

# LPG 관련 산재사고의 위반행동 특성 분석

함승언<sup>1</sup> · 임현교<sup>2†</sup>

## Analysis of Behavioral Traits in Violation related to LPG Accidents

Seung Eon Ham<sup>1</sup> · Hyeon Kyo Lim<sup>2†</sup>

### †Corresponding Author

Hyeon Kyo Lim  
Tel : +82-43-261-2462  
E-mail : hklim@chungbuk.ac.kr

Received : October 18, 2022  
Revised : December 19, 2022  
Accepted : July 25, 2023

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

**Abstract** : LPG-related accidents, which account for half of all gas accidents in Korea, have not shown any sign of decrease over the past decade, partially owing to the lack of effective safety improvement measures. The purpose of this study was to identify the effectiveness of improvement measures by analyzing the traits of accidents in terms of human factors, and to seek more effective accident prevention strategies. In this study, 108 accident cases were collected and analyzed in the aspect of accident characteristics such as violation type, human factors, and so on. The results showed that the work procedures of suppliers and engineers related to LPG accidents seemed to be similar in outward appearance; however, specific accident causes and unsafe behaviors were different. Particularly, type and target of violations were different, which could be visually confirmed by the Principal Component Analysis (PCA) and the Quantification Techniques (QT). Furthermore, for engineers, insufficient supervision was a major influencing factor. In conclusion, because the accident characteristics of suppliers and engineers are different, differentiated accident prevention strategies should be implemented, which was discussed in this study.

**Key Words** : LPG accident, violation, human factors, Principal Component Analysis (PCA), Quantification Techniques (QT)

## 1. 서론

지난 30여 년간 우리나라의 가스사고는 감소하기는 하였으나, 최근 10년간은 더 이상 감소하지 않고, 특히 2015년 이후에는 정체 현상을 보이고 있다. 1990년대 후반 IMF 위기와 2007년 세계적 불경기 시점 전후로는 사고율이 급증하는 특이 현상이 나타나기는 했지만 이는 일시적이었던 현상으로 판단되며, 그 이후에는 대체로 일정 수준을 유지하고 있다.

특히 이 중 LPG 관련 사고는 Table 1에서 보는 바와 같이 가스관련 사고의 절반을 차지할 만큼 큰 비중을 차지함에도 불구하고<sup>1)</sup> 전혀 감소할 기미를 보이지 않고 있다.

LPG 사용시설에서의 사고는 가스 공급자와 시공자의 막음조치 미비, 호스밴드 미체결 등 가스 공급 및 시공작업 중 관련 법령 및 작업 규칙의 미준수나, 가스

시설의 관련 규정 또는 제조 사양에 적합하지 않은 사고 관련 종사자의 위반행위가 많은 부분을 차지한다고 알려져 있다<sup>1)</sup>.

이에 비하여 과거의 사고 예방 대책은 주로 교육, 홍보 등에 치우쳐 있어 재발방지 효과가 미미하고<sup>2)</sup>, 종사자 관련 사고 책임이 주로 공급자에게 돌아가는 등의 문제가 있었다<sup>1)</sup>.

Table 1. Variation of gas accidents by gas type (2012~2021)

Year Type	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Cases (n)	Portion (%)
LPG	49	49	41	44	48	53	46	53	43	35	461	47.6
City gas	17	9	21	9	18	19	27	21	23	17	181	18.7
Butane gas	17	19	16	29	18	15	24	18	22	17	195	20.2
HP gas	8	13	15	15	17	11	24	9	10	9	131	13.5
Total	91	90	93	97	101	98	121	101	98	78	968	100.0

<sup>1</sup>한국원자력연구원 중대재해관리팀 기술원 (Severe Accident Management Team, Korea Atomic Energy Research Institute)

<sup>2</sup>충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

종사자로부터 기인한 LPG 사고를 예방하기 위해서는 직접적인 불안전행동 특성을 파악함은 물론이지만<sup>3)</sup>, 사고원인이 개인의 일탈이나 안전교육의 미흡, 안전문화의 부실 등 조직 전반의 책임으로 전가되면 구체적 방안이나 예방안 도출이 어렵게 된다<sup>4,5)</sup>. 본 연구는 LPG 관련 사고의 원인을 불안전행동 특성에 초점을 맞추어 다각도로 분석함으로써 보다 효과적인 사고예방대책의 시사점을 파악하기 위하여 수행되었다.

## 2. LPG 관련 사고의 기존 분석동향

### 2.1 국내 가스안전사고에 대한 기존분석

Table 2는 최근 5년간 LPG 관련 사고의 원인을 분석한 결과<sup>1)</sup>인데, 보는 바와 같이 시설미비 (inadequate facilities) 38.7%, 제품고장(노후) (product failure; aging) 22.2%의 순으로 점유율이 높았다.

Table 2. Causes of LPG accidents over recent 5 years<sup>1)</sup>

Type	Year					Cases (n)	Portion (%)
	2017	2018	2019	2020	2021		
Customer negligence	14	2	11	5	8	40	17.4
Supplier negligence	2	3	1	1	2	9	3.9
Construction (by others)	-	-	1	1	2	4	1.7
Inadequate facilities	19	19	22	20	9	89	38.7
Product failure (aging)	8	14	9	10	10	51	22.2
Traffic accident	1	-	-	-	-	1	0.4
Others	9	8	9	6	4	36	15.7
Total	53	46	53	43	35	230	100.0

그러나, 이 분석에는 물적 원인과 인적 원인, 그리고 관리적 원인 등이 혼재되어 있어 재발방지 대책을 설정할 때 해당 사고의 요인들을 배타적으로 생각하기 쉬워 사고예방에 효과적이지 못하다는 문제점을 안고 있다<sup>4)</sup>.

