모두 내포한 대표유형을 도출했다.

#### 3.2.5 위험성평가

앞서 각 클러스터별 도출된 대표유형을 위험성평가의 유해·요인 파악 등의 사전정보로 제공하였고, 위험성평가 Tool을 이용하여 평가를 수행하였으며 통상적으로 기업에서 활용하는 위험성평가 Tool을 사용하였다. 전체적인 과정을 Fig. 3과 같이 도식화하였다. 이는 관련된 사고개요를 Text mining을 통해 클러스터로 도출하였고, 그 클러스터별 대표키워드로 대표사고(Accident Type)을 한정하여 위험성평가 유해·요인에 대입하는 과정으로 빅데이터에 기반한 연구로서 의미가 있다.

Table 6과 같이 위험도는 1~20점을 부여하고 작업 허용 여부를 수용, 조건부 수용, 불허로 나누었다. 빈도와 강도의 척도는 Table 7과 같이 각각 5점~1점, 4점~



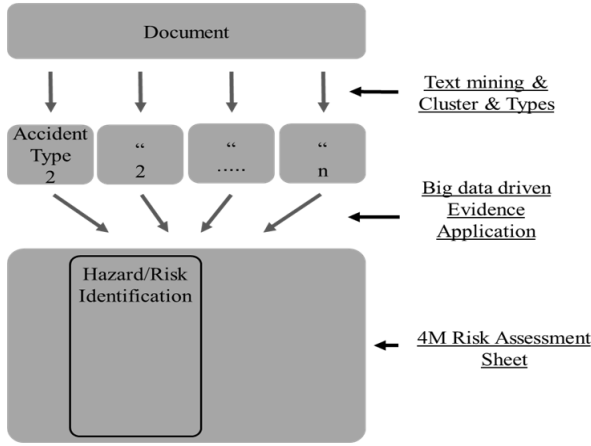


Fig. 3. Research design.

Table 6. Risk assessment evaluation(Degree of risk)

Degee of risk		Management criteria	Whether to allow
1~3	Negligible risk	-Maintain current safety measures	Acceptance of work
4~8	Insignificant/minor risk	-Hazard requiring the provision of safety training -Risk requiring managerial measures	
9~10	Considerable risk	-Risk requiring safety reduction measures during planned maintenance/repair periods	Conditional acceptance
12~15	Grave risk	-Work after establishing emergency temporary safety measures, but Risk requiring safety measures during maintenance/repair period	
16~20	Unacceptable risk	-Risk of immediate work stoppage (Immediate improvement required)	Not allowed to work

Table 7. Risk assessment evaluation(Frequency, Intensity)

Frequency	Intensity	Serious accident	Leave of absence treatment	Outpatient treatment	No influence
		4	3	2	1
More than once per day	5	20	15	10	5
More than once a month	4	16	12	8	4
More than once a year	3	12	9	6	3
More than once every 3 years	2	8	6	4	2
More than once every 10 years	1	4	3	2	1

1점으로 분석하였다. 이 기준은 안전보건공단 ‘4M 위험성평가 절차 및 방법’ 교재의 예시를 참고하였다.

## 4. 연구 결과

### 4.1 데이터 수집

분석 데이터는 화재사고가 가장 빈번한 제조업에 대하여 2012년부터 2017년까지 발생한 화재사고의 개요를 수집하였다. 화재와 더불어 폭발·파열에 대한 1,819건을 대상으로 분석하였다.

### 4.2 데이터 전처리 및 주요 키워드 추출

R(프로그램)의 tm package와 한글의 텍스트 분석을 위해 KoNLP package로 텍스트마이닝을 진행하였다. 불용어(stopwords)는 삭제하였으며, 전체적인 키워드는 Fig. 4와 같이 정리하였다. 대표적인 키워드는 작업복, 옷, 도형제, 알코올, 신너 등의 화재 취약물질 사용 및 보수, 청소 등 비정형 작업에서 부주의로 인한 화재가 발생하였다. 또 가스, 밸브, 호스 등의 관리 미흡과 에어와 산소 사용 혼동에 의한 사고도 있었다. 이러한 화재 사고는 대부분 용접, 절단 등에서 발생하는 불티가 원인인 경우가 많았다.