### 2.2 가스안전 분야의 연구동향

이제까지 가스안전과 관련된 불안전행동의 연구는 주로 휴먼에러의 원인을 파악하고 대책을 제시하는 데 초점이 맞추어 있으며, 위반에 관한 연구는 매우 미미하였다. 예를 들어, 김주성<sup>6)</sup>은 통계 자료를 기반으로 가스별 산업에서 사고를 유발하는 휴먼에러 유형을 도출하고 대응 방안을 제시하였으나, 단순한 통계자료의 해석이라는 점에서 한계를 가지고 있었다. 또한, 김동기<sup>7)</sup>는 현장 직원들의 설문 자료를 기반으로 LPG 충전소에서의 잠재적 사고 요인을 파악하고, 작업자의 직무만족 향상을 통한 휴먼에러 감소방안을 제시하였으

나, 설문과 직무만족 향상만으로는 휴먼에러를 예방할 수 없다는 한계점이 존재하였다. 이에 비하여 임현교 등<sup>4)</sup>은 최근 10년 동안의 국내 가스사고 통계를 바탕으로 가스종류별 사고를 유발한 직접원인에 초점을 맞추어 불안전행동 유형을 분류하였으나, 위반에 대한 언급은 없었다.

해외 연구로는 Theophilus 등<sup>8)</sup>의 연구를 들 수 있는데, 그들은 인간의 불안전행동 관련 분류체계로 자주 언급되는 HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)을 석유가스 산업에 맞게 변형하여 HFACS-OGI를 제시하였으며, Nwankwo 등<sup>9)</sup>은 이를 기반으로 석유가스 산업의 사고 사례를 분석하여 시공사의 작업환경이 주요 원인이라고 주장하였다. 그러나, 이런 연구들은 가스사고 연구를 불안전행동 측면으로 수행하였다는 포괄적인 의미는 가지고 있으나 LPG 관련 사고와의 직접적인 연관성은 부족하였다.

본 연구에서는 이와는 대조적으로 작업자의 위반행위로 야기된 LPG 관련 사고의 원인 분석과 예방대책에 초점을 맞추어 수행되었다.

## 3. 연구방법

### 3.1 연구 대상 및 범위

선행연구<sup>4)</sup>에 따르면 사고관련자들의 특성이라는 점에서 LPG 관련 사고는 다른 가스 관련 사고와는 차이가 있다. Fig. 1은 가스별 사고 관계자들의 분포를 나타내는데, 도시가스와 LPG 관련 사고는 특히 공급자의 비율이 높다. 물론 LPG 관련 사고의 경우 일반 사용자의 점유율도 높지만, 일반 사용자(customer)의 통제 가능성이 상대적으로 곤란하다는 점을 감안한다면 사고 예방 정책상 공급자(supplier)를 무시할 수는 없다.

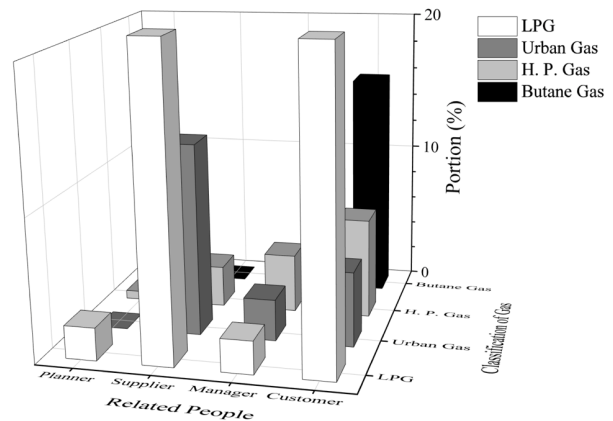


Fig. 1. Person types involved in gas accidents<sup>4)</sup>.

따라서 본 연구에서는 공급자와 시공자(engineer)에 초점을 맞추어 2011년부터 2020년까지 발생한 LPG 관련 사고 사례 중 작업자가 작업 준수사항을 지키지 않아 발생되었다고 보고된 공급자 관련 사고 66건과 시공자 관련 사고 42건, 총 108건의 사고보고서를 수집하여 분석 대상으로 선정하였다<sup>10)</sup>.

### 3.2 위반행동 특성 분석

구체적인 연구 방법으로 공급자 및 시공자별로 선정된 사고사례를 대상으로 m-SHELL 모형<sup>11)</sup>에 따라 사고 관련요인을 분류하고, 역동적 사고분석기법(Accident Dynamics Analysis)<sup>12)</sup>을 이용하여 사고전개과정을 파악함으로써 작업특성, 위반 유형 및 위반 대상을 이해하고자 하였다.

또한, 주성분분석(Principal Component Analysis; PCA)과 수량화기법(Quantification Techniques)을 이용하여 작업자별 LPG 사고 관련 요인들의 관계를 파악하고자 하였다.

## 4. LPG 관련 사고 중 위반행동의 특성

### 4.1 외형적 사고요인의 비교

Table 3은 작업자별로 사고관련 요인을 m-SHELL 모형에 따라 중복 허용 정리한 것이다. 이 결과에 따르면 공급자 관련사고는 작업자 본인의 안전의식 부족 (A1; 98.5%)의 비율이 가장 높았다.

그러나, 공급자 관련 사고는 작업 특성상 1인 작업 (B1; 89.4%)의 비중이 높았고, 구체적인 위반행위로는 안전조치가 미흡하거나 불량인 시설에 대하여 사전 안전점검 작업을 생략하거나 (A7; 71.2%) 소홀히 한 (A3; 69.7%) 상태에서 가스를 공급하여 가스 누출로 이어지는 경우가 빈발하였다.

이에 비하여 시공자 관련 사고 역시 작업자 본인의 안전의식 부족으로 발생한 사고비율이 가장 높았던 점은 공급자 관련사고와 같았지만 (A1; 92.9%), 기존 설비의 수리, 철거 후 시공이라는 작업특성상 안전조치를 하지 않고 작업한 비율 (A8; 92.9%)이 매우 높았고, 그 다음으로 사후점검의 생략 (A11; 59.5%), 동료작업자의 부재 (B1; 57.1%), 안전조치 소홀 (A4; 50.0%) 요인들이 상대적으로 높았다는 점에 큰 차이가 있었다.

그 다음을 뒤따른 다른 요인들, 즉 동료작업자의 안전의식 부족 (B2; 35.7%)이나 안전조치 소홀 (B5; 35.7%), 사전점검의 생략 (A7; 33.3%), 불안전상태의 방치 (A10; 33.3%), 사전점검의 소홀 (A3; 31.0%) 등의 비율은 대체로 비슷하였다.

Table 3. Accident distribution by liveware factor (redundant check allowed)

Code	Casual factor	Supplier (66 cases)		Engineer (42 cases)	
		Cases (n)	Portion (%)	Cases (n)	Portion (%)
A1	Lack of safety consciousness	65	98.5	39	92.9
A2	Unqualified worker	1	1.5	3	7.1
A3	Negligence of prior check	46	69.7	13	31.0
A4	Negligence of safety treatment	14	21.2	21	50.0
A5	Negligence of posterior check	5	7.6	5	11.9
A6	Insufficient safety knowledge	1	1.5	3	7.1
A7	Omission of prior check	47	71.2	14	33.3
A8	Omission of safety measures	14	21.2	39	92.9
A9	Errors in Safety measures	3	4.6	4	9.5
A10	Ignorance of unsafe conditions	3	4.6	14	33.3
A11	Omission of posterior check	9	13.6	25	59.5
B1	Absence of coworkers	59	89.4	24	57.1
B2	Lack of safety consciousness (coworker)	2	3.0	15	35.7
B3	Unqualified engineer	10	15.2	0	0.0
B5	Negligence of safety treatment (coworker)	2	3.0	15	35.7
B6	Negligence of posterior check (uq.eng.er)	10	15.2	0	0.0

### 4.2 위반 대상

위반 행위에는 위반의 대상이 존재한다. 그러나, 행위 당시의 심정이나 상황을 확인할 수 없는 상황에서는 하나의 대상으로 특정할 수 없으므로, 중복을 인정하여 검토하는 수밖에 없다<sup>5)</sup>.

본 연구에서도 LPG 관련 작업자들이 위반한 대상 규칙을 중복을 허용하여 살펴본 결과 Table 4와 Fig. 2와 같이, 공급자의 위반대상은 법(law)이 97.0%로 가장 빈발하였으며, 그 다음으로는 작업절차(procedure)가 90.9%, 안전수칙(safety rules)이 21.2%로 뒤를 이었다. 시공자의 위반대상 또한 법과 작업절차가 각각 97.6%, 95.2%이었으며 그 다음으로 안전수칙 순으로 나타나 공급자와 비슷한 분포를 보였다.

Table 4. Violated rule types (redundant check allowed)

Violation subject	Supplier (66 cases)		Engineer (42 cases)	
	Cases (n)	Portion (%)	Cases (n)	Portion (%)
Social norm	1	1.5	15	35.7
Law	64	97.0	41	97.6
Org. regulation	2	3.0	0	0.0
Safety rules	14	21.2	36	85.7
Procedure	60	90.9	40	95.2
Control limit	0	0.0	0	0.0

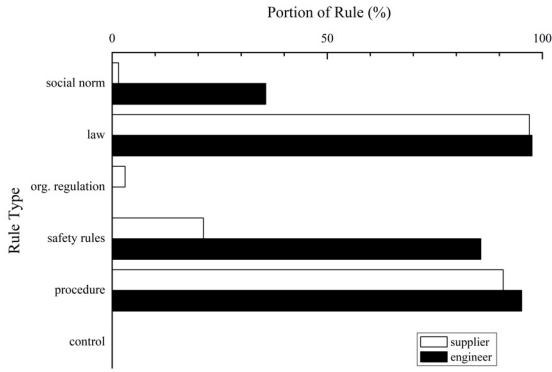


Fig. 2. Violated rule types (redundant check allowed).

그러나 시공자의 경우에는 안전수칙이 85.7%로 공급자의 위반 점유율에 비하여 매우 높았으며 사회적 규범(social norm) 비율도 35.7%로 공급자에 비하여 상대적으로 높았다. 이는 시공자의 주된 위반행위가 안전조치를 취하지 않고 작업을 하거나, 가스시설 전환 작업 시 기존 시설에 대하여 적절한 조치를 취하지 않은 채 시공하기 때문이었다.

### 4.3 위반 유형

위반 행위자가 어떠한 형태의 위반을 하였는지를 파악하기 위하여 선행연구<sup>13,14)</sup>를 참고하여 9가지로 유형으로 분류하였다. 위반 유형의 중복을 허용하여 분류한 결과는 Table 5와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 공급자와 시공자 모두 공통적으로 가장 빈발하는 것은 작업과정 수순을 건너뛰는 생략(skip)유형이 각각 93.9%와 95.2%로 분석되었다.