### 4.3 네트워크 시각화 및 클러스터 분석

동시출현단어 네트워크 분석 결과로 도출된 19개의 클러스터 중 노드와 중심선 연결이 명확한 6개의 클러스터를 선정하였다. 클러스터에 분석된 노드의 크기 및 중심선 연결의 기준으로 키워드 순위를 분석하였고 키워드를 포함한 대표사고를 특정하였으며 대표사고들의 의미를 내포한 각 클러스터별 사고유형을 도출하였다. 선정된 클러스터와 사고개요의 연관성을 건수로 분석한 결과 클러스터1은 79건, 클러스터2는 55건, 클러스터3은 54건, 클러스터4는 49건, 클러스터5는 41건, 클러스터6은 34건이 각각 연관되어 있음을 확인할 수 있었다. 제외된 13개의 클러스터는 노드의 크기가 같고 중심선 연결이 불명확하며 키워드 수가 10개 미만이었으며 사고개요의 연관성도 대부분 10건~30건으로 선정된 6개의 클러스터에 비해 낮았다. 또한 유사한 노드의 조합이 있는 클러스터, 화재 사고 이후의 키워드가 조합된 경우(치료, 후송, 대피 등), 키워드 조합으로 화재 사고를 특정하기 어려운 클러스터도 제외하였다. 선정된 동시단어 네트워크의 클러스터 및 키워드, 대표사고 및 대표유형은 Fig. 4에 정리하였다.