그러나, 공급자의 경우에는 그 다음 순으로 안전기능을 해제하거나 안전장치를 하지 않는 안전기능 무효화(muting function)와 위험 감수(risk-taking)가 각각

Table 5. Accident distribution by violation type (redundant check allowed)

Violation type	Supplier (66 cases)		Engineer (42 cases)	
	Cases (n)	Portion (%)	Cases (n)	Portion (%)
Skip	62	93.9	40	95.2
Muting function	10	15.2	34	81.0
Risk-taking	5	7.6	0	0.0
Stopgap	3	4.6	4	9.5
Bystanding	2	3.0	16	38.1
Reuse	2	3.0	1	2.4
Certification	1	1.5	3	7.1
Resistance	0	0.0	0	0.0
Flaunt	0	0.0	0	0.0

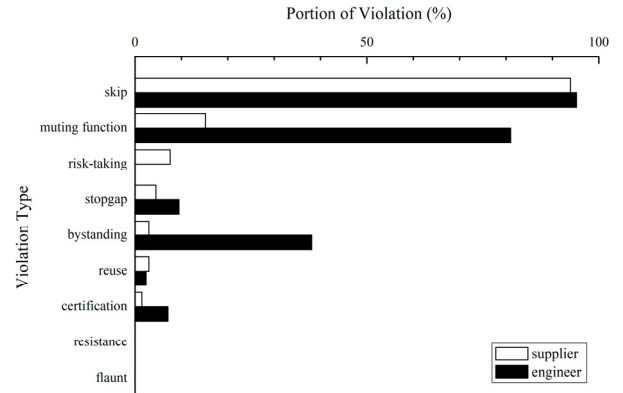


Fig. 3. Accident distribution by violation type (redundant check allowed).

15.2%와 7.6%로 뒤를 이었다. 반면, 시공자의 경우에는 안전기능 무효화의 점유율이 81.0%로 압도적이었고, 동료 또는 작업환경의 불안전상황을 무시하고 보아넘기는 방관(bystanding)이 38.1%로 그 뒤를 이었다.

### 4.4 주성분분석에 의한 사고특성 비교

공급자와 시공자 관련 사고에 차이가 나타나는 이유를 파악하기 위하여 SPSS Ver.23.0을 이용하여 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석은 다변량 데이터로부터 소수의 특징적인 변량을 합성하고, 그것에 의해서 데이터를 분석하는 방법으로 관측대상이 어떠한 위치에 있는지 시각적으로 파악하는 데 용이하다<sup>15)</sup>.

분석 결과, Table 6에서 보는 바와 같이 공급자의 경우에는 고유치가 1 이상인 상위 성분 6가지가 공급자 위반에 의한 사고의 77.2%를 설명한다고 판단되었다.

이 중 제1성분의 경우 양의 방향으로는 ‘동료작업자의 부재 (B1; 0.799)’, ‘사전점검의 소홀/생략 (A3; 0.786, A7; 0.655)’ 등의 작업 전 영향요인이 지적되었으며, 음의 방향으로는 ‘관리감독의 소홀 (E2; -0.721)’, ‘안전조치의 생략/소홀 (A8; -0.626, A4; -0.614)’ 등 작업 중 또는 작업 후 위반행동에 직접 영향을 준 요인들이 지적되었다.

제2성분의 경우 양의 방향으로는 ‘안전의식의 미흡 (A1; 0.781)’, ‘불충분한 안전교육/시스템/문화 (E3; 0.781, E5; 0.781, E4; 0.642)’ 등이 지적되었고, 음의 방향으로는 ‘무자격 작업자 (A2; -0.781)’, ‘불충분한 안전 지식 (A6; -0.781)’, ‘사전점검의 생략 (A7; -0.623)’ 등 주로 관리시스템 운영의 문제가 지적되었다.

이와 같은 상위 두 성분을 기반으로 각 성분 요인 간의 관계를 시각적으로 나타내면 Fig. 4와 같은데, 결과적으로 가로축은 위반행동에 영향을 준 직접요인들을, 세로축은 주로 위반행위에 영향을 준 관리시스템 등 간접요인들을 의미한다고 파악되었다.

Table 6. Component matrix of PCA (supplier)

Code	Casual factor	Component					
		1	2	3	4	5	6
A1	Lack of safety consciousness	.532	.781	.256	-.089	-.035	-.060
A2	Unqualified worker	-.532	-.781	-.256	.089	.035	.060
A3	Negligence of prior check	.786	-.406	.281	.059	-.056	-.275
A4	Negligence of safety treatment	-.614	.472	.199	-.070	-.129	.424
A5	Negligence of posterior check	-.172	.337	-.678	-.035	.281	-.205
A6	Insufficient safety knowledge	-.532	-.781	-.256	.089	.035	.060
A7	Omission of prior check	.655	-.623	.217	.084	-.048	-.263
A8	Omission of safety measures	-.626	.499	.136	-.018	-.109	.271
A9	Errors in safety measures	-.056	.179	-.472	-.092	.294	-.427
A10	Ignorance of unsafe conditions	-.085	.168	-.286	-.082	-.227	.596
A11	Omission of posterior check	-.232	.427	-.706	-.078	.285	-.159
B1	Absence of coworkers	.799	.141	-.453	.097	-.055	.110
B2	Lack of safety consciousness (coworker)	-.479	.252	.478	-.143	.124	-.205
B3	Unqualified engineer	.313	-.126	.231	.429	.715	.290
B5	Negligence of safety treatment (coworker)	-.479	.252	.478	-.143	.124	-.205
B6	Negligence of posterior check (uq,eng,cr)	.313	-.126	.231	.429	.715	.290
C1	Insufficient safety treatment	.249	-.328	-.202	-.364	-.591	.045
C2	Facility with potential hazards	-.406	.199	.304	.503	-.265	-.285
C3	Insufficient posterior treatments	-.585	.601	-.281	.088	.141	-.089
C4	Ignorance of insufficient treatments	.536	-.593	.315	-.201	-.081	.193
D1	Inappropriate work conditions	-.307	.145	.368	-.230	.063	.104
D2	W. environment with check difficulty	.162	-.059	.046	-.014	.118	.454
E1	Insufficient number of workers	.799	.141	-.453	.097	-.055	.110
E2	Insufficient supervision (company)	-.721	-.230	.355	-.092	.039	-.036
E3	Insufficient safety training (company)	.532	.781	.256	-.089	-.035	-.060
E4	Insufficient safety culture (company)	.488	.642	.038	-.099	.007	.130
E5	Insufficient mgn't system (company)	.532	.781	.256	-.089	-.035	-.060
E6	Unclear standards/regulations	-.189	.286	-.289	.438	-.311	.227
E7	Insufficient facility supervision	-.038	.143	.049	.884	-.283	-.083
E8	Insufficient facility mgn't system	-.038	.143	.049	.884	-.283	-.083