### 4.4 위험성평가

기존의 위험성평가에서는 위험요인부터 브레인스토밍과 주관적 판단을 통한 우선순위의 방식으로 위험성평가를 진행함으로써 다소 직관적으로 평가하고

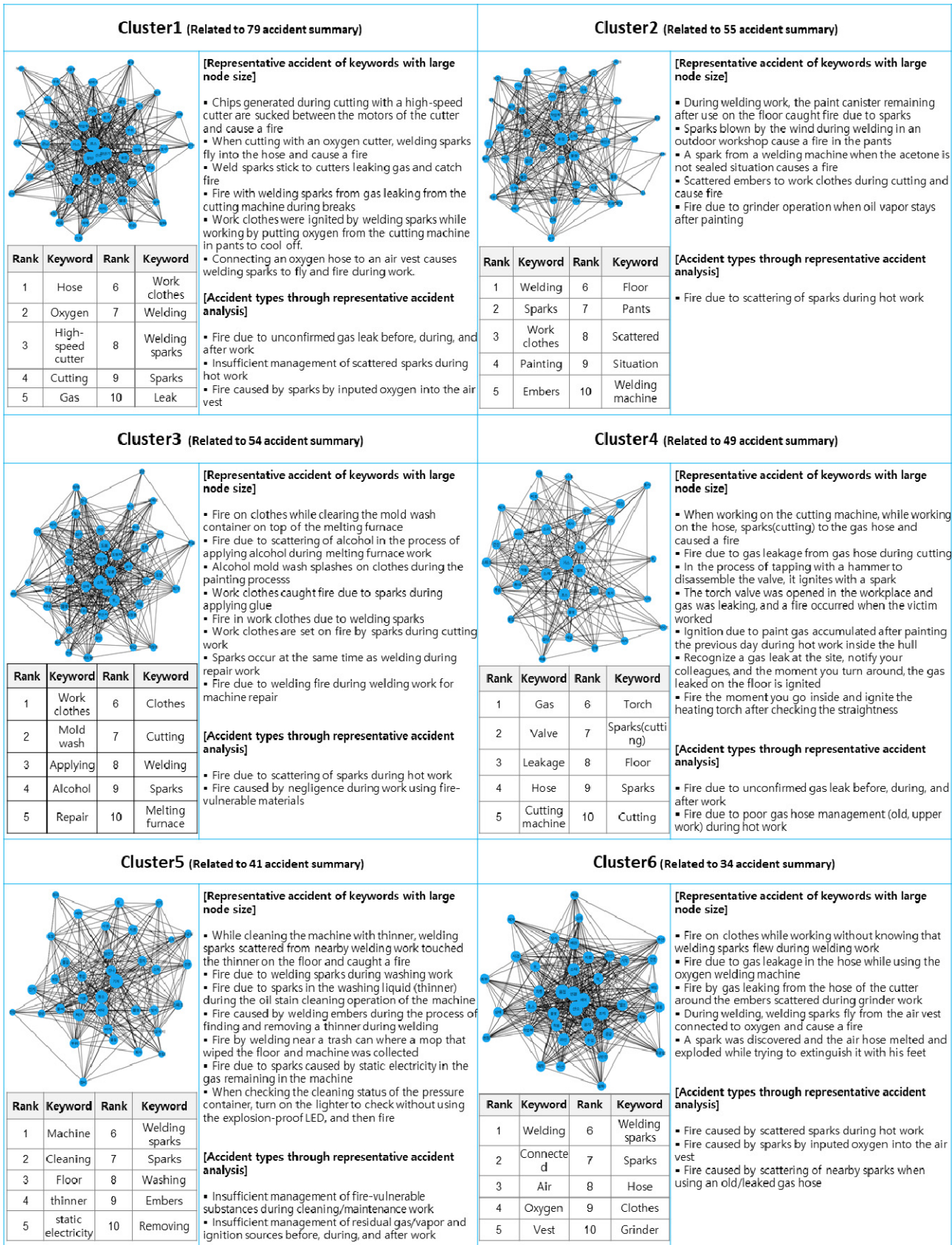


Fig. 4. Co-word network cluster selection and analysis.

예측한 한계점이 존재한다. 다시 말해, 그간 위험성평가는 주관적 정성평가 위주의 위험성 강행추정 규정 때문에 정작 중요한 유해·위험요인 파악을 충분히 하기 어려웠다는 제도의 문제점도 있었다고 보여진다<sup>17)</sup>.

그러나 본 연구에서는 앞서 데이터 분석을 통해 도출한 사고발생 키워드 및 네트워크 연관성 형태에 따라 7개의 사고로 유형화하고 위험요인을 도출하였다. 이와 같이 빅데이터에 기반한 전개로, 그 결과 국내 제조업 현장에서 화재사고 발생 가능성이 높고 취약한 유해·위험요인으로서 평가 근거의 대표성을 명확히 하였다. 7개의 위험요인의 도출 근거는 Table 8의 ‘사고

유형 연관 클러스터(Accident type-related cluster)’에 표기하였다. 1번, 3번, 6번 클러스터에 발굴된 ‘화재취약 물질 사용 부주의’ 및 ‘에어조끼에 산소 투입’은 단순한 불안정한 행동으로 안전교육과 관리감독자 점검 강화, 인사 기준 강화 등의 개선대책이 있었다. 또한 5번 클러스터에서 발굴된 ‘잔류가스 및 유증기 관리 미흡’은 방폭설비의 관리 강화와 사고사례를 통한 안전교육 등의 개선이 필요하였다. 그러나 1번~6번의 모든 클러스터가 포함된 위험요인, 즉 ‘청소·정비 시 화재취약 물질 관리 미흡’, ‘작업 전·중·후 가스누출 여부 미확인’, ‘화기작업 시 불티 관리 미흡’, ‘가스호스 누출’