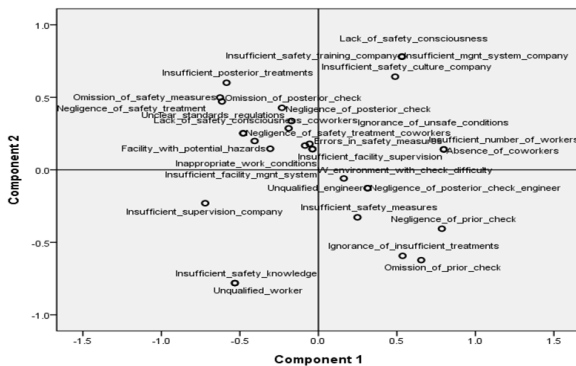


Fig. 4. Major components of violation-induced accidents (supplier).

시공자의 경우에는 고유치 1 이상인 상위 주성분 3 가지가 시공자 위반에 의한 사고의 79.1%를 설명할 수 있다고 판단되었다<sup>15)</sup>.

주성분분석 결과, 검토된 요인들을 정리하면 Table 7 과 같은데, 이 중 제1주성분 양의 방향으로는 공급자의 경우와 마찬가지로 ‘사전 안전점검의 소홀/생략 (A3; 0.956, A7; 0.918)’ 등이 지적되었다. 그러나, 이에 비하여 공급자 사고에서는 지적되지 않았던 ‘불안전상태의 방치 (A10; 0.970)’, ‘불충분한 조치의 무시 (C4; 0.970)’, ‘불명확한 기준/규정 (E6; 0.897)’ 등의 영향이 매우 높았다.

예를 들어, 공급자의 경우 어떤 성분에서도 요인의 절대값이 0.9를 상회하는 경우는 없었으나, 시공자의 경우에는 Table 7의 제1성분에서 보는 바와 같이 요인들의 절대값이 0.9를 넘는 경우가 수두룩하여 해당 요인의 영향력이 매우 높다는 것을 이해할 수 있었다.

반면, 제1주성분 음의 방향의 경우 공급자의 경우와 마찬가지로 ‘동료 작업자의 부재 (B1; -0.800)’, ‘불충분한 작업인원 (E1; -0.800)’, ‘사전 안전조치의 소홀 (A4; -0.680)’ 등이 지적되었으나, 역시 이에 비하여 ‘불충분한 사후조치 (C3; -0.970)’ 와 ‘확인점검의 생략 (A11; -0.790)’의 영향이 매우 컸다.

한편, 제2주성분의 경우에는 공급자의 경우와 크게 다르지 않아, 양의 방향으로는 ‘안전의식의 미흡 (A1;

Table 7. Component matrix of PCA (engineer)

Code	Casual factor	Component		
		1	2	3
A1	Lack of safety consciousness	.175	.981	-.003
A2	Unqualified worker	-.175	-.981	.003
A3	Negligence of prior check	.956	.040	-.019
A4	Negligence of safety treatment	-.680	.407	.510
A5	Negligence of posterior check	-.176	.094	-.762
A6	Insufficient safety knowledge	-.175	-.981	.003
A7	Omission of prior check	.918	-.141	-.018
A8	Omission of safety measures	.241	-.136	.778
A9	Errors in safety measures	-.258	.165	-.502
A10	Ignorance of unsafe conditions	.970	.024	-.094
A11	Omission of posterior check	-.790	.075	-.031
B1	Absence of coworkers	-.800	.484	-.056
B2	Lack of safety consciousness (coworkers)	.921	.027	.056
B5	Negligence of safety treatment (coworkers)	.921	.027	.056
C2	Facility with potential hazards	-.008	.029	.291
C3	Insufficient posterior treatments	-.970	-.024	.094
C4	Ignorance of insufficient treatments	.970	.024	-.094
D1	Inappropriate work conditions	-.134	.075	.208
E1	Insufficient number of workers	-.800	.484	-.056
E2	Insufficient supervision (company)	-.102	-.885	-.117
E3	Insufficient safety training (company)	.175	.981	-.003
E4	Insufficient safety culture (company)	.175	.981	-.003
E5	Insufficient mgn't system (company)	.175	.981	-.003
E6	Unclear standards/regulations	.897	.073	.009

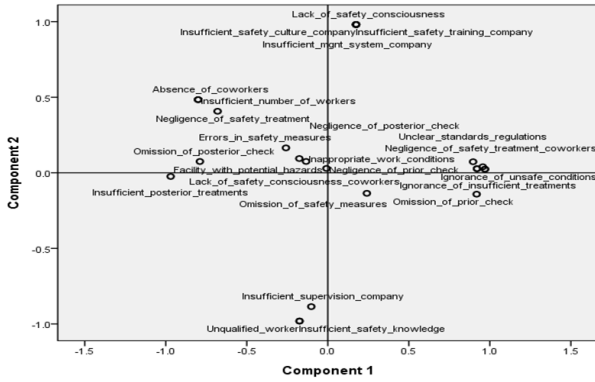


Fig. 5. Major components of violation-induced accidents (engineer).