Table 8. Risk assessment result

Evaluation target	Hot work			4M Risk assessment					Evaluator		Team leader	J. B. LEE	
Evaluation date	2022.11.11										Team member	K. M. KIM	
Work content	4M	Risk factors extracted from accident documents analysis	Accident type related cluster	Accident type	Current safety measures	Current risk			Improvement measures	Code No.	Risk after improvement		
						Frequency	Intensity	Degree of risk			Frequency	Intensity	Degree of risk
Hot work	Machine												
	Man	-Fire caused by negligence during work using fire-vulnerable materials	3	Fire/Explosion	Safety education	4	3	12	-Reinforcing safety education using accident cases	F/E-1	2	3	6
		-Fire caused by sparks by inputed oxygen into the air vest	1, 6	Fire/Explosion	Safety education	3	4	12	-Reinforcing supervisory inspection before, during, and after work -Reinforcing personnel standards	F/E-2	2	4	8
	Material/environmental	-Insufficient management of residual gas/vapor and ignition sources before, during, and after work	5	Fire/Explosion	Safety education, On-site encouragement	4	3	12	<b>-Improving fire observer training and deployment</b> -Reinforcing safety education using accident cases	F/E-3	2	3	6
	Management	-Fire due to unconfirmed gas leak before, during, and after work	1, 4	Fire/Explosion	Safety education/Pre-work check	5	4	20	-Reinforcing supervisory inspection before, during, and after work	F/E-4	2	3	6
		-Insufficient management of scattered sparks during hot work	1, 2, 3, 6	Fire/Explosion	Safety education/Pre-work check	5	4	20	-Arrangement of fire extinguishers and reinforcement of firefighting equipment	F/E-5	2	3	6
	-Fire due to poor gas hose management (old, upper work) during hot work	4, 6	Fire/Explosion	Safety education/Pre-work check	5	3	15	-Reinforcing emergency training (reflecting reality) -Reinforcing regulations/guidelines such as work permits -Reinforcing workplace 5S maintenance/management -Reinforcement of work manual (work procedure)	F/E-6	2	3	6	
	-Insufficient management of residual gas/vapor and ignition sources before, during, and after work	5	Fire/Explosion	Safety education	4	5	20	-Installation and improvement of explosion-proof facilities -Reinforcing safety education using accident cases -Reinforcing supervisory inspection after work	F/E-7	1	5	5	

은 안전교육 강화, 관리감독자 점검 강화, 소화설비 및 비상훈련 강화, 작업허가 및 매뉴얼 강화, 작업장 환경 관리 강화 등 여러 개선대책이 있으나, 가장 확실한 사고예방은 실질적인 화재감시자의 교육 및 배치·운영으로 평가되었다. 그것은 이러한 사고의 유형 상 화기 작업 시 불티에 의한 발생 확률이 높기 때문에 작업 전·중·후로 화재감시자가 감시를 하고 비상 시 즉각 초기대응을 실시하는 것이 가장 효율적인 방법으로 평가되었기 때문이다. 결국 Table 8과 같이, 작업현장에서 화재사고를 예방하기 위한 방법으로 감시자의 역할이 중요함이 드러났다. 이는 화재감시자 관련 법 기준 및 선진국과 비교 분석을 통해, 화재사고 감소를 위한 감시자의 역할을 확인하고, 주요 전문가의 의견을 수렴하여 현재 화재감시자 제도의 문제점과 개선책을 도출할 필요를 보여주고 있다.

### 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 2012년부터 2017년까지 제조업에서 발생한 화재사고의 개요를 수집·분석하여 주요 사고 유형과 그에 따른 개선책을 위험성평가를 통해 도출하고자 다음과 같이 연구를 진행하였다. 먼저, R(프로그래밍)의 tm package와 한글의 텍스트 분석을 위해 KoNLP package로 텍스트마이닝을 진행하였고 동시출현 단어 네트워크 분석을 통해 키워드와 클러스터 분석을 진행하였고 최종적으로 6개의 클러스터를 선정하였다. 클러스터별 내용 중 빈도가 높고 유사한 사고를 묶어 13개의 대표사고유형을 도출할 수 있었다. 또한, 이 13개의 대표사고유형 중 중복된 내용을 제외한 총 7개의 유형을 대표유형으로 확정하여 이를 위험성평가 사전정보의 단계인 ‘유해·위험요인 파악’이 가능하도록 제공하였다. 이를 위험성평가 위험요인으로 적용하여 평가를 수행해 본 결과 7개의 위험요인은 각각 12~20점의 위험도가 있었고 개선대책을 통하여 5~8점으로 개선할 수 있을 것으로 확인되었다.