0.981)’, ‘불충분한 안전교육/시스템/문화 (E3; 0.981, E5; 0.981, E4; 0.981)’ 등이 지적되었고, 음의 방향으로는 ‘무자격 작업자 (A2; -0.981)’, ‘불충분한 안전지식 (A6; -0.981)’ 등 관리시스템 운영의 문제가 지적되었다. 다만, ‘불충분한 감독 (E2; -0.885)’ 요인의 영향이 주목할 만큼 높았다.

이와 같은 상위 두 성분을 기반으로 각 사고의 특성을 시각적으로 표현하면 Fig. 5와 같다. 시공자의 경우에도 공급자의 경우와 마찬가지로 제1주성분 양의 방향에는 작업 전 직접 영향요인들이, 음의 방향에는 작업 중 또는 작업 후 직접 영향요인들이 주로 지적되었고 특히 음의 방향의 경우, 공급자에 비하여 ‘불충분한 사후조치 (C3)’, ‘확인점검의 생략 (A11)’ 등의 영향이 매우 컸다.

제2주성분의 경우에는 대체로 공급자의 경우와 마찬가지로 관리시스템 운영의 문제가 지적되었으나, ‘불충분한 감독 (E2)’ 요인의 영향은 주목할 만큼 높았다.

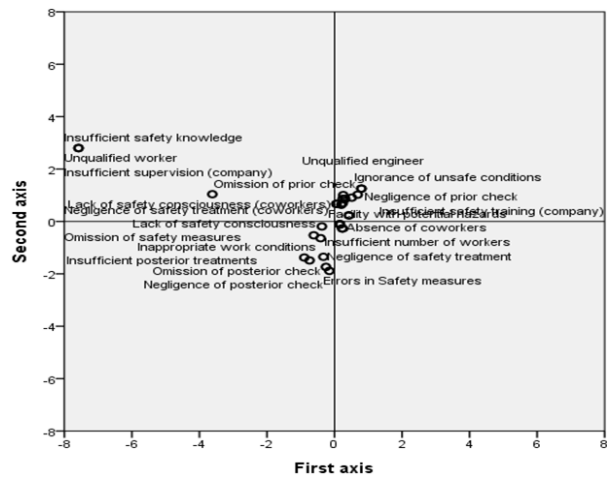
공급자의 사고와 비교해 볼 때, 시공자의 사고는 관련요인의 영향을 크게 받기 때문에 Fig.5에서 보는 바와 같이 사고요인의 타점이 1, 2 상한에 집중적으로 분포된다는 점은 주목할 만하다.

4.5 수량화기법에 의한 사고특성 비교

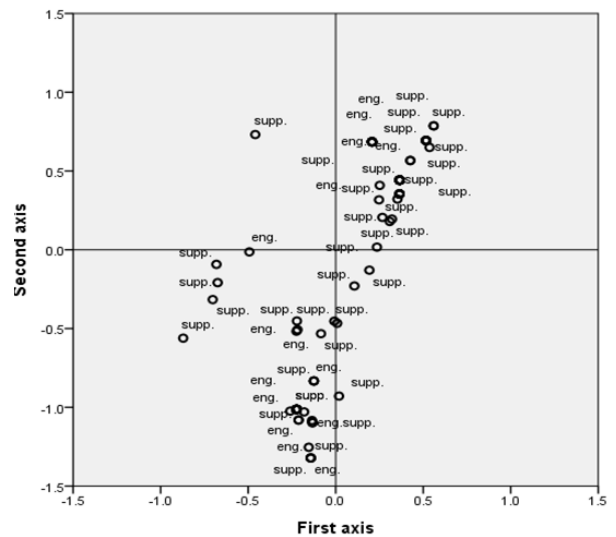
가스사고 관련요인을 1차원적으로 이해하는 것이 통계적 분석은 용이하지만 사고 특성을 다각적으로 파악하기는 곤란하다. 그러므로, 본 연구에서는 작업자들의 위반 특성을 파악하기 위하여 수량화3류 기법 (Quantification Technique, the 3rd)을 이용하였다. 이 기법은 1950년을 전후로 일본 학자에 의하여 개발된 기법으로, 범주형 변수에 적절한 수치를 부여하여 관측된 질적 변수 속에 내재되어 있는 공통적 요인들 간의 관계를 파악하는 데 유용하다고 알려져 있다<sup>16,17)</sup>.

분석에는 1차 사고의 촉발요인(initiating factor)만 고려되었으며, 이후에 관련된 요인들은 사고 전개과정에는 영향을 줄 수 있으나 사고발생에 직접적으로 영향을 주지는 않았으므로 분석 대상에서 제외하였다.

작업자 위반에 의한 사고관련 직접요인과 사고와의 관계를 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 그림에서 제1축과 제2축은 사고 간의 근접성을 나타내는 가상요인을 의미한다. 이 때에도 축의 의미는 분포된 점들의 의미를 확인한 후에야 부여될 수 있다. 사고요인간의 관계를 시각적으로 나타낸 Fig. 6(a)에서 ‘무자격 작업자 (unqualified worker)’, ‘안전지식 부족 (insufficient safety knowledge)’, ‘관리감독 미흡 (insufficient supervision, by company)’의 3점은 원점으로부터 크게 벗어나 위치해



(a) 2-d plot of quantified accident causal factors



(b) 2-d plot of quantified human factors

Fig. 6. Distribution of violation-induced accident by factors (focused view around the center).