본 연구는 기존 위험성평가 실시 시 브레인스토밍과 개인적 판단 위주의 우선순위 발굴 방식으로 다소 주관적이고 정성적인 위주의 유해·위험요인 도출과 달리, 빅데이터 분석을 기반으로 한 개의 개별요인이 아닌, 키워드 간 관계를 바탕으로 복합요인을 도출하는 등 경험적이고 귀납적인 유해·위험요인 발굴을 수행하였다. 이와 같이 실제 발생한 사고개요 분석을 통해 화재 원인 간 상호연관성 분석을 포함한 유해·위험요인 발굴을 실시 한다면, 위험성평가 위험요인으로서 유용한 현장 확인 근거가 될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 이를 위해서는 사고개요 먼저 6하 원칙에 의거하여 충실히 그 사고 발생 환경과 원인, 과정 등이 설명될 수 있도록 현장에서 사고조사의 질을 높일 필요가 있다. 현재 사용한 데이터에서는 사고개요의 길이나 용어의 선정이, 개요마다 차이가 남에 따라 양질의 데이터를 확보하는데 한계가 있었다. 또한, 유해·위험요인 파악에는 객관적인 증거를 제공하였지만, 개선대책까지는 현재 연구에서 다루지는 못하였다. 특히 본 연구의 결과로 작업현장 화재사고의 대부분이 화기 작업 시 불티에 의한 원인이며 이를 예방하기 위하여 화재감시자 교육 및 운영, 배치 등의 중요성을 파악 하였으나, 이와 연관된 선행연구는 많지 않았다. 따라서 제조업 화재사고를 예방하기 위해 화재감시자 관련 현재 법 기준 및 전문가 의견을 분석하는 등 후속연구를 통해 미진한 점을 발굴하고 개선할 필요가 있다.

### References

- 1) S. Y. Hong, “A Study on the Current State of the Root Industry and Root Industry Promotion Policy”, Inha University Graduate School of Engineering, pp. 1-3, 2014.
- 2) J. Y. Han, C. H. Kim, J. K. Kim, N. H. Kang and J. H. Kim, “Analysis of the Current Status of the Domestic Welding Industry using Statistics”, Journal of the Korean Society of Welding and Joining, Vol. 23, No. 3, pp. 1-15, 2005.
- 3) M. S. Kang and B. Y. Lee, “Case Analysis of Domestic Welding Accident Using Database”, The Korean Welding and Joining Society(Summary of Special Lectures and Conferences), Vol. 1, pp. 116-118, 1997.
- 4) S. U. Jeong, “A Study on Analysis of Statistics on the Causes of the Fire by Welding and Cutting”, Kyungpook National University Graduate School of Industry, pp. 1-2, 2015.
- 5) Ministry of Employment and Labor(MOEL), Employment and Labor Statistics, Status of Total Industrial Accidents, 2009-2018.
- 6) Ministry of Employment and Labor(MOEL), Employment and Labor Statistics, Status of Total Industrial Accidents (Fire, Explosion, Rupture), 2009-2018.
- 7) C. H. Lee, “Recent Chemical Accidents and Preventive Measures”, Korea Labor Institute Labor Review, No. 100, pp. 18-25, 2013.
- 8) National Fire Agency(NFA), Fire Statistics, “Ignition Factors“, 2009-2018.
- 9) H. Lee, “A Study on Prevention of Fire at Welding Work



- Sites”, Graduate School of Construction and Industry, Kyonggi University, pp. 3-4, 2012.
- 10) T. H. Lee, “A Study on Fire Prevention in the cases of fire Investigation”, Graduate School of Construction and Industry, Kyonggi University, pp. 1-2, 2011.
  - 11) R. Feldman and I. Dagan, “Knowledge Discovery in Textual Databases (KDT)”, Proceedings of the First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), pp. 112-117, 1995.
  - 12) E. Turban, “Decision Support and Business Intelligence Systems”, Pearson Education Limited, Harlow, UK, 2010.
  - 13) Y. Suh, “Data Analytics for Social Risk Forecasting and Assessment of New Technology”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 3, pp. 83-89, 2017.
  - 14) S. S. Kang and Y. Y. Suh, “On the Development of Risk Factor Map for Accident Analysis using Textmining and Self-Organizing Map(SOM) Algorithms”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 6, pp. 77-84, 2018.
  - 15) J. Jeon and Y. Suh, “Multiple Patent Network Analysis for Identifying Safety Technology Convergence”, Data Technologies and Applications, Vol. 53, No. 3, pp. 269-285, 2019.
  - 16) B. S. Kang, “Accuracy Improvement of Movie Recommender System Using Word2Vec and Two-Channel Convolutional Neural Networks”, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 16, No. 2, pp. 255-263, 2021.
  - 17) Y. Y. Suh, “[Column]Establishment of Risk Assessment System and Expectations for Follow-up”, Dongguk University Industrial System Engineering, 2023. [Internet] MT(Money Today), Available from : <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2023032909230739016>