있었고, 다수의 점들은 원점 주위로 수렴되었다. 이 결과는 Fig. 6(b)의 사고 사례의 분포와 비교함으로써, 사고에 기인한 위반행동 특성을 이해하는 데 이용될 수 있다.

Fig. 6(b)는 사고특성요인과 관련된 시공자와 공급자 관련 사고의 원점 근처 집중된 분포를 보여 주는데, 1사분면에는 사전 안전점검이 미흡한 상태에서 발생한 공급자 사고와, 가스 전환 시공작업 중 기존 가스 시설을 방치하여 발생한 시공자 사고가 주로 분포하였다. 3사분면에는 가스 공급 전 수리, 부품 교체 등의 작업이 동반될 때의 공급자 사고, 가스시설 시공작업 시 안전조치 및 확인점검을 준수하지 않아 발생한 시공자 사고가 분포하였다.

결과적으로 1사분면에는 사전 안전점검 위반과 관련된 사고들이, 3사분면에는 확인점검 위반과 관련된 사고들이 밀집 분포하였다는 사실을 반영한다.

이상의 결과들로부터 제1축 좌측은 ‘기존 정상 상태에서의 작업’, 우측은 ‘기존 불안전 상태에서의 작업’ 중 사고요인을 상징하는 축으로 이해될 수 있으며, 제2축 위쪽은 ‘작업 전 위험요인’, 아래쪽은 ‘작업 후 위험요인’을 상징하는 것으로 이해되었다.

## 5. 고찰 및 결론

LPG 공급자의 작업이 주로 단독작업으로 이루어지는 반면, 시공자의 작업은 2인 이상의 공동작업 형태를 띠는 점을 제외하면 공급자와 시공자의 업무는 외형적으로 대체로 유사해 보일 수 있다. 그러나, 본 연구에서 분석한 바와 같이 사고특성을 비교해 보면 다음과 같은 점에서 차이가 있었다.

첫째, 공급자와 시공자 모두 기존의 불안전상태에서 작업 전 위험 요인을 제거하지 않은 채 작업을 시도하거나, 정상적 작업환경에서의 작업 후 위험요인에 적절히 대응하지 못하는 등 ‘안전의식 미흡 (98.5%, 92.9%)’과 ‘동료 작업자의 부재 (89.4%, 57.1%)’가 공통적으로 지적되었다. 그러나, 공급자의 경우에는 ‘사전 안전점검의 생략 (71.2%)’, ‘사전 안전점검의 소홀 (69.7%)’의 비율이 월등히 높았고, 반면 시공자의 경우에는 ‘안전조치의 생략 (92.9%)’, ‘사후 확인점검의 생략 (59.5%)’, ‘안전조치의 소홀 (50.0%)’ 등의 비율이 상대적으로 높았다.

둘째, 위반 대상의 경우, 공급자와 시공자 모두 ‘법 (97.0%, 97.6%)’, ‘작업절차 (90.9%, 95.2%)’를 위반하기는 하였지만, 시공자의 경우 ‘안전수칙 (85.7%)’ 위반의 비율이 특히 높았다.

셋째, 위반 유형의 경우, 공급자와 시공자 모두 ‘생략 (93.9%, 95.2%)’의 비율이 높았지만, 이 외에도 시공자의 경우에는 ‘안전기능 무효화 (81.0%)’, ‘방관 (38.1%)’의 비율이 상대적으로 높았다.

넷째, 주성분분석 결과, 제1주성분으로는 사고에 영향을 미친 직접요인들이, 제2주성분으로는 관리시스템을 포함하는 간접요인들이 지적되었는데, 특히 시공자의 경우에는 제2성분 중 ‘불충분한 감독 (-0.885)’ 요인의 영향이 주목할 만큼 높았다.

다섯째, 수량화분석 결과에 따르면, 제1축으로는 기존 작업상태의 안전/불안전상태를 나타내는 요인이, 제2축으로는 작업 전/후의 위험요인을 나타내는 요인들이 지적되었는데, 공급자의 사고 특성은 기존 불안전 상태에서의 직접적 위험요인과 관련된 1사분면에 집중되었으며, 반면 시공자의 사고특성은 기존 정상상태에서의 작업 후 위험요인에 의한 3사분면에 집중되었다.

이와 같은 이유는, 몇 가지 현실적 작업특성에서 찾지 않을 수 없다. 우선, 시공자는 기존에 없던 시설을 설치하거나, 기존 시설을 수리하거나, 또는 전환 및 폐기하는 작업을 담당한다. 따라서, 안전점검과 사후확인 은 필수적이지만, 현실적으로는 작업 중 안전조치를 취하지 않고 작업을 하거나, 작업 후 시설의 이상 유무를 확인하지 않음으로써 시공 후 사고관련 위험요인을 방치하는 결과를 초래하고 있다.

또한, 가스시설을 교체하거나 전환하는 경우 기존 사용 시설의 가스 공급 중단 여부를 사전 확인하지 않아 사고가 발생하기도 하고, 기존 시설의 공급자와의 연락을 소홀히 한 채 자신의 역할만 완수하면 된다는 식의 작업수행이 문제를 야기시키는 등, 시공 유형에 따라 책임소재가 불분명한 다른 유형의 사고가 발생하고 있다. 따라서, 시공자의 경우에는 시공작업과 전환작업을 구별하여 기본적인 안전작업절차를 확립하고, 이의 준수여부를 객관적으로 확인할 수 있는 절차적 시스템을 개발할 필요가 있다.

이 부분에 소홀하게 되면 사고발생 후 위험요인의 방치 여부를 확인하기 곤란하기 때문에, 현재와 같이 사고발생의 책임이 시공자가 아닌 공급자에게 돌아가는 경향이 발생한다. 물론 공급자에게도 안전점검 의무가 있지만, 가스를 공급할 때마다 공급자가 전체 시설의 안전 상태를 완벽히 점검하는 것은 현실적으로 곤란하기 때문에, 작업 중 문제가 생겼을 때에 공급자에게 책임을 묻는 경향이 현재까지는 존재하고 있다.

공급자의 사고를 예방하려면 안전책임범위를 구체화하고 일정한 자격을 갖춘 작업자만이 작업을 수행하도록 하여야 한다. LPG 시설은 폐기될 때까지 공급자

에 의하여 반복적으로 가스 공급이 이루어지는데, 이때 가장 취약한 것이 작업절차 중 안전점검 위반이기 때문이다. 결론적으로, LPG 관련 사업에서 공급자와 시공자의 사고 특성은 다르므로, 해당 작업자별로 차별화된 사고예방전략이 시도되어야 한다.

끝으로, LPG 관련 작업들은 소수의 작업자에 의하여 다양한 상황에서 수행되기 때문에 다른 업종과 같이 현장 안전관리자에 의하여 직접 통제를 받을 수 있는 입장이 아니며 위반은 개인의 내부적 과정이기 때문에 교육 및 홍보로는 작업자의 위반을 예방하기에는 한계가 있다. 따라서 작업자의 심리적 충동과 행동변화까지도 사전에 예측할 수 있는 인간공학적, 행동심리학적 연구를 수행할 필요가 있다.

다만, 본 연구는 규정 위반이 기술된 사고 사례 중 작업자의 고의적 위반 의도 여부를 실제로 확인하지는 못하고, 질적 데이터를 기반으로 한정된 영향 요인만 고려되었다는 점에서 한계점을 갖는다.

**Acknowledgement:** This paper is supported by the Nuclear Safety Research Program grant funded by Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) and KoFONS (No. 2003010).

### References

- 1) 2021 Annual Gas Accident Report, Korea Gas Safety Corporation, 2022.
- 2) H. K. Lim and G. Y. Bak, Elicitation of Asymptotic Minimum Level in Gas Accident Rate, Korea Gas Safety Corporation, 2021 (*in Korean*).
- 3) H. W. Heinrich, D. Petersen and N. Roos, Industrial Accident Prevention, 5th ed., McGraw-Hill, 1959.
- 4) H. K. Lim and G. Y. Bak, “Estimation and Adjustment of Time Point in Manifestation of Gas Safety Project Effects using Sigmoid Functions”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 38, No. 1, pp. 70-77, 2023.
- 5) H. K. Lim, S. E. Ham, G. Y. Bak and Y. H. Lee, “Extended Analysis of Unsafe Acts violating Safety Rules caused Industrial Accidents”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 37, No. 3, pp. 52-59, 2022.
- 6) J. S. Kim, “A Study on the Effect of Human Error at the Gas Industry Safety”, Graduate School of Ulsan

- University, Master Thesis, 2007 (*in Korean*).
- 7) D. G. Kim, “A Study on Accident Prevention Measures by Improving Job Satisfaction of LPG Filling Station Employees : Focusing on Accident Cases”, Graduate School of Hoseo University, Ph.D. Thesis, 2020 (*in Korean*).
- 8) S. C. Theophilus, V. N. Esenowo, A. O. Arewa, A. O. Ifelebuegu, E. O. Ernest and F. U. Mbanaso, “Human Factors Analysis and Classification System for the Oil and Gas Industry (HFACS-OGI)”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 167, pp. 168-176, 2017.
- 9) C. D. Nwankwo, A. O. Arewa, S. C. Theophilus and V. N. Esenowo, “Analysis of Accidents caused by Human Factors in the Oil and Gas Industry using the HFACS-OGI Framework”, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol. 28, No. 3, pp. 1642-1654, 2022.
- 10) Annual Gas Accident Reports, Korea Gas Safety Corporation, 2011~2020.
- 11) R. Kawano, Medical Human Factor Topics, 2002, [http://www.medicalsaga.ne.jp/tepsys/MHFT\\_topics0103.html](http://www.medicalsaga.ne.jp/tepsys/MHFT_topics0103.html).
- 12) W. Haddon, Jr., “A Logical Framework for Categorizing Highway Safety Phenomena and Activity”, Journal of Trauma, Vol. 12, No. 3, pp. 193-207, 1972.
- 13) A. Komatsubara, “Mechanism of Violations and their Ergonomic Measures”, Journal of Japan Society for Safety Engineering, Vol. 47, No. 4, pp. 194-200, 2008.
- 14) M. Mukaidono, “Regarding the Method of Reflecting Intentional Violation of Rules and Human Errors in Risk Assessment”, The Public-Private Council on Manufacturing Safety Measures, 2019 (*in Japanese*).
- 15) H. J. No, Principal Component Analysis and Factor Analysis using SPSS, Hanol Publishing Co., 2014 (*in Korean*).
- 16) Y. G. Lee and Y. H. Kim, “A Comparison Study for the Quantification Analysis Method of the Qualitative Data”, Journal of Statistics, Institute of Statistical Research Chung-Ang University, No. 1, pp. 35-57, 1994.
- 17) M. H. Huh and Y. G. Lee, “Shrinkage Solution of Quantification Method 3”, The Korean Journal of Applied Statistics, Vol. 19, No. 2, pp. 331-338, 2006.